POLSKA
AKADEMIA
NAUK

PL ISSN 0012-5032

INSTYTUT GEOGRAFII
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

ROMAN SOJA

ANALIZA ODPŁYWU Z FLISZOWYCH ZLEWNI BYSTRZANKI I ROPY (BESKID NISKI)

ROK 1981 ZESZYT 1

WROCŁAW • WARSZAWA • KRAKÓW • GDAŃSK • ŁÓDŹ
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

WYKAZ ZESZYTÓW
PRZEGLĄDU ZAGRANICZNEJ LITERATURY GEOGRAFICZNEJ
za ostatnie lata

1976

1 **Modele w geografii fizycznej**, s. 151, zł 24,—
2 **Modele w dyfuzji i Łańcuchy Markowa w analizie przestrzennej**, s. 124, zł 24,—
3-4 **Metody matematyczne w badaniach struktury przestrzennej rolnictwa**, s. 151, zł 48,—

1977

1 **Zdjęcia i obrazy satelitarne w badaniach środowiska geograficznego**, s. 147, zł 24,—
2 **Przestrzenne modele symulacyjne**, s. 153, zł 24,—
3 **Integracja systemu planowania oraz rozwój miast w Europie Zachodniej**, s. 120, zł 24,—
4 **Badanie i zbieranie map. Przegląd historyczny**, s. 78, zł 24,—

1978

1 **Ekologia krajobrazu**, s. 123, zł 24,—
2 **Geografia zachowań ekonomicznych**, s. 95, zł 24,—
3-4 **Teoria biegunów wzrostu**, s. 254, zł 48,—

1979

1 **Metodyka nauczania geografii**, s. 165, zł 24,—
2 **Metody sformalizowane w badaniach geokompleksów**, s. 107, zł 24,—
3 **Wybrane podstawy filozoficzne geografii współczesnej**, s. 177, zł 24,—
4 **Geografia jako nauka**, s. 144, zł 24,—

1980

1 **Wybrane problemy geografii miast**, s. 135, zł 24,—
2 **Teledetekcja środowiska geograficznego**, s. 203, zł 24,—
3 **Klęski żywiołowe a rozwój gospodarczy krajów Trzeciego Świata**, s. 135, zł 24,—
4 **Metody ilościowe i modele w geografii transportu** (w druku)

http://rcin.org.pl

ANALIZA ODPŁYWU Z FLISZOWYCH ZLEWNI BYSTRZANKI I ROPY (BESKID NISKI)

http://rcin.org.pl

POLISH ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND SPATIAL ORGANIZATION

ROMAN SOJA

ANALYSIS OF RUNOFF FROM THE BYSTRZANKA AND ROPA FLYSCH CATCHMENTS (THE BESKID NISKI MTS)

YEAR 1981 FASC. 1

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

http://rcin.org.pl

POLSKA
AKADEMIA
NAUK

INSTYTUT GEOGRAFII
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

ROMAN SOJA

ANALIZA ODPŁYWU Z FLISZOWYCH ZLEWNI BYSTRZANKI I ROPY (BESKID NISKI)

IGiPZ PAN

ROK 1981 ZESZYT 1

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK · ŁÓDŹ
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

http://rcin.org.pl

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny: Jerzy Grzeszczak
Sekretarz Redakcji: Zuzanna Siemek
Członkowie Redakcji: Maria Ciechocińska, Kazimierz Klimek, Wanda Spryszyńska, Władysława Stola, Andrzej Żeromski

Adres Redakcji:

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
Polskiej Akademii Nauk
ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00—927 Warszawa

Redaktor Wydawnictwa: Hanna Jurek

Redaktor techniczny: Adam Przylibski

Printed in Poland

Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwa Wrocław 1981. Nakład: 380 egz. Objętość: ark. wyd. 6,20, ark. druk. 5,75, ark. A_1—8. Papier druk. sat. kl. IV, 70 g, 70 × 100. Oddano do składania 24 IX 1980. Podpisano do druku 5 II 1981. Druk ukończono w lutym 1981. Wrocławska Drukarnia Naukowa. Zam. 2439/80. B-7. Cena zł 24.—

http://rcin.org.pl

SPIS TREŚCI

Przedmowa 7
Wstęp 9
Zarys problematyki i cel pracy 9
Obszar badań 10
Stan badań 12
Materiały i metody opracowania 18
Cechy terenu a obieg wody w zlewni Bystrzanki i Ropy 20
Opad i odpływ ze zlewni Bystrzanki i Ropy w latach 1969—1973 26
Charakterystyka wezbrań 40
Parametry czasowe fal wezbraniowych 44
Przepływy maksymalne i średnie w czasie wezbrań 47
Dynamika fal wezbraniowych 50
Najwyższe spływy ze zlewni nie kontrolowanych 52
Opad i odpływ w czasie wezbrań 54
Odpływ gruntowy i retencyjność zlewni 63
Odpływ gruntowy 64
Retencyjność zlewni Bystrzanki i Ropy 67
Spływy niżówkowe a wielkość zlewni 71
Spływ śródpokrywowy jako składnik kształtowania się odpływu . . . 74
Uwagi końcowe i wnioski 79
Literatura 82
Analysis of runoff from the Bystrzanka and Ropa flysch catchments (the Beskid Niski Mts) 86
Анализ стока из флишэвых водосборных бассейнов Быстжанки и Ропы (Низкий Бескид) 89

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl

PRZEDMOWA

Rozprawa dr. Romana Soji pod tytułem *Analiza odpływu z fliszowych zlewni Bystrzanki i Ropy (Beskid Niski)* jest siódmym z serii „Szymbark" zeszytem Dokumentacji Geograficznej. Praca ta stanowi kontynuację kompleksowych badań fizyczno-geograficznych prowadzonych od 1968 roku w otoczeniu Stacji Naukowej IG i PZ PAN w Szymbarku koło Gorlic. Autor, opierając się na wieloletnich badaniach i obserwacjach terenowych, analizuje współzależności czynników kształtujących zespół hydrologiczny zlewni Bystrzanki i Ropy. Wyjaśnia cechy reżimu hydrologicznego w badanym obszarze, a ponadto prezentuje przejściowy charakter dorzecza Ropy w skali Polskich Karpat.

Leszek Starkel

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl

WSTĘP

ZARYS PROBLEMATYKI I CEL PRACY

Stosunki wodne w Karpatach, jak we wszystkich obszarach górskich, cechują się dużą złożonością wynikającą z różnorodnego wpływu poszczególnych elementów środowiska na obieg wody. Poznanie zależności między wieloma składowymi środowiska przyrodniczego a obiegiem wody wymaga szczegółowych badań w zróżnicowanych zlewniach. Obecny stan wiedzy o stosunkach wodnych w Karpatach oparty jest na danych wodowskazowych ze zlewni o powierzchni kilkuset kilometrów kwadratowych, opracowaniach problemowych i nielicznych publikowanych materiałach terenowych zdjęć hydrograficznych. Najsłabiej poznany jest obieg wody w obrębie stoków i w małych zlewniach o powierzchni kilku do kilkunastu kilometrów kwadratowych. Zagadnienie niedostatku podstawowych materiałów obserwacyjnych z małych zlewni (odpływu, ewapotranspiracji, a także częściowo opadów) jest często poruszane w literaturze (m. in. T. Wilgat 1972; B. Osuch 1976), a projekty sieci obserwacyjnych znajdują się ciągle w sferze dyskusji i propozycji. Nieliczne istniejące w Karpatach punkty obserwacyjne (Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych w Jaworkach koło Szczawnicy, punkty obserwacyjne Politechniki Krakowskiej, Akademii Rolniczej, Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, punkty obserwacyjne Krakowskiego Oddziału Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej) realizują programy badawcze dostosowane do potrzeb własnych, a w pewnym tylko stopniu nawiązujące do międzynarodowych programów (C. Toebes, W. Ouryvaev 1970). Badania w małych zlewniach w pełnym zakresie obserwacji dotyczących stosunków wodnych wymagają zespołu różnych specjalistów, są kosztowne i długotrwałe, stąd też najczęściej badania ograniczone są do zagadnień dotyczących odpływu, jednej z najbardziej istotnych składowych obiegu wody.

Praca niniejsza dotycząca dwu zlewni karpackich nawiązuje do problematyki badań małych zlewni. Przedmiotem badań były dwie zlewnie o różnej wielkości: zlewnia Bystrzanki — 13,6 km² i zlewnia Ropy — 303 km². W zlewni Bystrzanki, która jest częścią zlewni Ropy, prowadzone były badania nad wybranymi elementami obiegu wody (L. Dauk-

http://rcin.org.pl

sza i in. 1970; E. Gil, J. Słupik 1972 a; b; J. Słupik 1973), a także nad wieloma zagadnieniami dotyczącymi klimatu, współczesnych procesów morfogenetycznych, gleb, szaty roślinnej, erozji gleb, chemizmu wód (zestawienie bibliograficzne publikacji w pracy E. Gil, L. Starkel 1976). W zlewni Ropy badań w tak szerokim zakresie nie prowadzono. Odpowiedź na pytanie w jakim stopniu obie zlewnie mają wspólne cechy obiegu wody, a jakie są różnice wydaje się być z wielu względów interesująca, może też ułatwić ekstrapolację rezultatów badań szczegółowych z jednej zlewni na drugą przynajmniej w zakresie tych procesów zachodzących w środowisku, które najściślej związane są z obiegiem wody (erozja gleb, chemizm wód itp.). Główną uwagę zwrócono na porównawczą analizę odpływu ze zlewni Bystrzanki i Ropy. Rozpatrując na tle opadowym odpływ z obu zlewni w przedziałach miesięcznych, analizując wezbrania i retencyjność zlewni starano się wykazać podobieństwa i różnice wynikające z wpływu środowiska zlewni na transformację opadu w odpływ. Obie zlewnie należą do jednego regionu fizyczno-geograficznego, jakim jest Beskid Niski, regionu, w którym występuje wyjątkowo złożony typ obiegu wody (I. Dynowska 1971; Z. Ziemońska 1973).

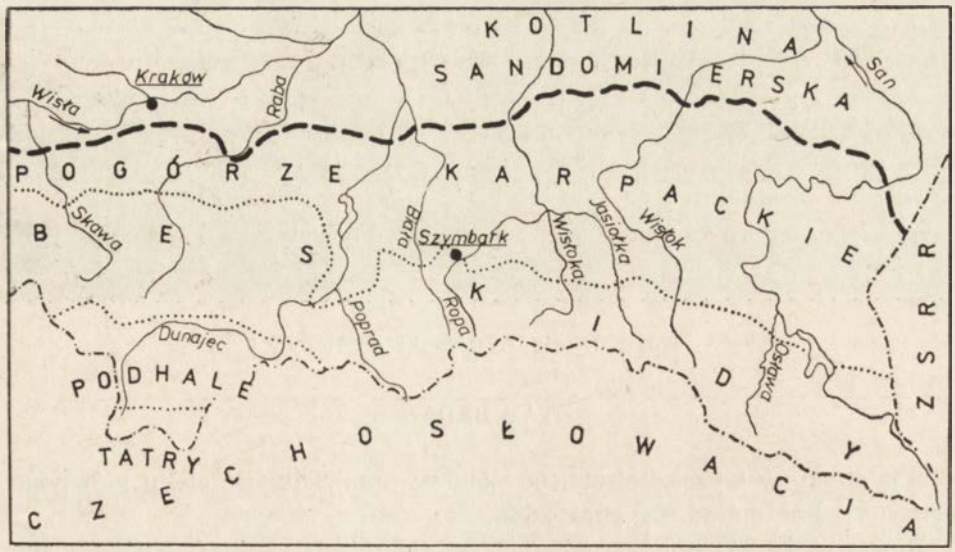
OBSZAR BADAŃ

Ropa jest dopływem Wisłoki, do której uchodzi w Jaśle (ryc. 1). Powierzchnia zlewni liczy 974 km², a długość cieku głównego około 83 km. Ropa odwadnia zachodnią część Beskidu Niskiego: od Ostrego Wierchu — 938 m npm., do pasma Magury Wątkowskiej — 846 m npm., południową część Pogórza, gdzie wododział sięga pasma Brzanka—Liwocz o maksymalnych wysokościach 538—561 m npm. oraz zachodni fragment Dołów Jasielsko—Sanockich w rejonie Gorlice—Jasło. Około 60% powierzchni całej zlewni należy do Beskidu Niskiego, a pozostałe 40% do Pogórza i Dołów Jasielsko—Sanockich. Beskid Niski jest najniższym członem w całym łuku Karpat i ma szereg cech środowiska, które wyróżniają go od innych grup górskich. Decyduje o tym budowa geologiczna oraz małe wysokości nad poziom morza. Przeważające w podłożu skały o małej odporności sprzyjały powstaniu szerokich dolin i obniżeń mających wybitnie pogórski charakter. Rzeźba Beskidu Niskiego stwarza szczególnie korzystne warunki dla cyrkulacji powietrza w kierunku południe—północ, co w połączeniu z małymi wysokościami bezwzględnymi powoduje, że jest to region cieplejszy i z niższymi opadami niż w sąsiednich grupach górskich (B. Obrębska—Starkel 1970; 1973, M. Hess i in. 1976). Odmienny w stosunku do obszarów sąsiednich roczny cykl odpływu pozwala na wydzielenie reżimu rzecznego typowego wyłącznie dla Beskidu Niskiego (L. Dynowska 1971).

Przedmiotem szczegółowego opracowania jest tylko górska część zlew-

http://rcin.org.pl

Fot. 1. Bystrzanka — profil hydrometryczny



Ryc. 1. Położenie zlewni Ropy w Karpatach

Location of the Ropa drainage basin in the Carpathians.

http://rcin.org.pl

ni Ropy do Szymbarku (303 km²). Źródła Ropy znajdują się na południowych stokach Jaworzynki (872 m npm.), na wschód od Wysowej. Średni spadek od żródeł do ujścia Ropy do Wisłoki wynosi około 7‰. Od źródeł do miejscowości Uście Gorlickie spadek wynosi 20 ‰, od Uścia Gorlickiego do Szymbarku spadek zmniejsza się do 4‰, a poniżej Szymbarku nie przekracza 1,5‰. Układ sieci rzecznej w zlewni Ropy jest wybitnie niesymetryczny, z przewagą dopływów prawobrzeżnych. Największymi dopływami Ropy do Szymbarku są: Zdynia o powierzchni zlewni 106 km² i spadku 7,9‰, oraz Przysłup o powierzchni 24 km² i spadku 32‰. Inne dopływy mają zlewnie mniejsze od 15 km². Drugim obiektem badań szczegółowych była zlewnia cieku Bystrzanka o powierzchni 13,6 km² (ryc. 2,3). Bystrzanka, która uchodzi do Ropy w Szymbarku, odwadnia wschodnie stoki masywu Maślanej Góry (754 m npm.) oraz po-

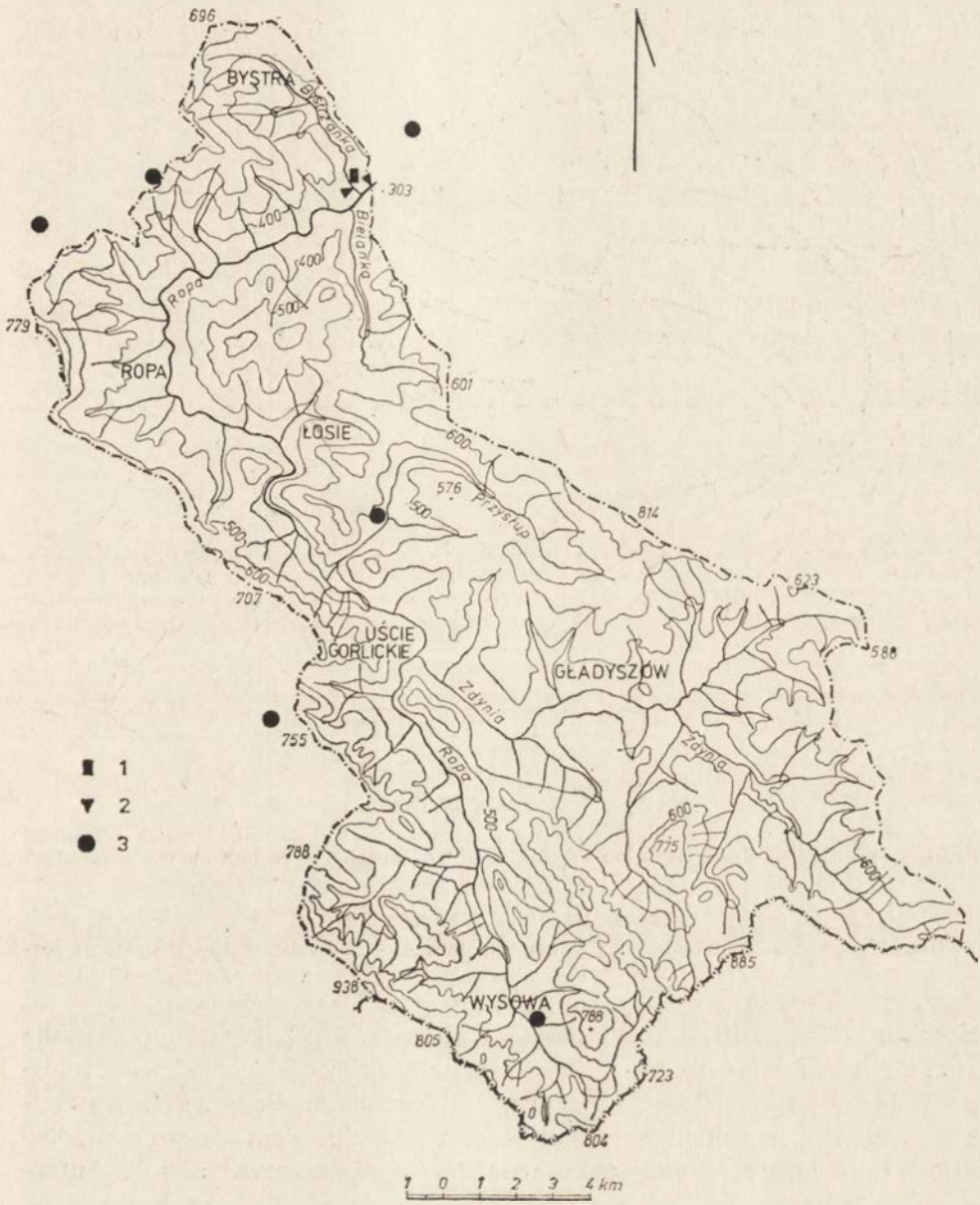
Fot. 2. Ujście Bystrzanki do Ropy

STAN BADAŃ

górskie garby w wysokościach 400—500 m npm. Długość cieku głównego wynosi 7,1 km, a średni spadek 26‰.

Rozpoznanie stosunków wodnych w zlewniach Beskidu Niskiego nie odbiega od wartości przeciętnych dla całej Polski. W pracach o charakterze przeglądowym znajdują się charakterystyki hydrologiczne rzek

http://rcin.org.pl



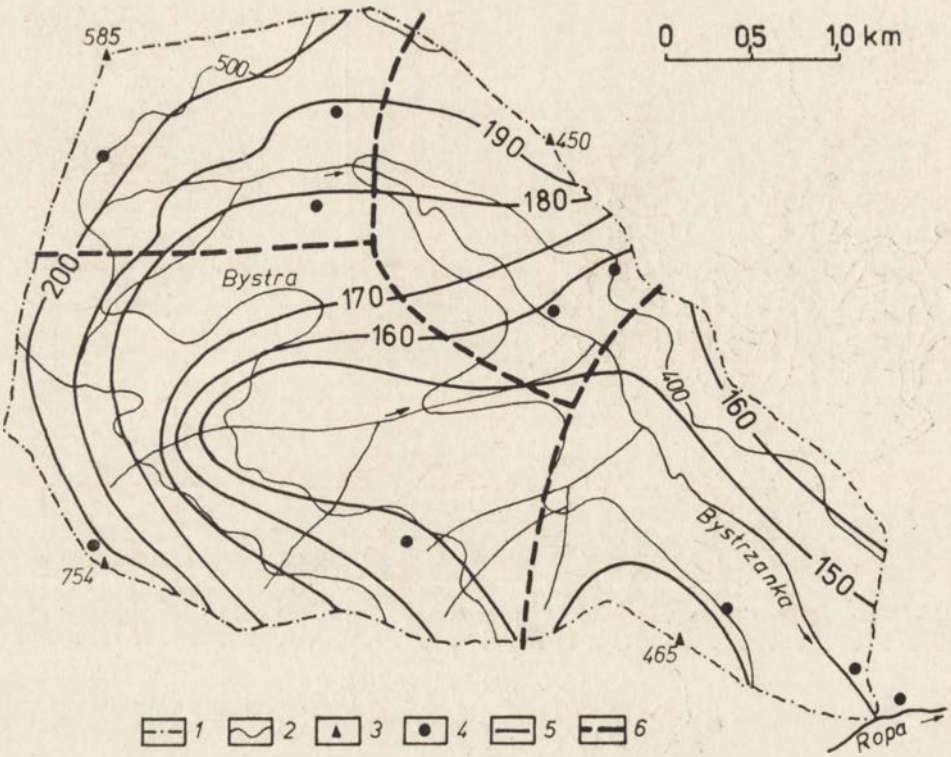
Ryc. 2. Szkic hipsometryczny zlewni Ropy do Szymbarku

1 — Stacja Naukowa IGPZ PAN; 2 — wodowskazy; 3 — deszczomierze

Hypsometric map of the Ropa drainage basin extending to Szymbark

1 — Research Station; 2 — water-gauge; 3 — rain-gauge

http://rcin.org.pl



Ryc. 3. Zlewnia Bystrzanki

1 — dział wodny; 2 — poziomice; 3 — punkty wysokościowe; 4 — deszczomierze; 5 — izohiety opadu rozlewnego w lipcu 1970 r.; 6 — granice pól o zbliżonych warunkach i wysokościach opadów

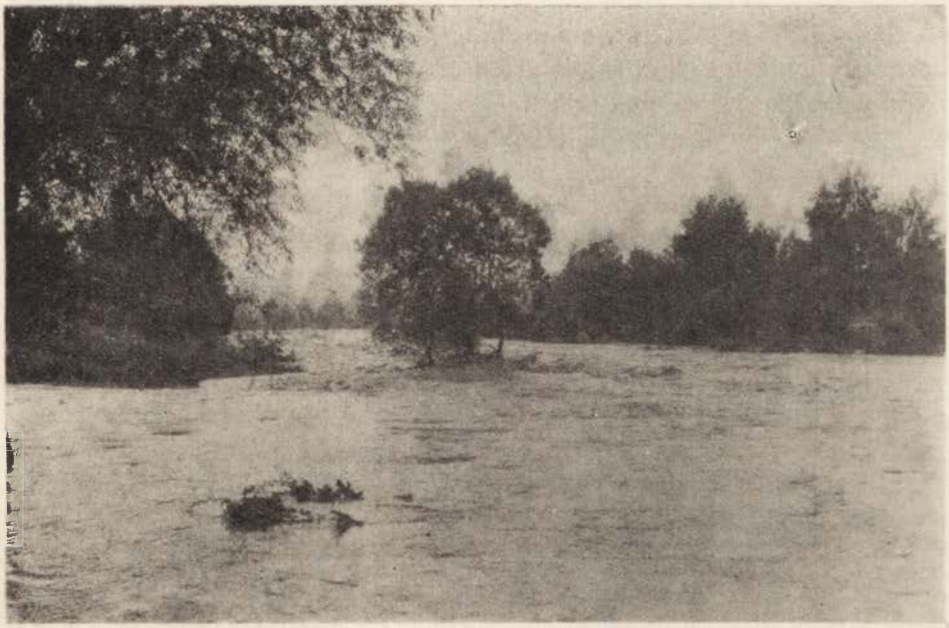
The Bystrzanka drainage basin

1 — watersheds; 2 — contour-lines; 3 — height-points, 4 — rain-gauges; 5 — isohyets of persistent rain in July 1970; 6 — extent of the areas of the similar amounts of rain

Beskidu Niskiego (K. Dębski 1961; Z. Mikulski 1962, 1963; I. Dynowska 1971). Reżim hydrologiczny rzek odwadniających Beskid Niski wraz z Dołami Jasielsko-Sanockimi i przyległymi częściami Pogórza I. Dynowska nazywa „...reżimem niewyrównanym z wezbraniem wiosennym, letnim i zimowym oraz deszczowo-gruntowo-śnieżnym zasilaniem". Autorka zwraca uwagę na fakt występowania trzech okresów wezbraniowych w tym obszarze, podkreślając że w zlewniach położonych na zachód wezbrania zimowe nie są typowym zjawiskiem, podobnie jak wezbrania letnie w położonym na wschód od Beskidu Niskiego dorzeczu Sanu. Z. Ziemońska (1973), wydzielając regiony hydrograficzne w Karpatach, kierowała się głównie wielkością współczynnika odpływu. Zlewnię Ropy zalicza ona w całości do makroregionu wschodniego o współczynniku odpływu w granicach 0,35—0,45, leżące w obrębie zlewni Ropy Pogórze do regionu pogórskiego, a obszar Dołów Jasielsko-Sanockich do subre-

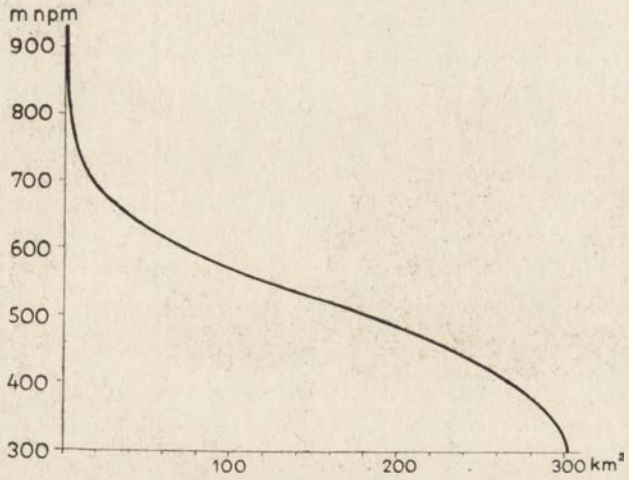
http://rcin.org.pl

Fot. 3. Ropa — profil hydrometryczny w Szymbarku



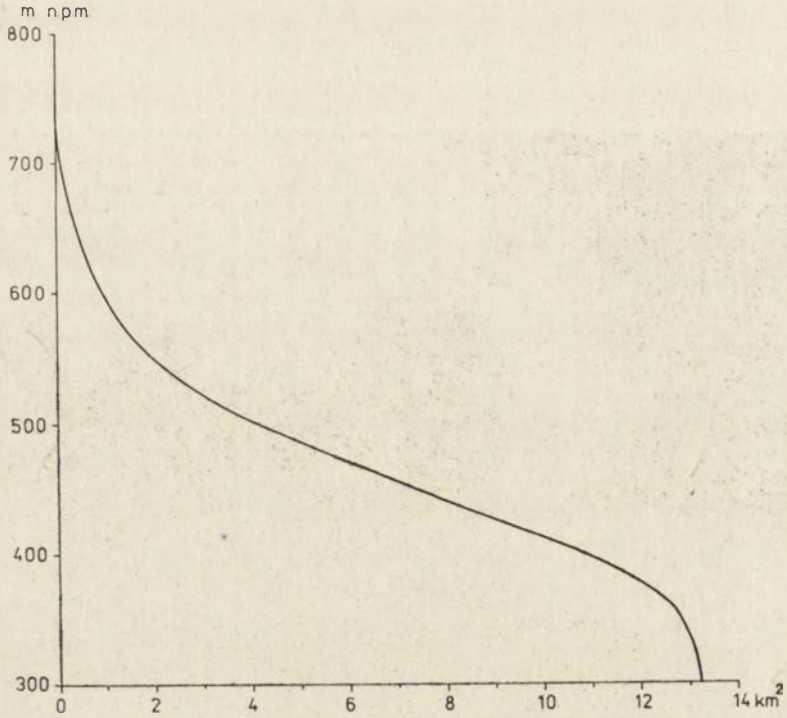
Fot. 4. Wezbranie w lipcu 1973 r.

http://rcin.org.pl



Ryc. 4. Krzywa hipsograficzna zlewni Ropy do Szymbarku

Hypsographic curve for the Ropa drainage basin extending to Szymbark



Ryc. 5. Krzywa hipsograficzna zlewni Bystrzanki

Hypsographic curve for the Bystrzanka drainage basin.

http://rcin.org.pl

gionu kotlinowego o cechach przejściowych między regionem górskim a pogórskim.

Oprócz prac o charakterze regionalnym jest kilka opracowań dotyczących wybranych zagadnień hydrologicznych. Na szczególną uwagę zasługują wielokrotnie cytowane w tej pracy publikacje dotyczące spływu powierzchniowego oraz wpływu szaty roślinnej na obieg wody. Praca J. Słupika (1973) omawia warunki formowania się i przebiegu spływu powierzchniowego na użytkach rolnych, łąkowych i leśnych oparta na danych z poletek doświadczalnych. Autor stwierdza minimalny spływ powierzchniowy w lesie w ciągu całego roku, co wiąże głównie ze strukturą gleb leśnych ułatwiających infiltrację. Spływ powierzchniowy na polach ornych powstaje wg J. Słupika tylko w okresie roztopowym i podczas opadów o sumach większych od 20 mm. Wyjątkiem są pola z roślinami okopowymi, gdzie spływ powierzchniowy formuje się najczęściej i osiąga najwyższe rozmiary. Na rolę szaty roślinnej w procesie spłukiwania zwraca uwagę E. Gil (1976), podając wartości wskaźnika denudacji dla użytków rolnych w zlewni Bystrzanki, który wynosi 0,4537 mm/rok, a dla całej zlewni, łącznie z obszarami leśnymi, 0,2731 mm/rok. W badaniach doświadczalnych na poletkach stwierdzono także, że wpływ ekspozycji i nachylenia zaznacza się tylko w pewnych okresach roku w przebiegu i wielkości spływu powierzchniowego, a decydujące znaczenie ma szata roślinna i struktura gleby (E. Gil, J. Słupik 1972 a; b). W okresie roztopowym stwierdzono zależność miąższości pokrywy śnieżnej w zlewni Bystrzanki od wieku lasu, składu gatunkowego, a tylko lokalnie od ekspozycji i nachyleń (L. Dauksza i in. 1970). W tym samym okresie stwierdzono, że zapas wody w śniegu w leśnych obszarach zlewni Bystrzanki, zajmujących około 40% powierzchni, wynosił 0,44 mln m^3, a w pozostałej części zlewni 0,38 mln m^3.

Do zagadnień wodnych nawiązują prace J. Lacha (1975), ze zlewni Sękówki (121 km^2) uchodzącej do Ropy w Gorlicach, który stwierdził zmianę stosunków wodnych w obrębie stoków na skutek zmian w użytkowaniu ziemi. Wzrost wilgotności środkowych partii stoków, stabilizację osuwisk i wzmożony proces pogłębiania koryt wiąże on z zaprzestaniem uprawy roli i wzrostem zalesienia w badanej zlewni (J. Lach 1975). Zdaniem B. Augustowskiego (1968), pogłębianie koryta Ropy należy tłumaczyć eksploatacją rumowiska z koryta rzeki. Do tego samego problemu nawiązuje praca B. Osucha (1968), który przedstawił niekorzystny wpływ eksploatacji żwiru na stosunki wodne i procesy korytowe w zlewni Wisłoki.

Dokładne rozpoznanie stosunków wodnych w najbliższym rejonie Szymbarku, w tym także zlewni Bystrzanki, zawiera opracowanie wykonane przez J. Niemirowską na podstawie zdjęcia hydrograficznego (L. Dauksza i in. 1970). Autorka stwierdza, że najbardziej zasobne w wo-

http://rcin.org.pl

dę w zlewni Bystrzanki są warstwy inoceramowe, a następnie warstwy magurskie. Gęstość sieci rzecznej w zlewni Bystrzanki obliczona metodą Neumanna wynosi 2,9 km/km², a w tym sieć stała 1,5 km/km². Ważnym stwierdzeniem J. Niemirowskiej jest zasygnalizowanie złożonego charakteru zasilania małych cieków w okolicach Szymbarku.

Skrótowo przedstawiono prace dotyczące bezpośrednio zagadnień hydrologicznych w zlewni Ropy. Pominięto zagadnienia metodyczne, np. analizę hydrogramów, obliczenia retencyjności zlewni itp., odwołując się do literatury przy omawianiu danego problemu, co ogranicza wielokrotne cytowanie tych samych prac.

MATERIAŁY I METODY OPRACOWANIA

Stosunki wodne w zlewniach Bystrzanki i Ropy w latach 1969—1974 opracowano na podstawie materiałów stacji naukowo-badawczej Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Szymbarku. Wykorzystano także dane opadowe dla zlewni Ropy z publikowanych materiałów Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Dla zlewni Bystrzanki (13,6 km²) dysponowano danymi dotyczącymi opadów dobowych z 9 deszczomierzy, pluwiografu i okresowo funkcjonującego totalizatora. Stanowiska pomiarowe rozmieszczone były w całym profilu pionowym zlewni (ryc. 3), co pozwoliło na dokładne rozpoznanie przestrzennego zróżnicowania opadów w nawiązaniu do rzeźby terenu (R. Soja 1977). Danymi uzupełniającymi były pomiary miąższości pokrywy śnieżnej, zapasu wody w pokrywie śnieżnej, temperatury powietrza i gruntu wykonywane w zlewni Bystrzanki. Opady w zlewni Ropy do Szymbarku opracowano na podstawie dobowych lub miesięcznych wysokości opadów na stacjach położonych w zlewni Ropy (stacje Wysowa, Kunkowa, Szymbark) oraz na stacjach położonych w sąsiedztwie (stacje: Bartne, Berest, Brunary, Ciężkowice, Glinik, Gorlice, Gródek, Grybów).

Materiał wyjściowy do obliczeń odpływu stanowiły godzinne wartości stanów wody z limnigrafów zainstalowanych przy ujściu Bystrzanki do Ropy i w korycie Ropy, w odległości 300 m poniżej ujścia Bystrzanki. Wielkość odpływu z wezbrań, wielkości odpływu miesięcznego itp. obliczano przez splanimetrowanie pola zawartego między krzywą natężenia przepływów a osiami wykresu. Do obliczeń związku między stanami wody a przepływem posłużyły pomiary przepływów wykonywane metodą młynkową lub wolumetryczną w zakresie niskich i średnich stanów wody. Przepływy wyższe obliczano na podstawie przekroju poprzecznego koryta i spadków zwierciadła wody. Jako pomocnicze dane wykorzystywano pomiary prędkości maksymalnej w czasie wezbrania, wykonywane pływakami na 120-metrowym odcinku koryta Ropy. Krzywe konsumcyjne wykonano, opierając się na ponad 800 pomiarach

http://rcin.org.pl

przepływów. W okresie zlodzenia koryta stosowano do obliczeń odpływu współczynniki redukcyjne przepływów obliczone na podstawie pomiarów wykonanych metodą młynkową. Przy obliczaniu współczynników redukcyjnych za podstawę przyjęto pomiary wykonane na niezamarzniętych odcinkach koryta lub na odcinkach, z których usunięto pokrywę lodową, co było konieczne z uwagi na duże błędy pomiarów wykonywanych bezpośrednio pod pokrywą lodową przy małej głębokości koryta. Zmiany poziomu koryta Ropy po wezbraniach stworzyły konieczność wykonania wielu krzywych konsumcyjnych o czasie ważności nie przekraczającym jednego roku. Wielkość pogłębiania koryta Ropy określano na podstawie pomiaru niwelatorem, a wyniki pomiarów wykorzystano także do obliczenia współczesnego tempa pogłębiania koryta Ropy (R. Soja 1977). Odpływ gruntowy obliczono metodą ścinania szczytów fal wezbraniowych i metodą Wundta. Retencyjność obu zlewni określono metodą proponowaną przez Dębskiego (1960, 1970). Pomiary spływu śródpokrywowego wykonane zostały na poletkach pomiarowych wspólnie z E. Gilem, po dostosowaniu do lokalnych warunków metodyki wypracowanej przez innych autorów (J. Hewlett 1961; C. Toebes, W. Ouryvaev 1970; J. Słupik 1973). Przepływy z cieków nie kontrolowanych obliczono na podstawie pomiarów w terenie śladów zwierciadła wielkiej wody, uwzględniając uwagi zawarte w pracy A. Stawnickiej-Stolarskiej (1963).

Sposoby opracowania materiałów na ogół zamykają się w typowych ujęciach wielokrotnie stosowanych w obliczeniach hydrologicznych. Przy obliczeniach zależności między elementami obiegu wody wyrażonymi w formie równań kierowano się zaleceniami i przykładami podawanymi w publikacjach o charakterze metodycznym (m. in. G. G. Maljewanyj, W. D. Pirjatin 1972; S. Gregory 1970; M. Ozga-Zielińska 1975).

Praca niniejsza stanowi pierwszą część rozprawy doktorskiej wykonanej w Zakładzie Geomorfologii i Hydrologii Gór i Wyżyn w Krakowie. Część druga — dotycząca zagadnienia wpływu zmian w użytkowaniu ziemi, jakie wystąpiły w zlewni Ropy po 1945 roku na odpływ z tej zlewni — będzie przedmiotem oddzielnej publikacji.

Serdecznie dziękuję promotorowi prof. dr L. Starklowi za opiekę naukową w czasie pisania pracy, składam wyrazy wdzięczności prof. dr. T. Wilgatowi i doc. dr. J. Punzetowi za wiele cennych uwag. Dziękuję również dr. E. Gilowi i pracownikom Stacji w Szymbarku za pomoc w prowadzeniu badań terenowych.

http://rcin.org.pl

CECHY TERENU A OBIEG WODY W ZLEWNI BYSTRZANKI I ROPY

Wzajemne powiązania między budową geologiczną, rzeźbą, klimatem i szatą roślinną decydują o stosunkach wodnych w zlewni. Podkreślenie tych cech środowiska, które najsilniej wpływają na obieg wody, a zwłaszcza na transformację opadu w odpływ, jest konieczne z uwagi na omawianie w dalszej części pracy tylko wybranych elementów obiegu wody.

Cała zlewnia Ropy znajduje się w zasięgu płaszczowiny magurskiej i śląskiej. Odporne piaskowce płaszczowiny magurskiej wyznaczają granicę Beskidu Niskiego widoczną w terenie jako stromy próg. W zlewni Ropy do Szymbarku największe znaczenie rzeźbotwórcze posiadają piaskowce magurskie, podścielone mało odpornymi pstrymi łupkami eoceńskimi i piaskowocowo-łupkowatymi utworami warstw inoceramowych (H. Kozikowski 1956; H. Świdziński 1973). Grzbiety górskie mają charakter synklinalnych wzniesień w części południowej i izolowanych pagórów o inwersyjnej rzeźbie w części północnej (L. Starkel 1972). Szersze rozprzestrzenienie małoodpornych warstw inoceramowych zaznacza się występowaniem obniżeń, często o kotlinowym charakterze (obniżenie Gładyszowa, źródłowa część doliny Zdyni). Ważne z hydrologicznego punktu widzenia jest występowanie piaskowców magurskich w położeniu wierzchowinowym. Uszczelinione piaskowce magurskie stanowią obszar jedynych wydajniejszych zbiorników wód gruntowych (H. Świdziński 1973). Zalegające poniżej łupki pstre i warstwy beloweskie są utworami w zasadzie nieprzepuszczalnymi, co jest przyczyną funkcjonowania źródeł w strefach kontaktowych. Częste na połogich stokach podmokłości, młaki, a także złaziska i płytkie ruchy masowe, spowodowane są wypływami wody z wyżej położonych piaskowców magurskich. Zasobność zbiorników wód podziemnych w warstwach inoceramowych i krośnieńskich jest niewielka (Z. Ziemońska 1973). W zlewni Bystrzanki i w zlewniach sąsiednich J. Niemirowska stwierdziła na podstawie kartowania hydrograficznego lokalne występowanie zbiorników wód podziemnych w tych utworach (L. Dauksza i in. 1970). Szybkie wahania zwierciadła wody sięgające 4 m i na ogół tylko okresowo czynne źródła wskazują na uzależnienie wydajności tego zbiornika od opadów atmosferycznych. Wody pokryw zwietrzelinowych i aluwiów są najczęściej użytkowane, a jednocześnie cechuje je całkowita zależność od przebiegu pogody.

http://rcin.org.pl

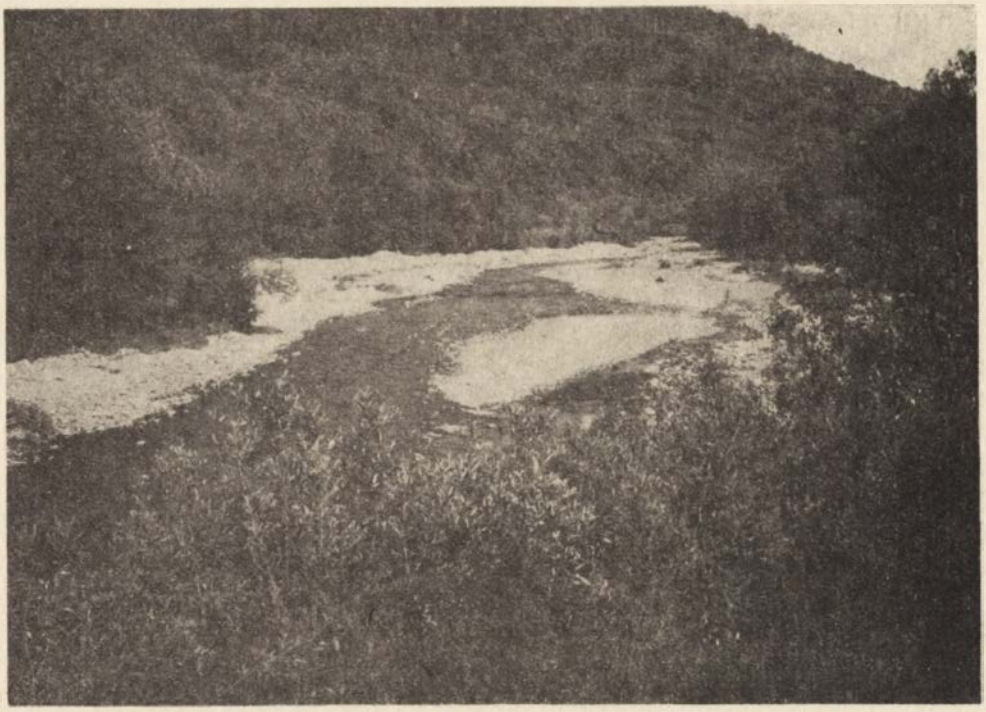
Wpływ na zasobność zbiorników wód podziemnych w utworach skalnych i pośrednio w utworach zwietrzelinowych ma w rejonie Szymbarku tektonika. Dużą liczbę stałych i wydajnych źródeł na południowych stokach Maślanej Góry w Szymbarku należy wiązać z systemem uskoków umożliwiających głębsze krążenie wody. Zdaniem H. Niedzielskiego (1974) szczeliny przewodzące wodę we fliszu sięgają 50—80 m poniżej powierzchni terenu, z tym że szczeliny poniżej 15 metrów od powierzchni terenu mogą być wyłącznie pochodzenia tektonicznego. Poza silnie zaangażowaną tektonicznie brzeżną strefą Beskidu Niskiego (rejon Szymbarku) strefy uskokowe znajdują się w środkowej i południowej części zlewni (W. Węcławik 1969), co może być przyczyną lokalnego występowania większych zasobów wód gruntowych.

W budowie geologicznej zlewni Bystrzanki piaskowce magurskie zajmują mniej niż 30% powierzchni zlewni, budują najwyższe wzniesienie Maślanej Góry (754 m npm.). Piaskowce inoceramowe rozdzielone wkładkami pstrych łupków budują pozostałą, silnie przemodelowaną przez osuwiska część zlewni.

Główne rysy rzeźby terenu przedstawia mapka hipsometryczna zlewni Ropy do Szymbarku (ryc. 2). Wysokości bezwzględne, wpływające głównie na ilość dostarczanych opadów, zmieniają się w niewielkim zakresie. W północnej części zlewni wysokości bezwzględne sięgają 630—750 m, a w części południowej wzrastają do 800—850 m, w jednym szczycie przekraczając 900 m. Najwyższe wzniesienia zajmują jednak małe powierzchnie, tak w zlewni Ropy, jak i Bystrzanki. Cechą charakterystyczną rzeźby Beskidu Niskiego są zbliżone wysokości względne, w granicach 300—350 m, zarówno w północnej, jak i w południowej części pasma. Szerokie obniżenia, z często meandrowym przebiegiem koryt rzecznych, sąsiadują ze stromymi stokami wąskich pasm o przebiegu SE—NW. Nieregularny kształt zlewni Ropy jest rezultatem rusztowego charakteru rzeźby. Wykonana mapa izochron spływu wód powodziowych (ryc. 6) wskazuje, że wybitnie wysokie przepływy w zlewni Ropy poniżej Uścia Gorlickiego mogą być spowodowane nakładaniem się fal wezbraniowych ze zlewni Zdyni i górnej Ropy. Oprócz podwyższenia przepływów maksymalnych w wyniku nieregularnego kształtu zlewni zaznaczać się powinno także wydłużenie w czasie fali wezbrania, ponieważ spływ wód powodziowych ze zlewni Zdyni zachodzi wolniej niż ze zlewni Ropy.

Koryto Ropy sprzyja powstawaniu częstych w Karpatach anomalii przepływów w okresie niskich stanów wody. Poniżej wyciętych w skale odcinków koryta, w rozszerzeniach wypełnionych rumowiskiem rejestrowano zmniejszenie się przepływów maksymalnie o 28%. Zjawisko to w jeszcze większym stopniu dotyczy dopływów Ropy o powierzchni do 10 km². Cieki te w okresie niżówek nie zasilają często Ropy powierzchniowo, lecz na drodze przepływu podziemnego w utworach własnych stożków napływowych.

http://rcin.org.pl

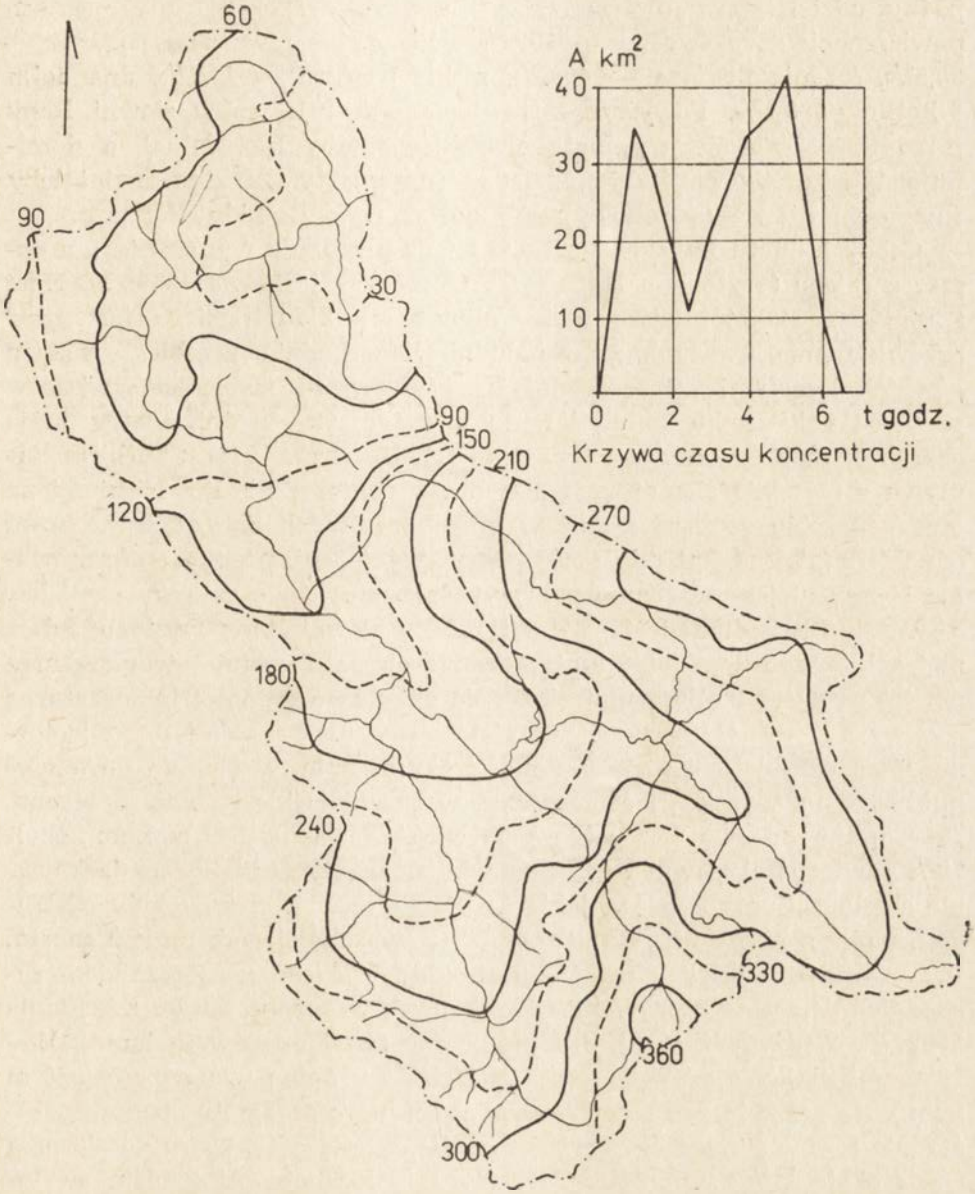


Fot. 5. Koryto Ropy w Łosiu

Cechą charakterystyczną zlewni Ropy jest występowanie osuwisk zajmujących niekiedy całe zlewnie o powierzchni kilku kilometrów kwadratowych. Z obserwacji terenowych wynika, że rola osuwisk w obiegu wody polega na drenowaniu warstw wodonośnych, czego przejawem jest istnienie stałego odpływu nawet w małych zlewniach silnie przemodelowanych przez osuwiska. Z drugiej strony wpływ osuwisk na obieg wody zaznacza się w okresie roztopowym i w czasie letnich opadów w postaci opóźniania spływu wody. Obszary osuwiskowe cechuje bogactwo powierzchniowych zjawisk wodnych w postaci trwałych i okresowych podmokłości, licznych źródeł w brzeżnych częściach osuwisk, a nawet powierzchniowych zbiorników wodnych (jeziorka o głębokości 4 m na osuwisku Sawickiego w Szymbarku).

Różnice w obiegu wody w zależności od rzeźby terenu zaznaczają się w całej zlewni i są podkreślane przez szatę roślinną. Strome beskidzkie stoki o nachyleniu powyżej 20°, okryte gruzowymi pokrywami zajęte są przez lasy. W tych obszarach, mimo dużych nachyleń, las praktycznie eliminuje możliwość powstawania spływu powierzchniowego nawet w okresie roztopowym (J. Słupik 1973). Stoki o charakterze pogórskim i nachyleniach 4—15° zajęte są przez pola orne, pastwiska, nieużytki i młode lasy. Gliniasto-ilaste pokrywy utrudniają infiltrację wód opadowych, rezlutatem czego jest gęsta sieć rozcięć odprowadzających wodę, a także lokalne, śródstokowe podmokłości. Wierzchowiny garbów o pogórskim

http://rcin.org.pl



Ryc. 6. Izochrony spływu wód powodziowych (w min.) w zlewni Ropy do Szymbarku obliczone metodą J. Lambora (1971)

Equal time distribution lines of flood waters (in min.), calculations by Lambor's method (1971)

typie rzeźby są z reguły przesuszone, podczas gdy podnóża stoków i przyległe części den dolin są nadmiernie wilgotne w ciągu całego roku. Do typu rzeźby nawiązują pewne elementy obiegu wody, jak spływ powierzchniowy, infiltracja, powierzchniowe zjawiska wodne. L. Starkel (1972)

http://rcin.org.pl

podaje udział typów (pięter) rzeźby dla Beskidu Niskiego w procentach powierzchni: góry średnie — 10,4%, góry niskie i wysokie pogórza — 30,5%, średnie pogórza — 40,6%, niskie pogórza — 15,4%, dna dolin i kotlin — 3,1%. Powyższe zestawienie wskazuje, że w zlewni Ropy tylko niewielkie obszary mają charakter rzeźby beskidzkiej, a dominuje typ rzeźby pogórskiej. Między innymi, tym faktem należałoby tłumaczyć niewielką retencyjność zlewni rzek Beskidu Niskiego.

Cechy klimatu Beskidu Niskiego i jego przedpola wyróżniają ten obszar z całego terytorium Karpat (B. Obrębska-Starklowa 1973; M. Hess i in. 1976). Najistotniejszą cechą klimatu Beskidu Niskiego jest silne przewietrzanie, uwarunkowane południowo-zachodnim przebiegiem pasm górskich i małymi wysokościami bezwzględnymi. Około 50% wiatrów pochodzi z kierunku południowego, a w tym 60—80 dni wiatry mają charakter zbliżony do typu fenowego (M. Hes i in. 1976). Skutkiem napływu z południa cieplejszych mas powietrza, w Beskidzie Niskim i na jego przedpolu częstsze są niż w innych regionach Karpat śródzimowe odwilże, mniejsza jest miąższość pokrywy śnieżnej, późniejsze formowanie i wcześniejsze zanikanie pokrywy śnieżnej.

Według klasyfikacji M. Hessa (1965) w zlewni Ropy występują dwa piętra klimatyczne. Piętro umiarkowanie ciepłe o średniej temperaturze powietrza 6—8° i piętro umiarkowanie chłodne o średniej temperaturze powietrza 4—6°. Granica między piętrami wyznaczona jest przez izotermę 6°, a przebiega ona na wysokości 620 m npm. w obrębie form wypukłych i na wysokości 460 m npm. w obrębie wklęsłych form terenu. Przeciętnie izoterma 6° przebiega na wysokości około 570 m npm., czyli 70% powierzchni zlewni Ropy do Szymbarku leży w piętrze umiarkowanie ciepłym. Sumy opadów, jakie notuje się na obszarze Beskidu Niskiego, są nieco niższe niż wynikałoby to z wysokości nad poziom morza. Przyczyna tego tkwi w położeniu Beskidu Niskiego poza zasięgiem zachodnich deszczy rozlewnych występujących w okresie letnim (K. Figuła 1962; T. Niedźwiedź 1972). Średnie roczne sumy opadów za lata 1951—1970 zmieniają się od 764 m w Gorlicach do 977 mm w Bartnem (568 m npm.). Na najwyższych szczytach wg obliczonego gradientu opadowego — średnie roczne sumy sięgają 1150 mm. W okresie od czerwca do sierpnia spada około 41% rocznej sumy opadów z maksymalnymi opadami w lipcu. Wysokie sumy opadów rocznych w wielu przypadkach wywołane są wybitnym zwiększeniem opadów w pojedynczych miesiącach, a nie w miarę równomiernym wzrostem opadów w kolejnych miesiącach. Przykładem takiego przebiegu opadów jest rok 1973, kiedy to w czerwcu w zlewni Ropy do Szymbarku opady przekroczyły 300 mm, przy znacznych niedoborach opadów w miesiącach wiosennych i jesiennych. Nieregularność zjawisk opadowych znajduje odbicie w niewyrównanym przebiegu odpływu ze zlewni. Mała retencyjność zlewni Ropy powoduje powstawanie głębokich niżówek, nawet w krótkich okresach bezdeszczowych. Ciągi bez-

http://rcin.org.pl

opadowe o czasie trwania powyżej 28 dni wywołują wyjątkowo głębokie niżówki, lecz występują rzadko. W latach 1954—1963 zanotowano dwa tak długie ciągi bezopadowe i cztery ciągi o długości trwania w granicach 18—28 dni. Ciągi bezopadowe o długości poniżej 18 dni powodujące wg A. Schmucka (1966) wystąpienie umiarkowanej posuchy i zaznaczające się wydatnym obniżeniem przepływu notowane są w zlewni Ropy corocznie w okresie wiosny i jesieni.

Pokrywa śnieżna formuje się w Beskidzie Niskim na początku drugiej dekady listopada. Miąższość pokrywy śnieżnej jest mała, przeciętnie około 30 cm. W niższych partiach zlewni Ropy, na stokach o południowej ekspozycji, a także w brzeżnej północnej części zlewni, w ciągu zimy pokrywa śnieżna dwu- lub trzykrotnie powstaje i zanika na skutek napływu ciepłych mas powietrza z południa. Cyrkulacja powietrza o charakterze fenowym może powodować zanik pokrywy śnieżnej na zboczach o ekspozycji północnej, podczas gdy w dnach dolin proces tajania nie występuje (B. Obrębska-Starkel 1973). Czas trwania roztopów śródzimowych i wiosennych uzależniony jest od typu roztopów (E. Kupczyk 1968). Częstsze w Beskidzie Niskim, niż w obszarach położonych na zachód, występowanie roztopów solarnych przyczynia się do powolnego spływu wód roztopowych.

Sposób użytkowania ziemi w zlewni Ropy jest typowy dla górskiego obszaru. Na podstawie przytoczonych wcześniej danych dotyczących klimatu można wnosić o stosunkowo korzystnych warunkach do prowadzenia gospodarki rolnej. Wielowiekowe użytkowanie ziemi doprowadziło w górskiej części zlewni do powstania mozaiki pól uprawnych i lasów. Grzbiety górskie były zajęte przeważnie przez pastwiska, na stromych stokach utrzymywały się różnowiekowe lasy, poniżej których ciągnęły się pastwiska, łąki i pola uprawne. Istniejąca do 1945 r. struktura użytkowania ziemi została całkowicie zmieniona po wysiedleniu miejscowej ludności. Wysiedleniem całkowitym objęto większość wsi w południowej części zlewni, a wysiedlenia częściowe objęły pozostałe wsie z wyjątkiem wsi Bystra leżącej w zlewni Bystrzanki. Zaprzestanie uprawy roli doprowadziło w krótkim okresie do zajęcia pól uprawnych przez zbiorowiska łąkowe. Łąki i pastwiska zajęte zostały przez zarośla olchy i młode lasy. Proces przemian w środowisku postępował bardzo szybko, czemu sprzyjał prawie całkowity brak ingerencji ze strony człowieka. Obniżeniu uległa granica rolno-leśna, która przed 1945 r. sięgała wysokości 700 m npm., a obecnie zeszła w niektórych obszarach do den dolin. Dwukrotnie wzrosła powierzchnia lasów, o połowę zmniejszyła się powierzchnia pól uprawnych. Jedynie w trzech wsiach, leżących w północnej części zlewni (Ropa, Szymbark, Bystra), nie wystąpiły większe zmiany w strukturze użytkowania ziemi.

http://rcin.org.pl

OPAD I ODPŁYW ZE ZLEWNI BYSTRZANKI I ROPY W LATACH 1969—1973

Zestawienie bilansowe w układzie opad—odpływ wykonano dla obu zlewni w przedziałach miesięcznych. Głównym celem zestawienia jest stwierdzenie podobieństw i różnic w miesięcznych i rocznych sumach opadu i odpływu ze zlewni Bystrzanki i Ropy. Do obliczeń należało przyjąć metodę pozwalającą na możliwie dokładne wyliczenie ilości wody dostarczanej do obu zlewni. Podstawą obliczeń sum opadów były dane zbierane na Stacji Naukowej w Szymbarku i materiały IMGW. W zlewni Bystrzanki, gdzie wielkość zlewni i rzeźba terenu zmuszała do szczegółowego rozpoznania stosunków opadowych, posłużono się siecią deszczomierzy (ryc. 3) założonych w różnych punktach zlewni, a także w najbliższym sąsiedztwie. Po czterech latach obserwacji i analizie zebranych materiałów opracowano metodę obliczenia opadów o stopniu dokładności wystarczającym dla postawionego celu. Przy opracowaniu metody brano pod uwagę istniejące sposoby obliczania opadów w obszarach górskich. Obliczenie opadów metodą izohiet było możliwe dla pojedynczych przypadków, lecz pracochłonność metody wykluczyła użycie jej do obliczeń miesięcznych sum opadów dla pięciolecia. Za pomocą izohiet obliczono tylko roczne sumy opadów. Wzięto także pod uwagę metodę krzywej hipsograficznej. Próby obliczeń wykonane tymi metodami nie dały dobrych wyników z uwagi na anomalie wywołane cieniem opadowym Maślanej Góry, wzniesienia osłaniającego zlewnię Bystrzanki od zachodu, z kierunku najbardziej deszczonośnych wiatrów. Obliczenie więc gradientu opadowego dla całej zlewni nie było możliwe. Po przeprowadzeniu szeregu prób przyjęto następujący sposób obliczenia wielkości opadów. W zlewni Bystrzanki wydzielono cztery pola, wykreślono oddzielne krzywe hipsograficzne i obliczono gradient opadowy. Zasięg pól (ryc. 3) wyznaczono na podstawie czteroletniej serii pomiarów, przyjmując za główne kryterium zbliżone sumy opadów miesięcznych w polu. Wykorzystując metodę krzywej hipsograficznej dla każdego pola obliczono sumy opadów z 24 miesięcy i ustalono, przez porównanie z sumami zmierzonymi w głównym deszczomierzu każdego pola, współczynniki zwiększające sumę opadów. Wielkość opadów dla pozostałych trzech lat pięciolecia obliczano przez zastosowanie otrzymanych współczynników, w któ-

http://rcin.org.pl

rych zawarty jest wpływ wysokości nad poziom morza na opady, a także lokalne zróżnicowanie opadów wynikające z rzeźby terenu. Sumę opadów dla całej zlewni obliczano według wzoru:

$$P = 1{,}05P_1 + 1{,}02P_2 + 1{,}04P_3 + 1{,}09P_4,$$

gdzie:

$P_1....P_4$ — sumy opadów zmierzone w deszczomierzu głównym dla danego pola.

Opady w zlewni Ropy do Szymbarku obliczono na podstawie miesięcznych sum opadów z siedmiu stacji położonych w zlewni Ropy lub w jej najbliższym sąsiedztwie. Stacje, z których wzięto dane leżą w przedziale wysokościowym 280—576 m npm. Na omawianym terenie brakuje stacji leżących w położeniach grzbietowych i większość z nich to stacje leżące w dnach dolin. Obliczanie miesięcznych sum opadów rozpoczęto od wyznaczenia rocznych sum za pomocą krzywej hipsograficznej dla całej zlewni Ropy do Szymbarku. Dla poszczególnych stacji obliczono roczne opady i średnią arytmetyczną dla zlewni. Ta ostatnia wartość była zawsze niższa od wartości opadów otrzymanych za pomocą krzywej hipsograficznej. Różnicę w wynikach obliczonych dwoma różnymi metodami, wyrażoną w procentach, przeniesiono na sumy opadów miesięcznych, wyrażonych także w procentach, w stosunku do sumy rocznej. Przykładowo — opad roczny według krzywej hipsograficznej wynosił 1000 mm, a opad obliczony ze średniej arytmetycznej wynosił 800 mm. Opad w lipcu (średnia ze wszystkich stacji) wynosi 128 mm, tj. 16% sumy opadów rocznych, co daje 160 mm dla całej zlewni z uwzględnieniem gradientu opadowego. Obliczenia wykonano przyjmując dla każdego roku pięciolecia oddzielnie obliczony gradient opadowy. Dla kontroli wykonano kilka obliczeń miesięcznych sum opadów za pomocą izohiet. Obliczenia te potwierdziły poprawność przyjętego sposobu obliczeń, różnice nie przekraczały 6% wartości.

Sumy opadów z lat 1969—1973 na tle wielolecia wskazują na nietypowy przebieg opadów. Do porównania użyto danych ze stacji Grybów (tab. 1). Tylko opady w kwietniu (średnie z pięciolecia) nie odbiegają od wartości wieloletnich. W innych miesiącach odchylenia sięgają 40%. O niewielkiej średniej rocznej sumie opadów w Grybowie zadecydowały wyjątkowo niskie wielkości w zimowym półroczu. W latach 1969—1973 w letnim półroczu spadało 70% rocznej sumy, podczas gdy w latach 1951—1970 tylko 63%. Cechą charakterystyczną pięciolecia była wybitnie duża zmienność miesięcznych sum opadów, zwłaszcza w miesiącach od grudnia do lutego.

Opady roczne w zlewni Ropy są generalnie wyższe od sum opadów w zlewni Bystrzanki. Jedynie w 1969 r. opady w zlewni Bystrzanki były nieco wyższe (tab. 2, 3) a przyczyną w tym przypadku był jeden czerwcowy opad ulewny ograniczony wyłącznie do zlewni Bystrzanki, przy prawie jednakowych opadach w pozostałych miesiącach tego roku. Rok 1969,

http://rcin.org.pl

Tabela 1

Opady (w mm) w Grybowie w różnych okresach

Precipitation, mm, at Grybów for various periods

Okres	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI–IV	V–X	rok
1900–1959*	48	43	46	45	46	52	72	104	115	96	66	60	280	513	793
1951–1970	54	53	46	50	48	54	85	118	123	98	48	45	305	515	820
1969–1973	45	38	28	40	26	52	73	126	109	112	47	32	229	535	763

* — wg Z. Kaczorowskiej (1962)

http://rcin.org.pl

Tabela 2

Opad (*P*) i odpływ (*H*) w mm w zlewni Bystrzanki w latach 1969—1973

Precipitation, (P) and runoff (H), mm, the Bystrzanka basin 1969—1973

	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI—IV	V—X	XI—X
								1969							
P	49	20	35	22	35	46	32	158	80	202	6	32	205	510	715
H	26	8	6	15	16	34	6	14	24	74	7	5	105	130	235
								1970							
P	35	47	62	51	43	87	92	187	271	172	44	63	325	829	1154
H	3	5	33	4	71	54	24	123	174	46	11	16	170	394	564
								1971							
P	56	69	10	57	26	55	95	124	86	97	46	30	273	478	751
H	23	24	25	28	41	19	32	19	24	5	2	2	160	84	244
								1972							
P	56	90	21	17	14	96	123	172	55	204	69	24	294	647	941
H	4	35	22	11	3	30	30	31	24	73	22	15	105	195	300
								1973							
P	52	10	23	91	25	34	65	270	154	46	56	29	235	623	858
H	22	18	6	42	73	18	4	87	91	8	4	4	179	198	377

http://rcin.org.pl

Tabela 3

Opad (*P*) i odpływ (*H*) w mm w zlewni Ropy do Szymbarku w latach 1969—1973

Precipitation, (*P*) and runoff (*H*), mm, the Ropa catchment extending to Szymbark, 1969—1973

	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI–IV	V–X	XI–X
								1969							
P	49	20	31	26	29	44	33	129	75	192	10	35	199	477	673
H	22	12	14	21	20	57	7	20	21	83	6	4	146	143	289
								1970							
P	44	56	66	66	52	98	104	186	264	150	54	68	382	826	1208
H	6	6	42	13	77	82	34	48	159	46	9	15	226	311	537
								1971							
P	73	84	11	62	36	47	84	131	115	120	60	35	313	545	858
H	33	36	36	38	65	19	21	12	36	7	6	6	227	88	315
								1972							
P	66	92	20	18	14	103	134	164	46	242	89	38	313	715	1026
H	13	72	9	12	12	32	36	32	9	66	28	20	150	191	341
								1973							
P	62	11	38	96	43	56	89	318	195	40	69	33	306	744	1050
H	25	25	9	41	81	40	16	74	120	20	7	7	221	244	465

http://rcin.org.pl

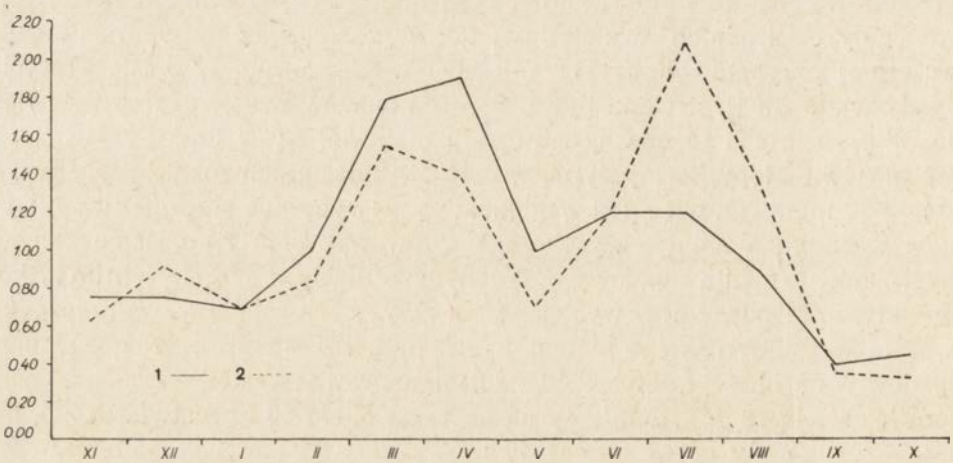
jako rok wybitnie suchy zasługuje na szczególną uwagę. Roczne opady w zlewni Ropy w 1969 r. były niższe od opadów w letnich półroczach w pozostałych latach pięciolecia (tab. 3). Sytuacji takiej nie zanotowano w zlewni Bystrzanki, gdzie jedynie wybitnie wilgotne półrocze letnie 1970 r. miało wyższą sumę opadów niż cały rok 1969. Także rok 1970 był nietypowy. W obu zlewniach sumy opadów sięgały 1200 mm co jest wartością wyjątkową nawet na tle sześćdziesięciolecia. Porównując wysokość opadów w tych dwu tak różnych latach, należy stwierdzić, że różnice między dwoma zlewniami nie były duże, sięgały zaledwie 5% zarówno w roku bardzo wilgotnym, jak i w roku suchym. W pozostałych latach pięciolecia, kiedy sumy rocznych opadów układały się nieco powyżej średnich wieloletnich, różnice w wysokościach opadów między dwoma zlewniami były wyższe, sięgały 10%. Jak podkreślono wcześniej, duży wpływ na wysokość opadów mają pojedyncze ulewy występujące w miesiącach letnich. Zasięg ulew jest niewielki, nie przekracza najczęściej 50—70 km². Ulewy te z reguły obejmują całą zlewnię Bystrzanki i tylko część zlewni Ropy. Po przeliczeniu wysokości opadów na całą zlewnię Ropy (303 km²) otrzymujemy opady zdecydowanie niższe niż w zlewni Bystrzanki. W ten sposób, pośrednio, zaznacza się wpływ wielkości zlewni na wysokość opadów. Najwyższe opady miesięczne sięgały 318 mm, najniższe 10 mm w zlewni Ropy i odpowiednio 271 mm i 6 mm w zlewni Bystrzanki. Miesięczne sumy opadów zdecydowanie odbiegające od średniej wystąpiły w czerwcu i sierpniu 1969 r., czerwcu, lipcu i sierpniu 1970 r., czerwcu i sierpniu 1972 i w czerwcu 1973 r. Były to miesiące o opadach wysokich. Opady niskie zanotowano we wrześniu 1969 r., lipcu 1972, w styczniu 1971 i 1972 r. W wymienionych miesiącach różnice procentowe w wysokości opadów między dwoma zlewniami były małe (poza jednym przypadkiem). Większe procentowo różnice zanotowano w tych miesiącach, w których opady nie odbiegały od średnich wieloletnich tak wyraźnie, jak w wymienionych wcześniej przypadkach. Liczba miesięcy w pięcioleciu, w czasie których opady w zlewni Bystrzanki były niższe od opadów w zlewni Ropy wynosi 45. W pozostałych 15 miesiącach opady w zlewni Bystrzanki były wyższe niż w zlewni Ropy, lecz jedynie w czterech miesiącach różnice były wyższe od 10 mm. Tak więc pod względem opadowym obie zlewnie mają zbliżone warunki, a różnice wysokości opadów wynikają z położenia zlewni Bystrzanki w cieniu opadowym. Pojedyńcze ulewy w okresie letnim tylko sporadycznie powodują występowanie wyższych opadów w położonej u czoła Beskidu Niskiego zlewni Bystrzanki. Przestrzenne zróżnicowanie opadów w najbliższym otoczeniu stacji naukowej jest bardzo złożone. Dysponując siecią 18 deszczomierzy na obszarze około 50 km² stwierdzono, że najczęściej opady ulewne osiągają najwyższe wysokości w dolinie Ropy i na pogórskich garbach. Zamknięte, śródgórskie obniżenia o charakterze kotlinowym (źródłowa część zlewni Bielanki) otrzymują zdecydowanie mniej opadów (R. Soja 1977) w czasie opadów rozlewnych stoki o ekspo-

http://rcin.org.pl

zycji zachodniej otrzymują o około 30% mniej opadów niż stoki o wschodniej ekspozycji leżące na tej samej wysokości nad poziomem morza.

Obliczono również współczynniki korelacji dla wartości miesięcznych sum opadów w zlewni Bystrzanki i Ropy (tab. 7). W każdym roku pięciolecia współczynnik korelacji dla opadów w obu zlewniach wynosił 0,99 czyli istnieje ścisła zależność między opadami w obu zlewniach. Zaznaczają się niewielkie różnice w wysokości opadów, lecz zmianie wysokości opadów w jednej zlewni odpowiada prawie jednakowa zmiana wysokości opadów w drugiej zlewni.

Duże podobieństwo opadowe obu zlewni ułatwia analizę odpływu. Odpływ obliczono na podstawie godzinnych wartości odpływu w dwu profilach wodowskazowych zamykających badane zlewnie. Zestawienia w tabelach 2 i 3 zawierają wartości okresowe odpływu w mm, a tabele 4, 5 podają średnie przepływy w m^3/sek. Zwraca uwagę bardzo nietypowy przebieg odpływu w latach 1969—1973 na tle okresu 1951—1970. Do porównania dwu okresów użyto współczynnik przepływów miesięcznych (ryc. 7). Najmniejsze odchylenia wartości współczynnika przepływów miesięcznych, czyli największe podobieństwo, stwierdzono dla stycznia, czerwca i września. W pozostałych miesiącach występują bardzo duże różnice, z maksymalną wartością w lipcu. Wysokie opady w półroczu letnim spowodowały zmianę stosunku przepływów półrocza zimowego do letniego. W Karpatach odpływ z półrocza zimowego jest wyższy niż odpływ letniego półrocza. Średnie przepływy półroczne dla okresu 1969—1970 są w zlewni Ropy jednakowe. W zlewni Bystrzanki średni przepływ półrocza letniego jest wyższy o 30% od średniego przepływu dla półrocza zimowego, co wydaje się być sytuacją nietypową dla okresu 5 lat.



Ryc. 7. Współczynniki przepływów miesięcznych Ropy w Szymbarku
1 — 1951—1970; 2 — 1969—1973

Discharge coefficients per month, the Ropa catchment at Szymbark
1 — 1951—1970; 2 — 1969—1973

http://rcin.org.pl

Odpływ roczny ze zlewni Ropy jest wyższy niż ze zlewni Bystrzanki. W roku suchym (1969 r.) odpływ ze zlewni Ropy, mimo niższych w tej zlewni opadów, był wyższy niż ze zlewni Bystrzanki. W wilgotnym 1970 r., suma odpływu ze zlewni Bystrzanki przewyższała odpływ ze zlewni Ropy. Podobnie jak w przypadku opadów w 1969 r., o wyższej sumie odpływu ze zlewni Bystrzanki w 1970 r. zadecydował odpływ tylko jednego miesiąca (czerwiec 1970, tab. 2, 3). W miesiącu tym wystąpił przypadek skrajnej w pięcioleciu nieregularności miesięcznego odpływu z obu zlewni: Bystrzanka 123 mm, Ropa 48 mm przy zbliżonych sumach opadów. Roczny odpływ w obu zlewniach jest bardziej zróżnicowany niż opad. Nieregularność odpływów rocznych (stosunek najwyższego odpływu do najniższego) w zlewni Bystrzanki wynosi 2,4, a dla opadów w tej zlewni 1,6. W zlewni Ropy odpowiednie wartości dla odpływu wynoszą 1,9, a dla opadu 1,8. Tak więc w skali rocznej odpływ ze zlewni Ropy jest mniej zmienny niż ze zlewni Bystrzanki. To samo zjawisko występuje w odniesieniu do odpływu w półroczach hydrologicznych. Nieregularność odpływu miesięcznego w pięcioleciu wynosiła 40 dla zlewni Ropy i aż 87 dla zlewni Bystrzanki. Można przyjąć, że w odniesieniu do nieregularności odpływów miesięcznych są to wartości bardzo wysokie, o czym świadczą bezwzględne wielkości skrajnych odpływów miesięcznych: najwyższy miesięczny odpływ ze zlewni Ropy wynosił 159 mm, najniższy 4 mm a w zlewni Bystrzanki odpowiednio 174 mm i 2 mm. Z uwagi na wielkość odpływów, trudno oczekiwać przekroczenia tych wartości.

Miesięczny odpływ ze zlewni Ropy był w ciągu 45 miesięcy wyższy od odpływów ze zlewni Bystrzanki, tj. w tej samej liczbie miesięcy jak w przypadku opadów. W ciągu pozostałych 15 miesięcy pięciolecia odpływy ze zlewni Bystrzanki były wyższe, a w ciągu 8 miesięcy różnica wynosiła więcej niż 5 mm. Na tle opadów, omówionych wcześniej w ten sam sposób, rysuje się odrębność obu zlewni w zakresie odpływu. Przy małych różnicach w opadach między zlewniami, różnice w odpływie są wyraźniejsze, co świadczy o nieco innym kształtowaniu odpływu.

Całościowy wpływ środowiska na odpływ zamyka się we współczynniku odpływu (tab. 6). Wielkość współczynnika odpływu dla kolejnych lat pięciolecia wykazuje najmniejszą zmienność, a skrajne wartości współczynnika sięgają 32—44% w zlewni Bystrzanki i 33—44% w zlewni Ropy. Są to więc prawie jednakowe wartości. Rozpatrując kolejne lata stwierdzamy większe różnice. W zależności od wielkości opadów (rok suchy lub wilgotny) wielkość współczynnika jest różna. W pozostałych latach (1971—1973) wielkość współczynnika odpływu dla całego roku jest jednakowa (1973 r.) lub różnice są niewielkie. W półroczach hydrologicznych występują już duże rozbieżności, z tym że większe różnice występują w zimowym półroczu. Dla siedmiu miesięcy tego okresu otrzymano współczynniki odpływu wyższe od wartości 100%, w tym także dla września 1969 r. Ten ostatni przypadek spowodowany był wystąpieniem wysokiego

http://rcin.org.pl

Tabela 4

Średnie miesięczne przepływy (w m^3/s) Bystrzanki w latach 1969—1973

Mean monthly discharges, m^3/s, of the Bystrzanka stream, 1969—1973

	1969	1970	1971	1972	1973
XI	0,137	0,022	0,119	0,018	0,116
XII	0,044	0,024	0,122	0,176	0,090
I	0,031	0,169	0,129	0,019	0,030
II	0,086	0,020	0,157	0,058	0,235
III	0,082	0,360	0,207	0,016	0,370
IV	0,178	0,282	0,098	0,160	0,095
V	0,029	0,124	0,161	0,153	0,022
VI	0,075	0,644	0,100	0,163	0,465
VII	0,123	0,886	0,124	0,123	0,461
VIII	0,374	0,233	0,024	0,369	0,042
IX	0,036	0,058	0,012	0,115	0,023
X	0,023	0,079	0,013	0,076	0,021
XI—IV	0,093	0,146	0,139	0,074	0,156
V—X	0,108	0,337	0,072	0,166	0,171
XI—X	0,100	0,242	0,105	0,120	0,163

Tabela 5

Średnie miesięczne przepływy (w m^3/s) Ropy w Szymbarku w latach 1969—1973

Mean monthly discharges, m^3/s, of the Ropa river at Szymbark 1969—1973

	1969	1970	1971	1972	1973
XI	2,612	0,660	3,902	1,483	2,925
XII	1,354	0,652	4,044	8,172	2,789
I	1,572	4,746	4,036	1,026	0,994
II	2,615	1,632	4,815	1,427	5,101
III	2,220	8,718	7,339	1,414	9,118
IV	6,699	9,554	1,265	3,747	4,669
V	0,778	3,882	2,334	4,062	1,834
VI	2,387	5,622	1,422	3,735	8,709
VII	2,429	17,999	4,040	1,017	13,597
VIII	9,554	5,186	0,788	7,430	2,237
IX	0,752	1,020	0,709	3,240	0,875
X	0,490	1,739	0,722	2,210	0,785
XI—IV	2,845	4,327	4,233	2,878	4,266
V—X	2,732	5,908	1,669	3,615	4,673
XI—X	2,788	5,118	2,951	3,247	4,469

http://rcin.org.pl

Tabela 6

Stosunek odpływu do opadu (w %) w zlewniach Bystrzanki i Ropy w Szymbarku w latach 1969-1973

Relation of runoff to precipitation, precentage, the Bystrzanka and Ropa drainage basins, 1969—1973

	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI–IV	V–X	XI–X
								1969							
Bystrzanka	53	40	18	68	46	74	19	9	30	37	117	16	51	25	33
Ropa	45	60	45	81	69	130	21	16	28	44	60	11	73	30	43
								1970							
Bystrzanka	9	11	53	8	165	62	26	66	64	27	25	25	52	48	49
Ropa	14	11	64	20	148	84	35	26	60	31	17	22	59	38	44
								1971							
Bystrzanka	41	35	254	49	157	34	33	15	28	5	5	8	59	18	32
Ropa	45	43	327	61	180	40	25	9	31	6	10	17	72	16	37
								1972							
Bystrzanka	7	38	103	63	22	32	24	18	44	36	32	62	36	30	32
Ropa	20	78	45	67	86	31	27	20	20	27	31	53	48	27	35
								1973							
Bystrzanka	42	180	26	46	292	53	6	32	58	17	7	14	76	32	44
Ropa	40	227	24	42	188	71	18	23	63	50	10	21	72	35	44

http://rcin.org.pl

opadu 31 sierpnia, a odpływ z tego opadu należało już zaliczyć do września, co przy 10 mm wysokości wrześniowych opadów dało tak specyficzną dla tej pory roku wartość współczynnika odpływu. Uderzająco niskie są wartości współczynnika odpływu w maju i w czerwcu w każdym roku pięciolecia, przy wysokich, przekraczających średnie wieloletnie, sumach opadów. W czerwcu 1969 r. opad w zlewni Bystrzanki wynosił 158 mm, odpływ 14 mm, a współczynnik odpływu tylko 9%. Opady każdego czerwca w pięcioleciu przekraczały średnie z wielolecia o 30—150% (tab. 2, 3), co nie zaznaczało się zwiększonym odpływem w tym miesiącu (ryc. 7). Jedynie w czerwcu 1970 r. współczynnik odpływu w zlewni Bystrzanki osiągnął wartość 66%, a przyczyną tego było kilka kolejno po sobie następujących wezbrań, dających coraz wyższe wartości współczynnika odpływu.

W okresie badanego pięciolecia współczynnik odpływu był w ciągu 39 miesięcy wyższy w zlewni Ropy niż w zlewni Bystrzanki. Po odliczeniu przypadków, kiedy nastąpiło zwiększenie wysokości współczynnika odpływu przez opady w ostatnim dniu miesiąca poprzedzającego, liczba miesięcy o wyższym współczynniku w zlewni Ropy wzrasta do 43. Tak więc, zarówno pod względem liczby miesięcy z opadem, odpływem jak i współczynnikiem odpływu wyższym, w zlewni Ropy występuje prawie całkowita zgodność. W okresie 15—17 miesięcy, kiedy opad, odpływ i współczynnik odpływu były wyższe w zlewni Bystrzanki aniżeli w zlewni Ropy, największe różnice zaznaczyły się w wysokości odpływu w mm, następnie w wielkości współczynnika odpływu, natomiast zupełnie małe różnice były w wielkości opadów.

W następnym etapie badań obliczono współczynniki korelacji (tab. 7) i równania regresji dla miesięcznych wartości w poszczególnych latach w cyklu rocznym i pięcioletnim. Z charakteru zależności wynikają dodatnie wartości współczynnika korelacji. Prawdopodobieństwo otrzymania przypadkowych wartości jest niższe od 0,1% według testu *t* Studenta. Współczynniki korelacji miesięcznych sum opadów są bliskie jedności, zmiany wysokości opadów w jednej zlewni znajdują pełne odbicie w zlewni drugiej.

Współczynniki korelacji średnich miesięcznych przepływów (tym samym odpływu w milimetrach, odpływu jednostkowego w 1 s/km^2) wahają się w znacznie większych granicach niż współczynniki odliczone dla opadów. Najniższy współczynnik korelacji przepływów wynosi 0,82 (1972 r.), a najwyższy 0,96 (1969 r.). Współczynniki korelacji obliczone dla współczynnika odpływu w kolejnych latach pięciolecia mają jeszcze większe odchylenia (tab. 7). Współczynniki korelacji dla całego pięciolecia (60 miesięcy) mają następujące wartości: opad 0,99, przepływ 0,89, współczynnik odpływu 0,94. Stosując współczynnik determinacji (S. Gregory 1976), określający w jakim stopniu zmienność danego elementu (w tym przypadku miesięczne wartości opadu, odpływu i współczynnik odpływu) w jednej

http://rcin.org.pl

zlewni jest zdeterminowana przez zmienność tego samego elementu w drugiej zlewni, otrzymujemy następujące wartości: zmienność opadu w 2%, przepływ w 21% i współczynnik odpływu w 12% w zlewni Bystrzanki nie da się oszacować na podstawie zmienności tych samych elementów w zlewni Ropy. Zależność tę można przedstawić odwrotnie. Zmienność opadu w zlewni Bystrzanki nawiązuje w 98% do zmienności opadów w zlewni Ropy i kolejno odpływ w 79%, współczynnik odpływu w 88%. Przedstawione zależności można traktować dowolnie, a ponieważ zlewnia Bystrzanki jest cząstkową zlewnią Ropy, bardziej słuszne jest mówienie o zależności odpływu i współczynika odpływu w zlewni Ropy od zlewni Bystrzanki, mimo zasadniczej różnicy wielkości. Wielkość współczynnika korelacji przepływów tylko w dwu latach nawiązuje do wielkości współczynnika korelacji obliczonego dla współczynnika odpływu. W pozostałych latach różnice tych dwu wielkości są dość znaczne (tab. 7). Na tle współczynnika korelacji opadów, różnice między współczynnikami korelacji przepływów (odpływu) i współczynnika odpływu wskazują, że zmiany wielkości tych parametrów w jednej zlewni w dużej mierze, lecz nie całkowicie nawiązują do zmian w drugiej zlewni. O wielkości współczynnika odpływu decyduje wysokość opadu i wielkość odpływu powstającego przez transformację opadu w zlewni. Z kolei przepływ jest funkcją opadu i współczynnika odpływu. Wyższe wartości współczynnika korelacji obliczonego dla współczynnika odpływu wskazują, że reakcja zlewni przy różnych zmieniających się miesięcznych sumach opadów jest bardziej zbliżona niż w stosunku do przepływów.

Tabela 7

Współczynniki korelacji miesięcznych wartości opadu, odpływu i współczynnika odpływu w zlewni Bystrzanki i Ropy

Corelation coefficiens of monthly precipitation and runoff values and of runoff coefficients, the Bystrzanka and Ropa drainage basins, 1969—1973

Rok	Opad	Odpływ	Współczynnik odpływu
1969	0,99	0,96	0,90
1970	0,99	0,88	0,97
1971	0,99	0,85	0,99
1972	0,99	0,82	0,82
1973	0,99	0,95	0,94
1969—1973	0,99	0,89	0,94

Zlewnia Ropy jest dwudziestodwukrotnie większa od zlewni Bystrzanki. Podstawowy parametr w hydrologii, jakim jest wielkość obszaru zasilania, w którym zamyka się zmienność środowiska, pośrednio wpływa na strukturę odpływu i jego przebieg w czasie. Jak wykazały badania

http://rcin.org.pl

J. Koniar-Schaeferowej (1975) z obszaru Karpat, zlewnie pierwszego i drugiego rzędu według klasyfikacji Hortona-Strahlera, tylko w ogólnym zarysie nawiązują do rytmu odpływu w zlewniach większych. W zlewniach jednostkowych o wielkości odpływu, jego strukturze i przebiegu w czasie decydują często lokalne warunki, np. większe uszczelinienie podłoża, rzeźba terenu, szata roślinna lub coraz częściej sposób rolniczego użytkowania i zagospodarowania zlewni. Wielkość odpływu w zlewniach jednostkowych podlega dużym wahaniom z roku na rok, co utrudnia lub nawet uniemożliwia gospodarcze wykorzystanie odpływu małych cieków. Zlewnie większe, rzędu kilku do kilkunastu kilometrów kwadratowych, cechuje stały odpływ, będący sumą zasilania ze zlewni cząstkowych. Zlewnia Bystrzanki należy do cieków stale prowadzących wodę. Jeśli przyjmiemy, że odpływ w zlewni większej jest sumą równomiernego zasilania cieku przez dopływy, to powinna wystąpić ścisła korelacja obserwowanych wielkości odpływu, bez względu na wielkość zlewni. Jest to uproszczenie znacznie bardziej złożonego systemu zasilania cieków. Brak danych dotyczących wielkości odpływu rocznego ze zlewni cząstkowych zmusza tu do uwzględnienia tylko udziału odpływu ze zlewni Bystrzanki w całkowitym odpływie ze zlewni Ropy. Rozpatrywano więc zależność między średnimi miesięcznymi przepływami w zlewni Bystrzanki i Ropy. Równania zamieszczone w tabeli 8 opisują tę zależność. Przy braku obserwacji wodowskazowych wykorzystać je można do obliczeń odpływu z innych zlewni zasilających Ropę. Ograniczeniem jest to, że przedstawione formuły dają poprawne wyniki tylko dla ściśle określonych lat, co wynika z dużej nieregularności odpływu w kolejnych latach pięciolecia.

Tabela 8

Zależność średniego miesięcznego przepływu w zlewni Bystrzanki ($Q_{śr\,B}$) od średniego miesięcznego przepływu w zlewni Ropy w Szymbarku ($Q_{śr\,R}$) w m^3/s

Relation of mean monthly discharges in the Bystrzanka basin (Q_{meanR}) extending to Szymbark, m^3/s basin (Q_{meanB}) to mean monthly discharges in the Ropa

Rok	Równanie regresji	Współczynnik korelacji
1969	$Q_{śr\,B} = 0{,}035Q_{śr\,R} + 0{,}003$	0,96
1970	$Q_{śr\,B} = 0{,}047Q_{śr\,R} + 0{,}001$	0,88
1971	$Q_{śr\,B} = 0{,}025Q_{śr\,R} + 0{,}030$	0,85
1972	$Q_{śr\,B} = 0{,}033Q_{śr\,R} + 0{,}012$	0,82
1972	$Q_{śr\,B} = 0{,}041Q_{śr\,R} + 0{,}020$	0,95

Z danych zawartych w tabelach 2—8 wynikają pewne prawidłowości odnoszące się od obu zlewni. Opady w zlewni Bystrzanki są średnio niższe o 8% w stosunku do zlewni Ropy. Miesięczne sumy opadów wyższych

http://rcin.org.pl

w zlewni Bystrzanki są wynikiem letnich ulew o charakterze lokalnym, są to przypadki sporadyczne. Odpływ ze zlewni Bystrzanki jest niższy o 12% w stosunku do odpływu ze zlewni Ropy w Szymbarku. Podane wartości wskazują, że przyczyną niższego odpływu ze zlewni Bystrzanki są nie tylko mniejsze opady, lecz także nieco inny wpływ całości środowiska na obieg wody. Współczynnik odpływu ze zlewni Bystrzanki jest niższy o 1% niż współczynnik odpływu ze zlewni Ropy. Przytoczone tu procentowe wartości odnoszą się do całego pięciolecia. Można przypuszczać, że różnice są wielkościami charakterystycznymi dla obu zlewni, mimo tego że lata 1969—1973 odbiegały od średnich wieloletnich i typowego przebiegu zjawisk hydrologicznych badanego obszaru.

http://rcin.org.pl

CHARAKTERYSTYKA WEZBRAŃ

Podziałowi stanów wody (przepływów) służą różnego rodzaju klasyfikacje, nadające odpowiednie rangi obserwowanemu stanowi wody. Podziały te wyróżniają w zależności od potrzeb wysokie, średnie, niskie stany wody (przepływy), stany o określonym czasie trwania, prawdopodobieństwie pojawiania się itp. Stosując podział najprostszy, mający genetyczne uzasadnienie, należałoby wyróżnić bardzo krótkie czasowo dostawy wody na obszar zlewni wywołujące wzrost przepływu (wezbrania) i długie dominujące czasowo okresy, kiedy przepływ jest wynikiem retencyjnych właściwości zlewni. Analiza wezbrań uściśla informacje o obiegu wody w zlewni wyprowadzone na podstawie stałych okresów (lata, miesiące). Krótkie czasowo okresy wezbrań mają decydujące znaczenie dla ilości wody odprowadzanej ze zlewni. W tym opracowaniu przyjęto za wezbranie każdy wzrost przepływu wody w cieku, wywołany opadami lub tajaniem śniegu, o wyraźnie zarysowanym kształcie fali wezbraniowej, pozwalającym na określenie liczbowych parametrów. Wielkość przepływu i suma opadów wywołująca wezbranie miały znaczenie pomocnicze. W tym ujęciu termin „wezbranie" jest najbardziej zbliżony do definicji podanej przez Z. Mikulskiego (1963 s. 164), który wezbraniem nazywa „...znaczne podniesienie się stanu wody płynącej....". (*Zarys Hydrografii Polski*). Jako jednostkę podstawową przyjęto pojedynczą falę wezbraniową, a do wydzielenia fal z wezbrania trwającego dłuższy czas posługiwano się zapisami termogramów (przy wezbraniach roztopowych) i pluwiogramów przy wezbraniach deszczowych.

Analizie poddano 115 fal ze zlewni Bystrzanki i 130 fal ze zlewni Ropy z lat 1969—1973. Wezbrania rozdzielono genetycznie na dwa typy: wezbrania roztopowe i opadowe. Do wezbrań roztopowych zaliczono te wszystkie przypadki, w których formowaniu wezbrania brały udział wody z tającego śniegu. W typie wezbrań roztopowych wyróżniono wezbrania (fale) z roztopów radiacyjnych (RR), wezbrania z roztopów wywołanych adwekcją (RA), wezbrania z roztopów wywołanych opadami (RO). W wezbraniach okresu tajania śniegu analizowano pojedyncze fale. W tym przypadku była możliwość ścisłego określenia czasowych granic danej fali nawet wtedy, gdy roztopy wywołane były adwekcją, a zakończone opadem deszczu. Dlatego też nie wyróżniano mieszanych typów roztopów i odpowiadających im mieszanych fal wezbraniowych.

http://rcin.org.pl

Jako przypadek szczególny traktowano fale wezbrań wtedy, gdy w czasie kulminacji przepływ był zakłócany przez zjawiska zatorowe. W takich sytuacjach szacowano największe natężenie przepływu. Fale okresu letniego podzielono na trzy rodzaje, warunkowane charakterem opadów. Wezbrania z deszczów rozlewnych (OR) cechowały się dużymi sumami opadów i długim czasem trwania opadów. Sumy opadów z deszczów rozlewnych przekraczały najczęściej 50 mm. Dla wysokich opadów o krótkim czasie trwania przyjęto określenie — opady ulewne (OU). Opady ulewne cechują się zmiennym w czasie natężeniem, zwłaszcza opady towarzyszące letnim burzom. Obrazem graficznym związku między natężeniem opadu i czasem trwania jest krzywa hiperboliczna (K. Chomicz 1951; A. Świątecki 1967). Deszcze ulewne mieszczą się w górnej i środkowej części krzywej, deszcze rozlewne w dolnej części krzywej hiperbolicznej. Nie każdy opad sklasyfikowany w zlewni Bystrzanki jako ulewny miał tę samą rangę w zlewni Ropy. Opady ulewne obejmują z jednakowym natężeniem obszary o powierzchni kilkudziesięciu kilometrów kwadratowych i nie pokrywają całej zlewni Ropy, lecz obejmują jej fragment.

Trzeci rodzaj opadów wywołujących wezbrania oznaczono OM i mieszczą się w nim wszystkie inne przypadki, zwłaszcza opadów jesiennych i wiosennych o małych sumach i natężeniach. Przyjęty podział nawiązuje do genetycznej klasyfikacji wezbrań J. Lambora (1954). W stosunku do klasyfikacji Lambora wyróżniono dodatkowo wezbrania z opadów o małych sumach i niewielkim natężeniu opadu oraz oparte na klasyfikacji wezbrań E. Kupczyk (1968) wyróżniono trzy rodzaje wezbrań roztopowych w zależności od dominującego czynnika powodującego tajanie pokrywy śnieżnej.

Podstawą oceny wielkości zarejestrowanych w pięcioleciu fal wezbraniowych jest określenie ich prawdopodobieństwa pojawiania się w profilu hydrometrycznym. Dla zlewni Ropy do Szymbarku prawdopodoobieństwo pojawiania się wielkich wód obliczono z profilu podłużnego Ropy, wykorzystując dane zawarte w pracy J. Punzeta (1977). W pracy tej autor obliczył wielkie wody prawdopodobne dla profilu hydrometrycznego Ropa—Ropa (245 km^2) leżącego powyżej Szymbarku i dla profilu Ropa—Klęczany (482 km^2). Wyniki obliczeń dla profilu hydrometrycznego Ropa—Szymbark zamieszczono w tabeli 9.

Ze 130 fal, jakie wystąpiły w zlewni Ropy w latach 1969—1973, przepływ maksymalny 20 m^3/s i wyższy przekroczyło 69 fal. Z tej liczby 43 fale miały przepływ maksymalny równy lub wyższy od 30 m^3/s. (czyli $p_{90\%}$). W tym zbiorze fal dominowały jeszcze fale okresu roztopowego. Przepływ maksymalny wyższy od 88 m^3/s ($p_{50\%}$) osiągnęło 10 fal, czyli woda występująca raz na dwa lata występowała średnio dwa razy w ciągu roku. Powyżej wartości 88 m^3/s były to już wyłącznie fale spowodowane opadami, żadne wezbranie roztopowe nie dało takiej wartości przepływu maksymalnego. Z 10 fal o $p_{50\%}$ trzy fale osiągnęły przepływ maksymalny na poziomie $p_{10\%}$ i po jednej fali na poziomie $p_{5\%}$

http://rcin.org.pl

i $p_{2\%}$. Z podanego wyliczenia wynika, że ponad połowa analizowanych fal miała przepływ maksymalny powyżej 20 m³/sek. W sumie lata 1969—1973 były okresem o bardzo częstym występowaniu wielkich wód w zlewni Ropy, zwłaszcza w okresie letnim. Wezbrania w półroczu zimowym były częste, ale nie osiągały większych rozmiarów.

Tabela 9

Wielkie wody prawdopodobne Ropy w Szymbarku obliczone na podstawie materiałów zawartych w pracy J. Punzeta (1975).

Probability of high flow occurrence on the Ropa at Szymbark

p w %	Q w m³/s	q w l/s km²
100%	20	66
90%	30	99
50%	88	290
10%	225	742
5%	282	930
2%	357	1180
1%	416	1370

Dla zlewni Bystrzanki wielkie wody prawdopodobne obliczono wzorem empirycznym J. Punzeta (1975; 1977). Wzór ten opracowany na materiale zebranym w karpackich zlewniach o powierzchni 23—500 km² oparty jest na zwyczajnej wielkiej wodzie ($Q_{50\%}$) i wartości $\varphi_{p\%}$ wyrażającej stosunek przepływu o zadanym prawdopodobieństwie występowania do zwyczajnej wody wielkiej $\left(\varphi_{p\%} = \frac{Q_{p\%}}{Q_{50\%}}\right)$, będącą funkcją współczynnika zmienności C_v. Współczynnik zmienności obliczono według wzoru:

$$C_v = \frac{3{,}027 \triangle W^{0{,}173}}{A^{0{,}102} L^{0{,}066}}.$$

Zwyczajną wielką wodę obliczono według wzoru:

$$Q_{50\%} = 0{,}00166\, A^{0{,}747} P^{0{,}536} N^{0{,}603} I^{-0{,}075},$$

gdzie:

A — powierzchnia w km²,
ΔW — różnica wzniesień między najwyżej położonymi źródłami w zlewni a wysokością profilu pomiarowego w km,
L — długość cieku od najdalej położonych źródeł w km,
P — normalny roczny opad w mm,
N — wskaźnik nieprzepuszczalności gleb w procentach,
I — umowny wskaźnik spadku ($\Delta W/L$).

http://rcin.org.pl

Wskaźnik nieprzepuszczalności gleb w zlewni Bystrzanki, jak też dla dwu cieków w rejonie Szymbarku, określono z map będących w posiadaniu IMGW w Krakowie. Wartości $\varphi_{p\%}$ w zależności od C_V zaczerpnięto z pracy J. Punzeta (1975). Zwyczajna wielka woda w zlewni Bystrzanki obliczona na tej podstawie wynosi 7,9 m³/s (q — 580 l/s km²) i kolejno wielkie wody prawdopodobne: $Q_{10\%}$ — 28,0 m³/s (q — 2058 l/s km²), $Q_{5\%}$ — 37,7 m³/s (q — 2772 l/s km²), $Q_{2\%}$ — 50,3 m³/s (q — 3698 l/s km²), $Q_{1\%}$ — 60 m³/s (q — 4411 l/s km²). Różnice w wielkościach spływu jednostkowego dla obu zlewni, dla wód o tym samym prawdopodobieństwie, wynikają głównie z różnej wielkości obu zlewni. Tym sposobem nie ma możliwości sprawdzenia poprawności wyników otrzymanych dla zlewni Bystrzanki. Należałoby natomiast oczekiwać, że w rozpatrywanych zbiorach fal z obu zlewni, liczba fal o tym samym prawdopodobieństwie powinna być zbliżona. W zlewni Bystrzanki liczba fal o przepływie maksymalnym równym lub wyższym od p_{50} wynosi 8, a w zlewni Ropy 10. Istotne różnice zaznaczają się w wodach o niższym prawdopodobieństwie. Z 8 fal o $p_{50\%}$ w zlewni Bystrzanki, tylko po jednej można zakwalifikować do $p_{10\%}$ i $p_{5\%}$. Najwyższe fale z 1973 i 1970 r. w zlewni Bystrzanki są zakwalifikowane o rząd niżej w stosunku do zlewni Ropy. Na przykład fala z lipca 1970 r. w zlewni Ropy przekroczyła wielkość przepływu maksymalnego obliczoną dla $p_{2\%}$, a w zlewni Bystrzanki zbliżyła się tylko do wartości obliczonej dla $p_{5\%}$. Na tej podstawie należałoby ocenić wartości wód prawdopodobnych, obliczone za pomocą podanego wzoru, jako zbyt duże dla zlewni Bystrzanki.

Dla uproszczenia terminologii w dalszej części pracy stosowano pojęcia: wezbranie (fala wezbraniowa) wysokie, średnie, niskie. Pod pojęciem wezbranie niskie rozumiano wezbranie, w czasie którego przepływ maksymalny nie przekroczył 0,900 m³/s w zlewni Bystrzanki i 20 m³/s w zlewni Ropy (są to wartości zbliżone do przepływu o $p_{100\%}$). Wezbraniem średnim nazywano wezbranie o przepływie maksymalnym do 3,9 m³/s w zlewni Bystrzanki i 88 m³/s w zlewni Ropy, a wezbraniem wysokim, gdy przepływ maksymalny przekroczył wartości wyżej podane. Przedziały wielkości przepływów maksymalnych nie nawiązują do najczęściej stosowanych klasyfikacji wezbrań pod względem wielkości. W pięciostopniowej klasyfikacji (Powódź... 1960), za brak wezbrania należałoby przyjąć przepływy niższe od 45 m³/s w zlewni Ropy w Szymbarku, gdzie średni roczny przepływ wynosi około 3,0 m³/s. Ponieważ przedmiotem analizy były znacznie niższe wezbrania, wynikła konieczność przyjęcia innego podziału.

Liczba wezbrań różnego typu w zlewniach Bystrzanki i Ropy:

	Zlewnia Bystrzanki	Zlewnia Ropy
wezbrania z opadów ulewnych (OU)	35	30
wezbrania z opadów rozlewnych (OR)	17	14
wezbrania z opadów o małej wydajności i małych sumach opadu (OM)	20	32

http://rcin.org.pl

	Zlewnia Bystrzanki	Zlewnia Ropy
wezbrania z roztopów radiacyjnych (RR)	14	35
wezbrania z roztopów adwekcyjnych (RA)	18	14
wezbrania roztopowo-opadowe (RO)	11	8

Liczebność wezbrań (fal wezbraniowych) jest różna w zależności od genezy. Duża różnica w liczbie wezbrań wywołanych roztopami radiacyjnymi wynika z faktu szybszego przebiegu roztopów radiacyjnych w zlewni Bystrzanki, która w całości eksponowana jest w kierunku południowym.

PARAMETRY CZASOWE FAL WEZBRANIOWYCH

Jednym z najważniejszych parametrów fali jest czas koncentracji. Pod pojęciem czasu koncentracji najczęściej jest rozumiany czas potrzebny do uformowania wezbrania, liczony od momentu wzrostu przepływu w cieku do kulminacji przepływu (J. Lambor 1971). Czas koncentracji wyznaczano z hydrogramów. Jeżeli czas koncentracji równy jest czasowi trwania deszczu, to rezultatem jest najwyższy możliwy w danych warunkach przepływ (Van Te Chow 1964; J. Stachy 1976). Spełnienie warunku zgodności czasu trwania deszczu i czasu koncentracji następuje rzadko i może dotyczyć małych zlewni w czasie opadów krótkotrwałych, a w przypadku większych zlewni w czasie długotrwałych deszczów rozlewnych.

Średnie wartości czasu koncentracji (w godzinach) dla wezbrań okresu letniego zestawiono w tabeli 10 z podziałem na genetycznie różne typy wezbrań i po odrzuceniu przypadków, w których nie było możliwości jednoznacznego określenia czasu koncentracji.

Średni czas koncentracji dla wszystkich wezbrań opadowych w zlewni Bystrzanki wynosi 7,1 godziny, a w zlewni Ropy 11,4 godziny. Odchylenia od wartości średnich są bardzo duże. W zlewni Bystrzanki wielokrotnie wystąpiły wezbrania o czasie koncentracji 1—2 godziny, ale także

Tabela 10

Średni czas koncentracji wezbrań opadowych (w godz.)

Mean time of rise, hours, high flows caused by excessive rainfall

Zlewnia	Typ wezbrań		
	OM	OU	OR
Bystrzanka	9,0	4,9	9,1
Ropa	13,7	9,0	11,0

http://rcin.org.pl

o czasie 15—24 godzin. W zlewni Ropy czasowa rozpiętość była jeszcze większa. W jednym przypadku czas koncentracji wezbrania wywołanego ulewą w rejonie punktu wodowskazowego wynosił tylko jedną godzinę, przy przepływie maksymalnym w wysokości 54 m^3/s. Rejestrowano także fale o czasie koncentracji w zlewni Ropy powyżej 40 godzin. Srednie czasy koncentracji wskazują na podobieństwa i różnice w czasowym formowaniu wezbrań. Tylko różnicy w wielkości zlewni należy przypisać większy o 4,3 godziny czas koncentracji fal w zlewni Ropy w stosunku do zlewni Bystrzanki. Średnie wielkości dla całego zbioru zacierają różnice jakie obserwuje się przy rozpatrywaniu różnych genetycznie fal (tab. 10). Należy zwrócić uwagę na to, że deszcze rozlewne i odpowiadające im fale OR, a także fale OM są wywołane przez opady obejmujące swym zasięgiem całą zlewnię Ropy, a różnice w czasie wynikają tylko z natężenia i sumy opadów. Wezbrania OM i OR w zlewni Bystrzanki mają prawie jednakowy czas koncentracji przy bardzo różnych wielkościach przepływu i odpływu. Zbliżony czas koncentracji wezbrań OR i OM (wartości średnie, a nie pojedyncze przypadki) wskazuje na to, że bez względu na wielkość opadu, czas formowania się wymienionych wezbrań (tym samym szybkość spływu wody) jest podobny w obu zlewniach. Szybkość przepływu wody w korycie podczas obu typów wezbrań jest różna, jednak mała długość cieków (zlewnia Bystrzanki) nie wpływa na wydatne skrócenie czasu koncentracji wezbrań dużych. Należałoby oczekiwać, że w zlewni większej, o dłuższej sieci odwodnienia, powinien zaznaczyć się wpływ prędkości przepływu wody w korycie na skrócenie czasu koncentracji. Potwierdzeniem tego jest krótszy o 2,7 godziny czas koncentracji wezbrań OR w stosunku do wezbrań OM w zlewni Ropy (tab. 10). Opady ulewne (OU) powodują wezbrania o najkrótszym czasie koncentracji. Różnica między dwoma zlewniami jest w tym przypadku największa i sięga 50%. Wezbrania z opadów ulewnych mają najczęściej bardzo szybki, niezróżnicowany w czasie wzrost przepływu od początku wezbrania do kulminacji. Występują także wezbrania o bardziej złożonym przebiegu ściśle nawiązującym do zmieniającego się natężenia opadów. Godzinna przerwa w opadach zaznacza się wydatnym spadkiem przepływu, co daje podwójną falę. Wezbrania roztopowe cechują się dużą stałością czasu koncentracji, zwłaszcza w czasie roztopów radiacyjnych. Na 35 fal wezbraniowych z roztopów radiacyjnych w zlewni Ropy 25 fal miało czas koncentracji w granicach 7—11 godzin, przy średniej wartości 10,0 godz. Podobna regularność zaznacza się też w zlewni Bystrzanki, gdzie średnia wartość czasu koncentracji tego rodzaju wezbrań jest niższa i wynosi 6,4 godz. Stałość czasu koncentracji wezbrań z roztopów radiacyjnych wynika z dobowej zmienności temperatur, ściśle nawiązując do jej przebiegu. Najwyższe przepływy w zlewni Bystrzanki, w okresie gdy tajanie śniegu uzależnione jest od insolacji, notowane są między godzinami 14—16, a w zlewni Ropy między godzinami 21—23. W czasie

http://rcin.org.pl

roztopów wywołanych adwekcją lub opadem deszczu w obu zlewniach występuje większa nieregularność czasu koncentracji, co jest wynikiem różnej reakcji obu zlewni. Czas koncentracji fal w czasie roztopów adwekcyjnych w zlewni Bystrzanki wynosi średnio 10,1 godz., w zlewni Ropy 17,5 godz. Jeszcze wyższe wartości notowano w czasie wezbrań roztopów wywołanych opadami: Bystrzanka 14,7 godz. Ropa 19,6 godz. W tym typie roztopów występują największe rozpiętości czasu koncentracji fal — od 8 do 26 godzin.

Czas trwania wezbrania liczony od momentu wzrostu przepływu do wyraźnego załamania krzywej natężenia przepływu w końcowej części wezbrania jest łatwy do określenia w zlewni Bystrzanki. W zlewni Ropy podczas wezbrań może występować zróżnicowane w czasie zasilanie cieku głównego przez boczne dopływy, co może wydłużyć czas trwania wezbrania, nie mając jednocześnie wpływu na czas koncentracji. Sredni czas trwania wezbrania opadowego w zlewni Bystrzanki wynosi 19,7 godz., a w zlewni Ropy 30,5 godz. Czas trwania wezbrania po kulminacji (czyli czas trwania wezbrania minus czas koncentracji) wynosi w zlewni Bystrzanki 12,6 godziny, a w zlewni Ropy 19,1 godz. Przyjmując za 100% czas trwania wezbrania w zlewni większej, czas trwania wezbrania opadowego w zlewni Bystrzanki stanowi 64%. Między dwoma zlewniami są różnice w czasie trwania wezbrań, różny jest także czas koncentracji. Rozpatrując w wartościach procentowych czas koncentracji w stosunku do czasu trwania wezbrania — okazuje się, że jest to w obu zlewniach wartość stała, wynosząca 36—37%.

Średnie czasy trwania wezbrań opadowych (tab. 11) należy rozpatrywać na tle czasu koncentracji (tab. 10). Wezbrania z opadów długotrwałych (OR) mają w obu zlewniach zbliżone czasy trwania, średnio w granicach 24 godz., i w tym typie wezbrań brak jest większych różnic. Wynika to z objęcia opadem w każdym przypadku całej zlewni i dużym nasyceniem podłoża. Natomiast wezbrania z opadów o małych sumach i słabym natężeniu, lecz trwających wiele godzin (OM) różnią się zdecydowanie pod względem czasu ich trwania w obu zlewniach. W zlewni Bystrzanki wezbrania tego typu trwają krócej o 13 godzin, czyli o 60%. Wpływ na tak znaczne wydłużenie czasu trwania wezbrań OM w zlewni Ropy ma długa sieć odwadniająca i mała szybkość płynięcia wody w czasie wezbrań osiągających niewielkie wartości przepływów maksymalnych. Wpływ wielkości zlewni jest w tym przypadku jednoznaczny. W zbliżony sposób wpływa długość sieci odwadniającej na czas trwania wezbrań z opadów krótkotrwałych (OU). Jeżeli opad tego rodzaju wystąpi w źródłowej części zlewni Ropy, to w Szymbarku fala wezbrania jest już silnie spłaszczona i wydłużona w czasie. W zlewni Bystrzanki fale wezbrań OU z niewielkim przesunięciem czasowym w zasadzie pokrywają się z opadem. W zlewni Ropy zależność ta jest słabsza i czas trwania wezbrania w mniejszym stopniu uzależniony jest od czasu trwania opadów.

http://rcin.org.pl

Tabela 11

Średni czas trwania wezbrań opadowych w zlewni Bystrzanki i Ropy w godzinach

Mean duration, hours, of high flows produced by rainfall, the Bystrzanka and Ropa catchments

Zlewnia	Typ wezbrania		
	OM	OU	OR
Bystrzanka	20,6	17,1	23,8
Ropa	33,6	21,1	24,9

Z czasem trwania wezbrania można wiązać wielkość odpływu. Zależność ta widoczna jest przy rozpatrywaniu wartości średnich, gdyż analiza pojedynczych wezbrań o różnej genezie daje bardzo zróżnicowane wyniki. Wykorzystując zebrane dane, dokonano próby określenia zależności pomiędzy wielkością odpływu a czasem trwania wezbrania, czego rezultatem są niżej zamieszczone równania. Stwierdzono, że wysokie wartości współczynników korelacji potwierdzają możliwość wykorzystania tej zależności w obliczeniach hydrologicznych, przy braku ciągłego zapisu stanów wody, czy w celach prognostycznych.

Opady rozlewne (OR), zlewnia Ropy: $H = 3{,}84t - 50{,}55$ $(r = 0{,}95)$
Opady ulewne (OU), zlewnia Ropy: $H = 0{,}28t + 0{,}75$ $(r = 0{,}98)$
Opady ulewne (OU), zlewnia Bystrzanki: $H = 0{,}34t + 1{,}14$ $(r = 0{,}98)$

gdzie: H — odpływ w mm, t — czas trwania wezbrania w godzinach. Dla wezbrań OM w obu zlewniach i wezbrań oznaczonych OR w zlewni Bystrzanki obliczone równania nie dają dobrych wyników. Liniowa zależność jest dużym uproszczeniem słusznym tylko dla jednej klasy wezbrań. Odpływ, jego wielkość i przebieg czasowy zmienia się w szerokim zakresie, czego przykładem są wezbrania, których parametry zamieszczono w tabelach 16, 17.

PRZEPŁYWY MAKSYMALNE I ŚREDNIE W CZASIE WEZBRAŃ

Przepływ Ropy w Szymbarku występujący co dwa lata ($Q_{50\%}$) wynosi 88 m^3/s, co odpowiada spływowi jednostkowemu 290 l/s km^2. W ciągu pięciu lat przepływ tej wielkości wystąpił dziesięciokrotnie w zlewni Ropy. Szacując przepływ $Q_{50\%}$ na 3,9 m^3/s w zlewni Bystrzanki, w 13 przypadkach wystąpiło przekroczenie tej wartości. W zlewni Ropy spływ jednostkowy powyżej 1000 l/s km^2 został przekroczony tylko w czasie jednego wezbrania i zbliżył się do tej wartości w czasie drugiego wezbrania. W zlewni Bystrzanki 7 fal wezbraniowych przekroczyło 1000 l/s km^2, z tym że w 2 przypadkach były to wezbrania o podwójnej fali. Najwyż-

http://rcin.org.pl

sze wartości spływu (przepływu) wystąpiły w czasie wezbrań OR, a wyższe wartości zawsze występowały w zlewni Bystrzanki. Następnie, najwyższe wartości spływu jednostkowego w obu zlewniach wywoływały wezbrania OU i OM. Kolejność ta jest zachowana także w przypadku rozpatrywania średnich wartości maksymalnych spływów jednostkowych fal o różnej genezie. Porównanie bezpośrednie maksymalnych wartości spływów jednostkowych w obu zlewniach jest trudne z uwagi na różną liczebność fal i dużą rozpiętość wartości. Bardziej obiektywny w tym przypadku jest stosunek średniego maksymalnego przepływu (spływu jednostkowego) w zlewni mniejszej do średniego maksymalnego przepływu (spływu jednostkowego) w zlewni większej. Wartość stosunku wynosi 1,55 dla wezbrań OR, 1,09 dla wezbrań OU i 1,00 dla wezbrań OM. Przy różnych wielkościach spływu jednostkowego, co wynika z wielkości zlewni, spływ jednostkowy najsilniej zróżnicowany jest w czasie opadów rozlewnych, gdy podłoże jest w pełni nasycone wodą, a odpływ uzależniony głównie od wysokości opadów. W tych jednolitych warunkach najsilniej różnicującym czynnikiem jest wielkość zlewni. Spostrzeżenia E. Gila (1976) wskazują, że na poletkach pomiarowych o powierzchni 0,03—0,05 ha maksymalny spływ jednostkowy w czasie opadów rozlewnych osiągał wartość około 20 000 l/s z hektara, czyli około 20 m^3/s z km^2. Wielkości tego rzędu nie można przeliczać jednak na powierzchnię jednego kilometra kwadratowego, ponieważ w warunkach karpackich tak duży spływ może wystąpić tylko na znacznie mniejszej powierzchni. Wezbrania OU dają wysokie wartości spływu jednostkowego, a różnice w średnich między dwoma zlewniami są niewielkie. W czasie wezbrań oznaczonych OM nie ma praktycznie różnic między dwoma zlewniami, a wartość stosunku średnich maksymalnych przepływów zbliżona jest do jedności. Różnice między omawianymi zlewniami wzrastają wraz z wielkością wezbrania wyrażoną spływem maksymalnym. Na podstawie danych dotyczących wszystkich wezbrań opadowych obliczono, że różnic między dwoma zlewniami brak w tych przypadkach, kiedy fale wezbraniowe osiągają 5—8-krotną wielkość średniego z wielolecia spływu jednostkowego, a więc kiedy $q_{max.}$ w czasie wezbrania wynosi 50—80 l/s km^2. Wartość ta odpowiada przepływowi 0,7 m^3/s w zlewni Bystrzanki i około 16,0 m^3/s w zlewni Ropy w Szymbarku. Są to wezbrania należące do wezbrań małych (OM).

Jednym z ciekawszych zagadnień dotyczących przepływów maksymalnych jest czas trwania przepływu szczytowego. Z wyjątkiem małych wezbrań (OM), czas trwania przepływu szczytowego wynosi w zlewni Bystrzanki od kilku do 20 min., a w zlewni Ropy do 60 min. Czas trwania przepływu szczytowego zmienia się w małym przedziale dla wezbrań opadowych, a jest stały dla wezbrań z roztopów radiacyjnych. Spłaszczenie, wydłużenie w czasie przepływu szczytowego wezbrań OR może świadczyć

http://rcin.org.pl

o krótkotrwałej równowadze między infiltracją a spływem wody, przy pełnym nasyceniu zlewni. W czasie wezbrania w lipcu 1970 r., fala główna w zlewni Bystrzanki przez 2 godziny utrzymała się na tej samej wysokości, a w zlewni Ropy przez około 4 godziny. Szczytowy przepływ wystąpił w zlewni Bystrzanki o 2 godziny wcześniej niż w zlewni Ropy i był wywołany opadem o wysokości ponad 100 mm w ciągu 48 godzin. Natężenie opadów poprzedzających kulminację wezbrania wynosiło początkowo 10 mm/godz., a następnie ustaliło się na wysokości 5—8 mm/godz. W tych warunkach chwilowy współczynnik spływu przy natężeniu opadu około 6 mm/godz. byłby zbliżony do jedności. Należałoby poszukiwać w materiałach hydrologicznych rzek karpackich takich przypadków wezbrań z opadów rozlewnych, w których można by udowodnić rzeczywiste wystąpienie chwilowego współczynnika spływu zbliżonego do jedności. Teoretycznie możliwy jest także chwilowy współczynnik spływu przekraczający wartość 1,0. Może to wystąpić w przypadkach kiedy przy pełnym nasyceniu zlewni natężenie opadów wzrośnie i przekroczy zdolność infiltracyjną wierzchniej warstwy gruntu. W przypadku nałożenia się fali formowanej głównie przez spływ podpowierzchniowy i fali ze spływu po powierzchni może wystąpić przepływ przekraczający wydajność opadu. Z materiałów E. Gila (1976) wynika, że na poletkach doświadczalnych, a więc w małej skali, sytuacje takie wystąpiły.

Czas trwania wezbrania, przepływ maksymalny i przepływ średni z wezbrania najpełniej charakteryzują reakcję zlewni na dostawę wody. Wymienione parametry są ze sobą związane i znajomość jednego z nich może umożliwić obliczenie pozostałych. Wcześniej podano przykłady równań pozwalających na szacowanie odpływu w zależności od czasu trwania wezbrania. Poprawne określenie wielkości trzech podanych parametrów nastręcza pewne trudności. Czas trwania wezbrania może być określony na podstawie godzinnego zapisu przepływów, przepływ maksymalny odczytany z krzywej konsumcyjnej. Obliczenie przepływu średniego dla wezbrania w zlewniach wielkości Bystrzanki i Ropy winno być dokonywane przez splanimetrowanie pola zakreślonego przez krzywą przepływów godzinnych. Przyjęcie za przepływ średni wyniku otrzymanego na podstawie średniego stanu wody (nawet z kilku odczytów) daje błędy rzędu 50—80% w przypadku wezbrań wywołanych ulewami. Znając wielkość przepływu maksymalnego można oszacować wielkość odpływu z wezbrania. Podane niżej równania obrazują tę zależność, a współczynniki korelacji wskazują na jakość związku między przepływem maksymalnym a średnim dla danego wezbrania. Współczynniki korelacji obliczonych równań są wysokie i tylko w jednym przypadku r = 0,73. Zależność przepływu średniego od przepływu maksymalnego obliczono oddzielnie dla wezbrań roztopowych i opadowych. Wezbrania roztopowe podzielono według wyróżnionych typów. Wezbrania opadowe podzielono nie ze względu na

http://rcin.org.pl

genezę, lecz według wielkości przepływu maksymalnego. Wezbrania wielkie o przepływach maksymalnych podanych niżej cechuje ścisły związek przepływu maksymalnego i średniego. W zakres tych wezbrań wchodzą największe wezbrania OU i OR. Wezbrania średnie, w których zakres wchodzą wszystkie typy genetyczne wezbrań, mają najsłabszy związek pomiędzy przepływem maksymalnym i średnim. Wezbrania określone jako małe składają się także z trzech genetycznie różnych typów, lecz różnice między dwoma zlewniami w tym przypadku są niewielkie. W zlewni Ropy związek przepływu maksymalnego ze średnim jest w tej grupie wezbrań bardziej ścisły niż w zlewni Bystrzanki.

Zlewnia Ropy		Zlewnia Bystrzanki	
wezbrania roztopowe			
RR $Q_{śr} = 0{,}691 Q_{max} + 1{,}624$	$r = 0{,}97$	$Q_{śr} = 0{,}518 Q_{max} + 0{,}183$	$r = 0{,}92$
RA $Q_{śr} = 0{,}613 Q_{max} + 2{,}058$	$r = 0{,}96$	$Q_{śr} = 0{,}364 Q_{max} + 0{,}226$	$r = 0{,}96$
RO $Q_{śr} = 0{,}427 Q_{max} + 4{,}148$	$r = 0{,}96$	$Q_{śr} = 0{,}446 Q_{max} + 0{,}108$	$r = 0{,}99$
wezbrania opadowe			
Q_{max} powyżej 88 m³/s		Q_{max} powyżej 3,9 m³/s	
$Q_{śr} = 0{,}458 Q_{max} - 4{,}763$	$r = 0{,}92$	$Q_{śr} = 0{,}275 Q_{max} + 0{,}310$	$r = 0{,}90$
Q_{max} między 20—88 m³/s		Q_{max} między 0,9—3,9 m³/s	
$Q_{śr} = 0{,}571 Q_{max} - 1{,}837$	$r = 0{,}73$	$Q_{śr} = 0{,}381 Q_{max} + 0{,}116$	$r = 0{,}81$
Q_{max} poniżej 20 m³/s		Q_{max} poniżej 0,9 m³/s	
$Q_{śr} = 0{,}593 Q_{max} + 0{,}681$	$r = 0{,}90$	$Q_{śr} = 0{,}428 Q_{max} + 0{,}048$	$r = 0{,}82$

DYNAMIKA FAL WEZBRANIOWYCH

Jednym ze wskaźników różnicujących wezbrania jest dynamika fali wyrażona stosunkiem przepływu maksymalnego do przepływu średniego dla danego wezbrania. Dynamika fali jest także wyrażona czasem koncentracji — im krótszy czas koncentracji tym większa dynamika fali. Fale płaskie o słabo zarysowanej kulminacji mają stosunek $Q_{max}/Q_{śr}$ niewiele wyższy od jedności. Wartość stosunku wzrasta wraz ze skracaniem czasu trwania wezbrania i wzrostem przepływu maksymalnego. Najwyższa możliwa wartość liczbowa jest trudna do określenia, lecz na podstawie hydrogramów wezbrań ze zlewni Bystrzanki wydaje się mało prawdopodobne przekroczenie wartości 10,0. Wysokie wartości stosunku $Q_{max}/Q_{śr}$ osiągają wezbrania średniej wielkości. W czasie wezbrania o wartości stosunku 10,0, przy przepływie średnim w granicach 10—15 m³/s., przepływ maksymalny musiałby osiągnąć wartość ponad 100 m³/s. Przepływów maksymalnych tak wielkich, w zlewniach karpackich wielkości Bystrzanki, jak dotychczas nie zarejestrowano. Do wartości 10,0 mogą natomiast zbliżyć się wezbrania średnich rozmiarów w przypadku wybitnie lokalnego zasięgu opadu ulewnego. W tabeli 12 zamieszczono maksymalne wartości stosunku $Q_{max}/Q_{śr}$ jakie obliczono dla obu zlewni. Różnice są bardzo duże, tak przy uwzględnieniu genezy wezbrań, jak też porównaniu

http://rcin.org.pl

Tabela 12

Maksymalne wartości stosunku $Q_{max}/Q_{śr}$ w zlewni Bystrzanki i Ropy w czasie wezbrań

Maximum values of ratios of Q_{max} to Q_{mean} at high stages the Bystrzanka and Ropa basins

Wezbrania roztopowe	RR	RA	RO
Bystrzanka	1,86	2,97	2,32
Ropa	1,74	1,71	1,70
Wezbrania opadowe	OU	OR	OM
Bystrzanka	6,68	4,85	2,65
Ropa	3,88	3,15	2,36

Tabela 13

Średnie wartości stosunku $Q_{max}/Q_{śr}$ w zlewni Bystrzanki i Ropy w czasie wezbrań

Mean values of ratios of Q_{max} to Q_{mean} at high stages, the Bystrzanka and Ropa basins

Wezbrania roztopowe	RR	RA	RO
Bystrzanka	1,46	1,58	1,80
Ropa	1,32	1,35	1,52
Wezbrania opadowe	OU	OR	OM
Bystrzanka	2,78	2,33	2,09
Ropa	2,30	2,05	1,63

obu zlewni. Maksymalne wartości dla wezbrań roztopowych są niższe od wartości dla wezbrań opadowych. W zlewni Bystrzanki najwyższe wartości stosunku są wyższe niż w zlewni Ropy, dla wszystkich typów wezbrań. Najwyższą wartość stosunku $Q_{max}/Q_{śr}$ w zlewni Bystrzanki, wynoszącą 6,68, stwierdzono dla wezbrania o przepływie maksymalnym 5,5 m^3/s, przepływie średnim 0,823 m^3/s i czasie trwania tylko 9 godzin. W zlewni Ropy najwyższą wartość stwierdzono dla wezbrania o przepływie maksymalnym 102,5 m^3/s, przepływie średnim 26,4 m^3/s i czasie trwania wezbrania 26 godzin. W obu przypadkach były to wezbrania z opadów ulewnych. Średnie wartości stosunku $Q_{max}/Q_{śr}$ dają uporządkowany obraz (tab. 13). Wezbrania roztopowe nie wykazują większych różnic, a wezbrania opadowe uszeregowane są pod względem wielkości w następującej kolejności: OU, OR, OM. Na dynamikę fali największy wpływ w wezbraniu ma spływ wody po powierzchni terenu. Nie wszystkie fale są formowane z udziałem wody spływającej po powierzchni i w tym przypadku istnieje możliwość błędnej klasyfikacji i podziału odpływu na powierzchniowy i gruntowy. W badanym zbiorze fal w żad-

http://rcin.org.pl

nym przypadku nie wystąpił spływ po powierzchni (na poletkach doświadczalnych), jeżeli stosunek przepływu maksymalnego do średniego był niższy od wartości 1,80 w zlewni Bystrzanki w czasie wezbrań opadowych.

NAJWYŻSZE SPŁYWY ZE ZLEWNI NIE KONTROLOWANYCH

Corocznie występują w Karpatach gwałtowne ulewy wywołujące katastrofalne wezbrania małych cieków. W okresie prowadzonych badań w rejonie Szymbarku obserwowano skutki ulew, z których jedna zasługuje na szczególną uwagę. W dniu 5 VIII 1973 burza nadciągająca z kierunku SE wywołała ulewę, której centrum znajdowało się na wschodnich zboczach Bartniej Góry. Zasiąg ulewy w kierunku północnym był bardzo ostro zarysowany. Na stacji naukowej odległej od centrum opadów o 1,5 km zanotowano opad 0,3 mm, Stacja opadowa na zachodnim zboczu Bartniej Góry zanotowała opad 55 mm. Ulewa objęła swym zasięgiem około 40 km^2, czas trwania opadu przekroczył 20 min. Zmierzona wysokość opadu — 55 mm — była wartością niższą niż w centrum opadu, ponieważ stacja opadowa leżała już w brzeżnej części ulewy. Po opadzie wykonano pomiary zmierzające do ustalenia wielkości przepływów maksymalnych. Pomierzono przekroje i spadki na podstawie zachowanych śladów płynięcia wody. Metody pomiarów i sposoby obliczeń przepływów przyjęto za A. Stawnicką-Stolarską (1963). W celu uniknięcia błędów obliczono przepływy dla kilku przekrojów tego samego cieku, a podane w tabeli 14. wartości są średnimi z kilku pomiarów. Otrzymane wyniki wskazują, że przepływy w dwu ciekach (A i B) mieściły się w przybliżeniu w klasie wód o $p_{2\%}$ — $p_{1\%}$, co wskazuje na wyjątkowość zjawiska. Otrzymane wielkości spływów z obu zlewni są wielkościami wysokimi na tle danych publikowanych (A. Ciepielowski 1970; K. Dębski 1970). Naj-

Tabela 14

Spływy jednostkowe dwu cieków w rejonie Szymbarku w czasie opadu ulewnego

Drainage basin characteristics and specific runoff values for two streams during high-intensity rainfall, near Szymbark

Charakterystyka zlewni i spływy jednostkowe	Potok z Bartniej Góry (A)	Potok w Siarach (B)
powierzchnia w km^2	1,80	3,00
wysokość maksymalna w m npm.	625	625
najniższa wysokość w zlewni w m npm.	310	360
zalesienie w %%	76	94
spadek koryta w o/oo	68	77
Q_{max} w m^3/s	16,29	15,60
q_{max} w l/s km^2	9050	5200
$Q_{2\%}$ w m^3/s	12,9	17,7
$Q_{1\%}$ w m^3/s	15,5	21,2

http://rcin.org.pl

wyższa zmierzona wartość spływu jednostkowego w polskich Karpatach — potok Kalniczka w zlewni Osławy — wynosi 7000 l/s km² (A. Stawnicka-Stolarska 1963), w zlewni o powierzchni około 4,0 km² i sumie opadów 85 mm. Dla cieku A w rejonie Szymbarku otrzymano 9000 l/s km², a dla cieku B — 5200 l/s km², przy opadzie szacunkowo określonym na 80—100 mm. Najwyższe możliwe spływy jednostkowe obliczone wg wzoru Dębskiego ($q_{max} = \frac{359}{11 + A}$), gdzie A — powierzchnia zlewni w km² dla dwu zlewni w Szymbarku są 3—5-krotnie wyższe, tj. leżą powyżej wartości q_0, 1% obliczonej wzorem J. Punzeta (1975). Jak dotychczas, tak wielkich spływów w Karpatach nie pomierzono, a wydaje się mało prawdopodobne wystąpienie zjawiska w takiej skali w zlewniach karpackich o powierzchni kilkunastu km². Spływy jednostkowe o wielkościach kilkunastu metrów sześciennych na sekundę — co byłoby zgodne z wzorem K. Dębskiego — występują na poletkach doświadczalnych w warunkach jednorodnego podłoża i szaty roślinnej. Najwyższe spływy stwierdzone przez J. Słupika (1973) na poletku z roślinami okopowymi sięgały 7000 l/s km² przy opadzie 42 mm. Jeszcze wyższe wartości zanotował E. Gil (1976) w czasie opadów rozlewnych o sumie 165 mm. Jak wcześniej podano, spływ jednostkowy w przeliczeniu na km² osiągnął prawie 20 m³. Tak duże natężenie spływu nie spowodowało znacznych przemieszczeń gleby na stoku, z wyjątkiem pól z roślinami okopowymi. Także w czasie opisanej ulewy w dwu zlewniach nie wystąpiły większe przemieszczenia gleby w obrębie stoków. Skutki ulewy zaznaczyły się najsilniej w dolnych częściach obu zlewni, gdzie drogi polne zostały pogłębione o 1,5 m. Na całej długości cieków nastąpił transport grubego — o średnicy do 50 cm — materiału skalnego, a sieć cieków epizodycznych uległa pogłębieniu o 50—100 cm. Przeobrażenia koryt były podobne do opisanych przez P. Prochala (1973) ze zlewni potoku Wierchomla. Spływ wody po stokach leśnych zachodził na drodze podpowierzchniowej. Grube rumoszowe pokrywy na stokach zbudowanych z piaskowców magurskich, nawet w tak skrajnych warunkach, uniemożliwiły powstanie spływu po powierzchni terenu.

Pomiary wsiąkania wykonane cylindrem Burgera w różnych częściach Karpat (K. Figuła 1966; A. N. Befani i in. 1967; J. Słupik 1973; Z. Pietryga 1975) wskazują, że w zasadzie można wykluczyć możliwość powstawania spływu po powierzchni w lasach w warunkach nieprzemarzniętego podłoża. Obserwacje skutków ulew w Karpatach Wschodnich (M. I. Kiriluk 1969; S. M. Perechrest i in. 1971) wskazują na to, że przepływ w strefie gruzowej może zachodzić z taką samą szybkością jak na powierzchni terenu. W tym zamyka się prawdopodobnie znikoma regulacyjna rola lasów w czasie opadów rzędu 100 mm. Spływ po powierzchni wystąpił w zlewniach w rejonie Szymbarku tylko w zlewni potoku mniej zalesionego i był związany z przejawami działalności człowieka (użytki rolne, drogi). W przypadku gdy pola lub łąki leżały na grzbietach, na ni-

http://rcin.org.pl

żej leżących stokach leśnych obserwowano ślady spływu w postaci przemieszczonej ściółki.

OPAD I ODPŁYW W CZASIE WEZBRAŃ

Wysokość i charakter opadów wywołujących wezbranie decydują o jego wielkości i przebiegu w czasie, stąd też przykłada się dużą wagę do poprawności obliczeń sum opadów. W literaturze polskiej nie uwzględnia się poprawek wynikających z błędu systematycznego pomiaru wysokości opadu, który w skali roku wynosi 20% rocznej sumy opadu wg L. P. Struznera i in. (1965) lub 11—16% wg O. Mendela (1976). Uwzględnienie systematycznego błędu pomiarowego, czyli zwiększenie sumy opadów, powoduje zmianę wielkości współczynnika odpływu o kilka procent. Błąd systematyczny rośnie wraz ze wzrostem wysokości pojedynczych ciągów opadowych i w skrajnych przypadkach — zwłaszcza zimą — może osiągnąć ponad połowę wysokości opadów (L. P. Struzner i in. 1965). W obliczeniach wysokości opadów dla wezbrań pominięto systematyczny błąd pomiarowy w celu zachowania porównywalności wyników obliczeń z innymi opracowaniami. Wysokość sum opadów obliczano przy uwzględnieniu gradientu opadowego i modyfikacji w przestrzennym rozmieszczeniu opadów wywołanych przez rzeźbę terenu.

Opady pod względem wysokości podzielono na dwie kategorie .Pierwsza — to opady w całości przechwytywane przez glebę i roślinność, a więc nie mające bezpośredniego wpływu na zmianę przepływu w cieku. Druga kategoria, to opady dające wzrost przepływu w cieku w wyniku powstania opadu efektywnego. Graniczne wartości opadów powodujących wzrost przepływu w cieku zmieniają się w szerokim zakresie w zależności od uwilgocenia zlewni i stopnia rozwoju szaty roślinnej oraz natężenia opadów. Opady o wysokości do 3,0 mm w ciągu doby są opadami, które nawet przy dużym uwilgoceniu zlewni nie znajdują odbicia w natężeniu przepływu (z wyjątkiem okresu zalegania pokrywy śnieżnej). Sumy opadów dobowych do 3,0 mm stanowiły około 10% sumy opadów od maja do października (średnia wieloletnia dla stacji Gorlice), a 12% w Szymbarku w latach 1969—1973. Opadów do 3,0 mm nie należałoby wliczać do rocznej sumy opadów w obliczeniach zawierających współczynnik odpływu. Wartość 12% leży w dolnej strefie wartości błędu systematycznego pomiaru opadów (O. Mendel 1976).

Opady wyższe, w granicach 3,1—5,0 mm sporadycznie mogą dawać wzrost przepływu w cieku w zlewni Bystrzanki a nie zaznaczają się w zlewni Ropy. Opady 3,1—5,0 mm stanowią 7% sumy opadów półrocza letniego. Wzrost przepływu wywołany opadami tej wielkości jest minimalny i rozłożony w przeciągu wielu godzin. Posiadana aparatura rejestrująca (limnigrafy typu B—2) nie daje możliwości określenia czasowych parametrów wzrostu tak małych przepływów. Opady 5,1—10,0 mm stanowiące 16% sumy opadów półrocza letniego, dają wyraźnie zarysowany

http://rcin.org.pl

Tabela 15

Spływ powierzchniowy na poletkach doświadczalnych (wg J. Słupika 1973) i wezbrania w zlewni Bystrzanki

Overland flow at experimental plots, according to J. Słupik (1973) and high flowsin the Bystrzanka basin

Użytkowanie	Spływ powierzchniowy na poletkach				Wezbrania				
	P w mm	H w mm	$\frac{H}{P}$ w %%	q_{max} w 1/s km²	P w mm	H w mm	$\frac{H}{P}$ w %%	q_{max} w 1/s km²	$Q_{śr}$ w m³/s
łąka	42,0	0,03	0,1	60					
ziemniaki	42,0	7,4	17,6	6167	40,2	1,9	5	404	0,823
las	29,0	0,01	0,0	1,7					
żyto	35,6	0,001	0,0	1,7	38,5	2,8	7	65	0,377
łąka	35,6	0,04	0,1	13,3					
łąka	43,2	0,023	0,0	28					
żyto	43,2	0,006	0,0	10	18,2	0,2	1	14	0,084
ziemniaki	43,2	10,2	23,6	5667					

http://rcin.org.pl

kształt fali wezbraniowej w okresie letnim (od czerwca do sierpnia) lub zwiększony wzrost przepływu trwający kilkadziesiąt godzin o braku wyraźnie zarysowanej kulminacji w okresie wiosny i jesieni. Wezbrania wywołane opadami do 10 mm w ciągu doby stanowiły 17% wezbrań w zlewni Bystrzanki i 11% wezbrań w zlewni Ropy. Suma odpływu z tego rodzaju wezbrań w ciągu pięciu lat (tylko półrocze letnie) wynosiła 10—15 mm w obu zlewniach, a więc w skali odpływu z całego pięciolecia jest to wartość prawie bez znaczenia. Wezbrania wywołane opadami do 10 mm formują się bez udziału spływu wody po powierzchni terenu, a sposób zasilania cieków w wielu małych wezbrań jest trudny do wytłumaczenia. Najniższa zaobserwowana przez J. Słupika (1973) suma opadów dająca spływ po powierzchni wynosiła 14,7 mm. Inne przypadki spływu wody po powierzchni analizowane przez J. Słupika wystąpiły w czasie opadów o sumach wyższych od 20 mm i dużym natężeniu opadów. Analiza bilansu wodnego pól uprawnych o różnym użytkowaniu w okresie ulew (E. Gil, J. Słupik 1972 a; b) wskazuje, że retencyjne możliwości gleby i szaty roślinnej mogą ograniczyć spływ powierzchniowy do minimum, nawet przy opadach 42 mm i maksymalnym natężeniu opadów 2,28 mm/min. Współczynnik spływu na polach uprawnych, łące, pastwisku i w lesie wynosił od 0,0 do 2,2% jedynie na polach z roślinami okopowymi wynosił 17,6% (J. Słupik 1973). Podane wyżej przykłady, a także dane zamieszczone w tabeli 15 wskazują jak dalece skomplikowany jest obieg wody w zlewni o różnorodnym użytkowaniu ziemi. Dostawa wody do koryt w czasie opadów rzędu 10,0 mm w okresie letnim z pól uprawnych nie jest możliwa, bo cała ilość opadu jest przechwytywana przez glebę. Przy tak małych opadach należy wykluczyć także zasilanie cieku z obszaru pól na drodze spływu podpowierzchniowego. W czasie małych opadów wzrost przepływu w cieku następuje w wyniku spływu wody z niewielkich części zlewni o wybitnie sprzyjających warunkach. Powierzchnię obszaru o sprzyjających spływowi wody warunkach (drogi polne i asfaltowe, pastwiska przydomowe, dachy zabudowań itp.) należy szacować w zlewni Bystrzanki na około 1 km^2, czyli 7,4% powierzchni zlewni. Obszar ten o współczynniku spływu rzędu 0,95—0,65 (A. G. Aleksjejew 1948; E. W. Bołdakow 1951; J. Lambor 1971) i minimalnej zdolności infiltracji początkowej jest przyczyną wzrostu przepływu w cieku w czasie małych opadów. Jeden kilometr drogi asfaltowej przy opadzie 10,0 mm daje odpływ w wysokości 40—60 m^3, co jest wielkością zauważalną w korycie Bystrzanki. W Karpatach, gdzie drogi zazwyczaj biegną wzdłuż cieków, dostawa nawet małych ilości wody do koryta następuje bardzo szybko.

Opady wyższe od 10 mm zawsze znajdują odbicie we wzroście przepływu w obu zlewniach. Opady dobowe o sumach 10—20 mm stanowią 23% sumy opadów półrocza letniego i wraz z opadami w klasie 20—30 mm (14% sumy półrocza) powodują wezbrania średniej wielkości. Opady

http://rcin.org.pl

powyżej 30 mm stanowiły w latach 1969—1973 prawie 30% sumy opadów półrocza letniego. W latach suchych lub o niewielkiej liczbie opadów burzowych, opady powyżej 30 mm stanowią kilka procent sumy półrocza, dając jednocześnie wysokie wartości odpływu. Opady do 10 mm i opady powyżej 30 mm w ciągu doby, stanowią po ok. 30% półrocznej sumy opadów, lecz odpływ z opadów o sumach wyższych 12—16 razy przewyższa odpływ z opadów do 10 mm. Wielkość odpływu w zlewniach karpackich zależy w największym stopniu od pojedynczych ciągów opadowych o dużych sumach. Najwyższe sumy opadów w jednym ciągu opadowym zanotowano w czasie opadów rozlewnych w lipcu 1970 r. W zlewni Bystrzanki wynosiły one 196,6 mm, a w zlewni Ropy 141,7 mm. Wezbranie z przełomu czerwca i lipca 1973 r. było spowodowane opadem 151,1 mm w zlewni Bystrzanki i 146,7 mm w zlewni Ropy.

Maksymalna wielkość odpływu z pojedynczej fali wynosiła 65,1 mm w zlewni Ropy i 72,3 mm w zlewni Bystrzanki (wezbranie z lipca 1970 r.). Najwyższa wartość odpływu z pojedynczej fali wezbrania roztopowego wynosiła w zlewni Bystrzanki 32,5 mm i w zlewni Ropy tylko 16,7 mm. Były to wezbrania roztopowe wywołane opadem deszczu.

Zebrany materiał nie pozwala na przeprowadzenie dokładniejszej analizy powiązań pomiędzy opadem i odpływem dla różnych rodzajów wezbrań. Wielkość odpływu z wezbrania opadowego zależy głównie od wysokości opadów. Zależność między opadem a odpływem dla wezbrań roztopowych jest bardziej złożona. Rozpatrując tylko wezbrania opadowe poszukiwano związku między opadem a odpływem bez względu na wielkość i charakter opadów. Celem poszukiwań było znalezienie formuły pozwalającej na określenie różnic w reakcji obu zlewni na opady. Przedstawiona poniżej propozycja nie ma charakteru uniwersalnego wzoru umożliwiającego wyznaczenie stosunku odpływu do opadu, lecz daje możliwość uzyskania wartości służących dla porównania obu zlewni. Dlatego też, do obliczeń przyjęto wszystkie fale z wyjątkiem małych fal drugorzędnych występujących w czasie wezbrań złożonych. Postać formuły obliczonej oddzielnie dla obu zlewni jest następująca:

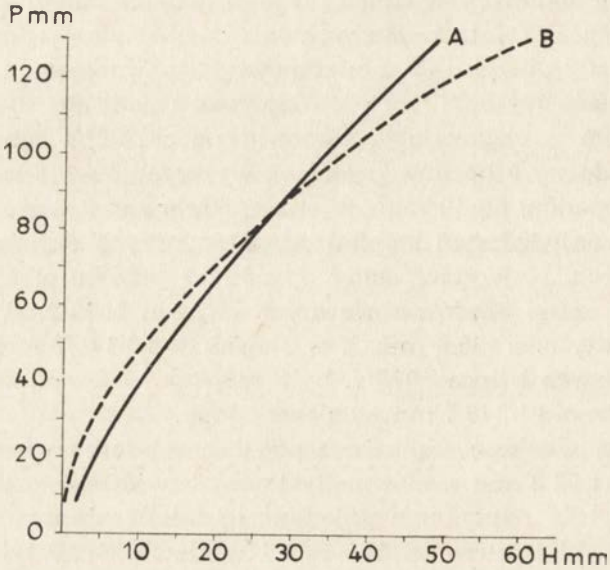
Zlewnia Bystrzanki $\log H = 1{,}7664 \log P - 1{,}9758,$

Zlewnia Ropy $\log H = 1{,}3404 \log P - 1{,}1456,$

gdzie: H — odpływ w mm z pojedynczego wezbrania, P — opad w mm. Współczynniki korelacji obu równań sięgają 0,75, co przy dużej liczbie par (ok. 80) użytej do obliczeń daje istotny statystycznie związek. Kształt krzywych przedstawiono na rycinie 8.

Odpływ wyrażony w mm jest niższy w zlewni Bystrzanki w czasie opadów o wysokości do 80 mm. Obie krzywe przecinają się na tej wysokości, powyżej której są już tylko opady rozlewne. Odpływ ze zlewni Bystrzanki jest wyższy w czasie wezbrań charakteryzujących się pełnym nasyceniem gruntu. Przyczyną różnych reakcji obu zlewni na wysokie opa-

http://rcin.org.pl



Ryc. 8. Zależność odpływu od opadu w czasie wezbrań:
A — zlewnia Ropy; B — zlewnia Bystrzanki

Relation of runoff to rainfall at high stages (A — the Ropa basin, B — the Bystrzanka basin)

dy tkwi w odmiennej zdolności infiltracyjnej (Van Te Chow — infiltracja początkowa) obu zlewni. Uzależniając współczynnik spływu od wysokości opadów, otrzymano następujące zależności:

Zlewnia Bystrzanki $\log \frac{H}{P} = 0{,}7565 \log P + 0{,}044,$

Zlewnia Ropy $\log \frac{H}{P} = 0{,}3301 \log P + 0{,}872.$

Współczynnik spływu w zlewni Bystrzanki przy opadach rzędu 20—40 mm jest niższy niż w zlewni Ropy. W zakresie opadów 40—80 mm wartości współczynnika spływu dla obu zlewni są zbliżone, a dla wartości wyższych współczynnik spływu jest większy w zlewni Bystrzanki. Przedstawione formuły mogą sugerować, że odpływ i współczynnik spływu są wielkościami stałymi w zakresie różnych wysokości opadów. Spotykane w literaturze założenie jednakowej wartości współczynnika spływu, wielkości przepływu maksymalnego i objętości odpływu w czasie wezbrań wywołanych opadami o zbliżonej wysokości przyjmowane jest dla skonstruowania średniej fali i budowy formuły opisującej liczbowe parametry wezbrania. Stwierdzenie „... współczynnik spływu wezbrań o różnej częstotliwości jest stały lub mało zmienny ..." (Van Te Chow 1964; B. Kordas 1975; J. Stachy 1976) jest jednym z najbardziej kontrowersyjnych założeń tzw. racjonalnej formuły na przepływ maksymalny

http://rcin.org.pl

($Q_{max} = k\ I\ A$, gdzie: k — współczynnik spływu, I — maksymalne natężenie opadu, A — powierzchnia zlewni) i innych formuł zakładających jednakowy współczynnik spływu. Analiza fal wezbraniowych w zlewni Bystrzanki i Ropy wskazuje, że współczynnik spływu bez wątpienia nie jest wielkością stałą, trudno zgodzić się również z twierdzeniem, że różnice w wysokości 50% można nazwać mało zmiennymi. Świadczą o tym dane zawarte w tabelach 16, 17 oraz obliczone zależności dotyczące związku między opadem i odpływem.

W badanym zbiorze fal można znaleźć wezbrania o zbliżonych parametrach, lecz bliższa analiza i liczebność takich wezbrań wskazuje na przypadkową zbieżność. Odchylenia od wartości średnich w wybranych przykładach zamieszczonych w tabelach 16, 17 są jednak bardzo duże.

Tabela 16

Parametry wybranych fal wezbraniowych w zlewni Bystrzanki

Parameters of chosen high flows, the Bystrzanka basin

P w mm	$Q_{śr}$ w m³/s	Q_{max} w m³/s	H w mm	$\frac{H}{P}$ w %%	$\frac{Q_{max}}{Q_{śr}}$
32,8	0,496	1,810	1,8	6	3,66
36,1	0,650	1,640	1,0	3	2,52
36,1	0,858	1,920	4,3	12	2,54
37,0	0,680	1,740	4,1	11	2,56
38,5	0,377	0,880	2,8	7	2,36
40,3	0,823	5,500	1,9	5	6,68
41,6	1,144	2,380	7,3	18	2,08
55,3	0,368	0,780	1,6	2	2,16
58,7	1,289	4,600	6,1	10	3,57
61,4	0,801	3,680	13,2	22	4,59

Tabela 17

Parametry wybranych fal wezbraniowych w zlewni Ropy w Szymbarku

Parameters of chosen high flows, the Ropa basin

P w mm	$Q_{śr}$ w m³/s	Q_{max} w m³/s	H w mm	$\frac{H}{P}$ w %%	$\frac{H_{max}}{Q_{śr}}$
35,8	15,3	39,5	6,9	19	2,57
36,7	28,7	97,0	13,0	35	3,38
36,7	20,3	54,0	6,7	18	2,68
38,6	22,8	46,5	13,6	35	2,04
39,0	15,4	37,0	7,3	19	2,40
40,4	8,7	16,0	3,6	9	1,84
43,2	23,4	53,0	10,5	24	2,27

http://rcin.org.pl

Podane w tabelach 16, 17 przykłady odnoszą się tylko do opadów krótkotrwałych w letnich półroczach. Odchylenia przeciętne wyrażone w procentach (tab. 18) dla wszystkich parametrów fal wezbraniowych w zlewni Bystrzanki są wyższe niż w zlewni Ropy.

Współczynnik spływu w czasie wezbrań opadowych (dla przedziałów miesięcznych i rocznych używano terminu — współczynnik odpływu) w pojedynczych przypadkach jest bardzo niski (tab. 16, 17). W wartościach średnich (tab. 19) dla różnych genetycznie wezbrań współczynniki spływu są zróżnicowane. Zawarte w tabeli 19 wartości średnie nawiązują do wartości otrzymywanych przy zastosowaniu formuły uzależniającej wielkość współczynnika spływu od opadów. Niezgodność występuje tylko w zakresie opadów rozlewnych, dla których średnie współczynniki spływu są jednakowe, podczas gdy z równań i ryciny 8 wynika, że przy tego rodzaju opadach współczynnik spływu w zlewni Bystrzanki jest wyższy.

Tabela 18

Wartości średnie ($\bar{x}$), odchylenie przeciętne (d) i procentowa wartość odchyleń przeciętnych (d %%) wybranych parametrów wezbrań w zlewni Bystrzanki i Ropy (wartości średnie obliczono na podstawie danych z tab. 16, 17)

Means ($\bar{x}$), average deviation (d) and percentage of average deviation (d %%) of chosen high flow parameters, the Bystrzanka and Ropa basins (calculation of means based on data from tables 16 ad 17)

Zlewnia		P w mm	H mm	$\frac{H}{P}$ %%	$Q_{śr}$ m³/sek	Q_{max} m³/sek	$\frac{Q_{max}}{Q_{śr}}$
Bystrzanka	$\bar{x}$	43,7	4,4	10	0,749	2,494	3,27
	d	8,8	2,7	5	0,234	0,960	1,08
	d%%	20	61	50	31	38	33
Ropa	$\bar{x}$	38,6	8,8	23	19,2	49,0	2,45
	d	2,4	3,1	7	5,2	16,3	0,36
	d%%	6	35	32	27	33	15

Tylko wezbrania z opadów rozlewnych mają średnie współczynniki spływu zbliżone do rocznego współczynnika odpływu w obu zlewniach.

W zlewniach o szybkim krążeniu wody suma rocznego odpływu uzależniona jest od wielkości i częstotliwości wezbrań. Odpływ z wezbrań (nazywany często odpływem wezbraniowym) może sięgać powyżej 50% sumy rocznej odpływu, a w latach o przebiegu zjawisk hydrometeorologicznych zbliżonym do przeciętnego, odpływ z wezbrań wynosi około 30% rocznego odpływu. Wielkość odpływu wezbraniowego i jego udział w odpływie całkowitym ze zlewni Bystrzanki i Ropy pozwala na bliższą charakterystykę struktury odpływu, a także wskazuje na szybkość obiegu wody w obu zlewniach. Do porównania rocznych sum odpływu całkowitego i wezbraniowego posłużyło zestawienie, w którym odpływ wezbraniowy obliczono jako sumę odpływu wszystkich nie analizowanych fal

http://rcin.org.pl

Tabela 19

Średnie współczynniki spływu wezbrań w zlewni Bystrzanki i Ropy w procentach

Mean coefficents of runoff of high flow, the Bystrzanka and Ropa catchments

Zlewnia	Typ wezbrań		
	OM	OU	OR
Bystrzanka	20	16	36
Ropa	24	22	36

wezbraniowych (tab. 20). Uwzględniono także czas trwania wezbrań liczony w przedziałach godzinnych.

Zmienność rocznych wartości odpływu wezbraniowego jest większa niż zmienność odpływu całkowitego w badanym pięcioleciu. Stosunek najwyższych rocznych wartości odpływu wezbraniowego w obu zlewniach jest prawie jednakowy — w granicach 3,1, podczas gdy odpływ całkowity różni się w obu zlewniach pod tym względem dość znacznie: zlewnia Bystrzanki 2,3, zlewnia Ropy 1,7. Czas trwania wezbrań zamykał się w zlewni Bystrzanki w granicach 330—630 godz., czyli w sumie 14—26 dni w roku. W zlewni Ropy odpowiednie wartości wynosiły 410—630 godz., tj. 17—24 dni w ciągu roku. O długości czasu trwania wszystkich wezbrań w skali rocznej decydują wezbrania roztopowe stanowiące przeciętnie ponad 50% czasu trwania wszystkich wezbrań. Wez-

Tabela 20

Odpływ (H), odpływ wezbraniowy (H_w) w mm i czas trwania wezbrań w zlewni Bystrzanki i Ropy

Runoff (H), flood runoff (H_w), mm, and high flow duration (hours), the Bystrzanka and Ropa basins

Rok Zlewnia	H w mm	H_w w mm	Czas trwania wezbrań w godzinach	Czas trwania wezbrań w stosunku do roku w %%	$\frac{Hw}{H}$ w %%
Bystrzanka					
1969	253	96	505	5,76	38
1970	564	217	511	5,83	38
1971	244	68	506	5,78	28
1972	300	77	332	3,79	26
1973	377	216	635	7,25	57
Ropa					
1969	289	140	637	7,27	48
1970	536	286	858	9,79	53
1971	315	92	411	4,69	29
1972	311	99	574	6,55	29
1973	465	236	1055	12,04	51

http://rcin.org.pl

brania roztopowe dają jednak tylko 10—30% całego odpływu wezbraniowego. Wezbrania opadowe o krótkim czasie trwania dają znacznie wyższe odpływy. Dziesięć największych fal wezbraniowych w latach 1969—1973 dało odpływ w wysokości sumarycznej 290 mm w zlewni Bystrzanki i 270 mm w zlewni Ropy, co stanowi odpowiednio 42% i 32% odpływu wezbraniowego, a 17% i 14% odpływu całkowitego z pięciolecia. Jedno tylko wezbranie w lipcu 1970 r. dało odpływ w wysokości około 90 mm w obu zlewniach, co stanowiło 19% odpływu całkowitego w obu zlewniach, 42% odpływu wezbraniowego ze zlewni Bystrzanki i 31% odpływu wezbraniowego ze zlewni Ropy. Należy dodać, że rok 1970 był rokiem o wyjątkowo częstych i wysokich wezbraniach.

W skali pięciolecia odpływ wezbraniowy ze zlewni Bystrzanki stanowił 39% odpływu całkowitego i w zlewni Ropy sięgał 42% odpływu całkowitego. W wielkościach procentowych jest to niewielka różnica, lecz w wartościach bezwzględnych odpływ wezbraniowy ze zlewni Ropy był wyższy o prawie 180 mm. Odpływ całkowity ze zlewni Ropy był wyższy tylko o 278 mm. Dwie ostatnie liczby wskazują, że mechanizm formowania się wezbrań w obu zlewniach jest nieco odmienny, co przedstawiono przy analizie odpływu z poszczególnych wezbrań (ryc. 8). Jako podstawową przyczynę różnic w formowaniu się wezbrań w obu zlewniach należałoby przyjąć odmienną strukturę użytkowania ziemi w obu zlewniach. Wskazuje na to także czas trwania wezbrań. Czas trwania wezbrań w zlewni Bystrzanki jest o ponad 29% niższy w stosunku do zlewni Ropy, a odpływ z wezbrań jest niższy w zlewni Bystrzanki tylko o 21%.

http://rcin.org.pl

ODPŁYW GRUNTOWY I RETENCYJNOŚĆ ZLEWNI

Pojęcia „spływ powierzchniowy", „odpływ gruntowy" są jednoznacznie zdefiniowane (K. Dębski 1960, 1963; Van Te Chow 1964; C. Toebes, U. Ouryvaev 1970), lecz wykonanie podziału hydrogramu na te dwie składowe nie jest łatwe, a wyniki obciążone są wieloma błędami. Wydzielenie odpływu gruntowego z ogólnej ilości wody odprowadzanej ze zlewni podyktowane jest potrzebą ustalenia wielkości przepływu gwarantowanego, który określa możliwości poboru wody z cieku. Odpływ gruntowy jest także wskaźnikiem zdolności retencyjnych zlewni, informuje o szybkości obiegu wody.

W Polsce początkowo wykonywano podział odpływu na dwie składowe w zlewniach dużych i w zlewniach średniej wielkości (L. Skibniewski 1959; J. Punzet 1959; T. Kiciński 1970; I. Dynowska 1971; Z. Pietryga 1975). W miarę wzrostu zapotrzebowania na wodę i poznawania mechanizmu formowania się odpływu gruntowego podział odpływu wykonywano w coraz mniejszych zlewniach (J. Pawlik-Dobrowolski 1971; J. Koniar-Schaeferowa 1975). Przy wydzielaniu odpływu gruntowego w małych zlewniach występują trudności metodyczne wynikające z bardzo szybkich zmian przepływu, często w okresie tylko kilku godzin. Problem ten występuje w mniejszej mierze w przypadku zlewni dużych i średnich. Do wydzielania odpływu gruntowego stosowane są najczęściej następujące metody:

1. Graficzny podział hydrogramu z uwzględnieniem jednego z trzech możliwych schematów zasilania cieku w czasie wezbrań. Wydzielanie odpływu gruntowego metodą Natermanna (T. Kiciński 1970; J. Pawlik-Dobrowolski 1971; I. Dynowska 1971) jest czynnością skomplikowaną i bez wątpienia obciążoną subiektywnym podejściem wykonującego podział. Krytykę tej metody przeprowadzono wielokrotnie, między innymi J. Punzet (1959), T. Kiciński (1970), I. Dynowska (1974). Uproszczona metoda wydzielania odpływu gruntowego stosowana przez T. Kicińskiego (1970) daje dobre rezultaty.

2. Metoda Wundta — według której za przepływ pochodzenia gruntowego należy uważać najniższy przepływ z danego miesiąca. Zgodnie z założeniami tej metody, otrzymywane wyniki wskazują na najniższe wartości odpływu gruntowego.

http://rcin.org.pl

ODPŁYW GRUNTOWY

Odpływ gruntowy ze zlewni Bystrzanki i Ropy obliczano metodą graficzną T. Kicińskiego. Otrzymane w ten sposób wyniki traktowano jako podstawę do porównań z wynikami otrzymanymi metodą Wundta. Wyniki uzyskane za pomocą obu metod wskazują na duże rozbieżności (tab. 21). Odpływ obliczony metodą T. Kicińskiego przez ścinanie szczytów fal wezbraniowych jest w zlewni Bystrzanki o około 15% wyższy w stosunku do metody Wundta (wartość 15% odnosi się do odpływu rocznego). Podobne wyniki otrzymano dla zlewni Ropy. Odpływ gruntowy w rzekach karpackich obliczany na podstawie wieloletnich serii obserwacyjnych stanowi 35—40% sumy odpływu całkowitego. Wyniki otrzymane dla zlewni Ropy w Szymbarku przy zastosowaniu metody ścięć szczytów fal nie odbiegają od tych wartości. Na tym tle, wadą metody Wundta w zastosowaniu do zlewni o małej retencyjności i szybkim obiegu wody jest przyjmowanie za podstawę do obliczeń zbyt długiego czasu, tzn. jednego miesiąca. Z analizy hydrogramów wynika, że dość często zdarzają się 20—25-dniowe ciągi o stałym zmniejszaniu się przepływu, którego najniższa wartość przypada w pierwszych dniach następnego miesiąca. Schematyczne przyjęcie w tym przypadku przepływu najniższego może prowadzić do dużych błędów. Skrajne przykłady błędów to odpływ gruntowy w wysokości 2% odpływu miesięcznego w zlewni Bystrzanki i 5% w zlewni Ropy, podczas gdy metoda ścinania szczytów fal daje wyniki odpowiednio 23% i 28% miesięcznych wartości.

Mając na uwadze błędy powstające w tej metodzie i poszukując prostego sposobu obliczenia odpływu gruntowego, skrócono okres przyjmowany w obliczeniach do 15 dni. Za przepływ pochodzenia gruntowego przyjmowano przepływ najniższy z połowy miesiąca. Wartości otrzymane w ten sposób są wyższe w stosunku do wyników, jakie dawało przyjęcie za przepływ gruntowy, przepływu minimalnego z danego miesiąca (tab. 22). W zlewni Ropy wyniki prawie pokrywały się z wynikami otrzymanymi przez ścinanie szczytów fal wezbrań. Natomiast w zlewni Bystrzanki wartości te były o 5% niższe. W tej zlewni, gdzie przepływy zawsze bardzo szybko zmniejszają się po wezbraniach, przyjęcie piętnastodniowego okresu także nie daje dobrych wyników. Dopiero przyjęcie dziesięciodniowych odcinków czasu, w których za przepływ gruntowy przyjmowano najniższy przepływ w dekadzie, daje w zlewni Bystrzanki odchylenia w wysokości 1% w stosunku do metody ścinania fali. W zlewni Ropy natomiast, okresy dziesięciodniowe powodują, zwłaszcza w okresach roztopowych, znaczne zawyżenie wielkości odpływu gruntowego.

Z analizy rezultatów otrzymanych różnymi sposobami wynika, że do obliczeń odpływu gruntowego można zastosować prostą metodę Wundta,

http://rcin.org.pl

Tabela 21

Odpływ gruntowy w mm ze zlewni Bystrzanki (B) i Ropy (R) w Szymbarku

Ground runoff, mm, the Bystrzanka basin (B), and Ropa basin (R) at Szymbark

Sposób obliczenia odpływu		1969	1970	1971	1972	1973
ścinanie szczytów fal wezbrań	B	98	152	124	106	115
	R	119	156	146	135	159
minimalny przepływ miesięczny	B	74	88	86	58	54
	R	74	95	96	81	101
minimalny przepływ 10-dniowy	B	104	148	121	111	119
minimalny przepływ 15-dniowy	R	114	149	131	120	141

Tabela 22

Odpływ gruntowy w stosunku do odpływu całkowitego (w %%) w zlewni Bystrzanki (B) i Ropy (R) w Szymbarku

Percentage share of ground runoff, the Bystrzanka basin (B) and Ropa basin (R)

Sposób obliczania odpływu		1969	1970	1971	1972	1973
ścinanie szczytów fal wezbrań	B	39	27	51	35	31
	R	41	29	46	40	34
minimalny przepływ miesięczny	B	29	16	35	19	14
	R	26	18	30	34	22
minimalny przepływ 10-dniowy	B	41	26	50	37	32
minimalny przepływ 15-dniowy	R	39	28	42	35	30

z tym że należy przyjmować krótsze odcinki czasu: dziesięciodniowe dla zlewni Bystrzanki i piętnastodniowe dla zlewni Ropy. Za przyjęciem prostszej metody Wundta przemawia nieskomplikowany tok obliczeń, eliminacja subiektywnego prowadzenia linii podziału hydrogramu na odpływ powierzchniowy i gruntowy oraz zgodność wyników z wielkością odpływu gruntowego otrzymanego z metody ścinania szczytów fal. Na podstawie danych z innych zlewni należałoby sprawdzić, czy okresy 10—15 dni, można przyjmować także dla innych zlewni, leżących w odmiennych warunkach środowiskowych. Lata 1969—1973, nietypowe pod względem przebiegu zjawisk hydrologicznych, tylko w niewielkim stopniu pozwalają na dyskusję otrzymanych wyników na tle prac innych autorów. Odpływ gruntowy stanowił maksymalnie 50% odpływu ze zlewni Bystrzanki (1971 r.) i tylko 25% odpływu w wybitnie wilgotnym 1970 r. Skrajne wartości w zlewni Ropy przypadają na te same lata, a odpowiednie wartości procentowe wynoszą 42% i 27%. Wielkość odpływu gruntowego w milimetrach sięga 148 mm w zlewni Bystrzanki i 149 mm w zlewni Ropy. Odpływ gruntowy ze zlewni Bystrzanki był w skali rocznej zawsze niższy od odpływu gruntowego ze zlewni Ropy. Prawidłowości tej jednak nie stwierdzono przy rozpatrywaniu udziału odpływu gruntowego w odpływie całkowitym. W ciągu czterech lat udział

http://rcin.org.pl

odpływu gruntowego w odpływie całkowitym był wyższy w zlewni Bystrzanki i tylko w wilgotnym 1970 r. stosunek ten był odwrotny (tab. 22). Wskazywałoby to na konieczność rewizji wniosku T. Kicińskiego (1970), który badając rzeki karpackie wykazał na przykładzie Wisłoki, iż wraz z wielkością zlewni zwiększa się udział odpływu gruntowego w odpływie całkowitym. Stwierdzenie to nie jest słuszne przynajmiej w odniesieniu do zlewni wielkości Bystrzanki.

Zwiększenie się udziału odpływu gruntowego w odpływie całkowitym wraz ze wzrostem wielkości zlewni jest rezultatem transformacji fal wezbraniowych z biegiem rzeki. Zmiana parametrów koryta i spowodowane tym spłaszczenie i wydłużenie w czasie trwania wezbrania powoduje przy prowadzeniu linii podziału hydrogramu zawyżenie wielkości odpływu gruntowego. Jest to błąd, którego przy wykorzystywaniu metody ścinania szczytów fal nie można uniknąć. W zlewniach większych wezbrania z lokalnie występujących opadów letnich mogą w całości zostać zaliczone do odpływu gruntowego, ponieważ nie dają one wyraźnie zarysowanego kształtu fali po przepłynięciu kilkudziesięciu kilometrów w szerokim korycie cieku głównego.

Zmniejszanie się odpływu gruntowego z biegiem rzeki (a więc odwrotnie niż T. Kiciński), stwierdziła A. Tlałka (1976) w zlewni Białej, sąsiadującej od zachodu ze zlewnią Ropy. Według obliczeń autorki odpływ gruntowy w Grybowie (182 km^2) wynosi 203 mm, tj. 46% odpływu całkowitego. W Koszycach (871 km^2) odpływ gruntowy zmniejsza się do 123 mm i 42% odpływu całkowitego. Należałoby przyjąć, że udział odpływu gruntowego w odpływie całkowitym maleje wraz ze wzrostem wielkości zlewni.

W pracach publikowanych wielokrotnie podkreślano wyjątkowo niskie na tle Karpat wielkości minimalnych odpływów jednostkowych w zlewniach rzek Beskidu Niskiego, w tym także zlewni Ropy (Z. Mikulski 1962; I. Dynowska 1971; Z. Ziemońska 1973). Jest to spowodowane przede wszystkim niekorzystną dla procesu gromadzenia się większych zasobów wody budową geologiczną Beskidu Niskiego (H. Świdziński 1973). Niemałą rolę odgrywają tu również inne elementy środowiska naturalnego. Jednym z ważniejszych jest klimat, którego wpływ zaznacza się zwłaszcza w półroczu zimowym. Są to z jednej strony sprzyjające wsiąkaniu śródzimowe odwilże, a z drugiej strony małe sumy opadów w okresie zimowym. Cienkie pokrywy zwietrzelinowe i znaczne nachylenia stoków nie sprzyjają magazynowaniu wody także w wierzchniej warstwie podłoża. Rezultatem współzależności między wszystkimi elementami środowiska są minimalne odpływy jednostkowe w granicach 0,50 l/s·km^2 w zlewniach rzędu 500 km^2 (Wisłok w Besku, Wisłoka w Żółkowie, Jasiołka w Jaśle, Ropa w Klęczanach). Biorąc pod uwagę zróżnicowanie środowiska przyrodniczego w zlewniach mniejszych, należy oczekiwać jeszcze niższych wartości. W czasie wykonywania mapy hydrograficznej

http://rcin.org.pl

okolic Szymbarku wielokrotnie rejestrowano brak odpływu powierzchniowego, w ciekach o powierzchni zlewni 4—5 km², podczas głębokich niżówek. Zanik przepływu obserwowano najczęściej w zlewniach z dużym udziałem warstw inoceramowych. W tym czasie cieki zasilane ze źródeł wypływających z warstw magurskich stale prowadziły wodę, bez względu na wielkość obszaru zasilania. Najniższe obserwowane przepływy w zlewni Bystrzanki wystąpiły w jesieni 1969 r. i wynosiły 0,006 m³/s. (q — 0,5 l/s. km²). Wielkość ta nie została przekroczona w pozostałych latach, chociaż wielokrotnie przepływy spadały poniżej 0,010—0,008 m³/s. w różnych porach roku. W zlewni Ropy w jesieni 1969 r. przepływ osiągnął także najniższą w pięcioleciu wartość 0,215 m³/s., co daje 0,71 l/s. km².

RETENCYJNOŚĆ ZLEWNI BYSTRZANKI I ROPY

Przeprowadzenie prawidłowej charakterystyki okresów niżówkowych oraz wykazanie cech wspólnych lub odmiennych dla obu zlewni jest pod względem metodycznym zadaniem trudnym do wykonania. Ważnym zagadnieniem jest tu ocena retencyjności zlewni, od której zależy zarówno wielkość przepływów minimalnych, jak też kształt krzywych wysychania. Problem ten jest szeroko omawiany w pracach J. Koniar-Schaeferowej (1970, 1975) na podstawie bogatego materiału obserwacyjnego. Autorka podkreśla dominujący wpływ budowy geologicznej na wielkość i czas trwania spływów niżówkowych, lecz w wielu przypadkach zwraca uwagę na brak wpływu litologii na wielkość spływów. Jednym z wniosków autorki jest stwierdzenie braku zależności między wielkością zlewni (w granicach do 50 km²) a wielkością spływu niżówkowego, który uzależniony jest od objętości zawodnionego i odwadnianego podłoża. Przyjmując ten punkt widzenia, należy stwierdzić, że bezpośrednie porównanie spływów jednostkowych w zlewni Bystrzanki i Ropy nie jest możliwe.

Obliczenia retencyjności zlewni dokonywane są różnymi metodami, głównie na podstawie wzoru Mailleta lub jego modyfikacji. W przypadku badanych zlewni Bystrzanki i Ropy, dla uzyskania porównywalności wyników do obliczenia retencji zastosowano jednakową metodę. Do obliczeń użyto formuły zaproponowanej przez K. Dębskiego (1960), za której przyjęciem przemawiały pomyślne rezultaty obliczeń bilansów wodnych rzek sudeckich (M. Cetnarowicz 1963). K. Dębski podkreśla, że wyniki otrzymane za pomocą jego formuły dają wielkość retencji wody gruntowej zdolnej do grawitacyjnego zasilania cieków w dłuższych okresach bezdeszczowych. W ten sposób sformułowane określenie retencji jest najbardziej zbliżone do obliczeń odpływu metodą Wundta. Formuła Dębskiego, jak i inne wzory pozwalające na obliczenie retencji oparta jest na założeniu, że kolejne dobowe wartości przepływu w czasie zasi-

http://rcin.org.pl

lania rzeki wyłącznie przez wody gruntowe tworzą postęp geometryczny. Wykorzystując tę zależność można obliczyć retencję zlewni na podstawie pojedynczych krzywych wysychania, a po wyrównaniu odchyleń podać formułę w postaci $R = k\,Q^n$, gdzie R — stan retencji w mm, Q — przepływ pochodzenia gruntowego, k i n — współczynniki. Wyjściowa formuła Dębskiego ma postać:

$$R = \frac{43{,}2\ Q}{A}\ \frac{1+q}{1-q}$$

gdzie:

R — stan retencji w mm,
Q — przepływ w m^3/s,
A — powierzchnia zlewni w km^2,
q — iloraz postępu geometrycznego.

Wartość q obliczono z formuły:

$$q = \frac{Q_r}{Q_o}$$

gdzie:

Q_r — przepływ po r — dniach, Q_o — przepływ na początku okresu,
r — liczba dni.

Do obliczeń przepływu w dowolnie długim okresie czasu użyto formuły: $Q_r = Q_o q^r$ (oznaczenia jak poprzednio). W obu zlewniach wybrano ciągi trwające nie krócej niż 10 dni. Okresy te są na ogół zbliżone w czasie w obu zlewniach. Za wartość Q_o przyjmowano przepływ odczytany z godzinnych wartości przy zastosowaniu skali półlogarytmicznej, zgodnie z zaleceniami J. Lambora (1971). Ciągi wybrano z okresu od maja do października. Otrzymane wyniki obliczeń retencji wyrównano metodą najmniejszych kwadratów i przestawiono w postaci formuł:

Zlewnia Bystrzanki $R = 0{,}171\ Q^{1{,}090}$

Zlewnia Ropy $R = 0{,}00495\ Q^{1{,}151}$

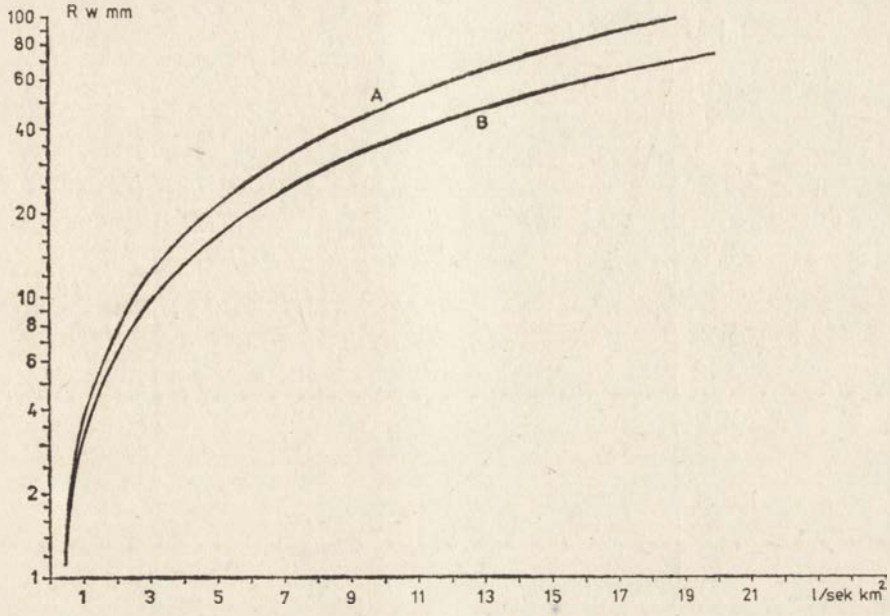
gdzie:

R — w mm,
Q — w l/s.

Przebieg funkcji zilustrowano graficznie na rycinie 9.

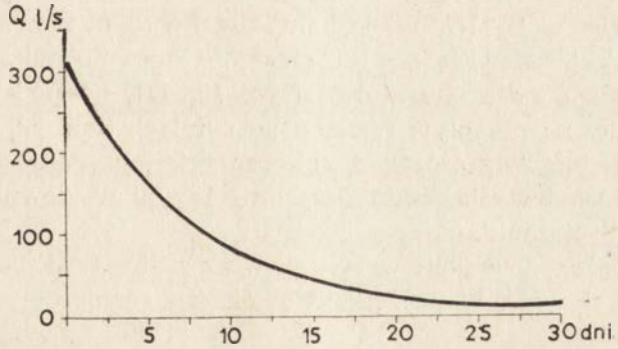
Równania nie opisują wielkości retencji w całym zakresie możliwych wartości odpływu gruntowego. Do obliczeń użyto tylko 12 par Q i R dla zlewni Ropy i 11 dla zlewni Bystrzanki. Określenie przepływu wyjściowego (Q_o) w zlewni Bystrzanki jest także mało dokładne nawet w skali półlogarytmicznej. Zastrzeżenia te nie pozwalają traktować wy-

http://rcin.org.pl



Ryc. 9. Wielkość retencji w mm w zależności od przepływu w zlewni Ropy (A) i Bystrzanki (B)

Water storage capacity, mm, related to discharge in the Ropa (A) and Bystrzanka (B) drainage basins

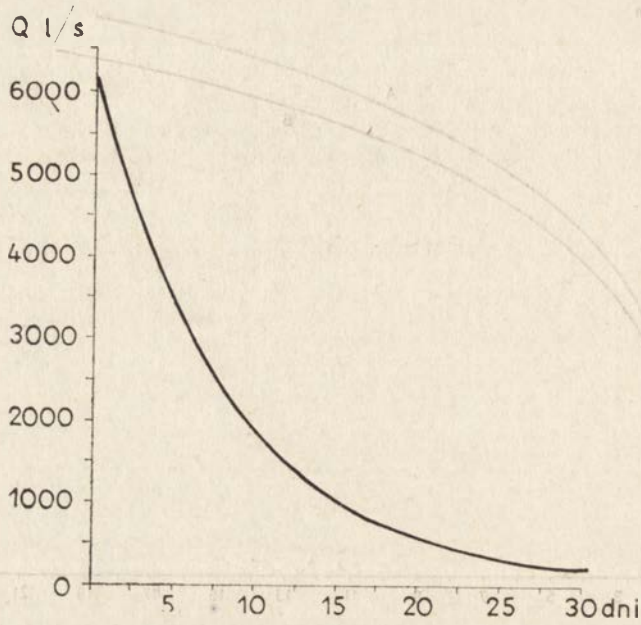


Ryc. 10. Przeciętna krzywa wysychania Bystrzanki

Average streamflow recession curve for the Bystrzanka stream

ników jako w całości pewnych, ale dzięki użyciu tych samych czasowo ciągów zapewniają porównywalność. Retencyjność zlewni Bystrzanki jest o około 20—25% niższa w stosunku do zlewni Ropy. Na tej drodze uzyskano potwierdzenie słuszności obliczeń odpływu gruntowego w mm (tab. 21, 22). Obliczając wielkość retencji przy zachowaniu jednakowej war-

http://rcin.org.pl



Ryc. 11. Przeciętna krzywa wysychania Ropy w Szymbarku

Average streamflow recession curve for the Ropa river at Szymbark

tości spływu jednostkowego dla obu zlewni, wyższe wartości otrzymujemy dla zlewni Ropy.

Kształt krzywych (ryc. 9) wskazuje na różnice w całym zakresie. Retencyjność zlewni Bystrzanki jest mniejsza, o czym bez wątpienia decydują warunki środowiskowe tej zlewni. Obliczono także przeciętne krzywe wysychania dla obu zlewni (ryc. 10, 11), na podstawie wyżej podanej formuły na przepływ w cieku po *r*-dniach (tab. 23). Za wartość Q_o przyjęto średnią wartość Q_o z obliczeń retencji. Podobnie obliczono wartość *q*, a czas trwania średnio wynosił 15 dni w zlewni Ropy i 15 dni w zlewni Bystrzanki.

Różnice między zlewniami wzrastają wraz z długością okresu zmniejszania się przepływów. W początkowym okresie różnice wyrażone w l/s

Tabela 23

Spływy jednostkowe w zlewni Bystrzanki i Ropy w odstępach pięciodniowych

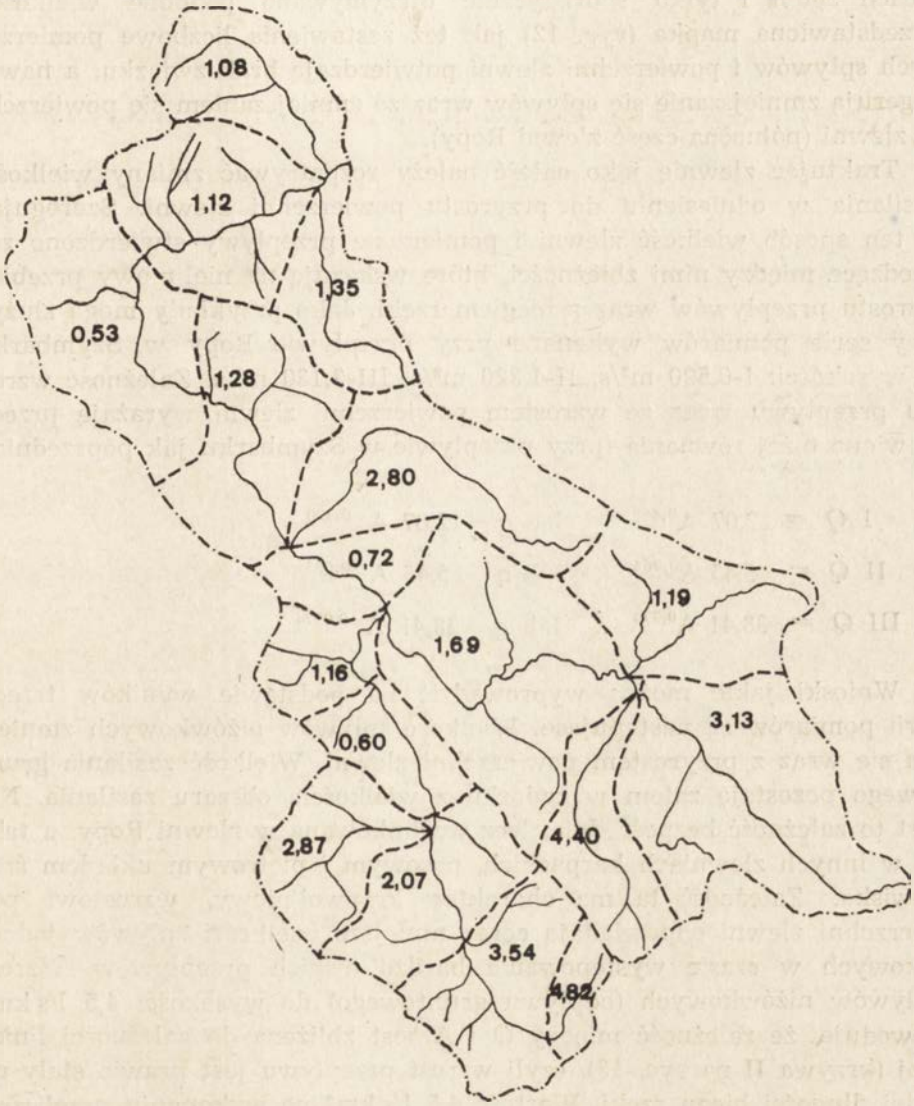
Specific runoff at 5-day intervals, the Bystrzanka and Ropa basins

Zlewnia	Spływ jednostkowy w l/sek km² po n-dniach						
	dni	5	10	15	20	25	30
Bystrzanka		3,4	2,3	1,5	1,0	0,7	0,4
Ropa		4,2	2,8	1,9	1,3	0,9	0,6

http://rcin.org.pl

km² są największe, a po 30 dniach maleją do 0,2 l/s km². Przy przeliczaniu tych wartości na przepływ, lub obliczaniu ich w procentach, różnice wzrastają wraz z wydłużaniem się okresów niżówkowych. Przyczyną jest większa wartość regresji dobowej w zlewni Bystrzanki.

SPŁYWY NIŻÓWKOWE A WIELKOŚĆ ZLEWNI



Ryc. 12. Spływy niżówkowe w zlewni Ropy przy przepływie 0,580 m³/sek w Szymbarku

Low flow in the Ropa basin as the discharge is 0,580 m³/s at Szymbark

http://rcin.org.pl

Wnioskowanie o odpływie gruntowym na podstawie danych z punktu wodowskazowego ogranicza możliwość wyciągania wniosków tylko do całej zlewni. Przestrzenna zmienność zasilania gruntowego wynika z niejednorodności środowiska. Zmienność zasilania gruntowego jest widoczna po wykonaniu pomiarów przepływów w zlewniach cząstkowych. Na rycinie 12 przedstawiono przykładowo wyniki jednej serii pomiarów przepływów wykonanych w zlewni Ropy. Przy zbliżonych wielkościach obszarów zasilania wielkość spływów jednostkowych zmieniała się w granicach 200% i tylko sporadycznie otrzymywano podobne wielkości. Przedstawiona mapka (ryc. 12) jak też zestawienia liczbowe pomierzonych spływów i powierzchni zlewni potwierdzają brak związku, a nawet sugerują zmniejszanie się spływów wraz ze zmniejszaniem się powierzchni zlewni (północna część zlewni Ropy).

Traktując zlewnię jako całość należy rozpatrywać zmiany wielkości zasilania w odniesieniu do przyrostu powierzchni zlewni. Szeregując w ten sposób wielkość zlewni i pomierzone przepływy stwierdzono zachodzące między nimi zbieżności, które wskazują na nieliniowy przebieg wzrostu przepływów wraz z biegiem rzeki. Jako przykłady mogą służyć trzy serie pomiarów wykonane przy przepływie Ropy w Szymbarku w wysokości: I-0,590 m^3/s, II-1,320 m^3/s, III-3,130 m^3/s. Zależność wzrostu przepływu wraz ze wzrostem powierzchni zlewni wyrażają przedstawione niżej równania (przy przepływie w Szymbarku jak poprzednio).

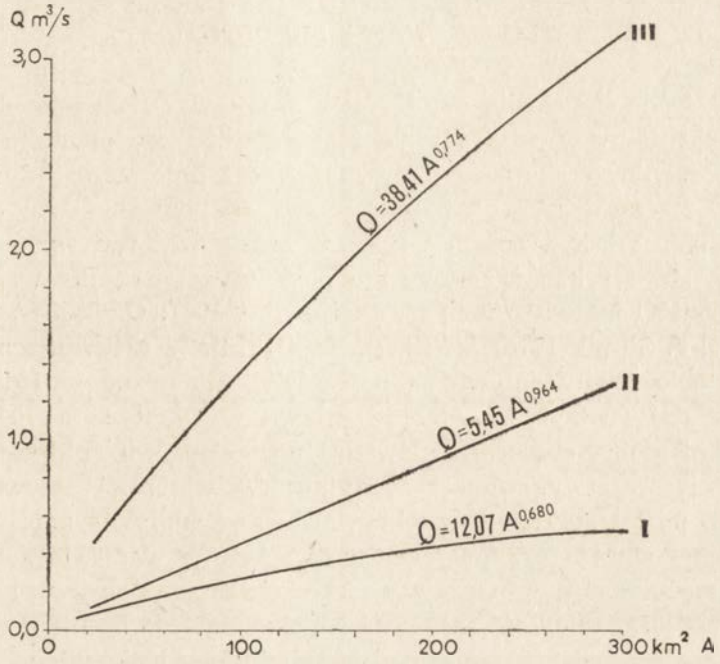
$$\text{I } Q = 12{,}07\ A^{0{,}680} \quad \text{lub } q = 12{,}07\ A^{-0{,}320}$$

$$\text{II } Q = 5{,}45\ A^{0{,}964} \quad \text{lub } q = 5{,}45\ A^{-0{,}033}$$

$$\text{III } Q = 38{,}41\ A^{0{,}774} \quad \text{lub } q = 38{,}41\ A^{-0{,}0224}$$

Wnioski jakie można wyprowadzić na podstawie wyników trzech serii pomiarów są następujące. Wielkość spływów niżówkowych zmniejsza się wraz z przyrostem powierzchni zlewni. Wielkość zasilania gruntowego pozostaje zatem w związku z wielkością obszaru zasilania. Nie jest to zależność bezpośrednia, lecz warunkowana w zlewni Ropy, a także w innych zlewniach karpackich, pasowym i piętrowym układem środowiska. Zależność ta ma charakter krzywoliniowy, wzrostowi powierzchni zlewni odpowiadają coraz mniejsze wielkości spływów jednostkowych w czasie występowania bardzo niskich przepływów. Wzrost spływów niżówkowych (odpływu gruntowego) do wysokości 4,5 $l/s\,km^2$ powoduje, że zależność między Q i A jest zbliżona do zależności liniowej (krzywa II na ryc. 13), czyli wzrost przepływu jest prawie stały na całej długości biegu rzeki. Wartość 4,5 $l/s\,km^2$ po wykonaniu przeliczeń daje prawie dokładnie sumę odpływu gruntowego w zlewni Ropy w latach wilgotnych. Krzywa III na rycinie 13 obrazuje związek między

http://rcin.org.pl



Ryc. 13. Związek przepływu (Q) z wielkością obszaru zasilania (A) przy różnych wielkościach przepływu Ropy w Szymbarku (objaśnienia w tekście)

Relation of stream discharge (Q) to contributing basin area (A) at varying discharges, the Ropa at Szymbark

Q i A przy przepływie 3,130 m³/s (q = 10,6 l/s km²) w profilu pomiarowym w Szymbarku. W tym przypadku mamy do czynienia z odpływem gruntowym, w skład którego wchodzi także odpływ gruntowy krótkookresowy, co znajduje odbicie w dużym spadku wielkości spływu jednostkowego wraz z przyrostem powierzchni zlewni.

Pomiary przepływów wykonane w zlewni Bystrzanki nie pozwalają na sformułowanie podobnych wniosków. Powierzchnia zlewni liczy 13,6 km² i pomiarami zamykano zlewnie rzędu 1,5—2,0 km². Wpływ lokalnych czynników, które decydują o wielkości przepływu, jest tak duży, że uniemożliwia jakiekolwiek liczbowe przybliżenie. Obok zlewni prowadzących wodę są zlewnie okresowo odwadniane, co daje skokowe wartości przyrostu spływów jednostkowych. Podobne wnioski wyprowadzono na podstawie pomiarów w zlewni Czarnej Wody koło Jaworek (S. Kurek, J. Pawlik-Dobrowolski 1977), gdzie zarejestrowano skrajne spływy jednostkowe w granicach 0,38—33,03 l/s km². Różnice te autorzy przypisują niezgodności powierzchniowych i podziemnych działów wodnych, co w Karpatach jest zjawiskiem częstym z uwagi na fałdową budowę.

http://rcin.org.pl

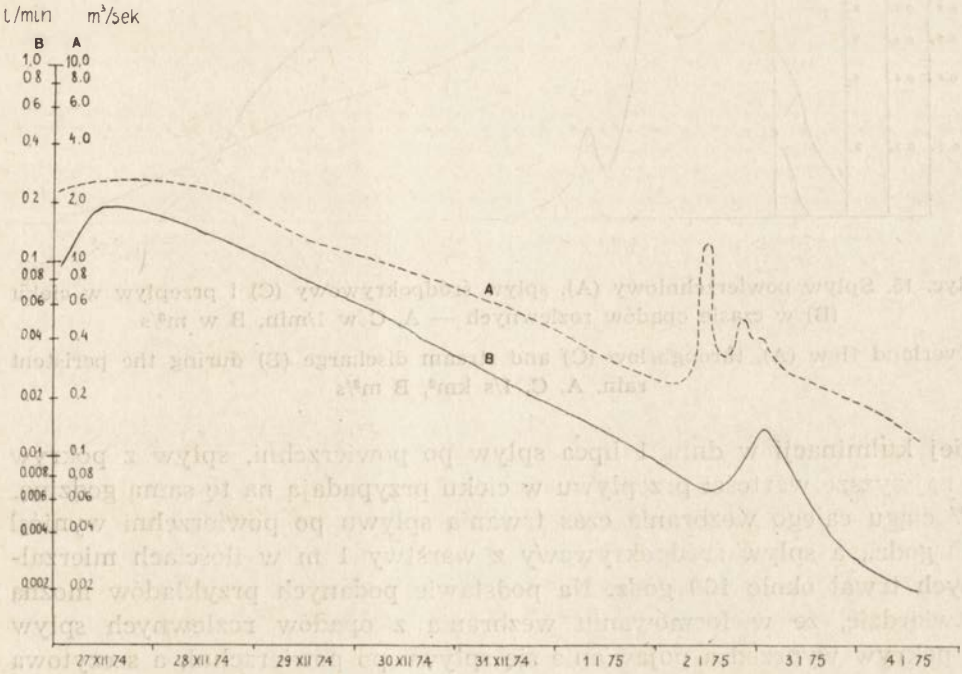
SPŁYW ŚRÓDPOKRYWOWY JAKO SKŁADNIK KSZTAŁTOWANIA SIĘ ODPŁYWU

Spływ śródpokrywowy, czyli spływ wody w warstwie zwietrzelinowej jest określany w infiltracyjnej teorii spływu powierzchniowego jako podpowierzchniowa składowa spływu powierzchniowego. Spływ po powierzchni terenu i spływ śródpokrywowy zachodzą w dwu ośrodkach o odmiennych właściwościach i tylko w czasie wezbrań występują równocześnie. Metody badań spływu śródpokrywowego znajdują się w fazie eksperymentów metodycznych (J. D. Hewlett 1961; C. Toebes, W. Ouryvaev 1970; J. Słupik 1973; E. Gil, R. Soja 1976). W obliczeniach hydrologicznych obie formy spływu są najczęściej ujmowane w jedną całość. J. Słupik, dając przybliżony obraz spływu w warstwie do 0,50 cm od powierzchni gleby, stwierdza niewielki udział spływu śródpokrywowego w odpływie warstwy, wynoszący tylko 2% wielkości spływu po powierzchni, udział spływu śródpokrywowego w odpływie z tej warstwy. Jednocześnie wyraża przypuszczenie, że spływ w warstwie zwietrzeliny osiągać może znaczne rozmiary na kontakcie pokryw i niezwietrzałego podłoża. Wielkość spływu śródpokrywowego oceniana jest przez A. A. Mołczanowa (1960) na ponad 50% odpływu całkowitego na obszarze europejskiej części ZSRR. W zlewni Skawy do Wadowic udział spływu śródpokrywowego wynosi 31% a spływ po powierzchni 21% odpływu całkowitego (Z. Pietryga 1975). Obserwacje terenowe wskazują, że spływ z pokryw w okolicach Szymbarku osiąga duże rozmiary, co uwidacznia się w wypływie wody z podcięć drogowych w dolnych partiach stoków.

Podjęto próbę określenia czasowych zależności między przepływem w cieku, spływem po powierzchni i spływem śródpokrywowym, wykorzystując dane z poletek pomiarowych w Szymbarku. Doświadczenie zostało zrealizowane według projektu wykonanego przez E. Gila. Rynnę metalową umieszczono w wykopie na głębokości 1 m od powierzchni. Ścianę wykopu osłonięto folią, a spływającą wodę odprowadzano do urządzenia o ciągłej rejestracji odpływu. Długość rynny wynosiła 10 m, a długość rolniczo użytkowanego stoku, z którego woda dopływa do rynny wynosiła około 160 m. Nachylenie stoku sięga 12° i miąższość pokryw zwietrzelinowych wzrasta od 1 m w górnej części stoku do 2,5 m w miejscu instalacji rynny. Pomiarem objęto spływ wody z warstwy jednego metra, dlatego też otrzymane wyniki nie dają pełnego obrazu ilościowego, lecz służyć mogą tylko do śledzenia relacji czasowych. Z uzyskanego materiału wybrano przykłady najpełniej ilustrujące relację spływu śródpokrywowego do innych składowych odpływu. Z uwagi na duże różnice ilościowe wykresy przedstawiono w skali półlogarytmicznej. Na rycinie 14 przedstawiono przebieg końcowej fazy roztopów śródzimowych zakończonych opadem deszczu o wysokości 6 mm. W czasie roz-

http://rcin.org.pl

topów na poletkach nie wystąpił spływ wody po powierzchni, lecz cała ilość wody z tającego śniegu wsiąkała w niezamarznięte podłoże. Obie krzywe obrazujące (ryc. 14) przepływ wody w cieku i spływ śródpokrywowy mają jednakowy przebieg, natomiast różnią się tylko w końcowej części, kiedy wystąpił opad deszczu. Zmniejszanie się przepływu w cieku nawiązuje do spadku odpływu z pokryw. Kulminacja wezbrania w zlewni Bystrzanki jest opóźniona w stosunku do najwyższego odpływu z pokryw, lecz różnice te mieszczą się w granicach czasu dobiegu fali wezbrania do przekroju pomiarowego. Spływ śródpokrywowy przy dużym nasyceniu pokryw nawiązywał do przebiegu opadów, stąd niewielkie wahanie natężenia spływu z pokryw.

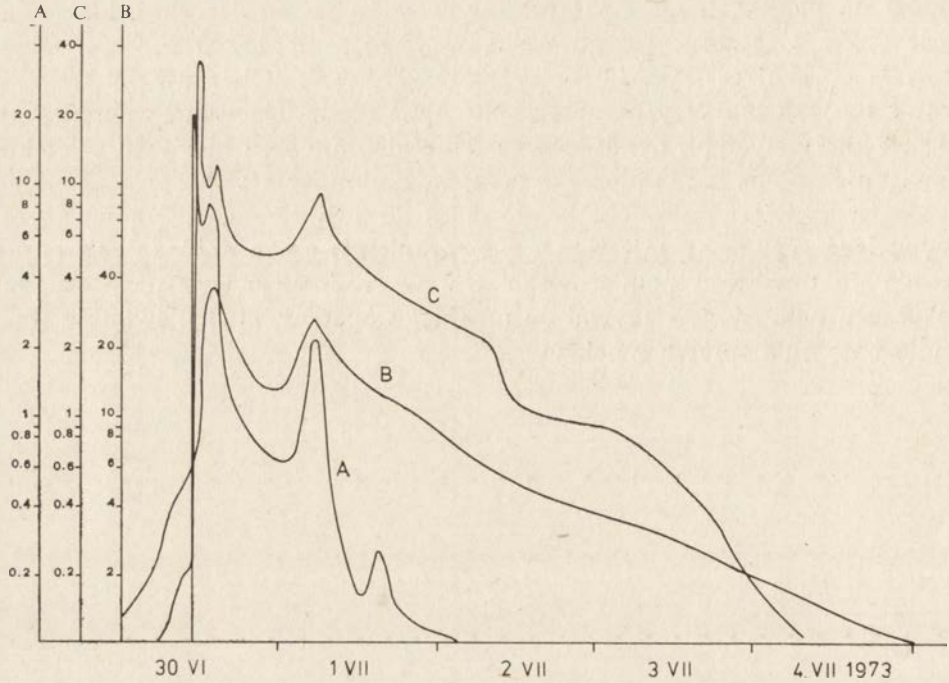


Ryc. 14. Przepływ w cieku (A) i spływ śródpokrywowy (B) w końcowej fazie okresu roztopowego

Stream discharge (A) and throughflow (B) during the end of snow-melt period

Inną sytuację przedstawia rycina 15; obrazująca przepływ w cieku, spływ po powierzchni i spływ z pokryw w czasie deszczu rozlewnego o wysokości 165 mm. I w tym przypadku obserwuje się zgodność czasową najwyższych wartości. Przepływ w cieku jest opóźniony w stosunku do najwyższych wartości spływu śródpokrywowego o 2 godziny. Kulminacja spływu po powierzchni przypada około 30 min. wcześniej w stosunku do najwyższych wartości odpływu z pokryw. W czasie dru-

http://rcin.org.pl



Ryc. 15. Spływ powierzchniowy (A), spływ śródpokrywowy (C) i przepływ w cieku (B) w czasie opadów rozlewnych — A, C w 1/min, B w m³/s

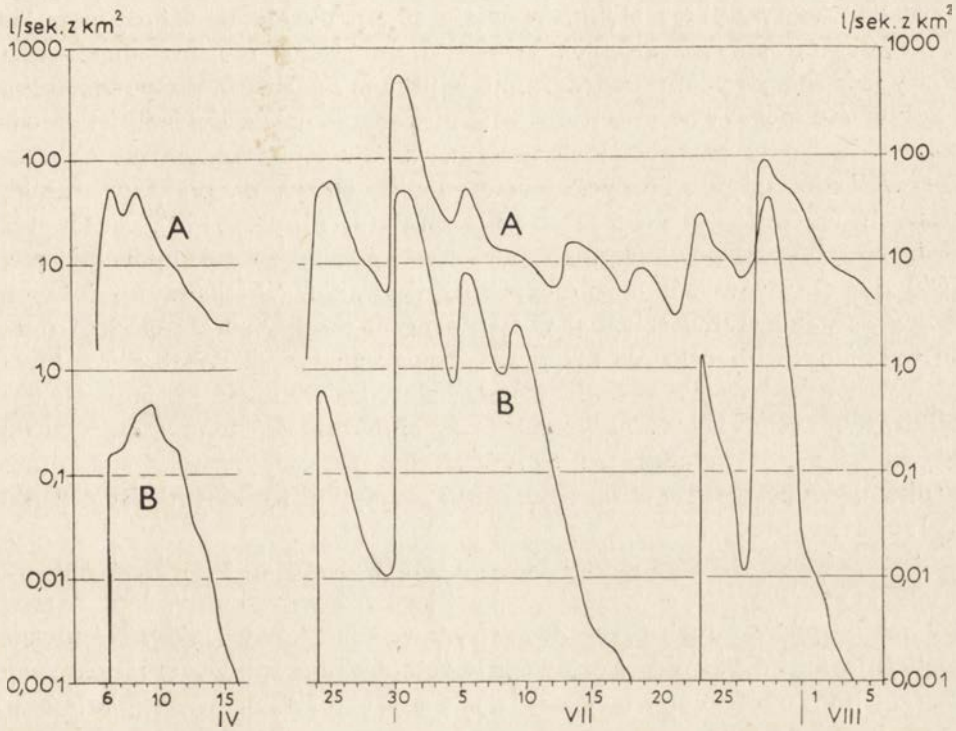
Overland flow (A), throughflow (C) and stream discharge (B) during the peristent rain. A, C, 1/s km², B m³/s

giej kulminacji w dniu 1 lipca spływ po powierzchni, spływ z pokryw i najwyższe wartości przepływu w cieku przypadają na tę samą godzinę. W ciągu całego wezbrania czas trwania spływu po powierzchni wyniósł 40 godz., a spływ śródpokrywowy z warstwy 1 m w ilościach mierzalnych trwał około 100 godz. Na podstawie podanych przykładów można stwierdzić, że w formowaniu wezbrania z opadów rozlewnych spływ z pokryw wyprzedza pojawienie się spływu po powierzchni, a szczytowa część wezbrania formowana jest z udziałem obu form spływu. Wraz ze wzrostem wilgotności pokryw różnice czasowe zanikają i przy pełnym nasyceniu pokryw w obrębie stoku brakuje różnic czasowych kulminacji spływu po powierzchni i spływu z pokryw. Ponieważ spływ po powierzchni i spływ z pokryw w czasie najwyższych wartości ściśle nawiązują do przebiegu opadów (natężenia opadów), stąd też szczytowa część wezbrania jest ściśle uzależniona od opadów. W tym czasie wpływ podłoża (gleba, szata roślinna) na kształtowanie się przepływu w cieku jest niewielki. Zależność ta kończy się wraz ze zmniejszaniem się spływu po powierzchni (po osiągnięciu kulminacji), a dalsza część wezbrania — krzywa opadania — jest uzależniona od przebiegu spływu śródpokrywowego.

Przebieg spływu śródpokrywowego w dłuższym czasie przedstawiono,

http://rcin.org.pl

przeliczając spływ w cieku i spływ z pokryw na wartość spływu jednostkowego w l/s km² (ryc. 16). Jako podstawę przeliczenia spływu śródpokrywowego przyjęto obszar 1650 m² — orientacyjną wielkość obszaru zasilania rynny. Dokładne określenie wielkości obszaru zasilającego rynnę nie jest możliwe i konieczne, ponieważ porównywano jakościowy przebieg zjawiska. Na rycinie 16 górna linia przedstawia spływ jednostkowy w przekroju pomiarowym w zlewni Bystrzanki, a dolna linia spływ jednostkowy z pokryw. Skala czasowa generalizuje przebieg obu linii, jednakże widoczna jest wzajemna zależność kulminacji fal wezbrań w cieku i dopływu z pokryw.



Ryc. 16. Przepływ w cieku (A) w 1/sek km² i spływ śródpokrywowy (B) w 1/s km² w dłuższym okresie czasu

Stream discharge (A) in 1/s km² and throughflow (B) in 1/s km² over a longer period

Szybkość przepływu wody w pokrywach, według badań w ukraińskich Karpatach, sięga 0,3—1,0 m/min. (A. N. Befani i in., 1967; M. I. Kiriluk 1969). Wydaje się, że szybkość przepływu wody w pokrywach przy pełnym nasyceniu pokryw jest wyższa. Wskazują na to małe różnice czasowe między najwyższym natężeniem opadów, spływu po powierzchni i spływu z pokryw. W dniu 30 VI 1973 najwyższe natężenie opadów

http://rcin.org.pl

wystąpiło między godziną 10^{56} a 11^{00} (w przedziałach pięciominutowych). Najwyższe natężenie spływu po powierzchni wystąpiło w czasie od 11^{25} do 11^{30}, a największe natężenie spływu śródpokrywowego zarejestrowano między godziną 11^{50} a 12^{00}. Orientacyjnie obliczona szybkość przepływu wody w pokrywach — przy długości obszaru zasilającego 160 m — wynosi około 3,0 m/s, czyli jest trzykrotnie wyższa od wartości podawanych przez A. N. Befaniego. W czasie drugorzędnej kulminacji tego samego wezbrania w dniu 1 VII (ryc. 15), przy mniejszym natężeniu spływu, prędkość płynięcia wody w pokrywach była zbliżona.

W czasie wezbrań z opadów krótkotrwałych i rozlewnych nakładanie się w czasie obu form spływu uniemożliwia ich rozdzielenie bez wykonywania obserwacji na stoku. W wielu przypadkach, nawet dysponując obserwacjami spływu śródpokrywowego na stoku, nie ma możliwości wiarygodnego podziału hydrogramu odpływu na spływ po powierzchni i spływ śródpokrywowy, a tym samym podanie wielkości spływu śródpokrywowego w odpływie całkowitym. Możliwe jest natomiast obliczenie wielkości spływu śródpokrywowego dla 1969 r. na podstawie zmierzonych wielkości spływu po powierzchni (J. Słupik 1973). Autor ten obliczył spływ po powierzchni w wysokości 60 mm za rok hydrologiczny 1969 dla obszarów pól o rolniczym użytkowaniu. W obszarach leśnych spływ po powierzchni osiągnął w tym samym roku wielkość około 1 mm, co w ogólnym bilansie nie ma praktycznego znaczenia. Wielkość spływu po powierzchni w przeliczeniu na całą zlewnię wynosiła 22 mm, tj. 9% całkowitego odpływu. Odpływ gruntowy obliczony dla tego roku wynosił 104 mm, czyli 41% odpływu. Spływ śródpokrywowy zamykający bilans odpływu wynosił 127 mm, czyli 50% odpływu ze zlewni Bystrzanki w 1969 r.

Szacunkowe obliczenia dla innych lat wykazują, że udział spływu śródpokrywowego w odpływie osiąga nieco niższe wartości, lecz zawsze wyższe od podawanych przez Z. Pietrygową dla Skawy (1973). Na uwagę zasługuje fakt wybitnie okresowego występowania spływu śródpokrywowego. Spływ śródpokrywowy, jak wykazały obserwacje w obrębie stoku, może trwać do 30 dni przy pełnym nasyceniu gruntu. Spływ śródpokrywowy występuje sezonowo, głównie w zimowym półroczu i w czasie opadów typu rozlewnego, a czas trwania spływu z warstwy 1 metra można szacować na 20—120 dni w ciągu roku.

http://rcin.org.pl

UWAGI KOŃCOWE I WNIOSKI

Próba analizy wybranych elementów obiegu wody w zlewni Bystrzanki i Ropy wykazała, że obieg wody w obu zlewniach ma wiele cech wspólnych. Należało tego oczekiwać mając na uwadze to, iż zlewnie znajdują się w jednym regionie fizyczno-geograficznym, a ponadto zlewnia Bystrzanki jest częścią zlewni Ropy. Jednakże, prócz podobieństw stwierdzono także jakościowe i ilościowe odrębności w obiegu wody w obu zlewniach. Pod względem budowy geologicznej, rzeźby i częściowo stosunków klimatycznych zlewnia Bystrzanki reprezentuje zlewnię typową dla Beskidu Niskiego, nie ma żadnych cech szczególnych. Zasadnicza różnica między zlewnią Bystrzanki a zlewnią Ropy do Szymbarku istnieje w strukturze użytkowania ziemi. W zlewni Bystrzanki pola uprawne zajmują 48% powierzchni, podczas gdy w zlewniach cząstkowych Ropy do Szymbarku (w zlewniach o zbliżonych wielkościach), pola uprawne zajmują 10—15% powierzchni.

Zlewnia Ropy zajmuje 1/22 powierzchni zlewni Ropy do Szymbarku. Opady w zlewni Bystrzanki w stosunku do opadów w zlewni Ropy stanowią 1/24 całości. Odpływ ze zlewni Bystrzanki wyrażony w metrach sześciennych stanowi 1/25 odpływu ze zlewni Ropy. Przytoczone liczby dotyczą wartości zsumowanych za pięciolecie 1969—1973 i w najprostszy sposób wskazują, w jakim stosunku do siebie pozostają obie zlewnie. Różnice nie są duże w wartościach bezwzględnych, lecz relacje między opadem, odpływem a współczynnikiem odpływu w obu zlewniach wskazują na nieco różny charakter obiegu wody w zlewni Bystrzanki i Ropy. Rozpatrując zmienność opadu, odpływu i współczynnika odpływu w układzie zlewnia Bystrzanki — zlewnia Ropy w przedziałach miesięcznych stwierdzono że: zmiana wysokości miesięcznych sum opadów w jednej zlewni w zupełności znajduje odbicie w zmianie wysokości sum opadów w drugiej zlewni z zachowaniem prawie stałej różnicy wysokości opadów. Związek między współczynnikiem odpływu w obu zlewniach jest nieco słabszy, a najsłabszy, lecz istotny statystycznie, związek między przepływem (odpływem wyrażonym w mm) w obu zlewniach.

W rocznym rytmie opadu i odpływu najczęstsze i największe różnice w wysokości opadów, odpływu i wartościach współczynnika odpływu między zlewniami Bystrzanki i Ropy występują w miesiącach letnich.

http://rcin.org.pl

Okres od czerwca do sierpnia jest okresem występowania opadów ulewnych, często o bardzo małym zasięgu. Położenie zlewni Bystrzanki w brzeżnej części Beskidu Niskiego, gdzie opady ulewne występują bardzo często powoduje, że ten rodzaj opadów decyduje o wielkości odpływu ze zlewni w okresie letnim. W pozostałych miesiącach roku różnice w opadzie i odpływie są niewielkie i występują sporadycznie.

Rozpatrując przebieg i wielkość wezbrań stwierdzono, że w grupie wezbrań roztopowych, parametry wezbrań w obu zlewniach są podobne (z wyjątkiem wielkości przepływu, który jest funkcją wielkości obszaru zasilania). Wielkość maksymalnych spływów jednostkowych w czasie wezbrań roztopowych w obu zlewniach jest zbliżona. Wezbrania roztopowe formują się wcześniej w zlewni Bystrzanki, zwłaszcza wezbrania z roztopów radiacyjnych, co wynika z południowej ekspozycji zlewni Bystrzanki. Wezbrania opadowe, zwłaszcza wezbrania wywołane opadami rozlewnymi i opadami o małym natężeniu w okresie wiosny i jesieni, także mają zbliżone parametry w obu zlewniach, chociaż nie tak jednoznacznie jak wezbrania roztopowe. Wezbrania wywołane opadami ulewnymi cechuje największe zróżnicowanie tak parametrów czasowych, jak i wielkości.

Jednym z ważniejszych wniosków wynikających z analizy wezbrań jest stwierdzenie, że odpływ z wezbrań małych i średnich w obu zlewniach pozostaje w stałym stosunku. Przy tych samych opadach odpływ ze zlewni Bystrzanki jest niższy. Wraz ze wzrostem wysokości opadów — powyżej 60—80 mm wzajemne relacje ulegają zmianie. Jednakowe sumy opadów w obu zlewniach dają w tym przypadku większy odpływ ze zlewni Bystrzanki. Zmiana ta jest wyrazem zmiany sposobu reagowania zlewni przy dużym nasyceniu podłoża. Stopień nasycenia zlewni przy jednakowej sumie opadów uzależniony jest od użytkowania ziemi. Zlewnia Bystrzanki ma charakter zlewni o użytkowaniu rolno — leśnym, zlewnia Ropy leśno — rolnym, stąd też większy odpływ z rolniczo użytkowanej zlewni Bystrzanki.

Parametry czasowe wezbrań zależne są od wielkości zlewni i czynnika powodującego wezbranie. Średni czas koncentracji wezbrań w zlewni Bystrzanki jest o 2—4 godzin krótszy (w zależności od rodzaju opadów) niż w zlewni Ropy. Średni czas trwania wezbrań jest bardzo wyraźnie uzależniony od rodzaju opadów. Różnice między zlewniami przy opadach rozlewnych sięgają średnio tylko jednej godziny, a przy wezbraniach wywołanych niskimi na ogół opadami w czasie wiosny i jesieni sięgają 13 godzin. Dla obu zlewni i dla wszystkich wezbrań czas koncentracji stanowi 36—37% czasu trwania wezbrania, bez względu na wielkość przepływu maksymalnego.

Najważniejsze wnioski odnoszące się do zasilania gruntowego zamykają się w następujących stwierdzeniach: retencyjność (w mm) zlewni Bystrzanki jest mniejsza niż retencyjność zlewni Ropy do Szymbarku.

http://rcin.org.pl

Udział odpływu gruntowego w odpływie całkowitym ze zlewni Bystrzanki jest mniejszy niż w zlewni Ropy. Wskazuje to na szybszy obieg wody w zlewni Bystrzanki. Odpływ pochodzenia gruntowego ze zlewni Bystrzanki stanowi 1/27 odpływu gruntowego Ropy przy zastosowaniu do obliczeń metody ścinania szczytów fal wezbrań. Zmodyfikowana metoda Wundta daje wartość niższą, wynoszącą 1/24 odpływu gruntowego Ropy w Szymbarku.

Wpływ wielkości zlewni na wielkość zasilania gruntowego jest dyskusyjny. Przedstawiony w pracy materiał wskazuje, że w zlewniach rzek Beskidu Niskiego wielkość odpływu gruntowego, a także procentowy udział odpływu gruntowego w odpływie całkowitym zmienia się wraz z wielkością zlewni. Jednoznaczna odpowiedź na pytanie, czy odpływ gruntowy wzrasta czy też zmniejsza się wraz z przyrostem powierzchni zlewni możliwa jest jedynie przy stosowaniu do obliczeń jednej metody dla wszystkich zlewni, istniejące bowiem w literaturze rozbieżności mogą wynikać z błędów metodycznych. W zlewni Ropy do Szymbarku wielkość zasilania gruntowego zmniejsza się wraz z przyrostem powierzchni zlewni. W zlewniach o powierzchni kilkunastu kilometrów kwadratowych zmiany wielkości zasilania zachodzą skokowo, w zależności od lokalnych warunków środowiskowych.

Obieg wody w zlewni Bystrzanki ma wiele cech zbliżonych do obiegu w zlewni Ropy. Różnice w odpływie między zlewniami Bystrzanki i Ropy w skali rocznej czy też w miesiącach o przebiegu zjawisk hydrometeorologicznych zbliżonym do średniego z wielolecia są małe. Różnice między zlewniami wzrastają w czasie występowania zjawisk hydrometeorologicznych o małej częstotliwości pojawiania się, np. w czasie opadów o sumach powyżej 60—80 mm w jednym ciągu opadowym, w czasie długotrwałych niżówek. Jedną z zasadniczych przyczyn występowania różnic w obiegu wody w obu badanych zlewniach jest odmienna struktura użytkowania ziemi, w czym przejawia się wpływ człowieka na obieg wody.

http://rcin.org.pl

LITERATURA

Aleksjejew G. A., 1948, *Dinamika infiltracja dożdiewoj wody w poczwu*, Trudy GGI, wyp. 6, Moskwa.

Augustowski B., 1968, *Spostrzeżenia nad zmianami antropogenicznymi w korycie rzeki Ropy w Karpatach w okolicy Biecza*, Zesz. Nauk. WSP Gdańska R. 10.

Befani A. N., Befani H. P., Wiszniewskij P. F., Iwanienko A. G., Pozdniakowa W. B., Tjuchtja K. K., 1967, *Eksperimentalnyje issledowanija dożdiewogo stoka w Karpatach*, Trudy Ukr. IUGMI, wyp. 69.

Bołdakow E. W., 1951, *Stok liwniewych wod iz małych bassiejnow*, Moskwa.

Cetnarowicz M., 1963, *Bilans wodny Bobra w profilu Jelenia Góra za okres 1947/48—1953/54 wg metody Konstantinowa*, Pr. i St. Kom. Inż. i Gosp. Wod., t. VI.

Ciepielowski A., 1970, *Maksymalne wielkości spływów jednostkowych z deszczów nawalnych*, Przegl. Geofiz., r. XV, z. 2.

Chomicz K., 1951, *Ulewy i deszcze nawalne w Polsce*, Wiad. Służby Hydr. Meteo., t. II, z. 3.

Dauksza L., Gil E., Kotarba A., Kramarz K., Niemirowska J., Słupik J., Starkel L., 1970, *Badania fizyczno-geograficzne otoczenia Stacji Naukowo-Badawczej IG PAN w Szymbarku*, Dokum. Geogr., z. 3.

Dębski K., 1960, *Bilans wodny Wisły po Warszawę*, Wiad. Służby Hydr. Meteo., t. II, z. 2.

— 1961, *Charakterystyka hydrologiczna Polski*, Warszawa.

— 1963, *Podział wody retencjonowanej na gruntową i związaną*, Pr. i St. Kom. Inż. i Gosp. Wod., t. VI.

— 1970, *Hydrologia*, Warszawa.

Dynowska I., 1971, *Typy reżimów ręcznych* w Polsce, Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., z. 28.

— 1974, *Obliczenie odpływu gruntowego metodą Natermanna*, Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., z. 38.

Figuła K., 1962, *Powódź letnia 1960 roku na karpackich dopływach Wisły w woj. Krakowskim*, Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 37.

— 1966, *Badania nad gospodarką wodną zlewni górskich zalesionych i niezalesionych*, Rocz. Nauk Roln., seria D, t. 118.

Gil E., 1976, *Spłukiwanie gleby na stokach fliszowych w rejonie Szymbarku*, Dokum. Geogr., z. 2.

Gil E., Słupik J., 1972 a, *The influence of the plant cover and land use on the surface run-off and wash down during heavy rain*, St. Geomorph. Carpatho Balc., vol. VI.

— 1972 b, *Hydroclimatic conditions of slope wash during snow melt in the Flysch Carpathians*, Les Congres et Colloques de l'Universite de Liege, vol. 67.

Gil E., Soja R., 1976, *Udział spływu powierzchniowego w całkowitym odpływie*

http://rcin.org.pl

w zlewni fliszowej, Zesz. Nauk. Polit. Krak., Bud. Wodne i Inż. San., z. 24.
Gil E., Starkel L., 1976, *Complex physico-geographical investigations and their importance for economic development of the Flysch Carpathians area*, Geogr. Pol., z. 34.
Gregory S., 1970, *Metody statystyki w geografii*, Warszawa.
Hess M., 1965, *Piętra klimatyczne w Polskich Karpatach Zachodnich*, Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., 11.
Hess M., Niedźwiedź T., Obrębska-Starkel B., 1976, *Charakterystyka stosunków termicznych obszarów górskich z punktu widzenia warunków wegetacji roślin uprawnych, Fol. Geogr.*, vol. X.
Hewlett J., 1961, *Soil moisture as a source of base flow*, South-Eastern Forest Experimental Station, Asheville, North Caroline, station paper nr 132.
Kaczorowska Z., 1962, *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*, Pr. Geogr. PAN, z. 33.
Kiciński T., 1970, *Odpływ wód gruntowych ze zlewni Wisły po Zawichost*, Pr. i St. Kom. Inż. i Gosp. Wodnej i Sur., t. X.
Kiriluk M. I., 1969, *Wodnyj bałans wodosborow gornych riek rajiona Zakarpatskoj stokowoj stancji za otdielnyje gody*, Trudy GGI, 14.
Koniar-Schaeferowa J., 1970, *Analiza wpływu wielkości topograficznej powierzchni zlewni na wielkość spływów niżówkowych z małych dorzeczy Karpat Fliszowych*, Czas. Techn., 9.
— 1975, *Studium wpływu budowy geologicznej na rozkład spływów niżówkowych w małych dorzeczach Karpat Fliszowych*, Zesz. Nauk. PK Kraków, Bud. Wodn. i Inż. San., z. 21.
Kordas B., 1974, *Hydrodynamika zlewni*, [w:] *Modele matematyczne zlewni*, Wrocław.
Kozikowski H., 1956, *Geologia płaszczowiny magurskiej i jej okien tektonicznych na południowy zachód od Gorlic*, Z badań geologicznych w Karpatach, t. 1.
Kupczyk I., 1968, *Warunki synoptyczne występowania wezbrań roztopowych w Polsce Południowej*, Przegl. Geofiz., r. 13, z. 2.
Kurek S., Pawlik-Dobrowolski J., 1977, *Przestrzenne zróżnicowanie podziemnego zasilania zlewni jako wynik niezgodności zlewni topograficznej ze zlewnią podziemną, Zasoby wodne w małych zlewniach — ocena i gospodarowanie*, Falenty.
Lach J., 1975, *Ewolucja i typologia krajobrazu Beskidu Niskiego z uwzględnieniem gospodarczej działalności człowieka*, Prace Monograf. WSP Kraków, t. 16.
Lambor J., 1952, *Związki charakteryzujące największe opady na ziemiach polskich*, Przegl. Met. i Hydr., z. 1—2.
— 1954, *Klasyfikacja typów powodzi i jej przewidywanie*, Gosp. Wodna 4.
— 1971, *Hydrologia inżynierska*, Warszawa.
Maliewanyj G. G., Pirjatin W. D., 1972, *Sposob najmienszych kwadratow w gidrogeołogiczeskich issledowaniajach i rasczi otach*, Charków.
Mendel O., 1976, *Problematyka redukcji systematycznych błędów pomiaru opadów*, Zesz. Nauk. Polit. Krak., Bud. Wod. i Inż. San., z. 24.
Mikulski Z., 1962, *Występowanie niżówek, wezbrań i powodzi w rzekach polskich*, WSHM, z. 49.
Mołczanow A. A., 1960, *Gidrołogiczeskaja rol lesa*, Moskwa.
Niedzielski H., 1974, *Wodochłonność skał fliszowych w wybranych rejonach Karpat.*, Roczn. PTG, t. XLIV, z. 1.
Niedźwiedź T., 1972, *Heavy rainfall in the Polish Carpathians during the flood in July 1970*, St. Geomorph. Carpatho-Balc. vol. V.

http://rcin.org.pl

Obrębska-Starkel B., 1970, *Mezoklimat zlewni potoków Jaszcze i Jamne*, St. Naturae, ser. A, nr 2.

— 1973, *Stosunki mezo- i mikroklimatyczne Szymbarku*, Dokum. Geogr., t. 5.

Osuch B., 1968, *Problemy wynikające z nadmiernej eksploatacji kruszywa rzecznego na przykładzie rzeki Wisłoki*, Zesz. Nauk. AGH, z. 15.

— 1976, *Problemy jednorodności pomiarów przepływów w małych ciekach górskich*, Zesz. Nauk. Polit. Krak., Bud. Wod. i Inż. San., z. 24.

Ozga-Zielińska M., 1975, *Struktura i funkcje operatorów modeli systemów hydrologicznych*, Wiad. Met. i Gosp. Wod., t. II, z. 1.

Pawlik-Dobrowolski J., 1971, *Odpływ gruntowy dwu małych zlewni o różnym stopniu zalesienia*, Wiad. Inst. Użyt. Ziel., t. X, z. 1.

Perechrest S. M., Koczubej S. G., Pieczkowskaja O. M., 1971, *Szkidliwi stichijni jawiszcza w Ukrainskich Karpatach ta zasoby borotby z nimi*, Kijów.

Pietryga Z., 1975, *Odpływ podziemny w ogólnym obiegu wody w Karpatach na przykładzie dorzecza Skawy*, Mat. Bad. IMGW, 5.

Powódź w roku 1960, Materiały monograficzne., 1967.

Prochal P., 1973, *Czynniki wpływające na natężenie zmywów i ruchów rumowiska w potoku Wierchomla Wielka*, Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z. 151.

Przepływy charakterystyczne rzek polskich za lata 1951—1960, Warszawa 1967.

Punzet J., 1959, *Wykorzystanie krzywej opadania przepływów do wyznaczania odpływu gruntowego w rzece*, Wiad. Służby Hydr. Meteo., t. 7, z. 3.

— 1975, *Zasoby wodne dorzecza górnej Wisły*, cz. 2, Przepływy maksymalne mpis).

— 1977, *Ocena przepływów wielkich wód z małych zlewni w dorzeczu górnej Wisły*, Gosp. Wodn., 6.

Schmuck A., 1966, *Posuchy i wysokie opady atmosferyczne w woj. wrocławskim w latach 1950—1959*, Czasop. Geogr., z. 5.

Skibniewski L., 1959, *Podział odpływu Wisły na powierzchniowy i gruntowy w okresie 1950—1954.*, WSHM, z. 22.

Słupik J., 1973, *Zróżnicowanie spływu powierzchniowego na fliszowych stokach górskich*, Dokum. Geogr., z. 2.

Soja R., 1977, *Przestrzenne zróżnicowanie opadów w dorzeczu Ropy*, Dokum. Geogr., z. 6.

— 1977, *Deepening of channel in the light of the cross profile analysis (Carpathians river as example)*, St. Geomorph. Carpatho — Balc., vol. XI.

Stachy J., 1976, *Propozycja nowej metody obliczania przepływów maksymalnych w małych zlewniach nie kontrolowanych (mniejszych od 50 km²)*, Gosp. Wodna 8—9.

Starkel L., 1972, *Charakterystyka rzeźby Karpat Polskich (i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej)*, Probl. Zagosp. Ziem Gór., 10.

Stawnicka-Stolarska A., 1963, *Odpływ z dorzecza Osławy podczas powodzi w dniach 12—13 VII*, Pr. i St. Kom. Inż. i Gosp. Wodnej, t. 6.

Struzner L. P., Nieczajew I. N., Bogdanowa E. G., 1965, *Sistematiczeskoje pogrszennost izmierjenija atmosfiernych osadkow*, Meteo. i Gidr., 10.

Świątecki A., 1967, *Analiza możliwości stosowania typowych krzywych natężenia opadów w funkcji trwania czasu opadów*, Pr. i St. Kom. Inż. i Gosp. Wodnej, t. 8.

Świdziński H., 1973, *Budowa geologiczna i roponośność rejonu Szymbarku koło Gorlic*, Prace Geol., 80.

Tlałka A., 1976, *Stosunki wodne dorzecza Białej Dunajcowej*, St. Ośrodka Dokum. Fizjograf. PAN, t. V, Kraków.

http://rcin.org.pl

Toebes C., Ouryvaev W., 1970, *Representative and experimental basins.*
Van Te Chow, 1964, *Handbook of applied hydrology,* Nowy Jork.
Węcławik S., 1969, *Budowa geologiczna płaszczowiny magurskiej między Uściem Gorlickim a Tyliczem,* Pr. Geol., nr 59.
Wilgat T., 1972, *Hydrographical examinations of small drainage area basins in Poland,* Geog. Pol., 22.
Ziemońska Z., 1973, *Stosunki wodne w Polskich Karpatach Zachodnich,* Pr. Geogr., nr 103.

http://rcin.org.pl

ANALYSIS OF RUNOFF FROM THE BYSTRZANKA AND ROPA FLYSCH CATCHMENTS (THE BESKID NISKI MTS)

Summary

The work discusses hydrological conditions prevailing in two flysch Carpathian drainage basins. The Ropa catchment extending to Szymbark has an area of 303 km², of which 13,6 km² are occupied by the tributary Bystrzanka catchment area. The water stage recorder at Szymbark is at 297 m asl., and the highest peaks in the Ropa basin rise to 938 m asl. This catchment is sheltered from the rain by the Beskid Zachodni Mts so that mean annual precipitation is slightly more than 820 mm. The annual march of runoff from the Ropa catchment is illustrated in figure 7. The Bystrzanka drainage basin occupies the northern part of the Ropa catchment (fig. 2) where altitudes are 754 m.

It is the aim of study to show both analogy and difference in the water cycle — "chiefly in the runoff values" — in both drainage basins situated within one physico-geographical region. The basins discussed differ by size and type of land use. The Bystrzanka catchment is mostly under farmland with occasional forest, while the Ropa catchment is mostly under woodland with minor cultivated areas.

Comparison is based on the examination of runoff values against precipitation data. The following problems are discussed: precipitation and runoff for every month of the 5-year period 1969—1973 (tables 2, 3, 4, 5, 6) high flow parameters (time of rise base, time-base flow duration, maximum and mean discharges at high stage, precipitation and runoff at high stage etc.), runoff, water storage capacity of drainage basin, time distribution of throughflow, overland flow and stream discharge. Basic data were derived from the study of graphs measured at the Scientific Station of the Institute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Sciences, at Szymbark, near Gorlice. The available data were as follows: discharges per hour measured at two water stage recorders, precipitation measured at 10 locations, data collected from experimental plots, discharge measurements and data obtained from the Institute of Meteorology and Water Management. All materials were collected for 1969-1973.

The 5-year period 1969-1973 was characterized by both high annual precipitation totals and frequent occurrences of peak flows. The examination of 130 high flows which have been recorded in the Ropa drainage basin show that at 69 high stages $Q_{max}>20$ m³/s., i. e. discharges exceeded $Q_{P100\%}$, at 10 high stages $Q_{max}>$ >88 m³/s. ($_{P50}$%) three high stages at which $Q_{max}>225$ m³/s ($_{P10}$%), and with one high stage each at which $Q_{max}>282$ m³/s. ($_{P5}$%), and even $Q_{max}>357$ m³/s. ($_{P2}$%). The precipitation totals for certain months of the 5-year period were exceptionally high, for example, as in July, 1970 (262 mm), in August 1972 (242 mm), and in June, 1973 (318 mm), while in September, 1969, and March, 1972, precipitation was only about 10 mm so that very low flows occurred.

In the Bystrzanka catchment, precipitation totals are lower than those in the

http://rcin.org.pl

Ropa catchment because of lower altitudes (fig. 4, 5). Similarly, the runoff values per month for the Bystrzanka basin are mostly lower than those for the Ropa catchment. At high stages produced by excessive rainfall exceeding 80 mm per one spell of persistent rain the reverse is true: runoff values for the Bystrzanka catchment are higher than those for the Ropa catchment (fig. 8). This relation is expresed by equations (1) and (2) based on 80 rainfall and runoff measurements in each of the drainage basins:

(1) $\log H = 1.7664 \log P - 1.9758$ (for the Bystrzanka basin)

(2) $\log H = 1.3404 \log P - 1.1456$ (for the Ropa basin)

where P ranges from 15 to 130 mm.

The above relations show that both catchments receiving the very same amount of rainfall will respond in various degrees to increasing rainfall amounts. The cause is the varying water storage capacity being affected by different land use in both drainage basins.

Comparison between monthly precipitation and runoff values as well as runoff coefficients for both catchments reveals that changes in precipitation amounts occurring in one basin will cause similar changes in the other basin. Evidence is the high correlation coefficient r = 0,99. The examination of runoff (mm): along with discharge and specific runoff from one basin affect slightly the runoff from the other drainage basin. This is indicated by $r = 0.89$ for the entire 5-year period. The less related runoff values indicate differences being the result of the various modes of runoff production in both drainage basins. A closer relation between runoff coefficients is reflected in $r = 0.94$. All relations are valid at the 0.1% level of Student's t test.

Analyses of high flows included the examination of mean high flow parameters showing certain groupings according to the origin. High stages are produced either by snowmelt or by excessive rainfall. During the snowmelt season high flows are created by radiation snowmelt, by advection snowmelt and by rain-produced snowmelt. The rain-produced high flows include high stages caused by longer spells of persistent rain, by high intensity rainfall and by low intensity rainfall of low amounts.

Emphasis was laid on the calculation of hydrological parameters. The quantitative relation between the various parameters also were stated. It was found that for the high flows produced by heavy rain the mean time of rise varies from 4.9 hours (Bystrzanka catchment) to 9.0 hours (Ropa catchment). During spells of continuous rain the above differences are much smaller ranging from 9.1 hours (Bystrzanka basin) to 11.0 hours (Ropa catchment). The relation between high flow parameters may be exemplified either in the relation of discharge (pnm) to base flow duration (page 39) or in relation of maximum discharge to mean discharge at high stage (page 42).

Attention was paid to the less frequently used index Q_{max}/Q_{mean} for a given high flow (tables 12, 13). It was found that the ratios of Q_{max} to Q_{mean} which indicate the dynamics of the high flow also express the contribution by overland flow to high flow. Results obtained by measurement at the experimental plots and by analyses of high flows in the Bystrzanka catchment show that with ratios Q_{max} to Q_{mean} decreasing below 1.80 high flows are produced without overland flow.

The base flow duration and the magnitude of runoff which in the literature is known as the flood flow (tab. 20) also is considered.

In the Bystrzanka basin, the total base time was 5.58 per cent of the entire 5-year period, and the runoff this time were more than 37 per cent of this period. The corresponding data for the Ropa catchment are 8.07 per cent and 42 per cent.

The runoff values for catchments and the water storage capacity were calculated by Dębski's formula which is a modification of the Maillete formula. If

http://rcin.org.pl

other methods are used, lower runoff values for the Bystrzanka basin are obtained (tab. 21, 22), except for months with high flow occurrences. The water storage capacity was calculated for reduced discharges occurring at similar time periods. The formulas used made it possible to calculate the water storage capacity for a given period. The relationship of water storage capacity (R expressed in mm) to discharge Q expressed in l/s is described by the formulas:

(3) $R = 0.00495\, Q^{1.151}$ (for the Bystrzanka basin)

(4) $R = 0.171\, Q^{1.090}$ (for the Ropa basin)

The average streamflow recession curves (fig. 10, 11) show that the diurnal dicrease in discharges is higher in the Bystrzanka basin of predominant agricultural use than in the forest-covered Ropa basin. After 30 days of reduced discharges the specific runoff values vary from 0.4 l/s km² (Bystrzanka basin) to 0.6 l/s km² (Ropa basin).

Attempts were made to determine whether basin size affects the magnitude of low flows. For this purpose discharges were measured at the mouths of partial watersheds having areas of about 10 per cent of the total Ropa basin (fig. 12). The results show that the magnitude of low flows. For this purpose discharges were measured at the mouths of partial watersheds having areas of about 10 per cent of the total Ropa basin (fig. 12). The results show that the magnitude of low flows is not related to basin size. However, considering the discharges of 0.580 m³/s. recorded at Szymbark the relation of discharge "(Q) to basin area (A) is expressed by the formula (s):

(5) $Q = 1207\, A^{0.680}$

In the watersheds having an area of less than 25 km² changes in discharges with increasing basin size tend to occur step-wise so that no relation can be established in quantitative form.

Qualitative studies of throughflow were made to state the time-dependent relation of throughflow to overland flow and stream discharge (fig. 14, 15, 16). It was found that during spells of persistent rain the rising limb of the hydrograph is produced chiefly by throughflow. Furthermore, numerous high flows are created without contributing overland flow.

The Bystrzanka basin is a 1/22 fraction of the Ropa basin extending to Szymbark. It receives a 1/24 fraction of the precipitation total in the Ropa basin, and runoff, m³, is a 1/25 fraction of the total runoff from the Ropa basin. Differences in the annual runoff values for both catchments are rather small and tend to increase at the time of hydrological events having long recurrence interval.

Translated by S Gilewska

http://rcin.org.pl

АНАЛИЗ СТОКА ИЗ ФЛИШЕВЫХ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ БЫСТЖАНКИ И РÓПЫ (НИЗКИЙ БЕСКИД)

Резюме

В работе даётся характеристика водных отношений двух карпатских водосборных флишевых бассейнов. Это бассейны: реки Рóпы до Шимбарка — 303 км² и её притока, малого водотока с названием Быстжанка — поверхностью в 13,6 км². Водомерный пост в Шимбарке находится на высоте 297 м над уровнем моря а самые большие возвышения в бассейне Рóпы достигают 938 м. н.ур.м. Бассейн Рóпы лежит в осадочной тени Западных Бескидов, а среднегодовые суммы осадков незначительно превосходят 820 мм. Ход стока из бассейна Рóпы в течение года представляет рис. 7. Водосборной бассейн Быстжанки лежит в северной части бассейна Рóпы (рис. 2), наибольшие высоты достигают 754 м н.ур.м.

Целью работы является раскрытие аналогии и разниц в круговороте воды — главным образом в стоке — в двух водосборах принадлежащих к одному физикогеографическому району. Оба бассейна отличаются по своей величине и структуре землепользования. Водосборный бассейн Быстжанки характеризуется сельскохозяйственно - лесным, а Рóпы лесно - сельскохозяйственным землепользованием.

Сравнивая водные отношения обоих бассейнов мы концентрировались на анализе стока на фоне осадков. Рассматривались следующие вопросы: осадки и сток в месячных интервалах (таблицы 2, 3, 4, 5, 6), параметры поднятий воды (время концентрации, продолжительность ноднятия, максимальные и средние расходы отподнятий, осадки и сток во время поднятий и т.п.), грунтовый сток, водозадерживающая способность бассейна, соотношения времени между почвенным стоком а стоком из поверхности и расходами воды в водотоке. Основными материалами были данные собранные на Научной Станции Института Географии и Территориального Освоения Польской Академии Наук в Шимбарке вблизи Горлиц. Это были: величины расходов измеряемые каждый час в двух водомерных постах, осадки из 10 измерительных пунктов, данные из опытных участков, измерения расходов. Использовались тоже данные Института Метеорологии и Водного Хозяйства относительно осадков. Материалы собирались в годы 1969 — 1973.

Годы 1969 — 1973 принадлежали к годам с большими суммами осадков и частыми поднятиями. Из анализированных 130 волн поднятий водосборного бассейна Рóпы 69 волн имело Q мах. > 20 м³ / сек., т.е. расход больше уровня воды с $p_{100\%}$, 10 волн — Q мах > > 88 м³ / сек ($P_{50\%}$), в том числе три волны следует склассифицировать на уровне $p_{10\%}$ (Q мах. > 225 м²),а по одной на уровне $P_{5\%}$ (Q мах > 282 м³ / сек) и $P_{2\%}$ (Q мах > 357 м³/ сек). Суммы осадков в некоторые месяцы достигали редко наблюдаемых величин, напр. VII. 1970 — 262 мм, VIII. 1972 — 242 мм, VI. 1973 — 318 мм. В исследуемое пятилетие зарагистрировано тоже исключительно низкие месячные суммы осадков, например IX. 1969, III. 1972 с суммами ок. 10 мм, что привело к глубоким меженям.

Осадки в водосборе Быстжанки меньше, чем в бассейне Рóпы, что связано с меньшими высотами над уровнем моря (рис. 4,5). Сток из водосбора Быстжанки как правило меньше, чем из бассейна Рóпы (месячные величины). Во время поднятий вызванных осадками с суммой

http://rcin.org.pl

больше, чем 80 мм за один ход осадков наблюдается обратное явление, т.е. сток из бассейна Быстжанки больше, чем из бассейна Рóпы (рис. 8). Эту зависимость иллюстрируют уравнения (1) и (2), выведенные на основании 80 пар наблюдений осадков и стока.

(1) Бассейн Быстжанки: $\log H = 1{,}7664 \log P - 1{,}9758$

(2) Бассейн Рóпы: $\log H = 1{,}3404 \log P - 1{,}1456$

Эти зависимости (для P в пределах 15 – 130 мм) указывают, что реагирование обоих водосборных бассейнов на осадки одинаковой величины меняется наряду с ростом суммы осадков. Причиной является разная водозадерживающая способность обоих бассейнов, вытекающая из различного использования земель. Сравнивая величину осадков, стока и коэффициента стока в обоих бассейнах в месячных интервалах констатировано, что изменение суммы осадков в одном водосборном бассейне находит своё отражение в изменении суммы осадков в другом бассейне. (Коэффициент корреляции 0,99). Одним и тем же способом анализированная величина стока в мм (и тем сасмым удельные расход и сток) указывает, что изменение стока в одном водосборном бассейне находит меньшее отражение в другом. Для всего пятилетия в этом случае коэффициент корреляции составляет 0,89. Меньшая связь между стоком из обоих бассейнов указывает на существование разниц, которые вытекают из различного способа формирования стока в обоих бассейнах. Значительно более тесную связь показывает коэффициент стока. Величина коэффициента корреляции для коэффициента стока составляет 0,94. Все эти величины являются существенными на уровне 0,1% по тесту *m* Студента.

Основной предпосылкой в анализе поднятий воды было расмотрение средних величин параметров поднятий в пределах генетических групп. Поднятия были разделены на талые и осадковые. Среди талых поднятий выделены: поднятия от радиационного таяния, адвективного таяния и таяния от осадков. Среди осадковых поднятий выделены: поднятия от обложных дождей, от ливневых дождей, поднятия вызванные осадканми с малыми суммами и малой интенсивностью осадков. Главное внимание было обращено на то, чтобы подать величину параметров, а также проводились поиски числовых связей между параметрами. Констатировано, что среднее время концентрации поднятий от ливневых дождей составляет в водосборе Быстжанки 4,9 часа, а в бассейне Рóпы 9,0 часа. Во время продолжительных осадков разницы времени концентрауции между двумя бассейнами уменьшаются, а средние величины составляют: в бассейне Быстжанки 9,1 часа, а в бассейне Рóпы 11,0 часа. Примерами связей между параметрами поднятий являются зависимости стока (в мм) от времени продолжительности поднятия (стр. 39), или связи между максимальным и средним расходами от поднятия (стр. 43). Много внимания посвящено редко рассматриавемому показателю Q мах / Q ср. данного поднятия (табл. 12, 13). Констатировано, что величина отношения Q мах / Q средн., свидетельствующая о динамике волны поднятия, указывает тоже на участие в поднятии вод стекающих из окружающей поверхности. На основании данных из опытных участков и анализа поднятий Быстжанки констатировано, что в случае, когда величины отношения Q мах. / Q ср. меньше, чем 1,80, поднятия формируются без участия вод стекающих по поверхности местности.

Отдельным вопросом касающимся поднятий являются времена продолжительности поднятий и величина стока называемого в литературе паводковым стоком (табл. 20). Время продолженя поднятий составило в бассейне Быстжанки 5,58%, а паводковый сток более 37% суммы стока за пятилетние. Соответствующие данные для бассейна Рóпы составляют 8,7% времени и 42% стока.

Иным вопросом в сравнительном анализе обоих бассейнов является грунтовный сток и водозадерживающая способность обоих бассейнов, расчитываемая по формуле К. Дембского, являющейся модификацией формулы Майе. Грунтовый сток расчитанный несколькими методами меньше из бассейна Быстжанки (табл. 21,22) с исключением месяцев с большими поднятиями. К расчётам водозадерживающей способности принято подобные периоды времени уменьшенных расходов и введены формулы разрешающие расчитать водозадерживающую способность для произвольного периода времени. Величина водозадерживающей

http://rcin.org.pl

способности (R в мм) в зависимости от стока (Q в л/сек) представлена в формулах: (3) и (4):

Бассейн Быстжанки: $R = 0{,}00495\ Q^{1{,}151}$ (3)

Бассейн Ро́пы: $R = 0{,}171\ Q^{1{,}090}$ (4)

Средние кривые высыхания указывают (рис. 10, 11), что величина суточной рецессии больше в используемом сельским хозяйством бассейне Быстжанки. Удельные стоки после 30 дней рецессии расходов в бассейне Быстжанки достигают величины 0,4 л/с.км², а в бассейне Ропы 0,6 л/с.км² (табл. 23).

Делались тоже попытки решить вопрос влияния величины бассейна на величину меженных стоков. Производились измерения расходов воды, замыкая частичные бассейны величиной ок. 10% всей поверхности водосборного бассейна Ропы (рис. 12). Полученные результаты указывают на отсутствие связей величины бассейна с величиной меженных стоков. Рассматривая же влеичину стоков (расходов) в связи с приростом поверхности водосборного бассейна, были получены связи, описывающие эту зависимость (рис. 13). Для расхода 0,580 м³/сек в водосборе Ро́пы в Шимбарке связь между расходом (Q) а величиной бассейна (A) выражает формула: $Q = 12{,}07\ A^{0{,}680}$. В бассейнах меньше 25 км² изменения расходов воды наряду с приростом поверхности бассейна имеют характер скачкообразный, что не дало возможности представить связи в численном виде.

Исследования стока из почвенного покрова имели качественный характер и были устремлены на показание соотношений во времени между этим видом стока а стоком по поверхности и расходом воды в водотоке (рис. 14, 15 и 16). Констатировано, что во время поднятий от обложных дождей первая часть волны поднятия формируется главным образом почвенным стоком, а также что большое количество поднятий формируется без участия стока по поверхности местности.

Водосборный бассейн Быстжанки занимает 1/22 поверхности водосборного бассейна Ро́пы по Шимбарк. Осадки в бассейне Быстжанки по отношению к осадкам в бассейне Ро́пы составляют 1/24 общей суммы осадков. Сток из бассейна Быстжанки выраженный в кубических метрах составляет 1/25 суммы стока из бассейна Ро́пы. Разница в стоке между бассейнами Быстжанки и Ро́пы в течение года, в месяцы с ходом гидрометеорологических явлений приближённым к среднему из многолентия является малой и возрастает во время выступления явлений с малой частотой появления.

Перевод А. Ожуга

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl

WYDAWNICTWO IG I PZ PAN
VARIA

B. OLSZEWICZ — **Dorobek polskiej historii geografii i kartografii w latach 1945—1969**, 1973, zł 48,—

J. MISZALSKI — **Współczesne procesy eoliczne na Pobrzeżu Słowińskim. Studium fotointerpretacyjne**, 1973, s. 150 + nlb., zł 30,—
Z. CIĘTAK S. PIETKIEWICZ — **Słownik geograficzny angielsko-polski**, 1974, s. 422, zł 120,—

CENTRALNY KATALOG ZBIORÓW KARTOGRAFICZNYCH W POLSCE

Zeszyt 1. **Katalog atlasów i dzieł geograficznych 1482—1800**, 1961, s. 247, zł 72,—
Zeszyt 2 (uzupełniający). **Katalog atlasów i dzieł geograficznych 1482—1800**, 1963, s. 112, zł 28,—
Zeszyt 3. **Katalog atlasów 1801—1919**, 1965, s. 342, zł 76,—
Zeszyt 4. **Katalog atlasów i dzieł geograficznych 1528—1945**, 1968, s. 160, zł 48,—
Zeszyt 5. **Wieloarkuszowe mapy topograficzne Polski 1576—1870**

Katalog dawnych map Rzeczypospolitej Polskiej w kolekcji Emeryka Hutten-Czapskiego i w innych zbiorach. Oprac. W. Kret, 1978, s. 164, 37 map, zł 140,—

http://rcin.org.pl

Cena zł 24.—

WYKAZ ZESZYTÓW DOKUMENTACJI GEOGRAFICZNEJ
za ostatnie lata

1979

1 PRACA ZBIOROWA — **Kampinoski Park Narodowy i jego problematyka**, s. 60, zł 24,—
2 PRACA ZBIOROWA — **Problemy bioklimatologii uzdrowiskowej. Cz. III**, s. 83, zł 24,—
3 PRACA ZBIOROWA — **Metody analiz geograficznych w planowaniu przestrzennym**, s. 100, zł 24,—
4 PRACA ZBIOROWA — **Tendencje rozwoju i zmiany w organizacji przestrzeni krajów Trzeciego Świata**, s. 94, zł 24,—
5 E. GIŁ — **Typologia i ocena środowiska naturalnego okolic Szymbarku**, s. 91 + nlb., zł 24,—
6 PRACA ZBIOROWA — **Streszczenia prac habilitacyjnych i doktorskich — 1977**, s. 79, zł 24,—

1980

1 S. CHMIELEWSKI — **Zmiany środowiska geograficznego w strefie oddziaływania wielkiego miasta (na przykładzie północno-wschodniej części warszawskiego zespołu miejskiego)**, s. 85, zł 24,—
2 D. GOSPODAROWICZ — **Osadnictwo rolnicze a gospodarka wielkotowarowa na terenie woj. koszalińskiego w latach 1950—1977**, s. 74, zł 24,—
3 PRACA ZBIOROWA — **Metody opracowań topoklimatycznych**, s. 113, zł 24,—
4 M. KŁAPA — **Procesy morfogenetyczne i ich związek z sezonowymi zmianami pogody w otoczeniu Hali Gąsienicowej**, s. 54 + nlb., zł 24,—
5 M. ZAMELSKA — **Wpływ uprzemysłowienia na procesy urbanizacyjne w rejonie bydgoskim** (w druku)
6 PRACA ZBIOROWA — **Streszczenia prac habilitacyjnych i doktorskich — 1978**, s. 81, zł 24,—

1981

1 R. SOJA — **Analiza odpływu z fliszowych zlewni Bystrzanki i Ropy (Beskid Niski)**, s. 91, zł 24,—
2 PRACA ZBIOROWA — **Problemy bioklimatologii uzdrowiskowej. Cz. IV**
3 PRACA ZBIOROWA — **Warunki naturalne zlewni Homerki i jej otoczenia**, s. 91, zł 24,—
4 J. GRZYBOWSKI — **Rozwój wydm w południowo-wschodniej części Kotliny Biebrzańskiej** (w druku)
5 PRACA ZBIOROWA — **Problemy rozwoju zależnego w krajach Trzeciego Świata** (w druku)
6 PRACA ZBIOROWA — **Streszczenia prac habilitacyjnych i doktorskich — 1979** (w druku)