

POLSKA
AKADEMIA
NAUK

PL ISSN 0012-5032

INSTYTUT GEOGRAFII
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

NIEKTÓRE
PROBLEMY METODYCZNE
HYDROLOGII

POD REDAKCJĄ ZDZISŁAWA MIKULSKIEGO



ROK 1986

ZESZYT 2

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

**WYKAZ ZESZYTÓW
PRZEGLĄDU ZAGRANICZNEJ LITERATURY GEOGRAFICZNEJ
za ostatnie lata**

1983

- 1 Geografia czasu, s. 88, zł 80,—
- 2 Teledetekcja w planowaniu regionalnym, s. 259, zł 80,—
- 3 Geografia przemysłu, s. 105, zł 80,—
- 4 Geografia polityczna, s. 178, zł 80,—

1984

- 1 Postępy geografii społecznej i ekonomicznej w krajach anglosaskich, s. 148, zł 120,—
- 2 Turystyka i rekreacja, s. 160, zł 120,—
- 3-4 Geografia a filozofia — wybrane zagadnienia metodologiczne, s. 167, zł 120,—

1985

- 1-2 XXV Międzynarodowy Kongres Geograficzny Paryż-Alpy 1984 (w druku)
- 3-4 O wyjaśnianiu w geografii (w druku)

**NIEKTÓRE PROBLEMY METODYCZNE
HYDROLOGII**

POLISH ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND SPATIAL ORGANIZATION

SOME METHODOLOGICAL PROBLEMS
OF HYDROLOGY

EDITED BY ZDZISŁAW MIKULSKI



YEAR 1986

FASC. 2

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

<http://rcin.org.pl>

POLSKA
AKADEMIA
NAUK

INSTYTUT GEOGRAFII
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

NIEKTÓRE
PROBLEMY METODYCZNE
HYDROLOGII

POD REDAKCJĄ
ZDZISŁAWA MIKULSKIEGO



ROK 1986

ZESZYT 2

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

<http://rcin.org.pl>

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny: Jerzy Grzeszczak
Zastępca Redaktora Naczelnego: Zuzanna Siemek
Członkowie: Maria Ciechocińska, Tadeusz Gerlach,
Józef Skoczek, Władysława Stola
Sekretarz: Maria Mozolewska

Adres Komitetu:
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
Polskiej Akademii Nauk
ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa

Redaktor Wydawnictwa Hanna Jurek
Redaktor techniczny Maciej Szlapka

Printed in Poland

SPIS TREŚCI

Przedmowa (Z. Mikulski)	7
U. Soczyńska: Hydrologiczna rola zlewni badawczych	9
Hydrological role of the study basins (summary)	18
Гидрологическая роль исследовательских водосборных бассейнов (резюме)	19
U. Soczyńska, M. Gutry-Korycka, S. Karwowski: Podstawy wydzielenia pól quasi-jednorodnych w zlewni do celów identyfikacji modelu hydrologicznego	21
Principles of distinguishing the quasi-homogenous areas in a catchment for the hydrologic model calibration (summary)	33
Основа разделения квази-однородных полей в бассейне с целью идентификации гидрологической модели (резюме)	34
P. Kowalczak: Metoda typologii hydrograficznej niehierarchiczną analizą skupień (na przykładzie dorzecza górnej Noteci)	35
Method of the hydrological typology by the non-hierarchic analysis of clusters (with the Upper Noteć drainage basin as example) — summary	48
Метод гидрографической типологии неиерархическим анализом скоплений (на примере бассейна верхнего течения реки Нотечи) — резюме	48
Z. Mikulski, E. Bajkiewicz-Grabowska: Określanie przepływu wzdłuż biegu rzeki w przypadku braku stałej kontroli hydrometrycznej	51
Determination of discharge along river course in case of insufficient hydrometric data (summary)	58
Определение расхода воды вдоль реки в случае отсутствия постоянного гидрометрического контроля (резюме)	58
J. Dynus-Angiel: Przestrzenne zróżnicowanie cech uziarnienia materiału dennego w profilu podłużnym Łeby na tle warunków hydrodynamicznych	59
Spatial differentiation of the bed load grain composition of the Łeba longitudinal profile in the phone of hydrodynamic conditions (summary)	72
Пространственная дифференциация грануляции донного материала отложений в продольном профиле реки Лэбы на фоне гидродинамических условий (резюме)	73

PRZEDMOWA

Niniejszy zeszyt poświęcono problematyce hydrologicznej, a zwłaszcza niektórym jej zagadnieniom metodycznym, nurtującym współczesną hydrologię. Trzy artykuły pochodzą z Zakładu Hydrologii Uniwersytetu Warszawskiego (Wydział Geografii i Studiów Regionalnych — Instytut Nauk Fizycznogeograficznych), jeden z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (Oddział w Poznaniu) oraz jeden z Instytutu Geografii Uniwersytetu Gdańskiego.

U. Soczyńska omawia pojęcie zlewni badawczych i ich rolę w badaniach hydrologicznych. Intensywny rozwój tych zlewni w okresie Międzynarodowej Dekady Hydrologicznej (1965—1974), a następnie w Międzynarodowym Programie Hydrologicznym UNESCO, wywołał potrzebę omówienia pojęć związanych z istnieniem różnych typów tych zlewni. Obecnie można wyróżnić: zlewnie reprezentatywne — typowe dla określonych regionów (najczęściej spotykane, zwłaszcza w służbach hydrologicznych), zlewnie eksperymentalne związane z zastosowaniem modelowania matematycznego procesów hydrologicznych, zlewnie reperowe — przeznaczone do badań zmian długookresowych oraz tzw. małe zlewnie badawcze, występujące zazwyczaj w zespole, na których prowadzi się rozszerzony w stosunku do standardowego zakres badań. Autorka zajmuje się bliżej zakresem badań w tych zlewniach i możliwościami ich wykorzystania. Na zakończenie scharakteryzowano zlewnie badawcze istniejące w Polsce.

Modelowanie matematyczne cyklu hydrologicznego wymaga dobrej znajomości parametrów fizycznogeograficznych; ich identyfikacja w zlewni może być dokonana przy założeniu istnienia tzw. pól quasi-jednorodnych. Zasadom wydzielania takich pól w zlewni poświęcili artykuł U. Soczyńska i M. Gutry-Korycka (UW) i S. Karwowski (IMGW w Warszawie). Autorzy przedstawiają koncepcję podziału zlewni na pola quasi-jednorodne z punktu widzenia procesów intercepcji i spływu powierzchniowego. Przedstawiono przykład podziału wykonany w niewielkiej nizinnej zlewni badawczej w Polsce środkowej.

P. Kowalczak (IMGW — Oddział w Poznaniu) zajmuje się rzadko stosowaną w hydrologii metodą — tzw. niehierarchiczną analizą skupień — do badań struktury zbiorów o dużej liczbie elementów i cech. Metoda ta pozwala opisywać cechy dorzeczy i sieci rzecznych oraz ich rozkład przestrzenny w sposób analityczny. Autor podjął próbę przedstawienia podstawowych zasad klasyfikacji zlewni cząstkowych oraz określenia możliwości zastosowania metody przy wyborze zlewni-analoga. Jako przykład posłużyła tu zlewnia górnej Noteci, w której uzyskano pozytywne wyniki.

W badaniach hydrologicznych małych zlewni napotyka się często na brak stałej kontroli hydrometrycznej; dotyczy to szczególnie oceny odpływu rzeczno. Z. Mikulski i E. Bajkiewicz-Grabowska (UW) przedstawiają sposób określania przepływu z biegiem rzeki na podstawie wyników powtarzanych serii pomiarów natężenia przepływu w różnych sezonach hydrologicznych (różnych strefach stanu wody). Wykreślone na tej podstawie profile podłużne przepływu służą do konstrukcji profilów przepływów charakterystycznych, pozwalających na pełną ocenę odpływu rzeczno. Wykreślono przebieg przepływu w górnym odcinku niewielkiej rzeki na Pomorzu Zachodnim.

Artykuł J. Dynus-Angiel (UGd.) dotyczy zagadnienia zmienności materiału dennego (rumowiska rzeczno) w profilu podłużnym Łeby. Autorka zajęła się przestrzennym zróżnicowaniem materiału dennego na tle geomorfologicznym i litologicznym koryta rzeki oraz w powiązaniu z prędkością wody. Stwierdziła sporą zmienność cech rumowiska, dość typową dla rzek na terenach młodoglacjalnych.

Zawarty w tym zeszycie zestaw metodycznych artykułów hydrologicznych jest dość przypadkowy, tym niemniej stanowi interesujący przyczynek do zagadnień współczesnej hydrologii.

Zdzisław Mikulski

URSZULA SOCZYŃSKA

HYDROLOGICZNA ROLA ZLEWNI BADAWCZYCH

POJĘCIE ZLEWNI BADAWCZEJ I JEJ ZNACZENIE W HYDROLOGII

Stale rosnące potrzeby wielu gałęzi gospodarki uzasadniają konieczność podejmowania badań w nowoczesnie oprzyrządowanych małych zlewniach. Stawiane przed hydrologami zadania wymagają odpowiedzi coraz bardziej precyzyjnych, rozwiązywania skomplikowanych problemów fizycznych, stosowania nowoczesnych metod badawczych i pomiarowych. Zachodzi potrzeba koncentrowania badań prowadzących do poznania praw rządzących obiegiem wody w zlewni, strukturą jego procesów składowych oraz fizycznej współzależności między nimi. Niezwykle istotne jest poznanie wpływu antropogennego na zmiany ilościowe i jakościowe reżimu hydrologicznego zlewni. Badania w tym zakresie pozwalają na przewidywanie konsekwencji hydrologicznych wywołanych zmianami w zagospodarowaniu zlewni i uniknięcie często poważnych szkód w wyniku nieprzemyślanego lub nieświadomego działania, a w przyszłości odpowiednie sterowanie zagospodarowaniem zlewni w celu osiągnięcia zamierzonych efektów hydrologicznych i gospodarczych.

Różne cele stawiane hydrologom do rozwiązania powodują konieczność organizowania różnych typów zlewni badawczych. Najczęściej spotykane w literaturze określenia to zlewnie reprezentatywne, eksperymentalne, reperowe oraz małe zlewnie.

Zlewnie reprezentatywne — to zlewnie typowe dla regionów, tj. cechujące się zbliżonymi do przeciętnych w danym regionie własnościami hydrometeorologicznymi i fizycznogeograficznymi. Ich wielkość zależy od warunków naturalnych regionu i na ogół osiąga do 250 km² (wyjątkowo kilkaset km²).

Cel naukowy oraz znaczenie praktyczne badań w zlewniach reprezentatywnych można sprecyzować następująco:

— dostarczanie zbioru danych do prowadzenia badań podstawowych; badania te mogą obejmować poznanie wszystkich procesów cyklu hydrologicznego zlewni, jego komponentów lub oddzielnych charakterystyk hydrologicznych;

— dostarczanie zbioru danych do weryfikacji i modernizacji metod obliczeniowych zjawisk i procesów hydrologicznych — dzięki reprezentatywności tego typu zlewni w obrębie większych regionów uzyskane wyniki badań mogą być ekstrapolo-

wane na inne zlewnie i obszary o znacznie mniejszym stopniu rozpoznania hydrologicznego;

— dane ze zlewni reprezentatywnych usytuowanych parami lub grupowo w regionie, reprezentujących różne typy zagospodarowania lub różne własności fizyczne (wielkość, kształt, spadki, pokrycie), pozwalają na badania porównawcze, mające na celu poznanie wpływu różnych charakterystyk zlewni oraz różnych elementów działalności gospodarczej na zmiany ilościowe i jakościowe procesów hydrologicznych zlewni.

Właściwy wybór zlewni reprezentatywnych jest bardzo trudny. W zasadzie brak jest jednoznacznie sprecyzowanych kryteriów. Wybór zlewni musi być poprzedzony szczegółową analizą map elementów środowiska geograficznego (klimatycznych, glebowych, szaty roślinnej, geologicznych i użytkowania gleby). Na tej podstawie można ustalić zasięg regionu o prawie homogenicznych warunkach środowiskowych. Pierwszym etapem pracy jest wydzielenie regionów, po czym należy wybrać w każdym z nich zlewnię reprezentatywną lub kilka zlewni — liczba wytypowanych zlewni zależy od zróżnicowania warunków fizycznogeograficznych. Istotną sprawą jest ustalenie stopnia reprezentatywności zlewni w odniesieniu do regionu. W tym celu należy porównać warunki środowiskowe zlewni z warunkami środowiskowymi całego regionu, który ta zlewnia ma reprezentować. Stopień reprezentatywności można ustalić przez stosowanie odpowiednich wskaźników elementów środowiska geograficznego w odniesieniu do całego regionu i do zlewni mającej reprezentować ten region. Z uwagi na zróżnicowanie środowiska regionu niemożliwe jest znalezienie takiej zlewni, której warunki środowiskowe byłyby identyczne z warunkami całego regionu. Dlatego w badaniach porównawczych bierze się pod uwagę tylko najbardziej istotne elementy środowiska. Zapewne bardziej uzasadnioną podstawą lokalizacji zlewni reprezentatywnych byłyby nie regiony, lecz typologiczne jednostki przestrzenne. Jednostki typologiczne są wynikiem klasyfikacji większych geokompleksów na podstawie ich własności, co pozwala na wykrycie prawidłowości w ich powtarzalności.

Zlewnie eksperymentalne (doświadczalne) — to zlewnie, w których prowadzi się eksperymenty w zakresie działalności gospodarczej i bada ich wpływ na ilościowe i jakościowe zmiany obiegu wody. Z hydrologicznego punktu widzenia istotne znaczenie mają dwa aspekty działalności w obrębie zlewni. Jeden to wpływ gospodarowania wodą na naturalny jej obieg (pobór wody studniami ze strefy saturacji, melioracje, intensyfikacja produkcji rolnej, pobory i zrzuty wody do koryt rzecznych, zanieczyszczenia termiczne, nawozami sztucznymi i środkami ochrony roślin). Drugi aspekt to wpływ zagospodarowania (zabudowy) zlewni na zmiany jej własności fizycznych (urbanizacja, przemysłowienie, eksploatacja zasobów naturalnych, zmiany w rolniczym wykorzystaniu obszarów, budowa zbiorników wodnych i kanałów). Badania mogą być prowadzone w pojedynczych zlewniach lub w sieci zlewni eksperymentalnych. W celu przyspieszenia wyników badań organizuje się często zlewnie parami (lub grupowo), w których jedna — kontrolna znajduje się w warunkach naturalnych. W innym przypadku pojedyncza zlewnia eksperymentalna wymaga kilkuletniego tarowania przed przystąpieniem do eksperymentu. Wybór zlewni eksperymentalnych (liczba, wielkość i lokalizacja) zależy od przewidywanego

celu i programu badań. Z uwagi na prowadzenie w nich bardzo kosztownych przedsięwzięć i szczegółowych prac pomiarowo-badawczych, wielkość ich nie powinna przekraczać kilku km². Ze względu na konieczność swobodnego działania obszar zlewni należy wydzierżawić lub wykupić na własność.

Zlewniami eksperymentalnymi przyjęło się powszechnie nazywać także ten typ zlewni badawczych, w których nie przeprowadza się sztucznych eksperymentów. Mogą to być zlewnie naturalne, w których prowadzi się szczegółowe obserwacje i pomiary zarówno elementów hydrometeorologicznych, jak i charakterystyk fizycznogeograficznych. Jeśli taka zlewnia jest jednostką typową dla większego regionu, może ponadto spełniać rolę zlewni reprezentatywnej. Ten typ zlewni eksperymentalnych ma charakter wielozadaniowy. Nadrzędnym, ogólnym celem jest kompleksowe badanie w nich dynamiki obiegu wody, ważniejszych procesów hydrologicznych oraz ich wzajemnych uwarunkowań. W takiej zlewni eksperymentalnej rejestruje się najważniejsze procesy obiegu wody, głównie zasilanie i odpływ oraz ważniejsze elementy hydrometeorologiczne, wywierające dominujący wpływ na wymianę masy i energii w lądowej fazie cyklu hydrologicznego. Pomiary te stanowią podstawową bazę obserwacyjną zlewni, wystarczającą jedynie do uogólnionych badań obiegu wody. Podjęcie szczegółowych badań wybranych procesów wymaga wprowadzenia dodatkowych obserwacji, wykonywanych na ogół tylko okresowo, w formie pomiarów ekspedycyjnych lub drogą instalacji przyrządów rejestrujących w wymaganym okresie. Zadania badawcze tego typu zlewni eksperymentalnych są zbliżone do zadań zlewni reprezentatywnych z tą tylko różnicą, że wnioskowanie wyników badań w odniesieniu do innych zlewni lub obszarów wymaga znacznie większej ostrożności oraz opracowania specjalnych metod ekstrapolacji. Należy w tym miejscu podkreślić, iż reprezentatywność zlewni także nie zapewnia możliwości bezpośredniego przenoszenia informacji hydrologicznej na inne zlewnie regionu.

Należy jeszcze wspomnieć o zlewniach jednozadaniowych, organizowanych wyłącznie do rozwiązania określonego zadania. W takim przypadku zlewnia jest traktowana jak model fizyczny działający w warunkach naturalnych i w skali naturalnej. Organizowanie tego typu zlewni może mieć sens i jest celowe jedynie tam, gdzie istnieje realna możliwość szybkiej i sprawnej realizacji takiego przedsięwzięcia. Eksperyment w skali makro wymaga bowiem zapewnienia odpowiednich środków finansowych, urządzeń pomiarowych wysokiej klasy, niezbędnych mocy inwestycyjno-budowlanych i wreszcie wystarczającej liczby personelu do zebrania i przetworzenia dużej ilości informacji. Niespełnienie któregoś z tych warunków eliminuje celowość organizacji tego typu zlewni.

Szczególnym przykładem tego typu zlewni eksperymentalnych mogą być poletka sptywowe lub laboratoryjne modele zlewni. Ich podstawowym przeznaczeniem jest badanie sptywu powierzchniowego oraz problemów związanych z erozją gleb na stokach.

Zlewnie reperowe — to zlewnie „odniesienia”, przeznaczone do badań zmian długookresowych; powinny to być zlewnie naturalne, o niezakłóconym reżimie w odniesieniu zarówno do przeszłości, jak i przyszłości. Zadaniem tego typu zlewni jest obserwacja długookresowych zmian reżimu hydrologicznego pod wpływem

zarówno czynników naturalnych, jak i pewnych oddziaływań antropogennych poza obszarem zlewni, np. wywoływane sztucznie zmiany klimatyczne.

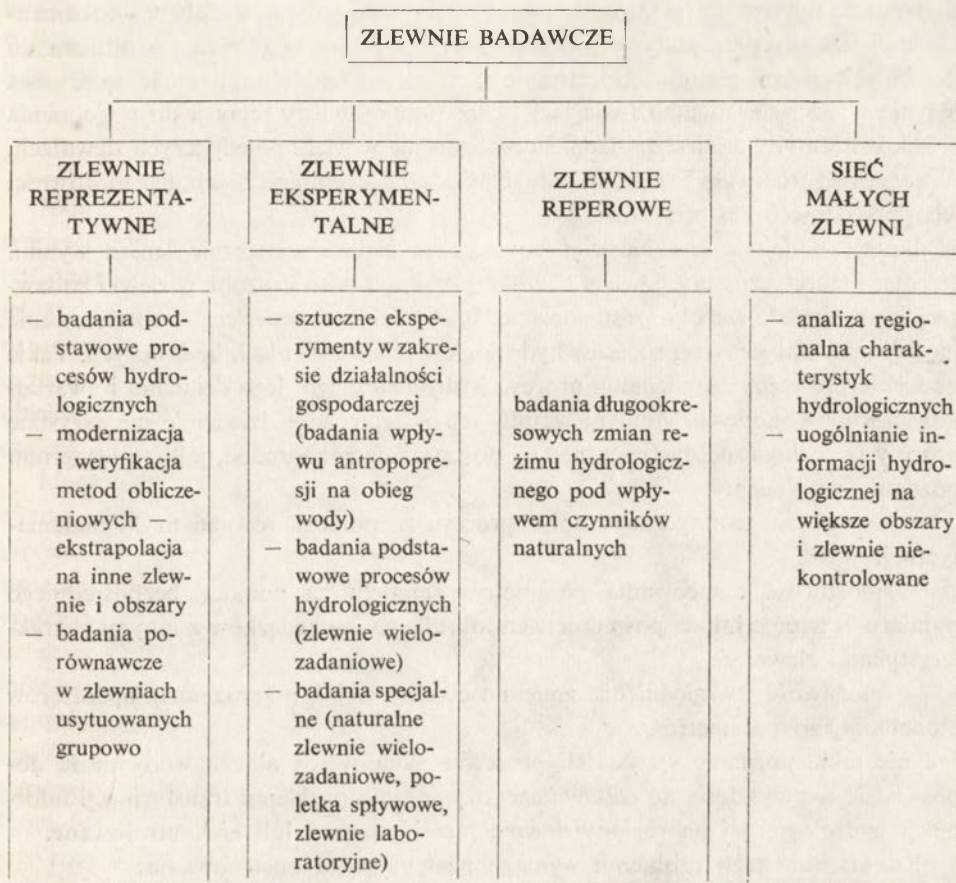
Wszystkie opisane tu trzy typy zlewni (reprezentatywne, eksperymentalne i reperiowe) mają wspólną cechę: są dobrze oprzyrządowane, przeznaczone do rozwiązywania różnorodnych problemów naukowo-badawczych. Ta cecha łączy je w jedną grupę zlewni badawczych.

Kolejna grupa, tzw. małych zlewni, stanowi odrębny zespół zlewni jako obiektów badawczych. Nie sprecyzowano dotychczas pojęcia małej zlewni, tym niemniej każdy hydrolog docenia jej znaczenie w badaniach hydrologicznych. Ograniczenie obszaru tzw. małej zlewni nie zostało w zasadzie określone — do tej kategorii zalicza się zlewnie bardzo małe, o powierzchni kilku hektarów, a także zlewnie przekraczające niekiedy kilkaset km². A zatem pojęcie „mała” jest względne i należy je traktować umownie. Przyjmijmy więc następującą definicję ogólną: małą zlewnią będziemy nazywać zlewnię o powierzchni nie przekraczającej 1000 km², objętą programem pomiarowym rozszerzonym w stosunku do standardowego, realizowanego w ramach służby hydrologiczno-meteorologicznej. Program pomiarowy może być ograniczony do kontroli jedynie zasilania i odpływu, jednak kontrola ta powinna być prowadzona ciągle. Z uwagi na ograniczenie programu pomiarowego znaczenie badawcze małych zlewni polega na równoczesnym wykorzystaniu danych pomiarowych z całej sieci zlewni zlokalizowanych w regionie lub w kraju. Dane z pojedynczej zlewni nie zapewniają wystarczającej informacji do prowadzenia badań, ale zgromadzenie masy informacji z całego zespołu zlewni może stanowić unikalny i bardzo wartościowy materiał do rozwiązania wielu problemów hydrologicznych w skali większych obszarów (analiza regionalna). W przeciwieństwie do roli typowych zlewni badawczych znaczenie i wartość małych zlewni sprowadza się do ich wykorzystania w skali masowej.

Schematyczne zestawienie typów zlewni badawczych oraz ich roli w badaniach hydrologicznych przedstawiono na rycinie 1.

PODSTAWOWE KIERUNKI I METODY BADAWCZE

Pomijając czynne eksperymenty w zlewniach doświadczalnych, jak również badania o charakterze specjalnym, zadania zlewni badawczych można sformułować jako dwa podstawowe cele: 1) poznanie procesów hydrologicznych w zlewni, 2) opracowanie metod pozwalających na transformację wyników badań na zlewnie niekontrolowane. Te dwa cele są ściśle ze sobą związane — postęp badań w zakresie pierwszego z nich przyczynia się do sukcesu w rozwiązaniu drugiego; drugi cel ściśle precyzuje kierunki badawcze. Należy pamiętać, iż zlewnia badawcza nie jest celem badań, a jedynie środkiem pozwalającym na wnioskowanie w odniesieniu do określonego obiektu (innej zlewni lub większego obszaru). Stosowane metody badawcze mogą być różne — zależą od rodzaju zlewni badawczej, a przede wszystkim od tego, czy badania są podejmowane w pojedynczej zlewni eksperymentalnej, czy też w sieci małych zlewni.



Ryc. 1. Typy zlewni badawczych i ich rola w badaniach hydrologicznych
Types of study basins and its role in hydrological research

BADANIA W POJEDYNCZYCH ZLEWNIACH BADAWCZYCH

Metody badawcze stosowane w indywidualnych zlewniach badawczych można podzielić na dwie podstawowe grupy:

1) pomiary i obserwacja określonych elementów hydrometeorologicznych i parametrów fizycznogeograficznych, opracowywanie ich wzajemnych zależności oraz próba wnioskowania na ich podstawie o formie zależności w innych zlewniach;

2) stawianie a priori hipotezy teoretycznej oraz testowanie jej i weryfikowanie w zlewni badawczej drogą obserwacji i pomiaru elementów hydrometeorologicznych oraz parametrów fizycznych niezbędnych do jej przeprowadzenia.

Pierwsze podejście jest bardziej tradycyjne i prostsze w pracy badawczej – jego efektem są wszelkie prace nad bilansem wodnym zlewni, zależnością między opadem, odpływem itp. Prace te kończą się jednak na ogół wnioskami dotyczącymi tej właśnie zlewni badawczej, brak bowiem metod pozwalających na uogólnianie wyników na większe obszary lub inne zlewnie o niepełnej informacji hydrologicznej.

Stosowanie tej metody badawczej mogłoby mieć sens jedynie w dobrze udokumentowanej zlewni reprezentatywnej, pozwalającej na pewne uogólnienia w odniesieniu do innych zlewni regionu. Uprawianie tych metod badawczych może mieć sens jedynie w sieci zlewni umożliwiającej zastosowanie analizy regresji do uogólnienia wyników. Metody te niestety nadal są realizowane w wielu pojedynczych zlewniach, wzbogacając archiwum bilansów wodnych i zależności empirycznych, bez możliwości ich praktycznych zastosowań.

Drugie podejście jest bardziej nowoczesne i rokuje znacznie lepsze wyniki. Hipoteza teoretyczna ma bowiem charakter ogólny i potwierdzona w zlewni badawczej może znaleźć szerokie zastosowanie. Próby takiego podejścia — to testowanie modeli matematycznych procesów hydrologicznych w zlewniach badawczych. Takie podejście prowadzi do poznania procesu hydrologicznego, jego działania i uwarunkowań środowiskowych. Mimo niewątpliwych osiągnięć w tej dziedzinie, nie wszystkie procesy hydrologiczne można uznać za dostatecznie rozpoznane, jeśli za kryterium poznania przyjmiemy:

- możliwość teoretycznego opisu procesu za pomocą równań fizyki matematycznej,

- możliwość oszacowania parametrów modelu za pomocą bezpośredniego pomiaru w terenie lub za pośrednictwem określenia ich związków z innymi charakterystykami zlewni,

- możliwość uwzględnienia zmienności czasowej i przestrzennej operatorów modelu i jego parametrów.

Jedynie takie poznanie wszystkich procesów składowych obiegu wody może doprowadzić w przyszłości do całkowitego rozwiązania problemu transformacji informacji hydrologicznej na regiony/zlewnie mniej poznane lub niekontrolowane.

Rozwiązanie tego problemu wymaga następującego postępowania:

- opisu matematycznego każdego procesu składowego za pomocą metod fizyki matematycznej,

- identyfikacji parametrów będących integralną częścią modelu i wiążących model teoretyczny z obiektem badawczym,

- weryfikacji modelu w zlewni badawczej.

Rozwój metod teoretycznych należy ocenić wysoko. W zasadzie istnieje obecnie możliwość teoretycznego opisu każdego procesu składowego. Trudności koncentrują się na dwóch ostatnich zagadnieniach, tj. identyfikacji parametrów oraz weryfikacji modelu. Proces identyfikacji związany jest z pomiarem parametrów jako zmiennych zarówno w przestrzeni, jak i w czasie. Badania dotyczące tego problemu są już zaawansowane, ale wymagają kontynuacji. Szczególne trudności są związane z kalibracją hydrologicznych parametrów gruntu niezbędnych do opisu procesu infiltracji. Nie mniej skomplikowany jest problem weryfikacji procesów. Spełnienie tego warunku jest związane z pomiarem elementów wejścia i wyjścia procesów składowych. Na przykład do weryfikacji procesu intercepcji niezbędny jest ciągły pomiar opadu zarówno nad koronami drzew, jak i na powierzchni gruntu pod pokrywą roślinną; ciągły pomiar zwierciadła wody gruntowej oraz uwilgotnienia strefy aeracji umożliwiłyby właściwą weryfikację modelu infiltracji itp. Prawidłowe zbadanie i poznanie

procesu hydrologicznego wymaga zatem odpowiedniego zaplanowania eksperymentu w zlewni badawczej, tak aby wykonane pomiary i obserwacje umożliwiły wykonanie tego zadania.

METODY BADAWCZE W SIECI MAŁYCH ZLEWNI

Jednym z niezbędnych warunków praktycznego zastosowania modeli matematycznych do symulowania procesów hydrologicznych w zlewniach naturalnych jest możliwość oszacowania numerycznych wartości parametrów, stanowiących integralną część ich struktury. Struktura modelu ma na ogół charakter uniwersalny, natomiast jej parametry muszą być ściśle związane z wewnętrzną strukturą badanego systemu naturalnego. W ten sposób parametry wiążą model z konkretnym obiektem naturalnym. Każda zlewnia jako niepowtarzalny system naturalny odznacza się jedynym i tylko sobie właściwym zestawem parametrów.

Identyfikacja parametrów modeli hydrologicznych jest zadaniem trudnym i jednym z ważniejszych w procedurze tworzenia modeli. Do metod najlepiej rozwiniętych i najczęściej stosowanych należą procedury optymalizacyjne. Możliwość stosowania tych metod jest jednak ściśle uzależniona od istnienia długich sekwencji wejściowych (hietogramów) oraz wyjściowych (hydrogramów), tzn. ogranicza się do zlewni kontrolowanych. Istnieje jednak ogromna liczba zlewni o niewystarczającej informacji hydrometrycznej, nie pozwalającej na zastosowanie metod optymalizacyjnych do identyfikacji parametrów modeli hydrologicznych. Zlewnie takie wymagają zatem zupełnie innego podejścia do rozwiązania problemu identyfikacji parametrów. Zagadnienie to jest nadal otwarte i do tej pory nie opracowano metody, która rozwiązywałaby ten problem w sposób zadowalający. Jednym ze sposobów jego rozwiązania jest wykorzystanie informacji w zakresie zasilania i odpływu z sieci małych zlewni do identyfikacji prostych modeli konceptualnych w zlewniach o niedostatecznej kontroli hydrometrycznej.

Struktura modelu konceptualnego składa się na ogół z funkcji transformujących opisanych równaniami empirycznymi lub półempirycznymi. Parametry tych modeli nie mają sensu fizycznego, a zatem nie mogą być bezpośrednio pomierzone w terenie lub wyznaczone na podstawie map. Konsekwencją tego jest konieczność stosowania metod pośrednich, polegających na optymalizacji parametrów w dużej liczbie małych zlewni wybranego regionu o zróżnicowanych charakterystykach fizycznogeograficznych i antropogennych, a następnie opracowania zależności regresyjnych tychże parametrów modelu od wybranych charakterystyk zlewni, możliwych do określenia na podstawie map czy bezpośrednich pomiarów w terenie.

Wykonanie tego zadania wymaga następującego postępowania:

- 1) doboru struktury modelu konceptualnego;
- 2) identyfikacji parametrów modelu (g_i) we wszystkich zlewniach badawczych regionu, przy zastosowaniu procedury optymalizacyjnej;
- 3) doboru zespołu charakterystyk fizycznogeograficznych zlewni (p_i), optymalnych z punktu widzenia opisu poszukiwanej charakterystyki hydrologicznej. Zadanie to obejmuje:

a) określenie potencjalnego zespołu charakterystyk zlewni i wyznaczenie ich wartości liczbowych,

b) wyznaczenie quasi-optimalnego zespołu tych charakterystyk za pomocą analizy statystycznej (np. metodą Kaczmarka 1969);

4) opracowania szczegółowej postaci zależności regresyjnych w formie:

$$\begin{aligned} g_1 &= f_1(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_k) \\ g_2 &= f_2(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_m) \\ &\vdots \\ g_n &= f_n(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_l) \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie $g_1 \dots g_n$ — parametry modelu konceptualnego, n — liczba parametrów modelu, $p_1 \dots p_i \dots p_k \dots p_m \dots p_l$ — charakterystyki fizycznogeograficzne zlewni istotne z punktu widzenia opisu parametrów modelu, k, m, l — odpowiednia liczba cech fizycznych zlewni niezbędna do opisu kolejnych parametrów modelu;

5) weryfikacji modelu.

Po wyznaczeniu parametrów modelu istotną sprawą jest jego weryfikacja, którą zaleca się przeprowadzać w dwóch etapach (Ozga-Zielińska 1974). Pierwszy z nich polega na wykonaniu testów zgodności wartości liczbowych modelu z wartościami pomierzonymi. Obliczenia wykonuje się na materiale zależnym, tzn. tym samym, który był wykorzystany w procesie optymalizacji parametrów. Dopiero po uzyskaniu wystarczającej zgodności można przystąpić do drugiego etapu weryfikacji, polegającego na sprawdzeniu kryterium zgodności na materiale niezależnym, tzn. nie wykorzystywanym w procesie optymalizacji. Spełnienie warunku dwuetapowej weryfikacji wymaga zatem podziału materiału pomiarowego na dwie części, z których jedna jest przeznaczona wyłącznie do przeprowadzenia weryfikacji drugiego stopnia. W przypadku wykorzystywania sieci małych zlewni do analizy regresyjnej, kilka z nich należy wydzielić, a ich informację hydrologiczną potraktować jako materiał niezależny.

CHARAKTERYSTYKA ZLEWNI BADAWCZYCH W POLSCE ORAZ ZAKRES BADAŃ

Wiele placówek naukowo-badawczych w Polsce podjęło organizowanie małych zlewni badawczych w zakresie swoich potrzeb i możliwości. W efekcie założono na terenie kraju kilkadziesiąt takich zlewni. Z uwagi na zupełny brak koordynacji rozmieszczenie zlewni badawczych na obszarze kraju jest nierównomierne. Zakres badań naukowych, ograniczony w wielu wypadkach do potrzeb poszczególnych instytucji i często limitowany brakiem funduszy, także nie był w stanie zapewnić właściwego postępu w zakresie rozwiązywania podstawowych problemów hydrologicznych.

Według danych z inwentaryzacji przeprowadzonej przez Sekcję Hydrologii Komitetu Gospodarki Wodnej PAN w 1973 r. (Soczyńska 1974), uzupełnionych informacjami z późniejszego okresu, badania prowadzi się łącznie w około 30 zlewniach badawczych. Wielkość ich waha się od 0,12 do 250 km², przy czym najwięcej zlewni ma powierzchnię od 6 do 80 km². Większość zlewni została zorganizowana po 1967 r. i znajduje się w Karpatach.

Badania w zlewniach prowadzą następujące placówki naukowo-badawcze: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Akademie Rolnicze w Poznaniu, Wrocławiu, Krakowie i Lublinie, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Krakowie, Politechnika Krakowska, Uniwersytet Jagielloński, Uniwersytet Warszawski i Instytut Kształtowania Środowiska. Program badań prowadzonych przez te instytucje jest bardzo zróżnicowany. W większości zlewni badania koncentrują się na poznaniu stosunków hydrologicznych i oszacowaniu zasobów wodnych małych zlewni. Niektóre zespoły realizują badania w zakresie poznania i opisu poszczególnych procesów hydrologicznych: opadu atmosferycznego (UW, IMGW w Warszawie i we Wrocławiu), intercepcji (UW, IMGW we Wrocławiu, PK), ewapotranspiracji (IMGW w Warszawie, AR we Wrocławiu), infiltracji (UW, IMGW w Warszawie), spływu powierzchniowego (IMGW w Warszawie, PK). W ostatnich latach podjęto badania dotyczące identyfikacji parametrów fizycznogeograficznych niezbędnych do modelu integralnego zlewni opisanego równaniami fizyki matematycznej. Prace są realizowane przez Uniwersytet Warszawski we współpracy z IMGW w ramach Programu Rządowego PR-7 (Soczyńska, Gutry-Korycka i Jaworski 1982). Wykonano także pierwszą próbę identyfikacji parametrów modelu hydrogramu jednostkowego w funkcji charakterystyk fizycznych zlewni (Bajkiewicz-Grabowska 1983). Niewątpliwie w ostatnim okresie zrealizowano wiele cennych opracowań naukowych przy wykorzystaniu informacji z małych zlewni badawczych.

Na zakończenie należy przypomnieć, iż w 1973 r. powstał w IMGW projekt organizacji sieci zlewni reprezentatywnych w Polsce, zlokalizowanych w wydzielonych regionach fizjograficzno-hydrologicznych (Soczyńska 1974; 1977). Dzięki zrozumieniu celowości tej akcji i poparciu dyrekcji Instytutu i resortu rolnictwa, organizacja sieci zlewni została podjęta i jest kontynuowana. Istnieje więc realna szansa, że niedługo hydrologicy będą już dysponować danymi, które pozwolą na rozwiązanie niektórych problemów, a przede wszystkim na szacowanie zasobów wodnych w zlewniach niekontrolowanych.

Dalszy postęp badań w małych zlewniach jest związany z integracją różnych środowisk hydrologicznych, poprzez ściślejszą współpracę ośrodków badawczych w kraju oraz rozwijanie współpracy międzynarodowej. Współpraca ta nie powinna ograniczać się jedynie do wymiany poglądów i prezentowania wyników na sympozjach naukowych, lecz powinna mieć charakter roboczy. To sprzężenie zwrotne teorii z eksperymentem wymaga ścisłego kontaktu i współpracy badaczy obu dziedzin. Niespełnienie tego warunku prowadzi do zubożenia osiągnięć naukowych, powstają bowiem prace teoretyczne na bardzo wysokim poziomie, ale nie zweryfikowane empirycznie ze względu na brak odpowiednich danych eksperymentalnych lub ich niedostępność dla tej grupy badaczy. Z drugiej strony zaś można zaobserwować „nadmiar” danych eksperymentalnych pochodzących z różnych obiektów badawczych, nie konsumowanych w należyty sposób ze względu na brak odpowiednio przygotowanych odbiorców. Często prowadzi się bardzo drogie pomiary elementów hydrologicznych i meteorologicznych wręcz nieprzydatnych, natomiast odczuwa się brak danych do weryfikacji podstawowych procesów hydrologicznych

Najlepszą formą współpracy byłoby podejmowanie wspólnych tematów badawczych. Warunkiem takiej współpracy jest kontynuacja problemów centralnie sterowanych, dysponujących środkami finansowymi. Inną formą współpracy mogłaby być bezpośrednia wymiana danych ze zlewni badawczych pomiędzy różnymi ośrodkami naukowymi lub odpłatne przekazywanie danych. Pewną rolę może także odegrać współpraca z zagranicznymi placówkami naukowymi realizującymi badania w małych zlewniach. W ramach współpracy Komitetów Narodowych Międzynarodowego Programu Hydrologicznego UNESCO krajów socjalistycznych Europy, w 1982 r. powołano grupę roboczą badań metodycznych w zlewniach eksperymentalnych, powierzając koordynację Polskiemu Komitetowi Narodowemu MPH. Udział w pracach grupy jest otwarty dla wszystkich specjalistów zajmujących się tą problematyką.

LITERATURA

- Application of results from representative and experimental basins*, 1982, Studies and Rep. in Hydr., red. D. N. Body, UNESCO, Paris.
- Bajkiewicz-Grabowska E., 1983, *Identyfikacja parametrów hydrogramu jednostkowego na podstawie fizycznych własności zlewni* (m-pis w WGiSR UW Warszawa).
- Clarke R. T., 1972, *A review of research on methods for the extrapolation of data and scientific findings from representative and experimental basins*, IHP UNESCO, Paris.
- Kaczmarek Z., 1969, *O metodach doboru zespołu zmiennych prognozujących*, Wiad. Służby Hydr. i Met., 3.
- Ozga-Zielińska M., 1974, *O technologii modelowania lądowej fazy cyklu hydrologicznego*, Gosp. Wodn., 1.
- Rieprizentatiwnyje i eksperimentalnyje bassiejny*, 1971, red. K. Toubis i W. Urywajew, Issled. i Dokł. po Hidrologii, Leningrad.
- Soczyńska U., 1974, *Organizacja i program badań w zlewniach reprezentatywnych i eksperymentalnych w Polsce*, Wiad. Met. i Gosp. Wodn., 2–3.
- 1977, *Podstawy metodyczne regionalnego modelu zlewni w warunkach polskich*, Mat. Bad. IMGW, ser. Hydrologia.
- Soczyńska U., Gutry-Korycka M., Jaworski J., 1982, *Determination of basin physical parameters for mathematical modelling hydrological processes*, Journ. Hydr. Sci., 1–4.

HYDROLOGICAL ROLE OF THE STUDY BASINS

(Summary)

The study basins are fundamental objects organized to suit the field experimental investigations. Due to diversity of the purposes 4 basic types of the basins are distinguished: representative, experimental, banchmark and small basins. In this paper, particular types of the basins are characterized with respect to their objectives and possibilities of utilization for solving of various hydrological problems.

Fundamental directions of research and study methods have been discussed. The research directions have been specified as two basic goals: 1) learning of hydrological processes and 2) elaboration of the methods suitable for the data transmission to the uncontrolled basins. The choice of the study method depends on the basin type and whether the investigations are carried out on individual basin or on networks of small basins. Various study methods have been characterized regarding their advantages and disadvantages. The attention has been paid to utilization of the data from small

basins for identification of the conceptual model parameters in the basins of insufficient hydro-metric control. The study basins in Poland and the scope of the research problems investigated there have been briefly characterized.

Translated by Teresa Mrozek

**ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ВОДОСБОРНЫХ БАСЕЙНОВ
(Резюме)**

Исследовательские водосборные бассейны являются основными объектами организованными для целей местных экспериментальных исследований. Ввиду разнородности заданий выделяются четыре основных типа: представительные, экспериментальные, реперные и небольшие водосборные бассейны. В статье охарактеризованы отдельные типы исследовательских водосборных бассейнов с точки зрения их назначения, а также возможности использования в решении разных гидрологических проблем.

Обсуждены основные направления и исследовательские методы. Исследовательские направления определены благодаря двум основным целям: 1) изучение гидрологических процессов, а также 2) разработка методов способствующих трансформации результатов исследований на водосборные бассейны не подвергнутые контролю. Выбор методов исследований зависит от типа бассейна а также от того, где проводятся исследования — в отдельных исследовательских бассейнах или же в сети небольших бассейнов. Охарактеризованы разные методы применяемых исследований вместе с обсуждением их преимуществ и недостатков. Обращено внимание на вопросы использования данных из сети небольших водосборных бассейнов для идентификации параметров концептуальных моделей в водосборных бассейнах с недостаточной гидрометрической контролью.

Коротко охарактеризованы исследовательские водосборные бассейны.

Перевод Регины Ольшевской

URSZULA SOCZYŃSKA
MAŁGORZATA GUTRY-KORYCKA
SŁAWOMIR KARWOWSKI

PODSTAWY WYDZIELANIA PÓL QUASI-JEDNORODNYCH W ZLEWNI DO CELÓW IDENTYFIKACJI MODELU HYDROLOGICZNEGO

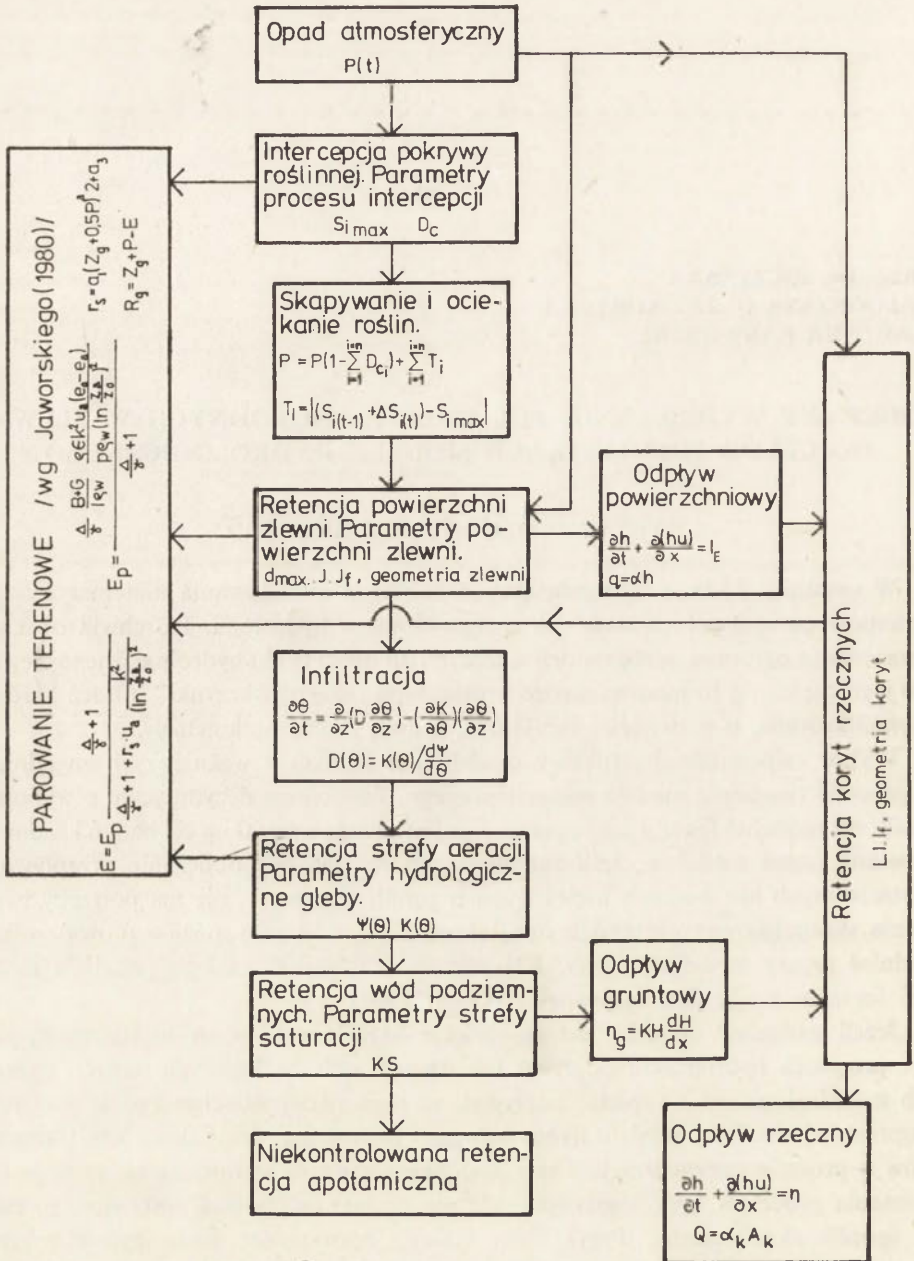
WYBÓR MODELU HYDROLOGICZNEGO

W ostatnim 15-leciu nastąpiła ekspansja metod modelowania matematycznego systemów naturalnych, a także ich zastosowania w hydrologii. Do chwili obecnej opracowano ogromną liczbę modeli służących do opisu cyklu hydrologicznego zlewni lub jego części. Są to modele bardzo proste, typu „czarnej skrzynki” lub też bardzo skomplikowane, o rozwiniętej strukturze, z dużą liczbą parametrów.

Wybór odpowiedniej struktury modelu jest jednym z ważniejszych zagadnień w procesie tworzenia modelu matematycznego. Elementem decydującym o wyborze struktury modelu i funkcji jego operatorów jest przede wszystkim cel badań i zadania stawiane przed modelem. Jeśli zadaniem modelu ma być obliczanie przepływów ekstremalnych lub średnich wieloletnich w profilu rzeczonym, nie ma potrzeby tworzenia skomplikowanych modeli dynamicznych — taką rolę może z powodzeniem spełniać prosty model statyczny. Klasycznym przykładem takiego podejścia może być formuła racjonalna Mulvaney’a (Chow 1964).

Jeżeli zadaniem modelu jest osiągnięcie określonych celów użytkowych, jak np. prognoza hydrogramu odpływu lub uzupełnienie brakujących danych hydro- lub meteorologicznych (opady, odpływy), to najbardziej właściwe będzie przyjęcie najprostszej struktury modelu dynamicznego i dokonanie identyfikacji jego parametrów w procesie optymalizacji. Takie podejście nie wnosi wprawdzie nic nowego do poznania procesów hydrologicznych, ale gwarantuje osiągnięcie postawionego celu w sposób ekonomiczny. Przykładem takiego rozwiązania może być klasyczny model typu wejście-wyjście opisany równaniem całki splotu, stosowany od wielu lat m. in. do prognozowania odpływu.

Należy jednak zdawać sobie sprawę, iż takie podejście jest niewystarczające do rozwiązania problemów hydrologicznych wymagających znacznie lepszej znajomości praw rządzących obiegiem wody w obrębie każdego procesu składowego. Modelowanie obiegu wody w zlewniach niekontrolowanych, sterowanie zasobami wodnymi w zlewniach poddanych antropopresji, wreszcie symulacja zmian reżimu wodnego



Ryc. 1. Uproszczony schemat obiegu wody w zlewni, algorytm obliczeń
 Simplified scheme of the water cycle in a catchment, algorithm of computations

Objaśnienie symboli:

P – pomierzona wysokość opadu atmosferycznego (mm), P_g – zasilenie powierzchni gruntu (mm), $S_{i\max}$ – maksymalna pojemność retencji intercepcji (mm), D_c – zwartość pokrywy roślinnej, T_i – ociekanie roślin (nadmiar retencji intercepcji) (mm), L – długość powierzchni splotu lub odcinka koryta (m), J – spadek powierzchni splotu lub odcinka koryta, J_f – spadek tarcia, I_E – natężenie opadu efektywnego ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$), h – wysokość warstwy wody w procesie splotu powierzchniowego (m), u – składowa prędkości w kierunku splotu ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), q – zasilenie cieku bocznym splotem po-

pod wpływem działalności gospodarczej, to przykłady zadań, których rozwiązania nie można uzyskać przez stosowanie najprostszych modeli hydrologicznych.

Rozwiązania tych problemów można poszukiwać w opracowaniu integralnego modelu zlewni, spełniającego następujące warunki:

- wszystkie ważniejsze procesy obiegu wody w zlewni są opisane za pomocą odrębnych operatorów,
- funkcje transformujące operatorów oraz ich parametry mają sens fizyczny,
- identyfikacja parametrów modelu jest realizowana za pomocą ich bezpośredniego pomiaru w zlewni lub za pośrednictwem określenia ich związków z innymi charakterystykami zlewni,
- struktura modelu ma charakter niestacjonarny o parametrach rozłożonych (czasowo-przestrzenna zmienność parametrów).

Opisanie procesów hydrologicznych za pomocą równań fizyki matematycznej narzuca *a priori* zestaw parametrów, które nie są już zbiorem zwykłych współczynników liczbowych, lecz mają jednoznaczny sens fizyczny i teoretycznie powinno być możliwe wyznaczenie ich bezpośrednio w terenie. Na rycinie 1 pokazano schemat obiegu wody w zlewni wraz z opisem podstawowych funkcji matematycznych i ich parametrów.

wierzchniowym ($m \cdot h^{-1}$), $D(\theta)$ — dyfuzyjność wody glebowej, θ — wilgotność gleby ($cm \cdot cm^{-1}$), $\psi(\theta)$ — potencjał kapilarny wody glebowej, $K(\theta)$ — przewodność hydrauliczna gleby, E_p — parowanie potencjalne ($mm \cdot h^{-1}$), a — stały parametr do zamiany jednostek, Δ — gradient pary wodnej w warunkach saturacji przy przeciętnej temperaturze powietrza ($hPa \cdot ^\circ C^{-1}$), γ — stała psychrometryczna ($hPa \cdot ^\circ C^{-1}$), B — promieniowanie netto ($cal \cdot cm^{-2} \cdot min^{-1}$), G — wymiana ciepła z podłożem ($cal \cdot cm^{-2} \cdot min^{-1}$), l — utajone ciepło parowania ($cal \cdot g^{-1}$), ρ_w — gęstość parującej wody ($g \cdot cm^{-3}$), ρ — gęstość powietrza ($g \cdot cm^{-3}$), ε — stosunek ciężarów molekularnych wody i powietrza, k — stała von Karmana, p — ciśnienie atmosferyczne (hPa), e_0 — ciśnienie pary wodnej w warunkach saturacji w temperaturze równej temperaturze powietrza na wysokości Z_a (hPa), e_a — aktualne ciśnienie pary wodnej w powietrzu na wysokości Z_a (hPa), Z_a — wysokość nad powierzchnią czynną, gdzie prowadzone są pomiary elementów meteorologicznych, z_0 — parametr szorstkości, u_a — prędkość wiatru na wysokości Z_a , r_s — opór dyfuzyjny pokrywy roślinnej lub gleby ($s \cdot cm^{-1}$), Z_g — średni zapas wody w górnej warstwie strefy aeracji na początku przedziału czasu (mm), R_g — średni zapas wody w górnej warstwie strefy aeracji na końcu przedziału czasu (mm), a_1 i a_2 — parametry numeryczne zależne od mechanicznego składu gleby, E — całkowite parowanie terenowe (mm), a_3 — parametr równy -1 , q_g — zasilanie gruntowe ($m^3 \cdot s^{-1}$), K — współczynnik filtracji ($cm \cdot s^{-1}$), H — miąższość warstwy wodonośnej (cm), Q — przepływ rzeczny w korycie (przekrój zamykający zlewnię) ($m^3 \cdot s^{-1}$), a , m (a_k , m_k) — parametry modelu fali kinematycznej na stoku i w korycie rzeczny, A_k — przekrój poprzeczny spływu w korycie rzeczny (m^2),

Explanations of symbols:

P — measured precipitation depth (mm), P_g — precipitation depth on ground surface (mm), S_{imax} — maximal interception storage (mm), D_c — density of plant canopy, T_i — dropping of the plants considered as interception excess (mm), L — overland flow or river bed length (m), J — overland flow or river bed slope, J_f — friction slope, J_E — effective rainfall intensity ($mm \cdot h^{-1}$), h — overland flow depth (m), u — flow velocity ($m \cdot s^{-1}$), Q — flow at the outlet of the catchment ($m^3 \cdot s^{-1}$), a , m (a_k , m_k) — parameters of the kinematic wave model for overland and river bed flow, A_k — cross-section of the river bed (m^2), q — overland inflow to river bed, $D(\theta)$ — diffusivity of soil water, θ — soil moisture, $\psi(\theta)$ — capillary potential of soil water, $K(\theta)$ — hydraulic conductivity of the soil, q_g — ground water flow ($m^3 \cdot s^{-1}$), K — filtration coefficient ($cm \cdot s^{-1}$), H — depth of the saturation zone (cm), E — land evaporation (mm), E_p — potential evaporation ($mm \cdot h^{-1}$), a — constant for units conversion, Δ — gradient of the saturation vapour pressure ($hPa \cdot ^\circ C^{-1}$), γ — psychrometric constant ($hPa \cdot ^\circ C^{-1}$), B — net radiation ($cal \cdot cm^{-2} \cdot min^{-1}$), G — exchange of the heat below the interface ($cal \cdot cm^{-2} \cdot min^{-1}$), l — latent heat of evaporation ($cal \cdot g^{-1}$), ρ_w — density of the evaporating water ($g \cdot cm^{-3}$), ρ — density of the air ($g \cdot cm^{-3}$), ε — water/air molecular ratio ($\varepsilon = 0.622$), k — von Karman constant ($k = 0.41$), p — atmospheric pressure (hPa), e_0 — saturation vapour pressure at elevation z_a estimated for the air temperature value (hPa), e_a — actual vapour pressure at elevation z_a (hPa), z_a — elevation above the active surface (cm), z_0 — roughness parameter (cm), u_a — wind speed at elevation z_a ($cm \cdot min^{-1}$), r_s — diffusion resistance of the plant canopy or of soil water, Z_g — soil moisture at the beginning of the computational time step Δt (mm), R_g — soil moisture at the end of the time step Δt (mm), a_1 and a_2 — numerical parameters depending on mechanical contents of the soil, $a_3 = -1$

KONCEPCJA PODZIAŁU ZLEWNI NA POLA QUASI-JEDNORODNE

Przestrzenna zmienność parametrów modelu wymaga podziału zlewni na jednostkowe pola quasi-jednorodne, wynikające z wymagań każdego procesu składowego. Wydzielenie każdej jednostki musi wynikać z naturalnych, fizycznogeograficznych własności zlewni i każda z nich powinna reprezentować jeden zespół parametrów w ramach każdego procesu.

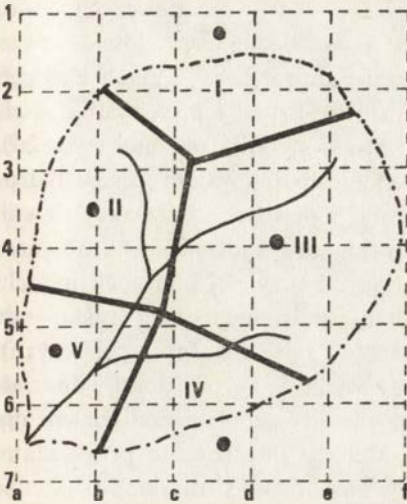
Z uwagi na konieczność stosowania elektronicznej techniki obliczeniowej, obszar zlewni należy pokryć pomocniczą siatką geometryczną, w której węzłach będą określone wartości parametrów modelu. Dokonany w ten sposób dyskretny rozkład parametrów w przestrzeni daje możliwość opisu ruchu wody w każdym węźle siatki, a ściślej w przyporządkowanym mu obszarze, w postaci modelu jednowymiarowego o parametrach skupionych. Krok przestrzenny siatki zależy od zróżnicowania fizycznogeograficznego zlewni, jej wielkości oraz kroku czasowego obliczeń.

Na rycinie 2 zilustrowano koncepcję podziału zlewni na pola quasi-jednorodne i wyznaczanie parametrów w polach siatki kwadratowej. W przypadku występowania w zlewni kilku posterunków opadowych (ryc. 2a), dzielimy jej obszar na pola objęte zasięgami pojedynczych posterunków. Następnie, nakładając na mapę zlewni siatkę kwadratów, wyznaczamy w jej polach wysokość opadu w kolejnych krokach czasowych Δt . W polach położonych na granicy obszarów wysokość opadu wyznaczamy metodą średniej ważonej. Na rycinie 2b pokazano podział zlewni na obszary o podobnym typie pokrywy roślinnej, przy czym stopień szczegółowości podziału zależy od możliwości zróżnicowania potencjalnej pojemności retencji intercepcji ($S_{i_{max}}$) różnych rodzajów roślinności (Gutry-Korycka 1980). Podział zlewni na pola quasi-jednorodne pod kątem występowania różnych typów gleb pokazano na rycinie 2c; jest on podstawą wyznaczania parametrów hydrologicznych gruntu — krzywa $pF(\theta)$ i współczynniki przewodności hydraulicznej gruntu $K(\theta)$, niezbędnych do opisu procesu infiltracji (Soczyńska, Gutry-Korycka i Jaworski 1982). Dwie ostatnie mapy są także podstawą określania parametrów wchodzących do modelu parowania terenowego (Jaworski 1980). Podział zlewni uwzględniający zróżnicowania gleb na jej obszarze komplikuje dodatkowo ich zmienność w profilu pionowym strefy aeracji w różnych punktach zlewni. Narzuca to konieczność dwustrefowego podziału zlewni. Według G. Fleminga (1975) profil glebowy może być podzielony na cztery warstwy poziome (horyzonty) zgodnie z następującą klasyfikacją:

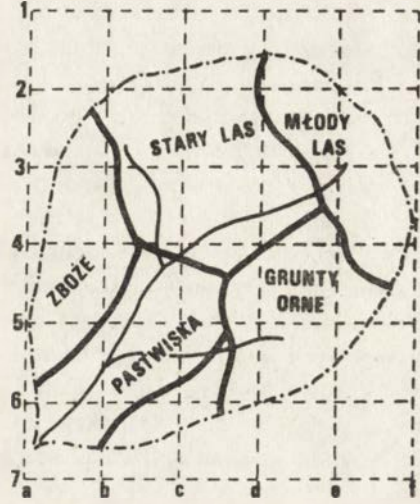
- A — warstwa gleby do materiału organicznego,
- B — strefa akumulacji koloidalnej,
- C — warstwa podglebia obejmująca skałę napowietrzoną,
- D — skała macierzysta.

Etap podziału przestrzennego powinien być uwzględniany dla każdego horyzontu osobno. Ten dwuwarstwowy podział pozwoli na wyodrębnienie jednostkowych objętości gruntu o strukturze w miarę jednorodnej, które będą scharakteryzowane właściwymi sobie parametrami $pF(\theta)$ i $K(\theta)$. Tak określone parametry będą punktem wyjścia do oszacowania ich przeciętnych wartości (średnich ważonych) w polach

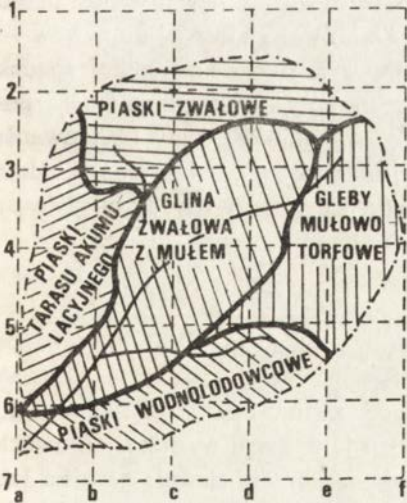
a)



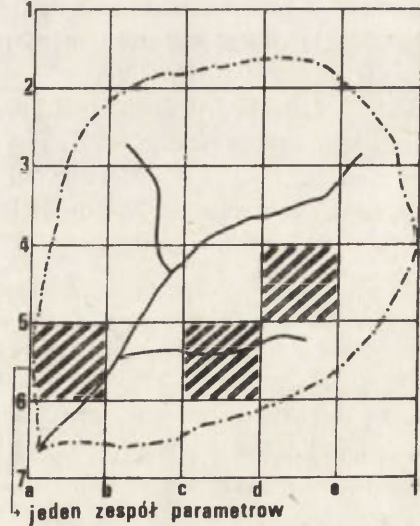
b)



c)



d)



Ryc. 2. Koncepcja podziału zlewni na pola quasi-jednorodne

a – pola o równej wysokości opadów w zlewni, b – quasi-jednородne pola roślinności w zlewni (procesy intercepcji i parowania terenowego), c – quasi-jednorodne pola gleb w zlewni (procesy parowania terenowego i infiltracji), d – geometryczna siatka kwadratowa

Conception of distinguishing of the unit quasi-homogenous areas

a – areas of equal rain depths in a basin, b – quasi-homogenous areas of plant canopy in a basin (interception and land evaporation processes), c – quasi-homogenous areas of soils in a basin (land evaporation and infiltration processes), d – geometric square grid

siatki geometrycznej pokrywającej obszar zlewni. Zagadnienie to jest najtrudniejsze w całym procesie identyfikacji parametrów fizycznogeograficznych modelu integralnego — wymaga szczególnej uwagi i podjęcia prac pomiarowo-badawczych, które doprowadziłyby do rozwiązania tego problemu w niedalekiej przyszłości.

Po dokonaniu podziału zlewni na pola quasi-jednorodne w ramach każdego procesu oraz wyznaczeniu właściwych im parametrów fizycznych, wszystkie wielkości parametrów w polach siatki określamy metodą średniej ważonej (ryc. 2d), uzyskując w każdym polu zespół parametrów niezbędnych do opisu procesów hydrologicznych zachodzących w strefie powierzchniowej i podpowierzchniowej zlewni. Opis procesu spływu powierzchniowego wymaga ponadto wydzielenia na obszarze zlewni obszarów bezodpływowych oraz — zależnie od przyjętej koncepcji modelu i charakterystyki topograficznej zlewni — dokonania jej geometryzacji (zastąpienie naturalnych stoków i sieci cieków przez zespół kanałów i prostokątnych płaszczyzn).

W następnych rozdziałach omówiono metody wydzielenia pól quasi-jednorodnych o podobnym typie pokrywy roślinnej oraz metody geometryzacji zlewni dla celów modelowania spływu powierzchniowego. Metody zilustrowano przykładami zrealizowanymi w zlewni eksperymentalnej Dąbrówki (woj. siedleckie).

Dąbrówka jest zlewnią cząstkową dorzecza górnej Wilgi — zlewni badawczej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej — reprezentującej region Niziny Południowopodlaskiej; jest pierwszym lewostronnym dopływem Wilgi, a jej powierzchnia wynosi 15,37 km² (ryc. 3 i 4). Maksymalna długość zlewni wynosi 5 km, przeciętna szerokość 4 km, deniwelacje sięgają około 36 m, średni spadek zlewni wynosi około 7%. Obszar zlewni jest odwadniany przez rzekę Dąbrówkę i kilka jej dopływów — rowów melioracyjnych. Całkowita długość cieku wynosi 4,6 km, średni spadek 2,065%. Zlewnia jest zajęta pod uprawy rolnicze: grunty orne zajmują 69,7% powierzchni, użytki zielone 8,9%, lasy 15,8%. Te trzy główne formy użytkowania gruntów zajmują 94,4% powierzchni zlewni. Na inne formy użytkowania składają się: tereny zabudowane 2%, drogi 1,6%, nieużytki 1,6%, sady i wody otwarte po 0,2% powierzchni.

WYDZIELANIE PÓL QUASI-JEDNORODNYCH O PODOBNYM TYPIE POKRYWY ROŚLINNEJ

Modelowanie procesu intercepcji wynikające z rozwiązania dynamicznego równania bilansu wodnego pokrywy roślinnej (ryc. 1) wymaga wyznaczenia dwóch parametrów fizycznych rozłożonych przestrzennie w obrębie zlewni: gęstości lub zawartości pokrywy roślinnej (DC) w każdej warstwie możliwej do wydzielenia (w układzie podziału pionowego) i odpowiadającej jej potencjalnej pojemności retencji intercepcji (S'_{max}). Liczba warstw naturalnej roślinności decyduje o przyjęciu modelu jednowarstwowego lub wielowarstwowego (Gutry-Korycka 1980).

Punktem wyjścia analizy procesu intercepcji jest pole jednorodne szaty roślinnej — fitocenoza. Jednorodne zbiorowiska roślinne mają w każdej zlewni swoiste charakterystyki (jakościowe i ilościowe): skład florystyczny czyli zespół gatunków ustalonych według zróżnicowania jednostkowej powierzchni wzorcowej i swoistą

strukturę populacyjną (Kershaw 1978). Strukturę roślinności charakteryzuje wzajemny układ jej części składowych: struktura pozioma odpowiada kontaktowi elementów szaty roślinnej, np. strefy roślinności krzewinkowej i trawiastej, struktura pionowa — warstwom roślinności (np. naturalny las może mieć nawet kilka warstw). Z punktu widzenia modelowania procesu krążenia wody w obrębie zbiorowiska roślinnego, zdaniem K. A. Kershawa (1978), oprócz rodzaju zbiorowiska muszą być określone jego parametry fitomorfologiczne, np. pokrycie poziome (zwarcie koron), wysokość i wiek osobników w wydzielonej warstwie pionowej, gęstość (liczba osobników na powierzchni jednostkowej) lub w szczególnych przypadkach biomasa świeżych roślin.

Wydzielanie pól quasi-jednorodnych roślinności powinno wynikać z następujących kryteriów:

— skali mapy, w której odwzorowujemy rzeczywistość pokrywą roślinną w zlewni (należy przyjąć, że im dokładniejszy podkład kartograficzny, tym szczegółowość wydzielenia powinna być większa),

— możliwości oszacowania parametrów DC i Si_{max} w uprzednio wydzielonych polach quasi-jednorodnych. Jeżeli w pewnych polach nie dysponujemy wartościami parametrów, wprowadzamy świadomą generalizację pól według kryterium łączenia ich pod względem znanych parametrów.

Należy przyjąć, że wydzielanie pól quasi-jednorodnych pokrywy roślinnej (fitocenozy) w zlewni wykonuje się wielostopniowo, za pomocą dokładnych map i materiałów fitosocjologicznych.

I. Podział wstępny powinien obejmować jedynie dwa rodzaje zbiorowisk roślinnych: fitocenozy naturalne lub quasi-naturalne (lasy, zarośla, łąki) i agrocenozy, które należy rozpatrywać ze względu na wahania zmian upraw w poszczególnych sezonach wegetacyjnych.

II. Następny stopień podziału powinien zmierzać do ustalenia typu fitocenozy naturalnych ze względu na strukturę (budowę) florystyczną.

W obydwu wypadkach dbamy o jak najwierniejsze wyznaczenie granic (zasięgów) wydzielonych jednostek przestrzennych w obrębie zlewni.

III. Dokonujemy potem podziału pionowego pól jednorodnych roślinności według charakteru warstw wynikających ze zróżnicowania strukturalnego osobników.

IV. Etapem końcowym jest pomiarzenie i oszacowanie wartości populacyjnych w obrębie uprzednio wydzielonych fitocenozy lub agrocenozy, które świadczą o strukturze wewnętrznej wydzielonych pól.

Sposób oszacowania parametrów powinien wynikać z dokładności, z jaką zostały wydzielone pola quasi-jednorodne oraz z uproszczeń cech strukturalnych tych jednostek przestrzennych.

Przykład podziału zlewni rolniczej (Dąbrówki) na pola quasi-naturalne przedstawia rycina 3, w tabeli 1 zaś zebrano podstawowe parametry odpowiadające wydzielonym jednostkom przestrzennym. Wydzielonym polom — według określonych poprzednio kryteriów — należy przypisać wartości liczbowe parametrów (Si_{max}) według katalogu wartości z eksperymentów pomiarowych wykonywanych w różnych

typach roślinności i reprezentujących różne parametry populacyjne środowiska roślinnego.

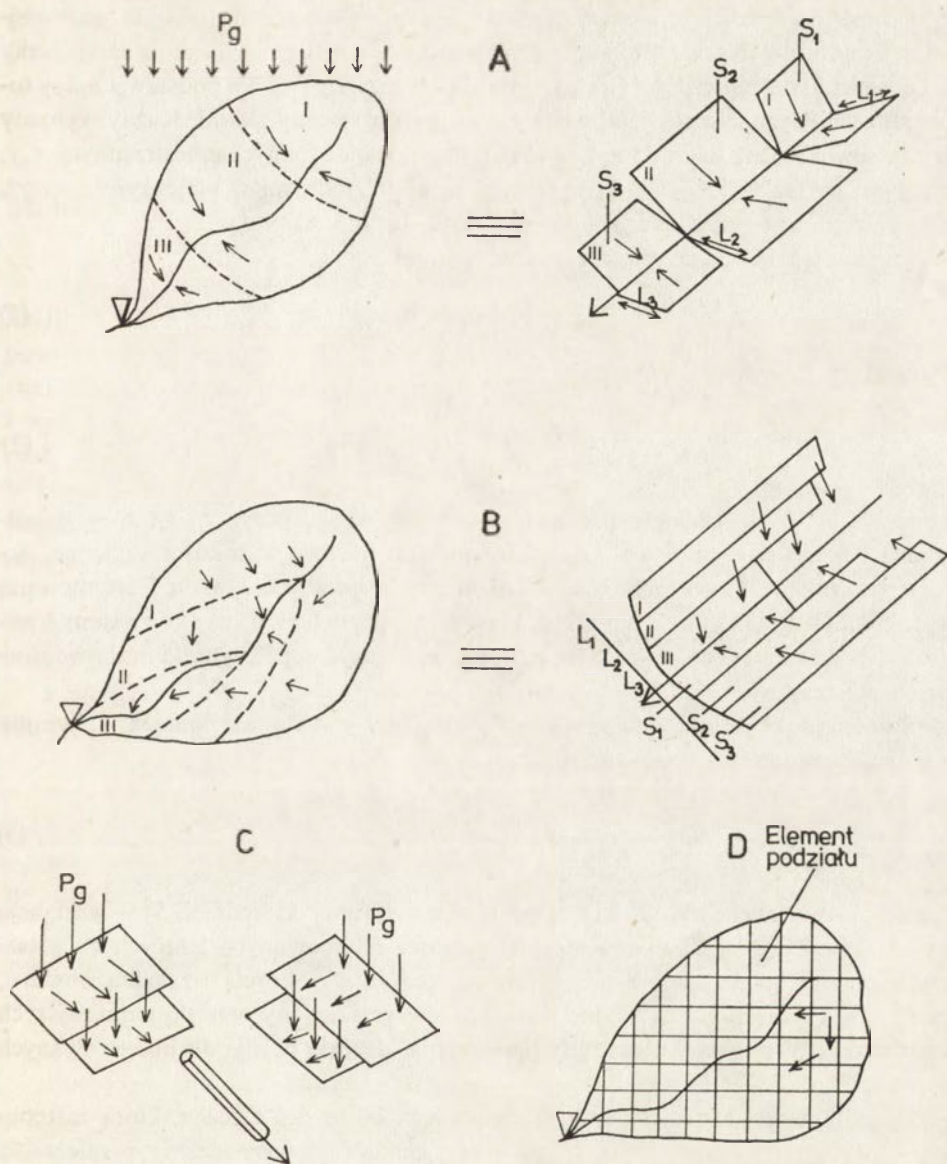
W modelu warstwowym intercepcji szacujemy parametry osobno w każdej warstwie wydzielonego pola jednorodnego. Swoistą niestacjonarność modelu wprowadza okres wegetacyjny, kiedy parametry muszą być zmieniane wraz z rozwojem roślinności. W takiej sytuacji przyjmujemy zmiany parametrów DC i Si_{\max} (w przedziałach dekadowych) w agrocenozach oraz zbiorowiskach lasów liściastych i zarośli.

We wszystkich poczynaniach powinniśmy dążyć do optymalnego podziału roślinności w zlewni, wykorzystując w tym celu różne techniki badawcze i pomiarowe, pozwalające najwierniej sparametryzować i odtworzyć za pomocą liczb środowisko roślinne tak, aby uproszczenia nie wpływały na dokładność opisu matematycznego procesu zatrzymywania opadów przez roślinność i dalszą jego transformację.

WYDZIELANIE PÓL QUASI-JEDNORODNYCH DO CELÓW MODELOWANIA SPŁYWU POWIERZCHNIOWEGO W ZLEWNI

Modelowanie spływu powierzchniowego w zlewni, wynikające z rozwiązania równań hydrodynamicznych (ryc. 1), wymaga wyznaczenia trzech parametrów fizycznych, przestrzennie rozłożonych na obszarze zlewni i w korycie rzecznej: 1) naturalnych spadków terenu i koryt rzecznych (I_t), 2) długości wyznaczonych spadków (L_t), 3) charakterystyk szorstkości; w wypadku przyjęcia do opisu strat energii zależności Manninga, charakterystyką będą współczynniki szorstkości (n_t), które wymagają wyznaczenia zarówno na obszarze zlewni jak i w korytach rzecznych. Sposób oszacowania tych parametrów zależy od przyjętego schematu podziału obszaru zlewni, który jednocześnie pozwoli na efektywne rozwiązanie modelu hydrodynamicznego w warunkach zlewni naturalnej. Różne przykłady podziału zlewni według G. Fleminga (1975) oraz E. W. Rovey'a, D. A. Woolhisera i P. E. Smitha (1977) pokazano na rycinie 5. Schematy a, b, c reprezentują podział na powierzchni jednostkowe o równomiernych spadkach. W takim wypadku każda powierzchnia jest reprezentowana przez jeden przeciętny spadek (I_t), długość zaś spływu (L_t) stanowi najkrótszą odległość liczoną wzdłuż spadku. Rycina 5d przedstawia powierzchnię zlewni podzieloną na dużą liczbę elementów. W tym wypadku obliczenia należy wykonywać dla każdego elementu osobno, przy wykorzystaniu jego indywidualnych charakterystyk. Każdy element jest zasilany odpływem z sąsiedniego elementu, zgodnie z kierunkiem największego spadku. Zastosowanie takiego schematu wymaga zatem oszacowania kierunku i wielkości liczbowej spadku w obrębie każdego elementu oraz zgodnej z nim długości drogi spływu. Dlatego niezbędne jest wykonanie w pierwszej kolejności dokładnych map badanej zlewni: mapy hipsometrycznej do wyznaczenia lokalnych spadków terenu w zlewni oraz mapy wód powierzchniowych z zaznaczeniem działu głównego oraz działów dopływów cieków powierzchniowych stałych i okresowych, zbiorników wód stojących, jak również obszarów bezodpływowych. Przykład mapy drugiego typu pokazano na rycinie 4.

Wybór odpowiedniego schematu geometryzacji zlewni, liczby płaszczyzn i kanałów jest ściśle związany z topografią zlewni oraz układem naturalnej sieci rzecznej.



Ryc. 5. Schematy geometryzacji zlewni (według Fleminga, 1975 oraz Roveya, Woodhisera i Smitha, 1977)

Schemes of the basin geometrization (after Fleming, 1975 and Rovey, Wodhiser and Smith, 1977)

Ponadto podział ten powinien być w miarę możliwości obiektywnie uzasadniony. Prace nad tym zagadnieniem należy przeprowadzać w dwóch etapach. Pierwszy etap ma charakter subiektywny i polega na przyjęciu schematu intuicyjnie optymalnego w warunkach badanej zlewni. Drugi etap obejmuje określenie spadków wytypowanych płaszczyzn oraz weryfikację schematu geometrycznego metodami statystycznymi.

Określenie spadków płaszczyzn może być przeprowadzone metodą najmniejszych kwadratów (Karwowski 1983). Polega to na optymalizacji równania płaszczyzny w odniesieniu do reprezentowanego przez nią obszaru zlewni. Na podstawie mapy topograficznej wyznacza się dział wodny oraz system rzeczny zlewni. Każdy wybrany punkt zlewni można scharakteryzować za pomocą współrzędnych przestrzennych x , y , z układu kartezjańskiego, w którym x , y są współrzędnymi w płaszczyźnie mapy, a współrzędna z oznacza wysokość względną danego punktu.

Przyjmując równanie płaszczyzny w postaci

$$z = b_1 + b_2x + b_3y, \quad (1)$$

otrzymamy równanie odchyłek

$$\begin{aligned} \sigma_i &= z_i - \hat{z}_i, \\ \sigma_i &= z_i - b_1 + b_2x_i + b_3y_i, \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie b_1 , b_2 , b_3 — szukane parametry równania płaszczyzny, x_i , y_i , z_i — współrzędne danego punktu zlewni, \hat{z}_i — estymowana wartość wysokości względnej, leżąca na szukanej powierzchni, σ_i — różnica pomiędzy rzeczywistą i estymowaną wysokością względną danego punktu. Przyrównując pochodne cząstkowe sumy kwadratów równania odchyłek do zera, możemy wyznaczyć współczynniki liczbowe równania płaszczyzny.

Stopień dokładności odwzorowania określamy zwykle za pomocą obliczania wskaźnika zgodności dopasowania

$$R_p = \frac{S_1^2 - S_2^2}{S_1^2}, \quad (3)$$

gdzie S_1^2 — wariancja wysokości względnej obserwowanej od średniej, S_2^2 — wariancja wysokości względnej obserwowanej od wartości estymowanych leżących na płaszczyźnie. Jeżeli płaszczyzna pokrywa się ze średnią wysokością względną obszaru, to $R_p^2 = 0$ i wówczas jest zbędne poszukiwanie płaszczyzny metodą najmniejszych kwadratów. W przypadku zaś, gdy płaszczyzna idealnie pasuje do obserwowanych danych, $R_p^2 = 1$.

Poza obszarem zlewni schematyzacji podlega także sieć rzeczna, którą zastępujemy układem kanałów. Długość głównego cieką (L_c) wyznaczamy z zależności

$$L_c = \sum_{i=1}^{i=n-1} d_i, \quad (4)$$

gdzie

$$d_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}; \quad (5)$$

x , y oznaczają współrzędne wybranych punktów wzdłuż cieką, a n jest liczbą tych punktów.

Spadek cieką głównego (S_c) określa się jako spadek hipotetycznego trójkąta

prostokątnego o powierzchni A równej powierzchni w obserwowanym profilu podłużnym cieką i jednej z przyprostokątnych, równej długości cieką (L_c)

$$S_c = \frac{h}{L_c} = \frac{2A}{L_c^2}, \quad (6)$$

gdzie $h = \frac{2A}{L_c}$.

Opisaną metodę zastosowano do przeprowadzenia geometryzacji zlewni Dąbrówki (Karwowski 1983). Na mapę hipsometryczną zlewni nałożono kwadratową siatkę pomocniczą zgodną z przyjętym układem współrzędnych X, Y , zorientowanym w kierunkach W-E, N-S. Kroki przestrzenne siatki w kierunkach X, Y są sobie równe i wynoszą $x = y = 200$ m. Na tej samej mapie hipsometrycznej wydzielono również granice obszarów bezodpływowych, zajmujących powierzchnię $4,53$ km². W każdym węźle siatki, z wyjątkiem obszarów bezodpływowych, określono wysokość względną (z_i), przyjmując za poziom zerowy rzędną w profilu zamykającym. Wykorzystując wartości wysokości względnych w węzłach siatki, opracowano algorytm i program na EMC, pozwalający automatycznie określać równanie płaszczyzny. W celu porównania stworzono trzy modele geometryczne zlewni o różnym stopniu komplikacji.

Pierwszy model — najprostszy — składa się z jednej tylko płaszczyzny o równaniu

$$z = 0,040x + 0,132y + 0,708. \quad (7)$$

Zachowując zgodność powierzchni zlewni i głównego cieką we wszystkich typach modeli obliczono wymiary tej płaszczyzny: długość $XL = 4900$ m oraz szerokość $W = 2840$ m. Spadek $S = 0,0028$ wyznaczono na podstawie równania płaszczyzny.

Drugi typ reprezentuje model „otwartej księgi” zaproponowany przez R. A. Woodinga (1965) i V. T. Chowa (1973). Składa się on z jednego kanału oraz dwu płaszczyzn o następujących równaniach

$$\begin{aligned} 1: z &= 0,167x + 0,059y + 7,080, \\ 2: z &= 0,156x + 0,133y - 4,270. \end{aligned} \quad (8)$$

Parametry geometryczne tego modelu przedstawia tabela 2.

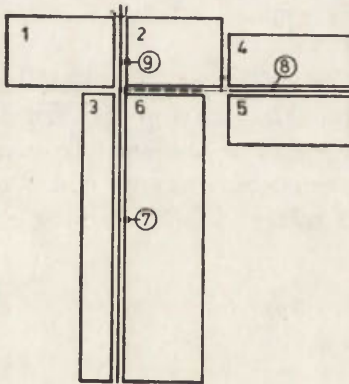
Trzeci model składa się z sześciu płaszczyzn i trzech kanałów (ryc. 6). Model ten w znacznie większym stopniu odzwierciedla naturalne ukształtowanie zlewni. Otrzymano następujące równania płaszczyzn:

$$\begin{aligned} 1: z &= -0,871x - 0,096y + 23,205, \\ 2: z &= 2,110x - 0,056y - 42,375, \\ 3: z &= -0,810x - 0,016y + 21,774, \\ 4: z &= 1,400x + 0,135y - 27,221, \\ 5: z &= 0,792x - 0,776y + 0,876, \\ 6: z &= -0,056x - 1,138y + 22,343. \end{aligned} \quad (9)$$

Tabela 2

Parametry geometryczne modeli spływu powierzchniowego zlewni Dąbrówki

Element	Długość (m)	Szerokość (m)	Spadek (%)
2 płaszczyzny, 1 kanał			
Płaszczyzna 1	1075	4900	0,0014
Płaszczyzna 2	1762	4900	0,0071
Kanał	4900	—	0,0025
6 płaszczyzn, 3 kanały			
Płaszczyzna 1	1458	950	0,0043
Płaszczyzna 2	1226	950	0,0105
Płaszczyzna 3	379	3900	0,0040
Płaszczyzna 4	806	1650	0,0070
Płaszczyzna 5	612	1650	0,0055
Płaszczyzna 6	1072	3900	0,0056
Kanał 7	3900	—	0,0025
Kanał 8	1650	—	0,0048
Kanał 9	950	—	0,0028



Ryc. 6. Model geometryczny zlewni Dąbrówka
Model of Dąbrówka basin geometrization

Parametry geometryczne tego modelu przedstawiono w tabeli 2. Charakterystyki geometryczne koryt kanałów (szerokość, głębokość, nachylenie skarp) określono na podstawie pomierzonych profili poprzecznych cieków zlewni.

W celu porównania stopnia odwzorowania naturalnej powierzchni zlewni przez poszczególne modele, obliczono wskaźniki zgodności dopasowania R_p^2 . Wartość R_p^2 wzrasta wraz ze zwiększeniem liczby płaszczyzn. Wartość wskaźnika $R_p^2 = 0,83$ w modelu 6 płaszczyzn uznano za wystarczająco wysoką i ten typ schematyzacji przyjęto jako podstawę modelu hydrodynamicznego spływu powierzchniowego w zlewni Dąbrówki.

Rodzaje pól quasi-jednorodnych roślinności, ich struktura warstwowa i parametry populacyjne wyznaczone w obrębie zlewni Dąbrówki

Lp.	Rodzaje zbiorowisk	Typ zbiorowisk (fitocenozy)	Liczba warstw	1. Drzewa			2. Krzewy (podszycie)			3. Rośliny zielne i trawy (runo)			4. Mchy i ściółka			Maksymalna pojemność retencji intercepcji w warstwach				
				Skład gatunkowy	Wiek drzew (lata)	Wysokość* drzew (m)	Zwartość DC ₁ średnia (m)	Skład gatunkowy	Wysokość średnia (m)	Zwartość DC ₂ średnia	Skład gatunkowy	Wysokość średnia ^o (m)	Zwartość DC ₃ średnia	Skład gatunkowy	Wysokość średnia (m)	Zwartość DC ₄ średnia	1	2	3	4
1	Lasy	lasy dębowo-grabowe	4	dąb, sosna, grab, osika, brzoza	40–70	18–20 s	0,80 s	jarzębina, kruszyna, leszczyna	0,50–3,00 s	0,60 z	maliny, paprocie, trawy, borówki, drobne zielne	różna 1,00 z	0,80 z	mchy: gajnik, żurawiec, ściółka liściasta	0,10 s	0,50–0,30 z	z	z	z	s
2		lasy łęgowo-olszowo-jesionowe	4	olcha, jesion dom: dąb, klon	40–60	12–16 s	0,80 s	czerecha, jarzębina, wierzba	3,50 s	0,10–0,80 s	pokrzywy, przytulie, tojeść	różna 1,00 z	0,95 z	mchy b. słabo rozwinięte, ściółka liściasta	0,10 s	0,50 z	z	z	z	s
3		postać regeneracyjna olsu	4	olcha, dom: jesion, sosna, brzoza	40–60	12–16 s	0,80 s	słabo rozwinięta: jarzębina, młoda olcha	2,00 s	0,40 s	ziola: trawy, turzyce, tojeść	0,40 z	0,85 z	mchy słabo rozwinięte, ściółka liściasta	0,05 s	0,20 z	z	z	z	s
4		bory mieszane sosnowo-dębowe	4	sosna, dąb, osika, świerk	40–70	18–20 s	0,70 s	kruszyna, jarzębina, leszczyna, jałowiec	2,50 s	0,50 s	paprocie, borówki, konwalia	różna 0,10–0,50 z	0,80 z	mchy płatami, ściółka mieszana	0,05 s	0,40–0,60 z	z	z; s	z	s
5		postać regeneracyjna borów mieszanych	3	sosna, osika, jodla, świerk	50	12–16 s	0,70 s	dąb, jałowiec, kruszyna, jarzębina	2,00 s	0,40 s	trawy (śmiałek)	0,30–1,00 z	1,00 z	—	—	—	s	z; s	z	—
6		bory sosnowe + bory bagienne	4	sosna, dom: brzoza	50–70	18–20 s	0,60 s	jałowiec, jarzębina	0,50–2,00 s	0,20 z	borówki (brusznica czarna), wrzos	0,15–0,30 z	0,70 z	mech rokitnik, ściółka iglasta	0,05 s	0,70 s	s	z; s	z	s
7		młotniki sosnowe (do 30 lat)	1	sosna	20	5–7 s	1,00 s	—	—	—	—	—	—	—	s	—	—	—	—	
8		forsty sosnowe (< 30 lat)	2	sosna	20	8–10 s	1,00 s	—	—	—	—	—	—	—	s	—	—	—	—	
9	Zarośla	różnego typu zbiorowiska zaroślowe																		
10		wierzbowe	2	—	b			wierzby	5–7	s	trawy	—	z	—	—	—	—	z	z	—
11		olszowe, topolowe	2					olchy, topole	8–10	s	—	—	z	—	—	—	—	z	z	—
		brzozowe	2				brzozy	5–7	s	—	—	z	—	—	—	—	z	z	—	
12	Łąki i murawy	różnego typu łąki, turzycowiska i murawy	1								kępy traw, mchów i roślin zielnych suchoroślowych	z	z	mchy: płonnik, pędzlik	0,05 s	0,30 s	—	—	z	s
13			1											torfowce, inne wodne	0,05 s	0,60 s	—	—	z	s
14			1											mech (<i>Sphagnum</i>)	0,05 s	0,20 s	—	—	s	s
15	Agrocenozy	uprawy zbożowe	1	żyto, owies, jęczmień			z	z												
16		uprawy okopowe	1	ziemniaki, buraki pastewne			z	z												

* wysokość drzew przyjęto za Boczarowem (1976); ^b wysokość drzew przyjęto ze zdjęć lotniczych; ^o wysokość średnią roślin zielnych, krzewinek i mchów przyjęto za Mowszowiczem (1979, 1980); z — zmienne w dekadowych przedziałach czasu (zmiennosc fenologiczna w zależności od ulistnienia); s — stale w rocznych okresach wegetacyjnych; DC₁, DC₂, DC₃, DC₄ — przyjęta zwartość w stadium maksymalnego rozwoju wegetacyjnego.

PODSUMOWANIE

Opracowanie modelu matematycznego obiegu wody w zlewni możliwego do zastosowania w zlewniach niekontrolowanych lub do symulacji zmian procesów hydrologicznych wywołanych zmianami środowiska, wymaga rozwiązań opartych na równaniach fizyki matematycznej. Parametry modelu są charakterystykami fizycznymi zlewni o charakterze niestacjonarnym oraz przestrzennie zmiennym. Wyznaczenie ich wymaga zatem podziału zlewni na jednostkowe pola quasi-jednorodne pod kątem wymagań każdego procesu składowego. W artykule przedstawiono koncepcję podziału zlewni na pola quasi-jednorodne, ograniczając się do omówienia szczegółowych rozwiązań jedynie w zakresie procesów intercepcji i spływu powierzchniowego.

LITERATURA

- Boczarow M. K., 1976, *Metody statystyki matematycznej w geografii*, PWN Warszawa.
- Chow V. T., 1964, *Handbook of applied hydrology*, McGraw-Hill Book Comp., New York-San Francisco-Toronto-London.
- 1973, *Hydrodynamic modelling of two-dimensional watershed flow*, Journ. Hydr. Div., 99, 11.
- Gutry-Korycka M., 1980, *Matematyczno-fizyczne aspekty procesu intercepcji szaty roślinnej*, Przegl. Geofiz., 2.
- Fleming G., 1975, *Computer simulation techniques in hydrology*, Elsevier, New York-Oxford-Amsterdam.
- Jaworski J., 1980, *Podstawy metodyczne wyznaczania ewapotranspiracji aktualnej*, Mat. Bad. IMGW, Warszawa.
- Karwowski S., 1983, *Model spływu powierzchniowego w ujęciu hydrodynamicznym* (m-pis w IMGW Warszawa).
- Kershaw K. A., 1978, *Ilościowa i dynamiczna ekologia roślin*, PWN Warszawa.
- Mowszowicz J., 1979, *Flora wiosenna*, WSiP Warszawa.
- 1980, *Flora letnia*, WSiP Warszawa.
- Rovey E. W., Woodhiser D. A., Smith R. E., 1977, *A distributed kinematic model of upland watersheds*, Hydr. Papers, 93, Color. St. Univ., Fort Collins, Colorado.
- Soczyńska U., Gutry-Korycka M., Jaworski J., 1982, *Determination of a basin physical parameters for mathematical modelling hydrological processes*, J. H. S., 1–4.
- Wooding E. A., 1965, *A hydraulic model of catchment — I. Stream problem, II. Kinematic wave theory, III. Numerical solution*, Journ. Hydr., 3.

PRINCIPLES OF DISTINGUISHING THE QUASI-HOMOGENOUS AREAS
IN A CATCHMENT FOR THE HYDROLOGIC MODEL CALIBRATION
(Summary)

Construction of the hydrologic model for use in ungauged catchments or for simulation of hydrological changes caused by environment modification requires solutions based on physico-mathematical equations. The model parameters are physical catchment characteristics, time and spatial variables.

In the paper have been discussed problems of the mathematical model choice from the viewpoint of its practical applications. The particular attention has been given to the physically based

integral basin model as well as to calibration of its parameters. Calibration of the model with taking into account spatial distribution of its parameters requires division of the catchment into unit quasi-homogenous sub-areas, due to each component process demand.

There has been presented conception of separating the unit areas. Detail considerations regard the interception and overland flow processes. Examples of solutions are presented in the small lowland experimental basin. There are enclosed maps of the Dąbrówka basin division into quasi-homogenous areas as well as examples of its geometrization for the overland flow description by means of the hydrodynamic model.

Translated by the authors

ОСНОВА РОЗДЕЛЕНИЯ КВАЗИ-ОДНОРОДНЫХ ПОЛЕЙ В БАСЕЙНЕ С ЦЕЛЬЮ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ (Резюме)

Разработка математической модели круговорота воды в бассейне и возможности его использования в неконтролируемых водосборах или к симуляции изменению гидрологических процессов с изменчивостями окружающей среды, требует решения на основании уравнении математической физики. Параметры модели являются физическими характеристиками бассейна о нестационарном характере изменяющимся по пространстве.

В статье представлено проблемы связаны с изобранием структуры математической модели с точки зрения практического использования. Особенное внимание обращено разработке интегральной модели бассейна на основе математической физики, а особенно идентификации его параметров. Правильная калибровка модели с учетом изменности его параметров так по пространстве и по времени, требует разделения пространства бассейна на квази-однородные поля, согласно со спецификой каждого отдельного процесса.

В статье представлена идея разделения бассейна на единичные поля. Особенное внимание касаются процесса перехвата воды растительным покровом и поверхностного стока. Примеры решения этой проблемы представлено в мелком экспериментальном бассейне репрезентативной для Низины.

В статье включены карты бассейна на квази-однородные поля с примером геометризации бассейна для описания поверхностного бассейна при помощи гидродинамической модели.

Перевод авторов

PIOTR KOWALCZAK

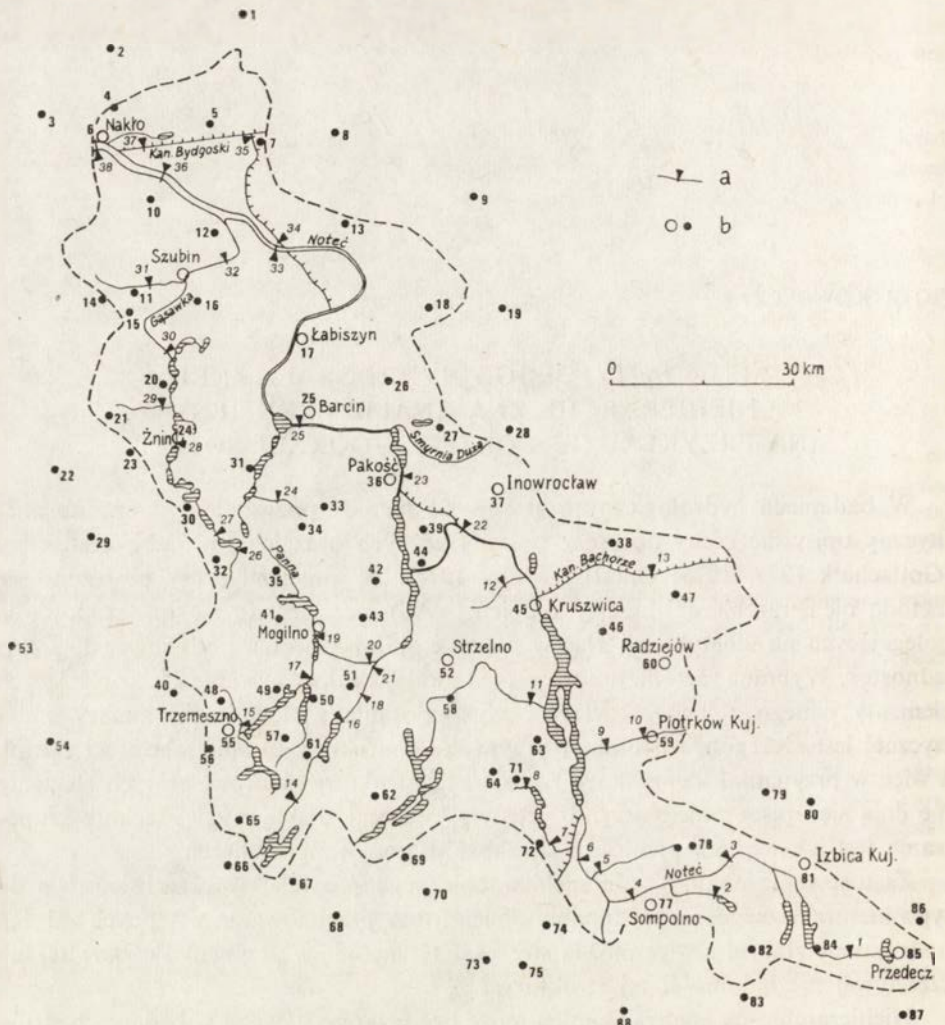
METODA TYPOLOGII HYDROGRAFICZNEJ
NIEHIERARCHICZNĄ ANALIZĄ SKUPIEŃ
(NA PRZYKŁADZIE DORZECZA GÓRNEJ NOTECI)

W badaniach hydrologicznych stosuje się metody pozwalające w sposób analityczny opisywać cechy dorzeczy i sieci rzecznych oraz ich rozkład przestrzenny (Gottschalk 1977, 1978; Onesti i Miller 1978). W niniejszej pracy posłużono się metodą niehierarchicznej analizy skupień (NAS), należąca do technik grupowania polegających na identyfikacji klas w procesie aglomerowania podobnych do siebie jednostek. Wybrana metoda umożliwia jednocześnie porównywanie cech opisujących elementy danego zbioru. Możliwość wykorzystania wielozmiennej analizy statystycznej jest szczególnie istotna w przypadku charakteryzowania własności zlewni, a więc w przypadku identyfikacji rzeczywistej struktury zbiorów, których elementy nie dają się opisać pojedynczymi, prostymi cechami. Jedną z zalet technik grupowania jest ich większa prostota i szybkość wykonywania obliczeń.

Zastosowanie analizy typu niehierarchicznego pozwala, w przeciwieństwie do typu hierarchicznego, na wykonanie obliczeń bez przyjmowania wstępnych założeń o strukturze zbioru, a więc można stosować tę metodę w przypadku całkowitej lub częściowej nieznanowości tej struktury.

Niehierarchiczna analiza skupień może być wykorzystywana w badaniach struktury zbiorów o bardzo dużej liczbie elementów i znacznej liczbie cech, natomiast zastosowanie innych metod, np. popularnej w badaniach geograficznych metody Czekanowskiego, jest ograniczone ze względów technicznych do analizy zbiorów o niewielkiej liczbie elementów. Zastosowanie niehierarchicznej analizy skupień pozwala uzyskać jednoznaczne wyniki — występuje tu ściśle wyznaczanie przynależności jednostki do określonych klas, a statystyczna ocena poprawności klasyfikacji, zdeterminowana poziomem ufności umożliwia jednoznaczny wybór rozwiązania. Zastosowanie wspomnianej metody Czekanowskiego dopuszcza natomiast wiele wariantów podziału zbioru jednostek. Wyniki otrzymane po przeprowadzeniu obliczeń metodą niehierarchicznej analizy skupień pozwalają na określenie charakterystyki wewnętrznej struktury zbioru (typy specyficzne, zwartość).

Celem opracowania jest próba przedstawienia podstawowych założeń i zasad hydrograficznej klasyfikacji zlewni cząstkowych przy użyciu metody niehierarchicznej analizy skupień oraz próba określenia możliwości stosowania tej metody w po-



Ryc. 1. Dorzecze górnej Noteci. The Upper Noteć drainage basin

a – wodowskazy (water level gauges): 1 – Łucynowo, 2 – Kawęczyn, 3 – Mąkoszyn, 4 – Łysek, 5 – Zaborowo, 6 – Noć Kalina, 7 – Lisewo, 8 – Pilich, 9 – Kaspral, 10 – Piotrków Kuj., 11 – Włostowo, 12 – Bożejowice, 13 – Papros, 14 – Słowikowo, 15 – Trzemeszno, 16 – Kamionek, 17 – Wylatowo, 18 – Gębice, 19 – Mogilno, 20 – Goryszewo, 21 – Kwieciszewo, 22 – Leszczyce, 23 – Pakość, 24 – Obudno, 25 – Barcin, 26 – Drewno, 27 – Oćwieka, 28 – Żnin, 29 – Brzyskorzystew, 30 – Wąsosz, 31 – Pińsko, 32 – Zazdrość, 33 – Dębinek jaz, 34 – Dębinek śluza, 35 – Lisiogon, 36 – Chobielin, 37 – Józefinki, 38 – Nakło

b – posterunki opadowe (observation posts): 1 – Wierchucin, 2 – Mroczna, 3 – Sadki, 4 – Chrzęstowo, 5 – Mini-kowo, 6 – Nakło, 7 – Lisiogon, 8 – Bydgoszcz, 9 – Solec Kuj., 10 – Samokłęski, 11 – Słonawy, 12 – Kołaczkowo, 13 – Stryzek, 14 – Kcynia, 15 – Zalesie, 16 – Kowalewo, 17 – Łabiszyn, 18 – Nowa Wieś Wielka, 19 – Chrośna, 20 – Sobiejuchy, 21 – Paryż, 22 – Niemczyn, 23 – Słębowo, 24 – Żnin, 25 – Barcin, 26 – Lisewo, 27 – Jaksice, 28 – Więclawice, 29 – Janowice, 30 – Biskupin, 31 – Chomiąza, 32 – Szelejewo, 33 – Mokre, 34 – Dąbrowa, 35 – Parlinek, 36 – Pakość, 37 – Inowrocław, 38 – Sobiesiernie, 39 – Janikowo, 40 – Gołąbki, 41 – Padniewo, 42 – Kołodziejewo, 43 – Szczeglin, 44 – Kołuda, 45 – Kruszewica, 46 – Głębokie, 47 – Dobrze, 48 – Kruchowo, 49 – Wydartowo, 50 – Targownica, 51 – Gębice, 52 – Strzelno, 53 – Klecko, 54 – Gnieszno, 55 – Trzemeszno, 56 – Wymysłowo, 57 – Trzemżał, 58 – Miradz, 59 – Piotrków Kuj., 60 – Stary Radziejów, 61 – Słowikowo, 62 – Wólka Orchowska, 63 – Rzeszyn, 64 – Kozuszkowo, 65 – Sokołowo, 66 – Witkowo, 67 – Powidz, 68 – Mieczownica, 69 – Nieborzyn, 70 – Jabłonka, 71 – Pilich, 72 – Wandowo, 73 – Kazimierz Biskupi, 74 – Ślesin, 75 – Gosławice, 76 – Boguszyce, 77 – Sompolno, 78 – Zaryń, 79 – Borek, 80 – Miłżyn, 81 – Izbica Kuj., 82 – Babiak, 83 – Dęby Szlacheckie, 84 – Moszerowo, 85 – Przedecz, 86 – Chodecz, 87 – Kłodawa, 88 – Kramek

szczególnych etapach analizy hydrologicznej, a zwłaszcza w dziedzinie wyboru zlewni analoga.

Badania przeprowadzono w odniesieniu do 31 zlewni cząstkowych dorzecza górnej Noteci (ryc. 1). Ogółem poddano analizie następujące charakterystyki:

- F_1 — powierzchnia zlewni (km^2),
- F_2 — długość zlewni (km),
- F_3 — długość doliny rzeki od ujścia do działu wodnego (km),
- F_4 — średnia szerokość zlewni (km),
- F_5 — wskaźnik zwartości zlewni,
- F_6 — wzniesienie zlewni (m n.p.m.),
- F_7 — średni spadek zlewni ($^{\circ}/_{00}$),
- F_8 — długość rzeki (km),
- F_9 — gęstość sieci rzecznej (km/km^2),
- F_{10} — współczynnik rozwinięcia rzeki,
- F_{11} — jeziorność zlewni (%),
- F_{12} — charakterystyka zlewni uwzględniająca m.in. przepuszczalność gleby, użytkowanie gruntów (pkt.),
- F_{13} — średnia opadów atmosferycznych w latach 1978–1980 (mm).

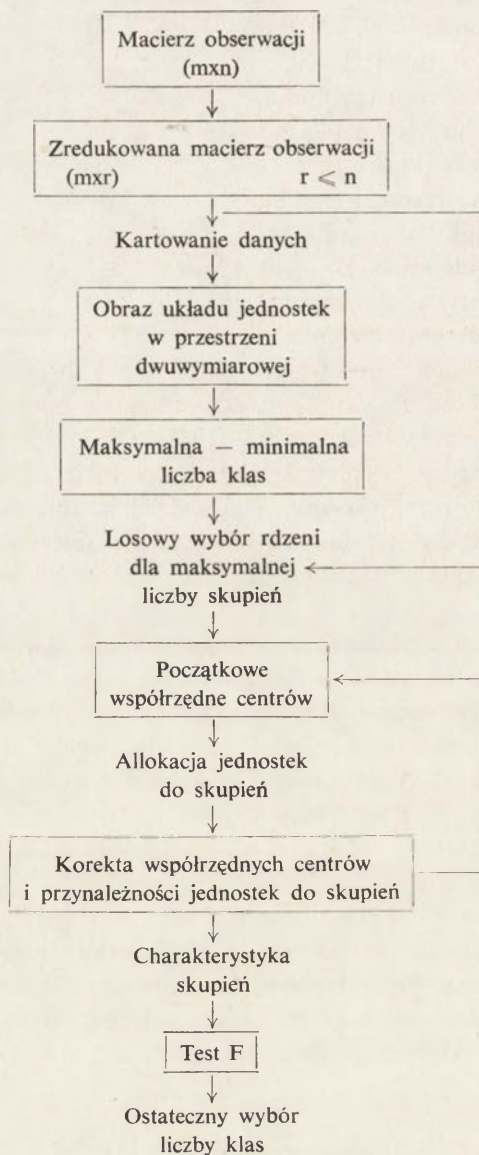
Charakterystyki od F_1 do F_{11} wyznaczono na podstawie metod zalecanych w *Przewodniku do ćwiczeń z hydrologii* (1977). Charakterystyka F_{12} jest związana z retencyjnością zlewni. Ponieważ właściwości takie jak przepuszczalność gleb, użytkowanie gruntów czy stosunki wodne działają kompleksowo i oddziaływanie ich zmienia się w czasie (obecnie nie prowadzi się obserwacji wymienionych cech), postanowiono zastąpić je wskaźnikiem, który ujmowałby ich wspólne oddziaływanie¹.

Zasób informacji o układach przestrzennych podstawowych czynników środowiska jest różny, różna jest także dokładność ich oceny ilościowej, przeto autor pominął szacowanie poszczególnych elementów, w tym również infiltracji, a dokonał za pomocą subiektywnie ustalonej skali punktowej próby podziału, uwzględniającej wzajemne względne relacje właściwości kompleksów. Ocenę podziału przeprowadzono metodą korelacji, badając zależność między otrzymanymi w podziale wartościami określającymi retencyjność zlewni a wartościami charakterystycznych odpływów jednostkowych.

Analiza statystyczna wykazała znaczące zależności pomiędzy badanymi cechami. Przeprowadzając analizę posłużono się 13 cechami charakteryzującymi zlewnię, a w niej sieć rzeczna. Po wykonaniu niezbędnych obliczeń porównano wszystkie cechy z dostępnymi wynikami badań innych autorów. Analiza materiałów wykazała niewielkie różnice, których źródłem jest zapewne różna dokładność obliczeń.

¹ Jako podstawa określenia takiego wskaźnika (w pkt.) posłużyły: mapa *Przyrodnicza bonitacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce* opracowana przez T. Górskiego i T. Witka (1977) i mapa warunków wodnych dorzecza górnej Noteci opracowana na potrzeby analizy operatu hydrologicznego w IMGW Oddział w Poznaniu, stanowiąca sumę informacji pozyskanych z badań terenowych, prac kameralnych oraz literatury (Celmer i Churski 1973, Galon 1967, Kondracki 1978).

Obliczenia wykonano na maszynie cyfrowej, korzystając z programu opracowanego w Ośrodku Przetwarzania Informacji Akademii Ekonomicznej w Poznaniu. Kolejność obliczeń przedstawia schemat blokowy (ryc. 2). Zadaniem jest grupowanie zbioru wybranych zlewni według podobnych cech. Przyjęto arbitralnie maksymalną liczbę skupień 8, minimalną 3 (podział powyżej 8 skupień spowodowałby nadmierne rozbieżności badanych zlewni, utrudniając opis i analizę materiału, podział



Ryc. 2. Schemat blokowy niehierarchicznej analizy skupień (według: Gaczek, Helpa i Kasprzyk 1980)
Block diagram of the non-hierarchical cluster analysis (according to Gaczek, Helpa and Kasprzyk 1980)

zaś poniżej 3 skupień zbyt uprościłby analizę cech różnicujących badane zlewnie cząstkowe). Opis metody można znaleźć w pracach P. M. Mathera (1976), W. Gaczek, M. Hełpy i A. Kasprzyk (1980) i innych. Klasyfikowany zbiór jednostek traktuje się w metodzie jak „chmurę” punktów wielowymiarowej przestrzeni, których współrzędnymi są wartości zmiennych opisujących te jednostki. Skupienia tworzą te fragmenty przestrzeni, które odznaczają się stosunkowo dużą gęstością, do jednego skupienia należą zatem punkty o zbliżonych współrzędnych cech, a więc podobne do siebie. W tej sytuacji podstawowym problemem jest określenie współrzędnych centrów skupień.

Pierwszym etapem jest przyjęcie liczby skupień. Jak wspomniano, do obliczeń przyjęto maksymalną liczbę 8, a minimalną 3 skupienia, przy czym maksymalna liczba skupień jest uwarunkowana dwoma podstawowymi wymaganiami — pierwszy to potrzeby wynikające z założeń prowadzącego obliczenia, drugi to dobór takiej maksymalnej liczby skupień, aby ich liczba była większa od wstępnie przewidywanej, co w trakcie grupowania pozwala na zmiany współrzędnych centrów. Położenie centrów skupień ustalono przez zastosowanie generatora liczb pseudolosowych z przedziału (0, 1) i wybór rdzeni z wartości zawartych pomiędzy maksimum a minimum każdej obserwowanej cechy. Przyjęcie powyższej metody szacowania położenia centrów pozwala na obiektywną i mniej pracochłonną analizę badanego materiału statystycznego. Ustalenie granic skupień przebiega w procesie alokacji badanych jednostek do określonego skupienia na podstawie ich odległości od centrum. W przypadku losowego wyboru zlewni jest możliwość wielokrotnej korekty granic skupień w zależności od przyjętej ich liczby.

W obliczeniach zastosowano jako miarę podobieństwa jednostek odległość euklidesową d_{ij} obliczoną na podstawie formuły

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]^{1/2}; \quad i, j = 1, 2, \dots, n,$$

gdzie x_{ik} , x_{jk} — wartości zmiennej k obiektów i -tego i j -tego. Otrzymane wartości d_{ij} mogą przyjmować wartości od zera (zupełne podobieństwo) do nieskończoności (brak jakiegokolwiek podobieństwa). Ustalenie granic skupień następuje w procesie iteracji. Ustalonym wcześniej centrom przyporządkowuje się najbliższej leżące jednostki, następnie ponownie określa się współrzędne centrów jako średnie tych wszystkich jednostek, które należą do danego skupienia. Wskutek powyższego obliczenia ulegają zmianie współrzędne centrów, należy zatem przeprowadzić sprawdzenie ustaleń prawidłowości przynależności poszczególnych jednostek do skupień. Opisane wyżej dwa działania: ustalenie współrzędnych centrów i ponowna kontrola przynależności jednostek do grup są powtarzane tak długo, jak długo zachodzi możliwość przesunięć przy danej liczbie klas. Zmniejszanie liczby skupień następuje przez łączenie skupień, dla których kwadrat odległości d_{ij} między centrami jest najmniejszy. Wówczas występuje również konieczność powtórzenia procesu iteracji w celu ostatecznego ustalenia współrzędnych centrów i granic przyjętych skupień. Dzięki opisowi struktury wewnętrznej wyodrębnionych skupień zawierającemu m. in. liczbę jednostek należących do grupy, odległości poszczególnych jednostek, ich średnie odle-

głości od centrum itp., istnieje możliwość dokonania nie tylko analizy całości materiału, ale również szczegółowego poznania zależności występujących wewnątrz wyodrębnionych skupień.

Wyniki końcowe niehierarchicznej analizy skupień prowadzą do kilku wariantów rozwiązań z różną liczbą skupień. Podstawą wyboru jednego z wariantów może być np. możliwość interpretacji wyników lub, jeżeli zastosowana metoda występuje jako element cyklu obliczeń, dopasowanie do przyjętych wcześniej schematów obliczeń, podziałów itp. Można również zastosować metody określania klas, które przy założonym losowym wyborze współrzędnych centrów pozwolą na ich „optymalny” wybór.

W metodzie NAS można zastosować dwie metody „optymalnego” wyboru liczby skupień. Najprostszym sposobem, zastosowanym również w pracy, jest test F dla hipotezy zerowej, że mniejsza liczba skupień nie poprawi rozwiązania. Test F jest oparty na minimalizacji wartości odległości jednostek od centrum, jakie wystąpiły przy danej liczbie skupień. Należy zaznaczyć, że test F — podobnie jak inne testy statystyczne — należy traktować z ostrożnością, gdyż np. w powyższym wypadku za pomocą testu F możemy dokonać oceny stopnia skupienia jednostek przy określonej liczbie klas, a nie dokonać odwzorowania rzeczywistych współzależności między cechami jednostek.

Drugą metodą jest technika nieliniowego kartowania, także przedstawiona w pracy, która umożliwi określenie rzeczywistej liczby klas. Jest to metoda skomplikowana w sensie organizacji obliczeń. Omawiana metoda pozwala na prezentację jednostek opisanych współrzędnych w przestrzeni p -wymiarowej.

Procedura obliczeń jest oparta na wyrażeniu w postaci

$$E = \frac{1}{\sum_{1 < j} d_{ij}} \sum \frac{(d_{ij} - d_{ij}^*)^2}{d_{ij}},$$

gdzie d_{ij} jest odległością między jednostkami i i j w pierwotnej, p -wymiarowej przestrzeni, d_{ij}^* jest odległością między tymi jednostkami w przestrzeni p^* -wymiarowej

Obiektywność metody można zwiększyć przez zastosowanie statystycznej oceny poprawności wyników obliczeń np. według testu F. Efektem obliczeń są wydruki przedstawiające etapy obliczeń oraz lokalizację punktów w euklidesowej przestrzeni wielowymiarowej. Przeprowadzono pięć serii obliczeń tworząc za każdym razem inną kombinację cech:

seria I — $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9, F_{10}$,

II — F_{11}, F_{12}, F_{13} ,

III — $F_5, F_6, F_7, F_8, F_9, F_{10}$,

IV — $F_5, F_6, F_7, F_9, F_{10}, F_{11}$,

V — $F_1, F_{11}, F_{12}, F_{13}$.

Doboru liczby skupień dokonano subiektywnie, dopasowując do wcześniej wykonanych grupowań badanych równolegle charakterystyk hydrologicznych (SNQ, SQ, SWQ, $\frac{SWQ}{SQ}$, $\frac{SWQ}{SNQ}$).

Pierwotnie materiał analizowano od 3 do 8 skupień, natomiast szczegółowej analizie poddano grupowania od 5 do 8 skupień. W efekcie wybrano grupowania pięcioskupieniowe. Wyniki obliczeń przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Wartości czynników w jednostkach

Cecha	Numer skupienia				
	1	2	3	4	5
	a) I seria				
F ₁	-0,1175	-0,4400	2,4266	-0,4568	-0,4741
F ₂	0,4719	-0,3095	2,0116	-0,6251	-0,7074
F ₃	0,5802	-0,5816	1,9065	-0,6475	-0,6662
F ₄	-0,0408	-0,5541	2,4736	-0,4659	-0,5429
F ₅	-0,6058	-1,0974	1,3873	0,1037	0,0650
F ₆	0,3397	-1,0406	-1,0616	0,5107	-0,2139
F ₇	0,0471	1,3445	-0,2620	0,6309	-1,0385
F ₈	0,5534	-0,5726	1,8846	-0,6280	-0,6488
F ₉	0,2132	1,7097	0,9699	-0,8686	-0,0455
F ₁₀	-0,0298	-0,9213	-0,5302	0,7549	-0,4783
Liczebność skupienia	8	2	4	10	7
	b) II seria				
F ₁₁	-0,4943	2,9643	1,0284	-0,6199	0,1447
F ₁₂	0,5211	-0,4937	1,0273	-1,3171	-0,1351
F ₁₃	0,7190	-0,4468	0,1752	-0,1627	-1,6032
Liczebność skupienia	13	2	4	7	5
	c) III seria				
F ₅	-0,1554	1,0575	-1,2584	1,6934	-0,2221
F ₆	1,4648	-0,8212	-0,9056	0,5706	-0,1143
F ₇	1,0025	-0,7865	0,7925	-1,3097	-0,1576
F ₈	0,2300	1,0670	1,4108	-0,8462	-0,7446
F ₁₀	0,2942	-0,3433	-0,5133	3,5509	-0,1144
Liczebność skupienia	6	6	3	1	15
	d) IV seria				
F ₅	-0,0588	1,6934	0,8118	-1,2584	-0,3014
F ₆	0,9966	0,5706	-0,8164	-0,9056	-0,2105
F ₇	0,8103	-1,3097	-0,8574	0,7925	-0,3169
F ₉	-0,3574	-0,8462	0,9154	1,4108	-0,6220
F ₁₀	0,2211	3,5509	-0,2892	-0,5135	-0,2197
F ₁₁	-0,4985	-0,8043	-0,5170	-0,6581	1,1382
Liczebność skupienia	10	1	7	3	10
	e) V seria				
F ₁	-0,5162	-0,3363	2,4266	-0,2981	-0,3955
F ₁₁	2,9643	-0,6075	-0,3051	0,3834	-0,2138
F ₁₂	-0,4937	-0,5863	0,5309	1,2445	-0,5080
F ₁₃	-0,4468	0,7631	0,5585	0,3404	-1,1768
Liczebność skupienia	2	9	4	7	9

Przegląd wyników poszczególnych serii obliczeń pozwala na wybór optymalnej sekwencji. Analiza tabeli 1 (seria I) wskazuje na zbyt duże rozbieżności, wynikające z nadmiernej liczby danych wejściowych. Stąd w wyniku eliminacji części danych wydzielono 5 cech: wskaźnik zwartości zlewni, średnie wzniesienie zlewni, średni spadek zlewni, gęstość sieci rzecznej oraz współczynnik rozwinięcia zlewni, które stały się podstawą obliczeń wykonanych w III serii (tab. 1). Wyniki wskazują na celowość dokonanej operacji. Rezultaty tych obliczeń zostaną poddane szczegółowej analizie w dalszej części opracowania. Do danych będących podstawą obliczeń w III serii dodano 1 element — jeziorność. Celem tej procedury obliczeniowej była próba powiązania wybranych podstawowych cech zlewni i sieci rzecznej z jeziornością jako elementem retencji. Uzyskane wyniki nie prezentowały wymaganej czytelności cech różnicujących (tab. 1). Pod względem wyboru badanych cech od przedstawionych serii odbiegają serie II i V. W serii II poddano analizie jeziorność, cechy podłoża i sumę opadów atmosferycznych, a w V — powyższe cechy oraz powierzchnię zlewni. Najbardziej interesujące wyniki otrzymano w V serii pomiarowej. Ogólną charakterystykę iteracji z 5 centrami skupień przedstawia tabela 2. Szczegółowa charakterystyka poszczególnych skupień jest następująca:

skupienie 1			
16	1,0748	17	1,0748
skupienie 2			
1	1,2426	4	0,9299
11	0,4798	13	1,1273
18	0,8000	20	0,9097
10	0,311	14	1,7514
21	1,1969		
skupienie 3			
23	0,8974	24	0,8306
25	0,5247		
26	1,1700		
skupienie 4			
2	1,3137	3	0,7115
9	1,5519	27	1,2610
30	0,6427		
31	0,6906		
skupienie 5			
6	1,4733	7	0,6971
8	0,8234		
12	1,1633	15	1,0217
19	1,3354		
22	0,9743	28	1,3233
29	1,1740		

Wyodrębniono 5 typów zlewni cząstkowych dorzecza górnej Noteci, które można scharakteryzować za pomocą współrzędnych w przestrzeni wielowymiarowej centrów skupień i średniej odległości jednostek od centrum (tab. 1) i macierzy między centrami skupień (tab. 2).

Tabela 2

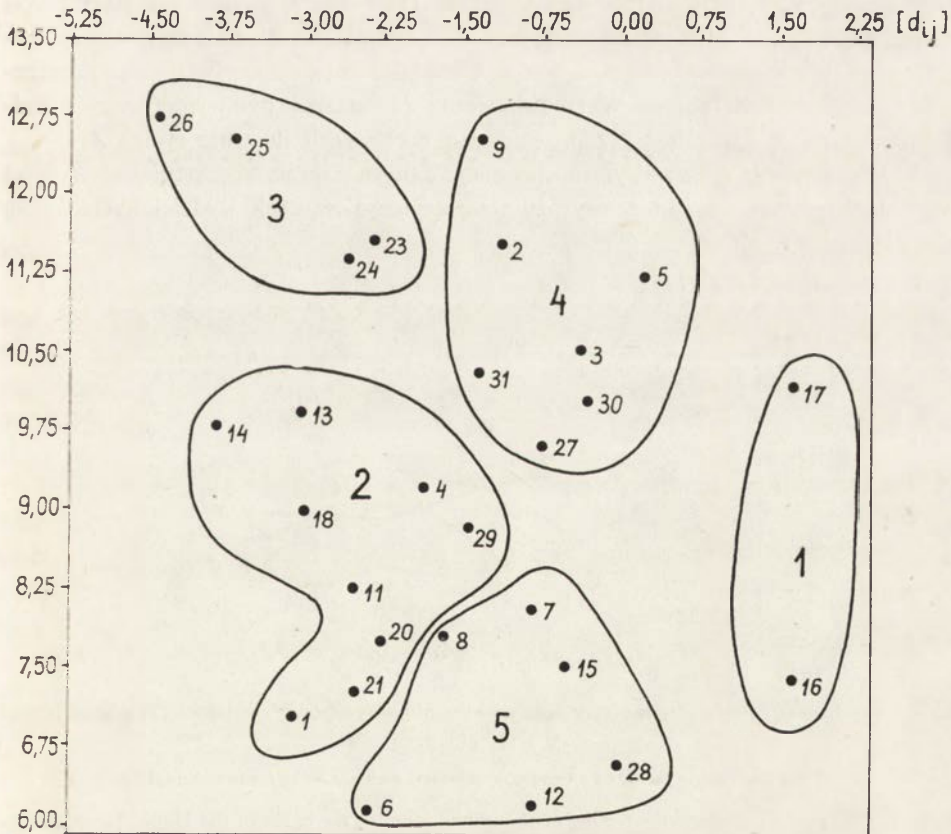
Macierz odległości dla centrów skupień

	1	2	3	4
2	3,7766			
3	4,6270	3,0025		
4	3,2171	2,1246	2,9077	
5	3,2631	1,9820	3,4733	2,3957

Typ 1 — grupuje dwie zlewnie cząstkowe: Noteci Zachodniej do profilu Słowikowo i Kanał Lubotyński do profilu Kawęczyn, które wyróżniają się dużą jeziornością — 13,0 i 14,0%, wielokrotnie wyższą od występujących w pozostałych wypadkach.

Typ 2 — grupuje dziewięć zlewni cząstkowych: Biała Struga do profilu Pińsko, Pomorka do profilu Brzyskorzystew, Kanał Rogalin-Gopło do profilu Młostowo, Kanał Ciechrz-Bożejewice do profilu Bożejewice, Noteć do profilu Mąkoszyn, Noteć do profilu Łysek i Noteć do profilu Noć Kalina.

Typ 3 — obejmuje cztery zlewnie wydzielone w dorzeczu Noteci, a zamknięte kolejnymi profilami wodno-bilansowymi: Leszczyce, Pakość, Barcin i Dębinek. Są to zlewnie o dużych powierzchniach (1586,6, 1619,5, 2618,0 i 3096,1 km²), stosunkowo małej jeziorności (1,81%) i dość wysokich opadach atmosferycznych.



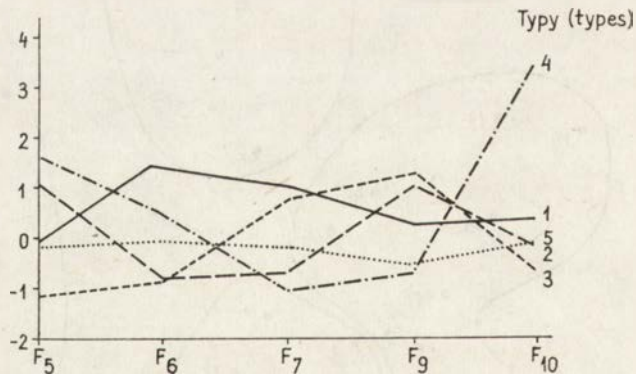
Ryc. 3. Układ punktów odpowiadających poszczególnym jednostkom zbioru w zredukowanej przestrzeni dwuwymiarowej (V seria obliczeń). Współrzędne stanowią wartości zmiennych o największej wariancji

Arrangement of the points corresponding to particular units of the set in the reduced two-dimensional space (5th calculation series). The coordinates constitute the values of variables of the largest variance

Typ 4 — stanowi siedem zlewni cząstkowych: Kanał Rogalin-Gopło do profilu Piotrków Kujawski, Gąsawka do profilu Wąsosz, Gąsawka do profilu Oćwieka, Kanał Bachorze do profilu Papros, Gąsawka do profilu Żnin, Gąsawka do profilu Zazdrość, Noteć Zachodnia do profilu Gębice. Są to zlewnie o stosunkowo małych powierzchniach (największa Zazdrość 527,3 km², najmniejsza Oćwieka 20,3 km², średnia 199,3 km²), jeziorności wyższej od średniej oraz wysokiej wartości współczynnika G. Wysokość opadów atmosferycznych zbliżona do średniej ze wszystkich badanych zlewni.

Typ 5 — grupuje dziewięć zlewni cząstkowych: Struga Fółuska do profilu Obudno, Panna do profilu Wylatowo, Struga Bystrzycka do profilu Trzemeszno, ciek spod Wilczyzna do profilu Pilich, Noteć Zachodnia do profilu Kamionek, Noteć do profilu Łucynowo, Lisewka do profilu Lisewo, Panna do profilu Mogilno i Panna do profilu Goryszewo. Są to zlewnie o dość małych powierzchniach (największa Goryszewo 391,3, najmniejsza 42,8, średnia 115,9 km²), jeziorności jako grupa niższej niż w typie 4 oraz niskiej wartości współczynnika G. Zlewnie tej grupy odznaczają się najmniejszą wysokością opadów. Układ punktów odpowiadających poszczególnym jednostkom zbioru w zredukowanej przestrzeni dwuwymiarowej przedstawia rycina 3, natomiast przeprowadzoną ocenę cech ilustruje rycina 4.

Można stwierdzić, że powyższa sekwencja danych dała najkorzystniejsze spośród wszystkich grupowanie, które wyróżnia się czytelnością cech wydzielonych typów zlewni cząstkowych.



Ryc. 4. Przebieg wartości ocenianych cech dla wyodrębnionych typów zlewni dorzecza górnej Noteci (V seria obliczeń)

Oś pozioma — cechy, oś pionowa — położenie cech dla wybranej iteracji [dij]

Values of the evaluated properties for the distinguished types of the basin of the Upper Noteć catchment (5th calculation series)

Horizontal axis — properties, vertical axis — location of properties of the chosen iteration [dij]

W III serii obliczeń brano pod uwagę następujące cechy: wskaźnik zwartości zlewni, średnie wyniesienie zlewni, średni spadek zlewni, gęstość sieci rzecznej i współczynnik rozwinięcia rzeki. Ogólną charakterystykę iteracji z 5 centrami sku-

pień przedstawiono w tabeli 1, natomiast charakterystykę odległości od centrów skupień zestawiono poniżej:

skupienie 1				
7	1,9480	8	1,8664	12 1,2719
18	1,2803	20	1,6325	29 2,1848
skupienie 2				
1	1,8733	2	1,6463	23 1,7530
24	1,3125	25	0,8104	26 1,1161
skupienie 3				
9	1,1789	11	0,7304	21 1,5550
skupienie 4				
4	0,0000			
skupienie 5				
3	1,1999	5	1,7193	6 1,5109
10	1,5161	13	1,3935	14 1,5806
15	1,4870	16	1,8458	17 1,6336
19	2,2978	22	0,7232	27 1,4020
28	1,5955	30	0,9856	31 0,9339

Wyodrębniono 5 typów zlewni cząstkowych.

Typ 1 — obejmuje sześć jednostek: Panna do profilu Wylatowo, Rów Bystrzycki do profilu Trzemeszno, ciek spod Wilczyna do profilu Pilich, Noteć do profilu Mąkoszyn, Noteć do profilu Łysek, Panna do profilu Goryszewo, o dużym średnim wzniesieniu zlewni oraz stosunkowo dużym spadku cieków, o przeciętnej gęstości sieci rzecznej i takim samym współczynniku rozwinięcia rzeki.

Typ 2 — grupuje sześć zlewni cząstkowych: Biała Struga do profilu Pińsko, Kanał Rogalin-Gopło do profilu Piotrków Kujawski, Noteć do profilu Leszczyna, Noteć do profilu Barcin, Noteć do profilu Pakość, Noteć do profilu Dębinek. Są to zlewnie o wysokiej wartości wskaźnika zwartości oraz stosunkowo dużej gęstości sieci rzecznej. Występuje tu małe średnie wzniesienie oraz mały spadek cieków; stosunkowo niski jest współczynnik rozwinięcia rzeki.

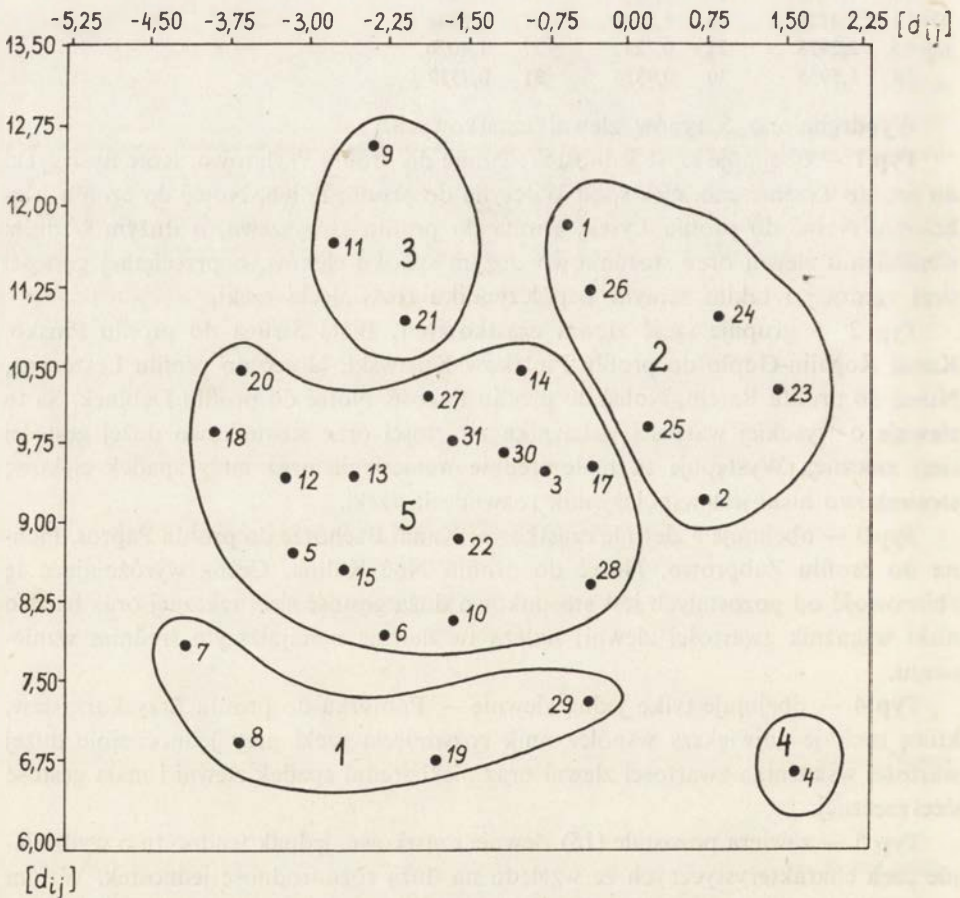
Typ 3 — obejmuje 3 zlewnie cząstkowe: Kanał Bachorze do profilu Papros, Pichna do profilu Zaborowo, Noteć do profilu Noć Kalina. Cechą wyróżniającą tę zbiorowość od pozostałych jest stosunkowo duża gęstość sieci rzecznej oraz bardzo niski wskaźnik zwartości zlewni; należą tu zlewnie o najniższym średnim wzniesieniu.

Typ 4 — obejmuje tylko jedną zlewnię — Pomorka do profilu Brzyskorzystew, którą cechuje największy współczynnik rozwinięcia rzeki przy jednocześnie dużej wartości wskaźnika zwartości zlewni oraz niski średni spadek zlewni i mała gęstość sieci rzecznej.

Typ 5 — zawiera pozostałe (15) zlewnie cząstkowe, jednak trudno tu o wydzielenie cech charakterystycznych ze względu na dużą różnorodność jednostek. W tym wypadku korzystniejszy dla klasyfikacji jest podział na 6 skupień (typów), gdzie otrzymana w poprzedniej iteracji grupa 5 jest dzielona na dwie podgrupy: 5 — składająca się z 7 zlewni (Gąsawka do profilu Oćwieka, Struga Foluska do profilu Obudno, Kanał Rogalin-Gopło do profilu Kasprał, ciek spod Wilczyna do profilu Pilich, Kanał Ostrowo-Gopło i Gopło do profilu Włostowo, Noteć Zachodnia do

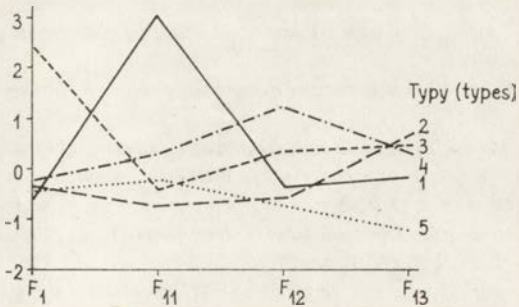
profilu Kamionek i Lisewka do profilu Lisewo) oraz 6 — obejmując następujące jednostki: Gąsawka do profilu Wąsosz, Gąsawka do profilu Żnin, Gąsawka do profilu Zazdrość, Panna do profilu Mogilno, Noteć Zachodnia do profilu Słowikowo, Kanał Ciechrz-Bożejewice do profilu Bożejewice, Kanał Lubotyń do profilu Kawęczyn. Główne różnice pomiędzy wyodrębnionymi podgrupami to: wyższe średnie spadki zlewni, mniejsza gęstość sieci rzecznej i wyższa wartość wskaźnika rozwinięcia rzeki w 5 podtypie. Cechy podobne to: wskaźnik zwartości zlewni oraz średnie wzniesienie zlewni (ryc. 5, 6).

Również w przypadku III serii obliczeń uzyskano możliwość czytelnej, obiektywnej interpretacji wyników, przy czym przy ocenie otrzymanych w tej serii wyników należy mieć na uwadze pominięcie rozmiarów badanych dorzeczy.



Ryc. 5. Układ punktów odpowiadający poszczególnym jednostkom zbioru w zredukowanej przestrzeni dwuwymiarowej (III seria obliczeń). Współrzędne stanowią wartości zmiennych o największej wariancji

Arrangement of points corresponding to particular units of the set in the reduced two-dimensional space (3rd calculation series). The coordinates constitute the values of variables of the largest variance



Ryc. 6. Przebieg wartości ocenianych cech dla wyodrębnionych typów zlewni dorzecza górnej Noteci (III seria obliczeń)

Oś pozioma — cechy, oś pionowa — położenie cech dla wybranej iteracji $[d_{ij}]$

Values of the evaluated properties for the distinguished types of the basins of the Upper Noteć catchment (3rd calculation series)

Horizontal axis — properties, vertical axis — location of properties of the chosen iteration $[d_{ij}]$

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz literatury można stwierdzić, że:

- niehierarchiczna analiza skupień może być wykorzystywana w badaniach struktury zbiorów o bardzo dużej liczbie elementów i znacznej liczbie cech (jest to metoda sprawniejsza od metod grupowania dotychczas stosowanych w hydrologii);
- losowy wybór centrów skupień eliminuje w dużym stopniu subiektywizm, co jest szczególnie istotne przy wykorzystywaniu metody do generowania hipotez;
- istnieje możliwość uzyskania jednoznacznych wyników przez obiektywne i ściśle wyznaczanie przynależności jednostek do określonych klas, a statystyczna ocena poprawności klasyfikacji, zdeterminowana faktycznie poziomem ufności umożliwia jednoznaczny wybór rozwiązania (w opracowaniu nie zastosowano w pełni opisaney procedury);
- wyniki niehierarchicznej analizy skupień pozwalają ocenić charakterystykę statystyczną klas oraz dodatkowo charakterystykę wewnętrzną struktury zbiorów;
- ze względu na brak podobnych prac w hydrologii, pomimo zastrzeżeń autorów metody o braku konieczności przyjmowania wstępnych założeń, istnieje potrzeba starannego doboru danych wejściowych pod względem ilości i jakości prezentowanej cechy;
- metoda może być przydatna przy grupowaniu dorzeczy według charakterystyk hydrologicznych;
- w celu poprawy uzyskanych wyników należy modyfikować dane wejściowe.

LITERATURA

- Celmer T., Churski Z., 1973, *Wody*, (w:) *Województwo bydgoskie*, red. A. Swinarski, PWN Poznań, s. 36–46.
- Gaczek W., Hełpa M., Kasprzyk A., 1980, *Niehierarchiczna analiza skupień — nowa metoda klasyfikacji zjawisk społeczno-gospodarczych*, *Ruch Prawn., Ekon. i Socj.*, s. 143–162.

- Galon R., 1967, *Podstawy fizjograficzne rolnictwa województwa bydgoskiego*, Przegl. Geogr., 36, 1.
- Górski T., Witek T., 1977, *Przyrodnicza bonitacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*, Wyd. Geol. Warszawa.
- Gottschalk L., 1977, *Correlation structur and time scale of simple hydrology system*, Nordic Hydr., 9, s. 129–140.
- 1978, *Spatial correlation of hydrologic and physiographic elements*, Nordic Hydr., 9, s. 267–276.
- Kondracki J., 1978, *Geografia fizyczna Polski*, PWN Warszawa.
- Kowalczak P., 1982, *Określenie charakterystyk przepływowych zasobów wodnych oraz fal wezbraniowych o określonym prawdopodobieństwie występowania w zlewniach niekontrolowanych Górnej Noteci* (m-pis w IMGW Poznań).
- 1983, *Próba grupowania zlewni cząstkowych dorzecza Górnej Noteci wg odpływów charakterystycznych metodą NAS* (m-pis w IMGW Poznań).
- Mather P. M., 1976, *Computational methods of multivariate analysis in physical geography*, London-Sydney-New York-Toronto.
- Onesti L. J., Miller T. K., 1978, *Topological classifications of drainage networks: An evaluation*, Water Res. Research, 14, 1.
- Mikulski Z., 1977, *Przewodnik do ćwiczeń z hydrografii*, PWN Warszawa.

METHOD OF THE HYDROLOGICAL TYPOLOGY
BY THE NON-HIERARCHIC ANALYSIS OF CLUSTERS
(WITH THE UPPER NOTEĆ DRAINAGE BASIN AS EXAMPLE)
(Summary)

The paper contains the analysis of the results of calculations in which the non-hierarchic analysis of clusters (NAS) has been applied as a basic method. That method belongs to those grouping techniques which do not require the primary assumptions on the set structure what allows to divide the studied set into two groups according to similar properties, and to generate the hypothesis. This method is also suitable for a relatively precise analysis within particular clusters. Univocal results are obtained due to precise subscribing of the units to the given class and due to application of statistical tests for the correctness of classifications determined by the confidence level.

The application of the method for grouping of 31 partial drainage basins of the Upper Noteć catchment, according to the properties of the catchment and of the stream network, has been presented in the paper. Several series of calculations were made and such variants of the properties selection were chosen for the analysis that ensured the best division and the possibility of the precise description of the differentiating properties in the distinguished groups.

Translated by Teresa Mrozek

МЕТОД ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ ТИПОЛОГИИ
НЕИЕРАРХИЧЕСКИМ АНАЛИЗОМ СКОПЛЕНИЙ
(НА ПРИМЕРЕ БАСЕЙНА ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ НОТЕЧИ)
(Резюме)

Статья содержит анализ результатов вычислений, в которых применен как основной метод неиерархический анализ скоплений (НАС). Этот метод принадлежит тем техникам группирования, которые не требуют предварительных положений о структуре множества, что способствует делению исследуемого множества на группы по похожим чертам и обобщению гипотез. Однозначность результатов можно получить благодаря точному определению принадлежности единиц определенному классу, а также благодаря применению статистических оценок правильности классификации предопределенных доверительным уровнем. В статье

указано как применять метод в группировании 31 частичных водосборных площадей бассейна верхнего течения реки Нотечи по чертам водосборной площади и речной сети. Проведено несколько серий вычислений и выбрано к анализу такие варианты подбора описывающих черт, благодаря которым можно получить наибольшую чёткость деления и точное описание дифференцирующих черт в выделенных группах.

Перевод Регины Ольшевской

ZDZISŁAW MIKULSKI
ELŻBIETA BAJKIEWICZ-GRABOWSKA

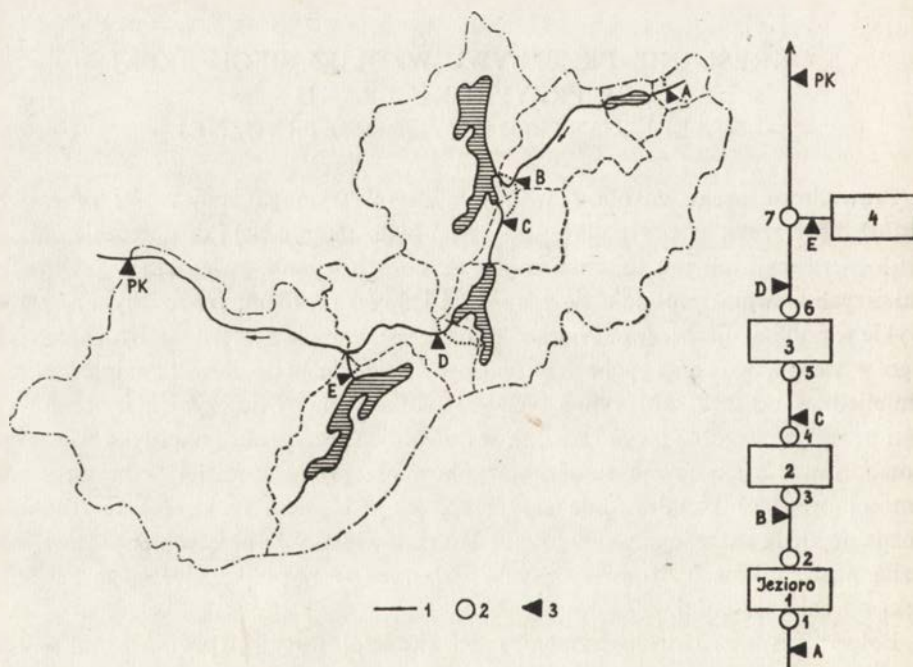
OKREŚLANIE PRZEPLYWU WZDŁUŻ BIEGU RZEKI W PRZYPADKU BRAKU STAŁEJ KONTROLI HYDROMETRYCZNEJ

Prawidłowa ocena zasobów wodnych zlewni wymaga znajomości przepływu wzdłuż biegu rzeki. W przypadku gęstej sieci hydrometrycznej i dostatecznie długich serii obserwacyjnych jest to zadanie proste. Często jednak, zwłaszcza w przypadku mniejszych zlewni, dysponuje się zazwyczaj jednym profilem, tzw. zamykającym — zwykle w pobliżu ujścia rzeki. Nierzadko brak jest w ogóle posterunku hydrometrycznego w zlewni, wówczas zachodzi konieczność sięgnięcia do zlewni analoga. Niezależnie jednak od tego, z którym z tych przypadków mamy do czynienia, ocena wartości przepływu wzdłuż biegu rzeki, tj. w dowolnym jego profilu napotyka trudności, spowodowane brakiem znajomości warunków przepływu, a ściślej — brakiem znajomości prawideł kształtowania się przepływu z biegiem rzeki. Na te trudności można niekiedy natrafić nawet w przypadku rzek większych, objętych zwykle większą liczbą posterunków hydrometrycznych, zwłaszcza w wypadku złożonego zasilania rzeki na całej długości.

Pojęcie profilu hydrologicznego rzeki (kontrolowanej) wprowadzono w niemieckich rocznikach hydrologicznych w końcu lat trzydziestych (Lambor 1971). Rozwinięto je pod względem metodycznym w latach pięćdziesiątych w polskiej służbie hydrologicznej, przy opracowywaniu serii monografii hydrologicznych dorzeczy (Jabłońska, Mikulski i Stephan 1958). Pierwszym przykładem takiego opracowania była *Monografia hydrologiczna dorzecza Wieprza* (1957).

W prowadzonych przez Zakład Hydrologii Uniwersytetu Warszawskiego badaniach małych zlewni niekontrolowanych opracowano metodę określania przepływu wzdłuż biegu rzeki na podstawie synoptycznych pomiarów przepływu, wykonywanych w ustalonych z góry profilach hydrometrycznych. Wybór tych profili i ich liczba oraz częstość pomiarów są uzależnione od charakteru sieci hydrograficznej zlewni, a także od wymaganego stopnia szczegółowości badań. Obowiązuje zasada, aby wszystkie charakterystyczne odcinki biegu rzeki były objęte pomiarami przepływu, co pozwala na ocenę wartości spływu jednostkowego w poszczególnych częściach zlewni, a tym samym na określenie przebiegu przepływu w określonych odcinkach biegu rzeki.

Przed przystąpieniem do opracowania profilu przepływu zachodzi potrzeba wykonania mapy badanej zlewni, zawierającej szczegółowy podział hydrograficzny, tj. wydzielenie zlewni cząstkowych, zwłaszcza zlewni dopływów, zlewni przyrzeczny, ewentualnie zlewni jezior położonych na trasie biegu rzeki. Należy tu zaznaczyć wszystkie tzw. węzły hydrograficzne (ujścia dopływów, początek i koniec jeziora, przez które przepływa rzeka, zmiany spadku rzeki, zmiany w budowie doliny rzecznej itp.) oraz profile hydrometryczne (miejsca wykonywania pomiarów przepływu). Należy wykreślić działy wodne zamykające te profile i określić wielkość wydzielenych w ten sposób zlewni (ryc. 1).



Ryc. 1. Podział hydrograficzny zlewni i szkieł przepływu wody między jeziorami:

1 — ciekł stałe, 2 — węzł hydrograficzne, 3 — profile pomiarów przepływu

Hydrographical division of the basin and scheme of water flow between the lakes:

1 — permanent rivers, 2 — characteristics points of the river network, 3 — cross-sections of flow measurements

Kolejną czynnością jest skilometrowanie rzeki — od ujścia (km 0,0) aż po dział wodny, który przyjmuje się za początek profilu hydrologicznego rzeki ($Q = 0$). Pożądane jest sporządzenie tablicy, na której charakterystycznym punktem kilometrażu rzeki odpowiada określona wartość zlewni, poczynając od działu wodnego po ujście (tab. 1). Należy przy tym pamiętać, iż kilometraż rzeki mniejszej przebiega od ujścia (km 0,0) do źródeł i dalej do działu wodnego.

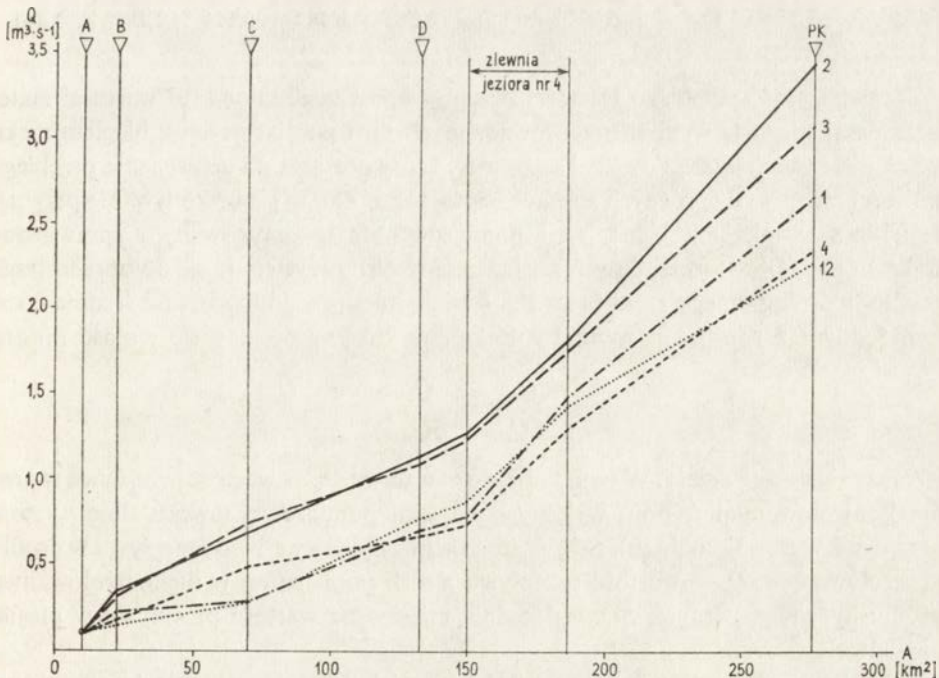
Synoptyczne pomiary przepływu (tab. 2) są podstawą do sporządzenia wykresu, na którym na osi rzędnych występuje powierzchnia zlewni (A , km^2), na osi odciętych zaś wartość przepływu (Q , $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Powierzchnia zlewni zaczyna się na działle wod-

Tabela 1

Podział hydrograficzny zlewni (przykład tabeli)

Profil hydrometryczny		Węzeł hydrograficzny		Powierzchnia zlewni — A (km ²)	Kilometraż rzeki — L (km)
nr	nazwa	nr	profil		
A	miejsowość T	1	ujście do jeziora 1		
		2	wypływ z jeziora 1		
B	miejsowość P	3	ujście do jeziora 2		
		4	wypływ z jeziora 2		

nym ($A = 0$) i kończy w ujściu rzeki lub innym punkcie przyjętym za końcowy, np. w określonym węźle hydrograficznym (ujście rzeki do jeziora przepływowego, wypływ rzeki z jeziora itp.). Oś rzędnych powinna obejmować całą przypuszczalną amplitudę przepływu; w przypadku dużej strefy wahań przepływu można zastosować inną skalę dla wód małych i średnich, a inną dla wód wielkich. Na osi odciętych zaznacza się wyłącznie wartości zlewni wyznaczone przez przyjęte profile hydrometryczne. W ten sposób stwarza się układ współrzędnych służący jako podkład do nanoszenia przebiegu wartości przepływu w poszczególnych seriach pomiarowych. Wyniki pomiarów przepływu kolejnych serii pomiarowych, oznaczonych liczbami porządkowymi i datami, są nanoszone na omówiony wyżej układ współrzędnych —



Ryc. 2. Wykres synoptyczny wartości przepływu; 1, 2, 3, ..., 12 — numer serii pomiarowej

Run of the simultaneous flow measurements; 1, 2, 3, ..., 12 — number of the measurement serie

otrzymuje się w ten sposób pęk krzywych łamanych, spełniających zależność ($A \neq 0$; $Q = 0$) — rycina 2. Dopuszcza się odrębne wyrównanie przebiegu przepływu w wypadku jego wyraźnych nieprawidłowości w którejś serii pomiarowej, jak również uzupełnienie brakującego pomiaru, w którymś profilu hydrometrycznym.

Przygotowany w powyższy sposób wykres z materiałem pomiarowym jest podstawą do opracowania profilu hydrologicznego rzeki. Mając taki profil można określić m. in. wartość przepływu w każdym z węzłów hydrograficznych rzeki (np. dopływ i wypływ z jeziora), wartość średnich miesięcznych przepływów w dowolnym profilu rzeczonym (istotne do celów bilansowych) oraz wartości przepływów charakterystycznych w węzłach hydrograficznych.

Tabela 2

Zestawienie wyników synoptycznych serii pomiarów przepływu ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) oraz średni miesięczny przepływ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) w profilu wodowskazowym w roku wykonywania tych serii (przykład tabeli)

Data pomiaru	Nr serii pomiarowej	Miejscowości						Profil końcowy
		A	B	C	D	E	P.K.	\bar{SQ} P.K.
5 XI 1971	1	0,086	0,220	0,227	0,703	0,697	2,668	2,980
29 XII 1971	2	0,094	0,372	0,691	1,135	0,549	3,470	4,150
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
28 X 1972	12	0,088	0,170	0,270	0,787	0,578	2,288	3,840

Prawidłowość przebiegu wartości przepływu jest uzależniona od wartości materiału uzyskanego w wyniku przeprowadzonych serii pomiarowych z biegiem rzeki. Ważna jest tu ich liczba i rozkład sezonowy, który pozwala na uchwycenie przebiegu wartości przepływu w różnych strefach jego wahań. Zaleca się wykonywanie przynajmniej raz w miesiącu jednej serii pomiarów. Mając opracowany i sprawdzony wykres $Q = f(A)$ poszczególnych serii pomiarowych przystępuje się do opracowania profilu hydrologicznego rzeki (wartości średnie miesięczne lub wartość średnia roczna). Jednym z rozwiązań może być takie, w którym zakłada się stałość ilorazu

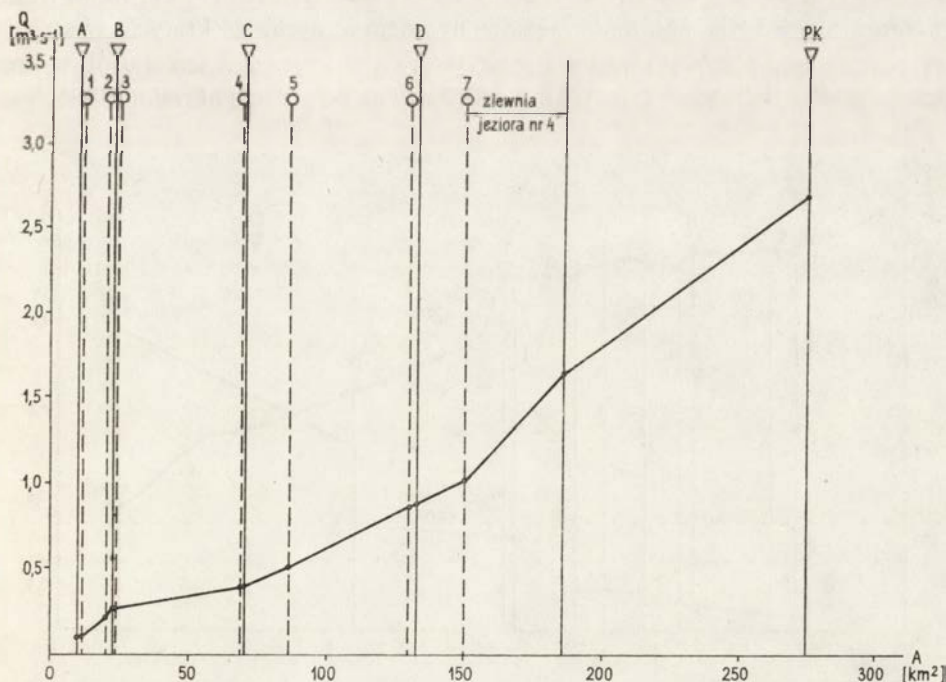
$$\frac{Q_k}{SQ_k} = \frac{Q}{SQ_n},$$

wzdłuż całego biegu rzeki. W tym ilorazie oznaczono: Q_k — wartość przepływu w profilu kontrolowanym w dniu wykonywania serii pomiarowej (ewentualnie wartość przepływu w zlewni-analogu), SQ_k — średnia miesięczna wartość przepływu w profilu kontrolowanym, Q — wartość przepływu z serii pomiarowej w niekontrolowanym profilu hydrometrycznym, SQ_n — średnia miesięczna wartość przepływu w profilu niekontrolowanym.

Uzyskane w powyższy sposób wartości średnich miesięcznych przepływów w profilach hydrometrycznych nanosi się na wykres wykonany w układzie współrzędnych, którego oś rzędnych zawiera wartości przepływu, a oś odciętych wielkość powierzchni

zlewni. Na tej osi zaznacza się wartości zlewni wyznaczone przez przyjęte profile hydrometryczne oraz dodatkowo odcinki wyznaczone przez zlewnie cząstkowe (ryc. 3). Dzięki temu uzyskuje się wartości średnich miesięcznych przepływów w poszczególnych węzłach hydrograficznych, tj. wartości wynikające z kolejnych zlewni cząstkowych. Te wartości przepływu, odniesione do wymienionych zlewni cząstkowych, pożądanym jest zestawić w tabeli, uwzględniającej także odpowiadające wartości spływów jednostkowych (tab. 3). Ułatwi to konstrukcję końcowego etapu profilu hydrologicznego rzeki. Istotne jest odczytanie odpowiednich wartości przepływu w węzłach hydrograficznych; wartości te służą do konstrukcji ostatecznej formy profilu hydrologicznego rzeki.

Odmienne rozwiązanie określania średnich miesięcznych przepływów w węzłach hydrograficznych zlewni niekontrolowanej przedstawiła E. Bajkiewicz-Grabowska (1980). Autorka ustaliła związki graficzne pomiędzy pomierzonymi wartościami natężenia przepływu w profilach wpływu do jezior i wypływu z nich a stanami wody w jeziorze, odpowiadającymi datom wykonywanych pomiarów. Z otrzymanych związków odczytywano wartość przepływu odpowiadającą średniemu miesięcznemu stanowi wody w jeziorze, którą następnie przyjmowano za średni miesięczny przepływ rzeki w danym profilu.



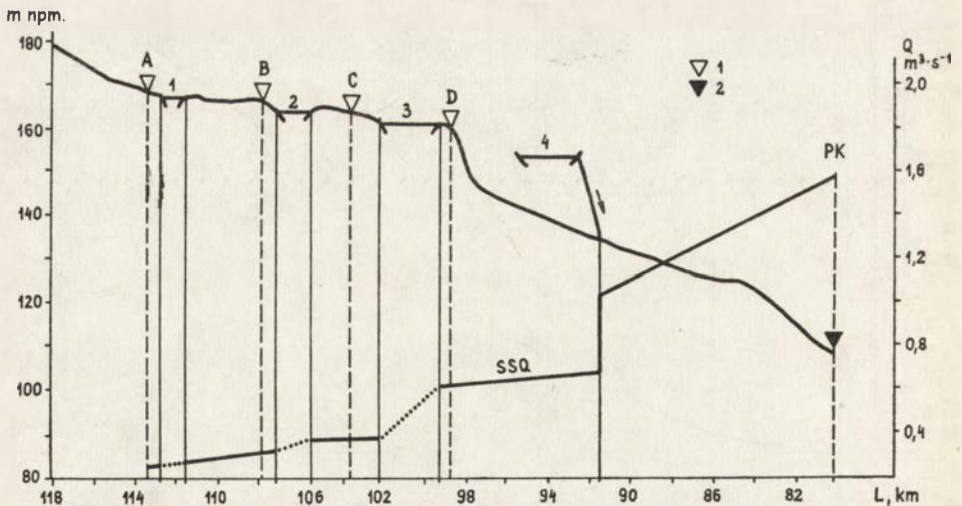
Ryc. 3. Wykres średniego rocznego przepływu rzeczny; A, B, ... — punkty pomiarów przepływu; 1, 2, 3, ... — węzły hydrograficzne

Run of the mean annual flow; A, B, ... — cross-sections of flow measurements; 1, 2, 3, ... — characteristic point of the river network

Średnie przepływy w węzłach hydrograficznych (przykład tabeli)

Węzeł hydrograficzny nr	Powierzchnia zlewni — A (km ²)	Średnie miesięczne wartości przepływu SQ (m ³ ·s ⁻¹) XI XII I II III IV ... X	Średni roczny przepływ SQ	Średni roczny spływ jednostkowy \bar{sq}
1				
2				
3				
.				
.				
7				
P.K.				

Efektom końcowym jest wykreślenie przebiegu wartości przepływów średnich miesięcznych wzdłuż biegu rzeki — od działu wodnego po ujście (lub inny węzeł hydrograficzny przyjęty jako końcowy). Oś rzędnych zawiera — jak poprzednio — wartości Q w m³·s⁻¹ (lub q , l·s⁻¹ km⁻²), na osi odciętych zaś (L , km biegu rzeki) zaznacza się jedynie położenie węzłów hydrograficznych, w których występują wyraźne zmiany przebiegu wartości przepływu. Otrzymuje się w ten sposób wykres przedstawiający zależność $Q = f(L)$, pozwalający na odczytanie określonej wielkości



Ryc. 4. Profil hydrologiczny rzeki:

1 — punkty pomiarów przepływu, 2 — posterunek wodowskazowy

Run of discharge distribution along the river:

1 — cross-sections of flow measurements, 2 — river gauge

średniego miesięcznego przepływu (w danym roku) w dowolnym profilu rzeczonym. Taki wykres obrazuje pęk krzywych łamanych (schodkowych) wychodzących z jednego punktu — początku układu współrzędnych. W tym układzie początek osi odciętych znajduje się w kilometrze określającym położenie działu wodnego, licząc od ujścia ($L = 0$) w górę rzeki aż po przedłużenie doliny rzecznej do działu wodnego (ryc. 4). Dopiero tak sporządzony wykres średnich miesięcznych przepływów wzdłuż biegu rzeki może być podstawą do określania przepływów charakterystycznych w poszczególnych węzłach hydrograficznych, tj. do określenia przepływu średniego rocznego, średniego z wielolecia czy przepływów ekstremalnych.

Na profilu hydrologicznym rzeki należy zaznaczyć — w sposób umowny — ujście każdego dopływu (prawy lub lewy), położenie jezior przepływowych leżących na trasie rzeki i ewentualnie inne węzły hydrograficzne lub antropogeniczne, mogące wpływać na zmianę warunków i wielkości przepływu. W przypadku jezior przepływowych należy zaznaczyć początek i koniec jeziora, tj. dopływ rzeki do jeziora i jej wypływ z jeziora. Na wykresie należy przebieg przepływu przez jezioro nanieść linią przerywaną, aby zaznaczyć brak ciągłości przepływu. W przypadku kiedy oś podłużna jeziora nie jest zgodna z kierunkiem biegu rzeki, wskazane jest przerwanie wykresu przepływu w obrębie jeziora. Przykład takiego wykresu przebiegu przepływów charakterystycznych niewielkiej rzeki pojeziernej przedstawili J. Kondracki i Z. Mikulski (1958).

Profil hydrologiczny rzeki powinien stanowić podstawę każdego opracowania monograficznego dorzecza zarówno kontrolowanego, jak i nie objętego kontrolą hydrometryczną. Na nim powinny opierać się wszelkie opracowania projektowe z zakresu gospodarki wodnej. Profile takie mogą być konstruowane w szerszym zakresie przepływu rzeczego (np. można na nich zaznaczyć przebieg obu składowych przepływu — powierzchniowej i podziemnej — w różnych strefach przepływu). Oczywiście sposób rozdziału przepływu na składowe w przypadku zlewni niekontrolowanej jest odrębnym zagadnieniem. Konstrukcja profilu hydrologicznego pozwala na przedstawienie także innych charakterystyk hydrologicznych z biegiem rzeki, np. transportu rumowiska rzeczego, obciążeń rzeki ładunkami chemicznymi, wielkości energii wodnej na potrzeby jej wykorzystania itp.

LITERATURA

- Bajkiewicz-Grabowska E., 1980, *Zmiany wielkości przepływu z biegiem rzeki (na przykładzie rzeki pojeziernej — Jorki)*, Przegł. Geofiz., 3—4.
- Jabłońska T., Mikulski Z., Stephan W., 1958, *Monographies hydrologiques publiées par le service hydrologique de Pologne*, Comptes Rendus et Rapport — Assamblée Générale de Toronto 1957, t. 3, Gentbrugge.
- Kondracki J., Mikulski Z., 1958, *Hydrografia dorzecza Krutyni*, Prace Geogr. IG PAN, 13a, Warszawa.
- Lambor J., 1971, *Hydrologia inżynierska*, Arkady, Warszawa.
- Monografia hydrologiczna dorzecza Wieprza*, 1957, Prace PIHM, 43, Warszawa.

DETERMINATION OF DISCHARGE ALONG RIVER COURSE
IN CASE OF INSUFFICIENT HYDROMETRIC DATA
(Summary)

A reliable estimation of a basin water resources requires the knowledge of discharges along a river course. In case of a dense hydrometric network and sufficiently long observation sequences, the item is not complex. Very often, however, particularly with reference to small basins, there exists usually only one gauged profile — close to a river outlet. Not seldom it happens that a basin is an ungauged one.

In the paper there has been presented a graphical method of determining discharges along a river course, basing on synoptic discharge measurement series. They have been performed within various hydrometeorological seasons, in choice hydrometrical cross-sections along an entire river course. Drawn, on this basis, longitudinal flow profiles constitute a foundation for drawing distribution of characteristic discharges. Characteristic flows have been calculated basing on data from a water-gauge profile at a river outlet or in case of lack of it, on a basis of data from a neighboring, gauged basin-analogue.

There has been an example, worked out for one of small, lowland, ungauged rivers.

Translated by the authors

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ ВДОЛЬ РЕКИ В СЛУЧАЕ
ОТСУТСТВИЯ ПОСТОЯННОГО ГИДРОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
(Резюме)

Правильная оценка водных запасов бассейна требует знания расхода воды вдоль реки. В случае полной сети гидрометрических постов и достаточно продолжительных серии наблюдений — это задача сравнительно проста. Неоднократно, особенно в случае небольших бассейнов имеется лишь один створ — в районе устья реки. Нередко встречаемся с бассейнами неконтролируемыми вообще.

В работе представлен графический метод определения расходов воды вдоль реки, обоснованный на синоптических сериях измерений проведенных в разных гидрологических сезонах и различных гидрометеорологических условиях — в определенных гидрометрических створах вдоль реки. Вычерченные на основе этих измерений продольные профили расходов воды, которые определяют в контролируемом устьевом створе или — в случае отсутствия устьевого поста — на основе соседней контролируемой реки — аналога.

Прилагается пример обработки расходов одной из небольших равнинных неконтролируемых рек Польши.

Перевод авторов

JOANNA DYNUS-ANGIEL

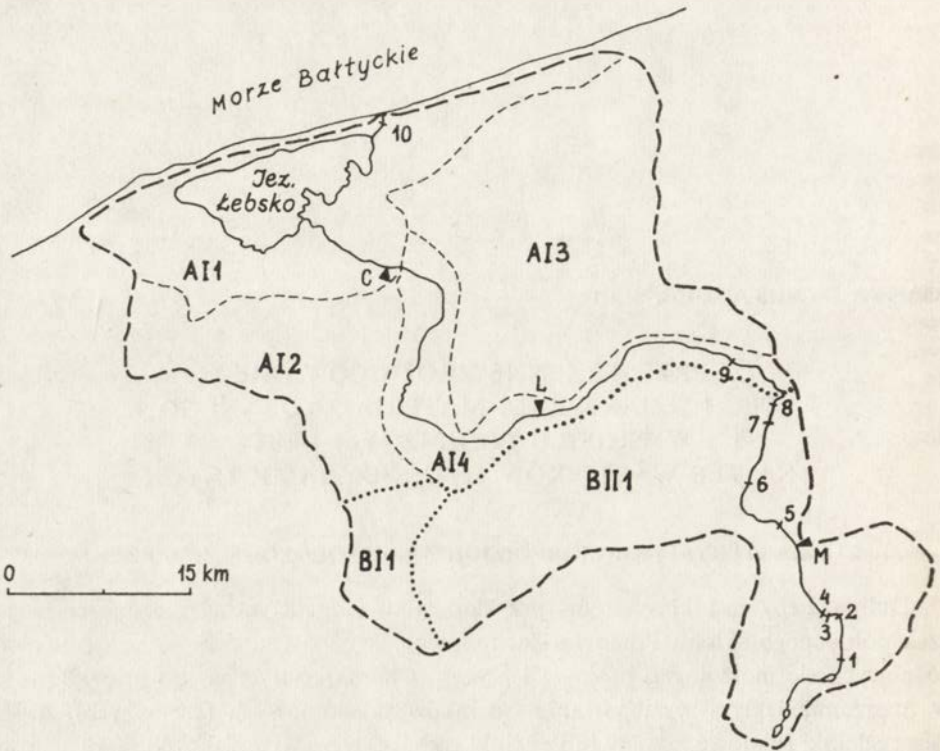
PRZESTRZENNE ZRÓŻNICOWANIE
CECH UZIARNIENIA MATERIAŁU DENNEGO
W PROFILU PODŁUŻNYM ŁEBY
NA TLE WARUNKÓW HYDRODYNAMICZNYCH

CHARAKTERYSTYKA MORFOLOGICZNO-HYDROLOGICZNA RZEKI

Dolina Łeby jest klasycznym przykładem morfogenetycznej złożoności biegu rzek północnego skłonu Pomorza Zachodniego. Można wydzielić kilka odcinków, różniących się morfologią, litologią i genezą. Charakterystyczna jest prawidłowość w naprzemianległym występowaniu odcinków przełomowych (erozyjnych), które łączą odcinki rynnowe, baseny lub odcinki o charakterze wytopiskowym (Augustowski 1977, 1979; Rachocki 1974; Rosa 1964).

W dolnym biegu dolina jest typowo rynnowa. W system odpływu zostały włączone rynny radialne i marginalne (Borzestowska, Miechucińsko-Reskowska, Sianowska i Miłoszewska). Geneza tego odcinka doliny sięga późnego plejstocenu, a holocenięskie przemodelowanie na skutek działalności fluwialnej jest tu niewielkie. Wymienione rynny górnej Łeby oddzielone są od siebie odcinkami rzeki o charakterze przełomowym. Wykształciły się one na progach rynnowych (Kożyczkowo-Dolny Młyn, Miłoszewo-Zielony Dworek). Odcinek rzeki poniżej Rynny Miłoszewskiej jest przykładem współczesnej doliny erozyjnej (Basalykas 1968; Sylwestrzak 1978). Przełom Łeby w strefie moren czołowych nasunięcia koszalińskiego (Osiek-Porzecze) tworzy fragment typowej doliny rzecznej. Poniżej dolina Łeby łączy się z pradoliną Redy-Łeby, tworząc rozległy stożek napływowy (Bożepole), dalej płynie w dnie pradoliny; odcinek doliny od wypływu rzeki z jeziora Łebsko do ujścia do morza jest erodowany współcześnie (ryc. 1).

Łeba przecina cztery obszary o odmiennym pokryciu. W odcinku górnym są to piaski akumulacji bądź lodowcowej, bądź wodnolodowcowej z udziałem żwiru, dalej przeważają piaski w strefie moreny czołowej wyciśnięcia. Zachodnie ramie pradoliny pokrywają utwory piaszczyste i torfowe. Wypełnienie aluwiami i torfem dolnych odcinków dolin rzek północnego skłonu Pomorza Zachodniego jest związane z postglacialną transgresją Bałtyku (Rosa 1964). Na Łebie odcinek ten sięga w górę doliny do przekroju w Łęczycach. W odcinku między jeziorem Łebsko a ujściem rzeka przecina strefę piasków wydmych.



Ryc. 1. Położenie profili pomiarowych na rzece Łebie na tle jednostek fizycznogeograficznych

Profile wodowskazowe: M – Miłoszewo, L – Lębork, C – Cecenowo; główne profile pomiarowe: 1 – Kożyczkowo, 2 – Sianowo, 3 – Kamionka, 4 – Strysza Buda, 5 – Zielony Dworek, 6 – Osiek, 7 – Porzecze, 8 – Paraszyno, 9 – Bożepole, 10 – Łeba; jednostki fizycznogeograficzne (według J. Kondrackiego, 1978): A – Pobrzeża Południowobałtyckie: AI – Pobrzeże Koszalińskie, AI1 – Wybrzeże Słowińskie, AI2 – Pradolina Redy-Łeby; B – Pojezierza Południowobałtyckie: BI – Pojezierze Zachodniopomorskie, BI1 – Wysoczyzna Polanowska, BI2 – Pojezierze Wschodniopomorskie, BI3 – Pojezierze Kaszubskie

Location of the gauging profiles along the Łeba river in the phone of the physico-geographical units

Water-stage gauging profiles: M – Miłoszewo, L – Lębork, C – Cecenowo; main gauging profiles: 1 – Kożyczkowo, 2 – Sianowo, 3 – Kamionka, 4 – Strysza Buda, 5 – Zielony Dworek, 6 – Osiek, 7 – Porzecze, 8 – Paraszyno, 9 – Bożepole, 10 – Łeba; physico-geographical units: (according to J. Kondracki, 1978): A – Southern Baltic Lowlands: AI – Koszalin Lowland, AI1 – Słowińskie Coastland, AI2 – Reda-Łeba Pradolina; B – Southern Baltic Lake Zones: BI – West Pomeranian Lake Zone, BI1 – Polanów Morainic Plateau, BI2 – East Pomeranian Lake Zone, BI3 – Kaszuby Lake Plateau

Kształt profili podłużnych rzek północnego skłonu Pomorza Zachodniego, których reprezentantem jest Łeba, cechuje się znacznym niewyrównaniem. Jest to wynikiem głównie warunków morfologicznych. W profilach podłużnych rzek pomorskich trudno jest wydzielić odcinki górnego i środkowego biegu w klasycznym pojęciu morfologicznym. Cechą wyróżniającą źródłowe odcinki rzek jest w większości wypadków ich jeziorny, rynnowy charakter o zróżnicowanych spadkach koryta. Fragmenty środkowego biegu Łeby mają największe zróżnicowanie morfologiczne, co znajduje odbicie w wartościach spadków podłużnych doliny (0,8–14,0‰). W tym odcinku Łeba przedstawia typ potoku podgórskiego o średnim

spadku $2,3^0/00$. Zlewnia reprezentuje tu typowy obszar młodoglacjalny o organizującej się dopiero sieci hydrograficznej (Drwal 1982). W środkowym biegu Łeba transportuje znaczne ilości rumowiska. W dolnych biegach głównych rzek przy-morskich, po ich wpłynięciu w strefę pobraży, stosunkowo łatwo można wydzielić odcinki akumulacyjne; są to jedynie fragmenty biegu rzek o wyrównanych spadkach dolin w granicach $0,10-2,0^0/00$. Mimo że Łeba przyjmuje w pradolinie dopływy o charakterze potoków podgórskich, to — dzięki szerokiej dolinie i dobrej zdolności retencyjnej wyścielających ją materiałów — ma cechy rzeki nizinnej o powolnych wezbraniach i małych wahaniach stanów wody. Cała pradolina wykazuje tendencję do retencjonowania wody, która odpływa powoli ze względu na mały spadek doliny. W celu przyspieszenia tego procesu obszar pradoliny poniżej Lęborka pocięto siecią rowów i kanałów odwadniających, spośród których najważniejszą rolę odgrywa Kanał Łebski. Łeba w dolnym biegu ma mały spadek, jednak dzięki dopływom prowadzi znaczną ilość rumowiska.

Ujściowy odcinek Łeby (a także sąsiedniej Łupawy) ma złożony charakter, ponieważ łączy jezioro z morzem. Jest to powodem depozycji rzeczno-jeziornego w jeziorze, który w warunkach ujść nie zakłóconych podobnymi elementami hydrograficznymi tworzy stożek napływowo w strefie brzegowej morza. W złożonych odcinkach ujściowych Łeby i Łupawy obserwuje się często zjawisko zapiaszczania ich na skutek specyficznych warunków hydrodynamicznych (Jednorął 1970; Balicki 1978).

Profile pomiarowe rozmieszczono wzdłuż biegu rzeki tak, aby uwzględniały możliwie pełną skalę warunków hydrologicznych, geomorfologicznych i litologicznych charakterystycznych dla obszarów, przez które przepływa Łeba. Ponadto zlokalizowano je w miejscach zmiany typu koryta, zmiany dominujących procesów korytowych i charakteru dna oraz zmian spadku podłużnego dna koryta. Ogółem wydzielono 23 profile. Prowadzono w nich pomiary hydrometryczne, pomiary spadków dna i pobierano próby materiału dennego. W celu poznania zależności cech materiału dennego od spadku dna i zwierciadła wody wykonano profile podłużne koryta w odcinkach przelomowych, transportowych i akumulacyjnych. Analizę hydrologiczną przeprowadzono na podstawie trzech profilów IMGW w Miłoszewie, Lęborku i Cecenowie.

Próby materiału dennego pobierano bruzdowo z warstw o grubości 10–20 cm specjalnym czerpakiem lub dragą, w zależności od rodzaju materiału i głębokości rzeki. W górnym biegu Łeby próbki brano z jednego miejsca w nurcie rzeki, w środkowym i dolnym biegu — z co najmniej 3 punktów przekroju (również w nurcie). Próby poddano analizie granulometrycznej metodą sitową (tab. 1).

Średnie roczne przepływy w profilach Miłoszewo, Lębork i Cecenowo wynoszą kolejno 1,55, 4,82 i 11,0 $m^3 \cdot s^{-1}$.

Dość wyrównane stany wody i przepływy Łeby i innych rzek przy-morskich należy wiązać z wyrównanym rocznym rozkładem opadów, znaczną miąższością łatwo rozpuszczalnych utworów czwartorzędowych oraz znaczną jeziornością dorzecza, a co się z tym wiąże — z zasilaniem rzeki głównie wodami podziemnymi. Według J. Drwała (1982) odpływ podziemny ze zlewni Łeby do profilu w Miłoszewie stanowi

Ekstremalne wartości stanów wody i przepływów (1947–1979)
w 3 profilach wodowskazowych na Łebie

Profil hydrometryczny i zlewnia	H_{\min} (cm)	H_{\max} (cm)	H (cm)	Q_{\min} ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Q_{\max} ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	$\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}$
Miłoszewo km 95,0 $A = 180 \text{ km}^2$	14	180	166	0,38	11,6	30,4
Lębork km 55,2 $A = 436 \text{ km}^2$	116	279	158	1,44	15,8	10,9
Cecenowo km 25,5 $A = 1075 \text{ km}^2$	86	320	234	4,46	34,7	7,4

72,2% odpływu całkowitego. Wezbrania w dorzeczu Łeby występują głównie w styczniu i lutym (Lębork i Cecenowo) oraz w marcu (Miłoszewo), niżówki zaś obserwuje się w czerwcu i lipcu. Maksymalne nieregularności przepływu Łeby (WWQ: :NNQ) są małe w porównaniu z innymi rzekami. Odpływ jednostkowy z dorzecza Łeby wynosi $11,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-1}$, co stawia dorzecze Łeby w rzędzie najbardziej zasobnych w wodę w Polsce. Nie stwierdzono różnic w odpływie jednostkowym zlewni różnicowych Łeby, położonych na obszarze Pojezierza Kaszubskiego i Po-brzeża Słowińskiego.

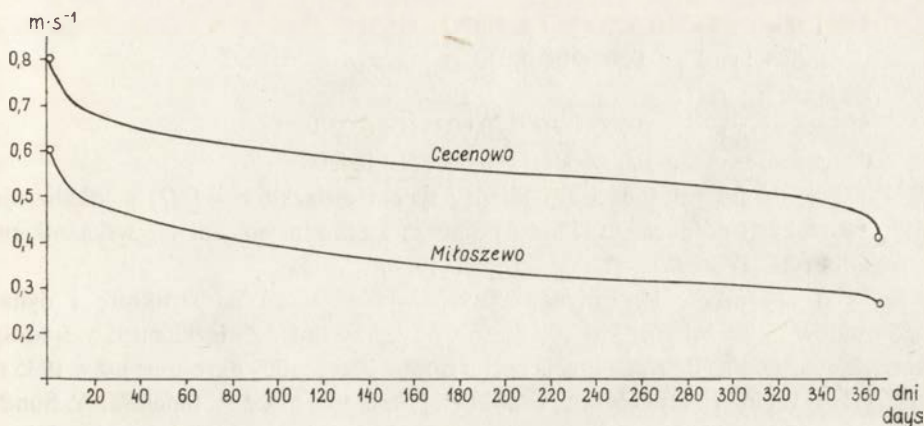
PRĘDKOŚĆ PRZEPIYU

Zróźnicowanie prędkości przepływu oraz czasów ich trwania w korytach rzecznych jest zależne głównie od warunków:

- hydrologicznych (zmiennosc stanów wody i przepływów),
- morfologicznych (różnice w spadkach dna koryta, różne formy rzeźby dna),
- hydrodynamicznych (różnice głębokości, szerokości przekroju, promień hydrauliczny, kształt przekroju poprzecznego, szorstkość dna i brzegów),
- litologicznych (różnice uziarnienia materiału dennego),
- czynników antropogenicznych (zabudowa hydrotechniczna, regulacja koryt),
- zjawisk zarastania i zlodzenia.

Rytm rocznych wahań prędkości przepływu Łeby przebiega analogicznie do rytmu rocznego przepływu. Analizę przeprowadzono głównie w dwóch profilach hydrometrycznych: Miłoszewo i Cecenowo, na podstawie materiału obserwacyjnego z lat 1961–1975 — profil Lębork pominięto ze względu na zmiany antropogeniczne w korycie, typ i charakter koryta rzeki przepływającej przez miasto. Największe prędkości obserwuje się w miesiącach zimowych (grudzień, styczeń, rzadziej luty) oraz wiosennych (marzec, kwiecień), najmniejsze zaś — w miesiącach letnich (lipiec, sierpień, rzadziej wrzesień). W przypadku profili położonych poniżej wypływu rzeki z je-

ziora, małe prędkości występują również w październiku. Jeziora mają w tym okresie najniższy roczny stan wody, dlatego odpływ rzeczny jest niski. Publikowane przez IMGW codzienne wartości natężenia przepływu (Q) lub stanu wody (H) w profilach kontrolowanych umożliwiły obliczenie czasów trwania Q lub H , a na podstawie związku funkcyjnego v_{sr} z Q lub H — czasów trwania prędkości średnich w okresie 15-lecia 1961–1975 (ryc. 2).



Ryc. 2. Czasy trwania prędkości przepływu Łeby w profilach Cecenowo i Miłoszewo w okresie 1961–1975

Discharge duration of the Łeba river in the profiles: Cecenowo and Miłoszewo in 1961–1975

Zmienność prędkości przepływu rozumiana jako współczynnik zmienności

$$C_v = \frac{v_{\text{max}} - v_{\text{min}}}{2v_{182,5}}$$

wynosiła 0,49 w profilu Miłoszewo i 0,33 w profilu Cecenowo. Na podstawie pomiarów na Łebie oraz na innych rzekach północnego skłonu Pomorza Zachodniego (Dynus-Angiel 1980) nie zauważono zależności C_v od lokalizacji profilu rzeczno-geomorfologicznego w profilu podłużnym rzeki oraz od położenia w odmiennych regionach fizyczno-geograficznych. Najwyższe średnie prędkości notowane w profilach Miłoszewo i Cecenowo wynoszą 0,90 i 0,80 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Prędkości przepływu notowane w profilu hydrometrycznym w Miłoszewie (odcinek akumulacyjny rzeki) są około dwukrotnie niższe od prędkości obserwowanych w odcinkach przełomowych (erozyjnych) Łeby. Nie są one jednak charakterystyczne dla całego środkowego biegu rzeki, który — jak wspomniano wyżej — odznacza się największym zróżnicowaniem morfologicznym, a co się z tym wiąże — hydrodynamicznym. Największa prędkość zmierzona w profilu Miłoszewo podczas przejścia fali wezbraniowej wywołanej roztopami (3–10 IV 1979 r.) wynosiła 1,266 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Prędkość zwyczajna 0,346 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ występująca w tym profilu jest porównywalna z prędkościami rzek nizinnych w ich dolnym biegu. Średnie w przekroju prędkości przepływu o wartości powyżej 1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ są w rzekach pomorskich dużymi wartościami; występują w odcinkach przełomowych

Łeby: Kożyczkowo-Dolny Młyn, Miłoszewo-Zielony Dworek, Porzeczce-Paraszyno oraz w miejscach lokalnych załamania spadków (progach, bystrzach) w górnym i środkowym biegu rzeki.

Związki między prędkością wody (v) i przepływem (Q) oraz między prędkością (v) i stanem wody (H) w profilach Miłoszewo i Cecenowo określono za pomocą równań kwadratowych przy zadowalających współczynnikach zbieżności (φ^2).

1. Związek v_{sr} i Q :

$$\text{Miłoszewo: } v = -0,0080Q^2 + 0,0987Q + 0,2381$$

$$\text{Cecenowo: } v = -0,0005Q^2 + 0,0305Q + 0,2998$$

2. Związek v_{sr} i H :

$$\text{Miłoszewo: } v = -0,000009H^2 + 0,0038H + 0,2504$$

$$\text{Cecenowo: } v = 0,000004H^2 - 0,0006H + 0,4208$$

Nie stwierdzono zależności ani między typem związku $v = f(Q)$ a lokalizacją profilu w rzekach północnego skłonu Pomorza Zachodniego, ani też wskaźnikiem kształtu koryta $W = B/t_{sr}$ (Dynus-Angiel 1980).

Spśród czynników hydrodynamicznych wpływających na strukturę i dynamikę osadów najważniejsza jest prędkość wody przy dnie. Związki między średnią prędkością potrzebną do rozpoczęcia ruchu rumowiska zostały określone już w 1935 r. w klasycznej regule F. Hjulströma, rozwiniętej następnie przez A. Shieldsa, A. Sundborga, R. A. Bagnolda i A. J. Reesa, na podstawie doświadczeń laboratoryjnych i terenowych. Wpływ granicznych prędkości przepływu na skład ziarnienia osadów wybranych rzek Pojezierza Kaszubskiego omówiono wcześniej (Cyberski i Dynus 1977; Dynus-Angiel 1981). Prędkość graniczna górna, której przekroczenie powoduje ruch ziaren i zapoczątkowanie erozji, wynosi w profilu Miłoszewo $0,402 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, prędkość zwyczajna $0,346 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. W profilu Cecenowo prędkość graniczna sięga $0,561 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ przy prędkości zwyczajnej $0,568 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (ryc. 2). W wyniku oddziaływania prędkości granicznych górnych w profilu w Miłoszewie może ulec przemieszczeniu 13% materiału dennego. Jest to rumowisko o średnicy ziaren poniżej $0,22 \text{ mm}$ ($d_{50} = 0,39$). W profilu Cecenowo uruchomieniu może ulec 55% rumowiska znajdującego się w profilu — średnica ziaren wynosi tu poniżej $0,48 \text{ mm}$ ($d_{50} = 0,46 \text{ mm}$).

PRZESTRZENNE ZRÓŻNICOWANIE MATERIAŁU DENNEGO W KORYCIE RZEKI

Zróźnicowanie materiału dennego w korycie Łeby można rozpatrywać w różnych ujęciach, np.: 1) zróźnicowanie rumowiska dennego strefy nurtowej wzdłuż profilu podłużnego Łeby, 2) zróźnicowanie rumowiska w przekrojach poprzecznych, 3) zróźnicowanie w obrębie form korytowych (dennych), różnie zlokalizowanych w przekrojach poprzecznych, 4) porównanie cech składu granulometrycznego rumowiska dennego i wleczonego w akumulacyjnych i transportowych formach dennych (w takich ujęciach rozpatrywano zróźnicowanie materiału dennego rzek przy-morskich we wcześniejszej pracy — Dynus-Angiel 1980). Obecnie przeprowadzono analizę wzdłuż profilu podłużnego Łeby, a także podano przykład zróźnicowania rumowiska dennego w przekroju poprzecznym koryta Łeby (w odcinku zakolowym).

Zróźnicowanie to przedstawiono na podstawie: 1) kształtu krzywych uziarnienia, 2) modalności histogramów uziarnienia, 3) za pomocą wybranych wskaźników statystycznych:

— mediany średnic ziaren, odzwierciedlającej reżim hydrodynamiczny środowiska

$$M_d = d_{50} \text{ (mm)},$$

— odchylenia standardowego według Folka i Warda, wskazującego na wysortowanie materiału

$$BF_2 = \frac{\varphi_{16} - \varphi_{84}}{4} + \frac{\varphi_5 - \varphi_{95}}{6,6},$$

(φ — średnica w jednostkach φ),

— skośności według Folka i Warda

$$SKG = \frac{1}{2} \left(\frac{\varphi_{84} + \varphi_{16} - 2\varphi_{50}}{\varphi_{16} - \varphi_{84}} \right) + \frac{\varphi_{95} + \varphi_5 - 2\varphi_{50}}{\varphi_5 - \varphi_{95}},$$

— prostej miary skośności według Friedmana

$$SKS = (\varphi_{95} + \varphi_5) - 2\varphi_{50}.$$

Skośność jest parametrem informującym o warunkach hydrodynamicznych środowiska sedymentacyjnego: wartość dodatnia sugeruje przewagę prędkości mniejszych od średnich (co prowadzi do depozycji), wartość ujemna jest efektem działania prędkości większych od średnich (przewaga frakcji gruboziarnistych w próbcie, wymywanie); w przypadku krzywej normalnej $SKG = 0$.

Głównym kryterium wyróżnienia typów uziarnienia rumowiska dennego rzeki północnego skłonu Pomorza Zachodniego był kształt krzywej uziarnienia, drugorzędym — skośność (asymetria) i modalność. Na ich podstawie wydzielono następujące typy uziarnienia rumowiska dennego:

1 — wykres uziarnienia w postaci odwróconego S równoznaczny z jednomodalnym rozkładem uziarnienia:

1A — typ uziarnienia lewoskośny (negatywnie skośny),

1B — typ uziarnienia quasi-symetryczny,

1C — typ uziarnienia prawoskośny (pozytywnie skośny);

2 — wykres uziarnienia w postaci krzywej wklęsłej, równoznaczny z prawoskośnością rozkładu:

2A — typ uziarnienia jednomodalny,

2B — typ uziarnienia wielomodalny;

3 — wykres uziarnienia w postaci krzywej wypukłej, równoznaczny z lewoskośnością rozkładu:

3A — typ uziarnienia jednomodalny,

3B — typ uziarnienia wielomodalny (Dynus-Angiel 1983).

Łeba wykazuje duże zróźnicowanie typów uziarnienia rumowiska dennego wzdłuż biegu rzeki w strefie pojezierza (do profilu Bożepole). Przeważa tu typ 2B (zdecydowanie dominujący także w pojeziernych odcinkach innych koryt rzecznych,

Tabela 2

Charakterystyka uziarnienia rumowiska dennego w profilu podłużnym Łeby

Lp.	Profil	Md	BF_2	Według Folka-Warda	Typ uziarnienia	Warunki litologiczne	%	SKG	KG	SF	SK	SP
1	Miechucino	3,73	2,57	b. słabe	2B	piaski, żwiry wodnolodowcowe	1,15	0,30	0,59	2,58	0,28	1,58
2	Cieszenie	0,30	1,25	średnie	1A	torfy	1,08	-0,23	1,44	1,27	-1,25	4,66
3	Kożyczkowo	22,29	1,54	słabe	2B	piaski, żwiry wodnolodowcowe	2,14	0,50	1,32	1,80	1,93	6,63
4	Sianowo	0,47	0,88	średnie	1A	piaski, piaski ze żwirami wodnolodowcowymi	0,92	-0,17	0,99	0,97	-0,55	3,69
5	Cieszonko	14,34	1,53	słabe	2B	piaski, żwiry wodnolodowcowe	5,46	0,62	1,63	1,78	1,80	5,49
6	Kamionka	0,47	0,86	średnie	1B	torfy	0,88	0,09	1,31	0,94	-0,40	3,78
7	Strysza Buda	0,47	0,79	średnio dobre	1A	torfy	4,29	-0,38	1,20	0,96	-1,22	5,20
8	Nowa Huta	17,48	2,24	b. słabe	2B	piaski, żwiry	1,17	0,55	1,12	2,24	1,18	3,38
9	Malinowy Rów	1,87	1,94	słabe	2B	torfy	1,30	0,07	0,78	1,88	0,26	2,04
10	Miłoszewo	0,39	1,31	średnie	3B	torfy	5,29	-0,48	1,71	1,28	-1,15	3,42
11	Zielony Dworek	0,37	0,85	średnie	1B	namuly/torfy	0,95	0,04	1,15	0,87	-0,59	3,50
12	Łłuczewo	19,35	1,79	słabe	2A	torfy/gлина zwałowa	3,85	0,55	1,24	1,99	1,58	4,92

13	Osiek	12,95	2,92	wyjątkowo słabe	2B	glina zwałowa	2,57	0,41	0,61	2,85	0,49	1,79
14	Łowcz	38,14	1,26	średnie	2B	muły, piaski, żwiry rzeczne/ piaski, żwiry wodnolodowcowe	3,13	0,48	1,22	1,62	2,11	7,57
15	Porzecze	41,20	1,76	słabe	2B	muły, piaski, żwiry rzeczne/ piaski, żwiry wodnolodowcowe	6,25	0,59	1,79	2,06	1,73	5,43
16	Paraszyno	0,60	2,16	b. słabe	3B	piaski, żwiry wodnolod./ /torfy	8,33	-0,55	1,05	2,04	-0,88	2,54
17	Bożepole Małe	6,07	2,32	b. słabe	2A	mady, piaski, żwiry stożków napływ./piaski, żwiry wodnolodowcowe	2,27	0,15	0,95	2,20	0,52	2,53
18	Łęczyce	0,54	0,88	średnie	1A	torfy	1,47	-0,23	0,76	0,87	-0,01	2,12
19	Mosty	0,46	0,80	średnie	1A	torfy	0,65	-0,31	0,94	0,93	-0,97	4,30
20	Przybrodzie	0,46	0,87	średnie	1C	torfy	0,19	0,26	0,92	0,67	0,71	3,12
21	Cecenowo	0,46	0,64	średnio dobre	1A	mady, piaski rzeczne	0,49	-0,25	1,59	1,00	-1,13	4,14
					1C	mady, piaski rzeczne	0,29	0,28	0,98	0,95	-0,11	3,12
22	Gać	0,45	0,90	średnie		mady, piaski rzeczne/	0,11	-0,18	1,12	0,55	-1,05	4,45
23	Łeba	0,22	0,47	dobre	1A	/piaski eoliczne						

Md – mediana średnic ziaren, *FB₂* – odchylenie standardowe według Folka-Warda, *SKG* – skośność według Folka-Warda, *KG* – kurtoza (spłaszczenie) według Folka-Warda, *SF* – odchylenie standardowe (moment rzędu II), *SK* – skośność (moment rzędu III), *SP* – spłaszczenie (moment rzędu IV)

np. Wieprzy i Słupi), pojawia się jednak także uziarnienie typu 1A i 1B w odcinkach akumulacyjnych (Cieszenie, Sianowo, Kamionka, Strysza Buda, Zielony Dworek) — tabela 2.

Uziarnienie typu 3B (pozytywna skośność, rozkład bimodalny) występuje w profilu Porzecze i jest związane z rozcinaniem i procesami erozyjnymi zachodzącymi w materiale fluwioglacjalnym modelowanym przez rzekę. Modalność (i charakter skośności) rozkładów uziarnienia materiału dennego koryt rzecznych wynika z rodzaju utworów, które rozcinają doliny rzeczne. Piaski i żwiry fluwioglacjalne, charakterystyczne w strefie pojezierzy, dostarczają osadów korytowych z natury heterogenicznych (bi- lub polimodalnych) typu 2B lub 3B. Torfy, mady i piaski rzeczne modelowane przez procesy rzeczne tworzą osady jednodalne typów 1A, 1B, 1C oraz 2A i 3A — charakterystyczne dla koryta Łeby od wpłynięcia rzeki w pradolinę (Bożepole) do ujścia Łeby do morza.

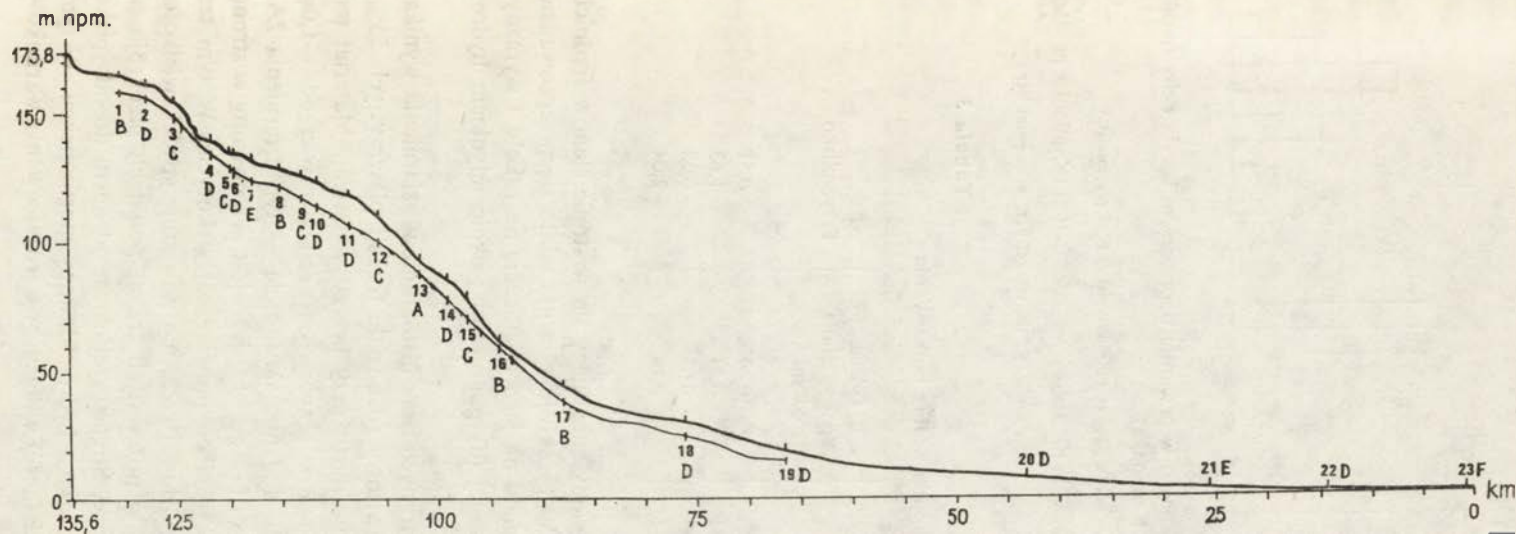
Jak wynika z analizy przebiegu mediany średnicy ziaren wzdłuż profilu podłużnego Łeby (ryc. 3), wykazuje on w strefie pojezierza cechy zdecydowanej chaotyczności. Mediany średnicy ziaren wahają się tu od 0,30 do 1,20 mm, co należy tłumaczyć różnorodnymi warunkami morfologicznymi i hydraulicznymi, które decydują z kolei o dużym zróżnicowaniu warunków hydrodynamicznych (głównie prędkości przepływu). Potwierdza to także analiza rozkładu odchylenia standardowego. W granicach pojezierza zaobserwowano brak związku między stopniem wysortowania rumowiska dennego a odległością badanego profilu od źródeł rzeki oraz brak zależności od lokalnego spadku koryta. W odcinku Łeby leżącym w strefie Pojezierza Kaszubskiego występują duże różnice w wysortowaniu materiału (od średniego do wyjątkowo słabego), co jest związane z warunkami hydrodynamicznymi, ale przede wszystkim z licznymi strefami litologicznymi, które przecina Łeba oraz z różną podatnością utworów powierzchniowych na sortowanie podczas transportu selektywnego.

Dolny i ujściowy odcinek Łeby, położony w regionie Pobrzeża Słowińskiego (Pradolina Redy-Łeby i Wybrzeże Słowińskie) cechuje średnie i dobre wysortowanie materiału ze względu na mniej urozmaicone warunki litologiczne oraz wyrównane spadki koryta. Daje się tu zauważyć zależność wielkości mediany średnicy ziaren od położenia w profilu podłużnym rzeki (zmniejszenie średnicy ziaren wzdłuż biegu rzeki).

ZRÓŻNICOWANIE MATERIAŁU DENNEGO W PRZEKROJU POPRZECZNYM

Próbę określenia zróżnicowania materiału dennego w przekroju poprzecznym Łeby (w profilu Kamionka) przedstawiono na rycinie 4 i w tabeli 3. Próba ta miała cel wyłącznie metodyczny i porównawczy w jednym tylko profilu. Szczegółowo zajmował się tym zagadnieniem A. Kaniecki (1968, 1976).

Próbki materiału dennego w analizowanym profilu Łeby pobrano w uregulowanym odcinku rzeki o przebiegu meandrowym, z przekroju zakola na wierzchołku krzywizny, z 4 punktów o odmiennych warunkach hydrodynamicznych (płoso, stok odsypiska, odsypisko oraz przymulisko czynne jedynie przy wyższych stanach wody).



Ryc. 3. Wyszortowanie i mediana średnic ziaren rumowiska dennego w profilu podłużnym Łeby

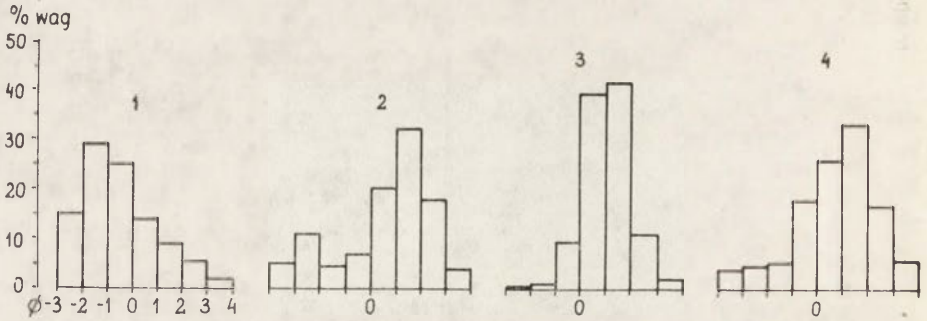
Profile pomiarowe: 1 – Miechucino, 2 – Cieszenie, 3 – Kożyczkowo, 4 – Sianowo, 5 – Cieszonko, 6 – Kamionka, 7 – Strycza Buda, 8 – Nowa Huta, 9 – Malinowy Rów, 10 – Miłoszewo, 11 – Zielony Dworek, 12 – Tłuczewo, 13 – Osiek, 14 – Łowcz, 15 – Porzecze, 16 – Paraszyno, 17 – Bożepole, 18 – Łęczyce, 19 – Mosty, 20 – Przybrodzie, 21 – Cecenowo, 22 – Gać, 23 – Łeba; wysortowanie osadu według Folk-Warda (skala φ): A – wyjątkowo słabe ($> 2,6$), B – bardzo słabe (2,1–2,6), C – słabe (1,4–2,0), D – średnie (0,9–1,4), E – średnio dobre (0,6–0,8), F – dobre (0,25–0,5)

$$\text{mediana średnic ziarn rumowiska dennego: } d_{50} \text{ (mm)} = \frac{r}{2} \varphi \text{ (cm)}$$

Sorting and median grain diameter of the bed load in the Łeba longitudinal profile

Gauging profiles: 1 – Miechucino, 2 – Cieszenie, 3 – Kożyczkowo, 4 – Sianowo, 5 – Cieszonko, 6 – Kamionka, 7 – Strycza Buda, 8 – Nowa Huta, 9 – Malinowy Rów, 10 – Miłoszewo, 11 – Zielony Dworek, 12 – Tłuczewo, 13 – Osiek, 14 – Łowcz, 15 – Porzecze, 16 – Paraszyno, 17 – Bożepole, 18 – Łęczyce, 19 – Mosty, 20 – Przybrodzie, 21 – Cecenowo, 22 – Gać, 23 – Łeba; sorting of sediments according to Folk-Ward (φ scale): A – extremely poorly sorted (> 2.6), B – very poorly sorted (2.1–2.6), C – poorly sorted (1.4–2.0), D – moderately sorted (0.9–1.4), E – moderately well sorted (0.6–0.8), F – well sorted (0.25–0.5)

$$\text{median grain diameter of the bed load: } d_{50} \text{ (mm)} = \frac{r}{2} \varphi \text{ (cm)}$$



Ryc. 4. Rozkład uziarnienia rumowiska dennego w przekroju poprzecznym koryta Łeby (profil Kamionka)

1 – płoś, 2 – stok odsypiska, 3 – górna powierzchnia odsypiska, 4 – przymulisko

Distribution of the bed load grain composition in the Łeba river cross-section (Kamionka profile)

1 – pool, 2 – slope of the slip-off bar, 3 – upper surface of the slip-off bar, 4 – point bar

Tabela 3

Wskaźniki uziarnienia według Folka-Warda

	Płoś	Stok odsypiska	Górna powierzchnia odsypiska	Przymulisko
<i>Md</i>	1,83	0,48	0,49	0,51
<i>BF₂</i>	1,49	1,94	0,84	1,63
<i>SKG</i>	0,30	-0,39	0,03	-0,28
<i>SKS</i>	1,61	-2,14	0,18	-2,04

Pobór materiału przypadał na stan wody znajdujący się w strefie stanów średnich ($H = 41$ cm w profilu Miłoszewo). W przekroju tym nie udało się przeprowadzić pomiaru rozkładu prędkości ze względu na jego lokalizację na zakolu i wyraźny, jednostronny typ cyrkulacji poprzecznej (dysponowano jedynie młynkiem hydrometrycznym, a nie prądomierzem).

Z analizy krzywych granulometrycznych oraz histogramów uziarnienia wynika, iż najgrubszy materiał piaszczysto-żwirowy (o udziale frakcji piaszczystych 55%, $Md = 1,8$ mm) znajduje się w strefie nurtu przy brzegu wklęsłym. Materiał ten odznacza się jednomodalnością (moda w granicach frakcji żwirowej od $-1,0\phi$ do $-2,0\phi$, tj. 2–4 mm) oraz bardzo dodatnią skośnością – typ uziarnienia 2A. Materiał pochodzący z rozmycia dna i brzegu wklęsłego jest przenoszony w stronę brzegu wypukłego dzięki istnieniu cyrkulacji poprzecznej w korycie. W tym też kierunku maleje zdolność siły transportowej rzeki, co powoduje spadek wielkości uziarnienia. Średnie średnice ziaren w pozostałych trzech punktach przekroju są prawie 4-krotnie mniejsze niż w nurcie. Strefą przejściową od nurtu do odsypiska jest stok odsypiska, gdzie materiał zaczyna być poddawany morfoselekcji. W tym miejscu charakter osadu (jego bimodalność) wskazuje na zróżnicowanie warunków

sedymtacji. Rozkład uziarnienia w próbce jest bardzo negatywnie skośny, a wysortowanie najgorsze z czterech badanych próbek. Typ uziarnienia materiału stoku odspiska należy do grupy 3B.

Miejszem odkładania się materiału selekcyjonowanego na stoku odspiska jest górna powierzchnia odspiska, toteż cechuje się ona najlepszym spośród analizowanych stref wysortowaniem materiału (średnie według Friedmana); rozkład uziarnienia przybiera postać jednomodalną (40% frakcji 0,25–0,50 mm i 37% frakcji 0,50–1,0 mm), quasi-symetryczną (typ uziarnienia 1B).

Materiał pochodzący z przymuliska wiąże się bardziej z frakcją wezbraniową niż korytową. Warunki odkładania osadu w tej strefie są odmienne i bardziej skomplikowane. Tym też prawdopodobnie należy tłumaczyć obecność frakcji żwirowych (13%) obok piaszczystych, w obrębie których znajduje się dominanta (1–2φ, tj. 0,25–0,50 mm). Słabe wysortowanie materiału przemawia za szybkim tempem depozycji w fazie opadania wezbrania. Uziarnienie materiału na przymulisku zaklasyfikowano do typu 2A.

Zróźnicowanie typów uziarnienia w czterech punktach przekroju poprzecznego wskazuje na odmienne warunki hydrodynamiczne, działające na osad w różnych strefach przekroju. Różnorodność procesów wiąże się bowiem ze zróźnicowaniem funkcji strefy, a co za tym idzie także jej struktury.

PODSUMOWANIE

Analiza cech uziarnienia rumowiska dennego w profilu podłużnym Łeby pozwala wysunąć następujące wnioski:

1. W granicach Pojezierza Kaszubskiego obserwuje się:

- chaotyczność w przebiegu wielkości średnicy ziaren wzdłuż biegu rzeki,
- brak związku między stopniem wysortowania rumowiska dennego a odległością danego profilu od źródeł rzeki,
- bardzo duże zróźnicowanie typów uziarnienia rumowiska.

Zjawiska te związane są z bardzo dużą różnorodnością warunków morfologicznych i litologicznych obserwowanych na Pojezierzu.

2. W granicach Wybrzeża Słowińskiego zauważono:

- średnie i dobre wysortowanie materiału dennego,
- zmniejszanie się średnicy ziaren wzdłuż biegu rzeki.

Można to wyjaśnić małym zróźnicowaniem morfologicznym i litologicznym, a także wyrównanymi spadkami rzeki przepływającej przez ten region.

LITERATURA

- Augustowski B., 1977, *Pomorze*, PWN, Warszawa.
- Balicki H., 1978, *Wpływ Morza Bałtyckiego na stosunki hydrologiczne Jeziora Gardno*, praca doktorska, Inst. Geogr. UG, Gdańsk.
- Basalykas A. B., 1968, *Różnorodność morfogenetyczna dolin krajobrazu polodowcowego na przykładzie terenów Litewskiej SSR*, Przegł. Geogr., 40, 4.

- Cyberski J., Dynus J., 1977, *Analiza granicznych prędkości przepływu na przykładzie wybranych cieków Pojezierza Kaszubskiego*, Zesz. Nauk. Wydz. Biol. i Nauk o Ziemi, ser. Geogr., 8.
- Drwal J., 1982, *Wykształcenie i organizacja sieci hydrograficznej jako podstawa oceny struktury odpływu na terenach młodoglacjalnych*, Zesz. Nauk. UG, Rozprawy i monografie, 33.
- Dynus-Angiel J., 1980, *Przestrzenne zróżnicowanie materiału dennego w korytach rzecznych (na przykładzie rzek północnego skłonu Pomorza Zachodniego)*, praca doktorska, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW, Warszawa.
- 1981, *Prędkość graniczna górna w warunkach rzek północnego skłonu Pomorza Zachodniego*, Przegł. Geofiz., 26, 4.
- 1983, *Typy uziarnienia rumowiska dennego rzek północnego skłonu Pomorza Zachodniego*, Przegł. Geofiz., 27, 2.
- Jednorzął T., 1970, *Wstępne rozpoznanie procesów hydrodynamicznych zachodzących w kanałach i ujściach rzek do morza na wybrzeżu polskim*, Instytut Morski, Gdańsk-Szczecin.
- Kaniecki A., 1968, *Piaski Proсны między Grabowem Wielowsią Klasztorną w świetle cyrkulacji poprzecznej wody*, Spraw. Pozn. Tow. Przyj. Nauk za III i IV kwartał 1968 r., 2/81.
- 1976, *Dynamika rzek w świetle osadów 3 wybranych odcinków Proсны*, Prace Komisji Geogr.-Geol. PTPN, 17.
- Kondracki J. 1978, *Geografia fizyczna Polski*, PWN, Warszawa.
- Rachocki A., 1974, *Przebieg i natężenie współczesnych procesów rzecznych na przykładzie Raduni*, Dok. Geogr., 4.
- Ross B., 1964, *O utworach aluwialnych i biogenicznych wyścielających dna dolin rzek nadbałtyckich*, Zesz. Nauk. UMK w Toruniu, Nauki mat.-przyr., 10, Geografia.
- Rotnicka J., 1970, *Reżim wodny rzeki przymorskiej na przykładzie Łeby*, Bad. Fizjogr. nad Polską Zach., 33, ser. A.
- Sylwestrzak J., 1978, *Zagadnienie morfologii i typizacji dolin północnego skłonu Pomorza*, Biul. Inst. Geol., 306, Z badań czwartorzędu w Polsce, 21.

SPATIAL DIFFERENTIATION
OF THE BED LOAD GRAIN COMPOSITION
OF THE ŁEBA LONGITUDINAL PROFILE
IN THE PHASE OF HYDRODYNAMIC CONDITIONS
(Summary)

Morphological characteristics of the Łeba river valley and the shape of the river longitudinal profile, being typical of the main rivers of the northern slopes of the Western Pomerania, are presented in the paper. Hydrological conditions have been analysed in 3 gauging profiles: Miłoszewo, Lębork and Cecenowo (Fig. 1). Discharges have been characterized in the case of the profiles Miłoszewo and Cecenowo (rhythm of annual amplitudes, discharge duration curves; Fig. 2). The influences of the normal and boundary velocities on the triggering of grains in these profiles have been determined. The analysis of the main properties of the grain composition (median grain diameter, sorting) and that of the grain type of the bed load (shape of the granulometric curve) in 23 profiles downstream (Fig. 3) have been presented. Both, specific properties and types of the grain composition in the area of Kaszuby Lake Plateau (Pojezierze Kaszubskie) and Słowińskie Coastland (Pobrzeże Słowińskie) have been pointed out mainly because of the morphological and lithological differences of these regions.

Translated by Teresa Mrozek

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ГРАНУЛЯЦИИ
ДОННОГО МАТЕРИАЛА ОТЛОЖЕНИЙ В ПРОДОЛЬНОМ ПРОФИЛЕ РЕКИ ЛЭБЫ
НА ФОНЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

(Резюме)

Статья содержит морфологическую характеристику долины реки Лэбы, обсуждена также форма продольного профиля реки типичного для главных рек северного склона Западного Поморья. Анализ гидрологических условий был проведен в трёх водомерных профилях: Милошево, Ленборк, и Цеценово (рис. 1). Проведена также характеристика скорости потока в профилях Милошево и Цеценово (ритм годовых колебаний, кривые сроков продолжения скорости потока; рис. 2). Определено влияние обыкновенных и предельных скоростей для начала движения зёрн в этих профилях. Указан анализ главных черт грануляции (медиана диаметра зёрн, отсортирование) и тип грануляции (форма гранулометрической кривой, асимметрия и моделирование) донного материала в 23 профилях вдоль течения реки (рис. 3). Обращено также внимание на разные черты и типы грануляции на территории Кашубского поозёрья и Словинского побережья, главным образом из-за морфологических и литологических различий обоих районов.

Перевод Регины Ольшевской

Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo. Wrocław 1986.
Nakład: 415 egz. Objętość: ark. wyd. 4,80, ark. druk. 4,75, ark. A₁-6.
Papier druk. sat. kl. IV, 70 g, B-1. Oddano do składania 1986.01.10.
Podpisano do druku 1986.07.04. Druk ukończono w lipcu 1986.
Wrocławska Drukarnia Naukowa. Zam. 1026/86. J-4 Cena zł 80.—

<http://rcin.org.pl>

**WYDAWNICTWA IG i PZ PAN
VARIA**

Bibliografia geografii polskiej 1980, 1984, s. 405, zł 500,—

Streszczenia prac habilitacyjnych i doktorskich 1983, 1985, s. 98, zł 150,—

**Centralny katalog zbiorów kartograficznych w Polsce. Zeszyt 5. Wieloarkuszowe mapy topograficzne
Polski 1576-1870, 1983, cz. 1, s. 109, cz. 2, tab. 220, zł 3500,—**

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

WYKAZ ZESZYTÓW DOKUMENTACJI GEOGRAFICZNEJ
za ostatnie lata

1984

- 1-2 PRACA ZBIOROWA — Problemy bioklimatologii uzdrowskiej cz. V, s. 138, zł 60,—
- 3 L. ANDRZEJEWSKI — Dolina Zgłowiączki — jej geneza oraz rozwój w późnym glacie i holocenie, s. 84, zł 60,—
- 4 F. SZLAJFER — Rola plantacji w kształtowaniu przestrzeni społeczno-gospodarczej na przykładzie Ameryki Środkowej, s. 102, zł 60,—
- 5 E. PYTEL-TAFEL — Struktura demograficzna jako czynnik różnicujący zbiór miast polskich, s. 88, zł 60,—
- 6 R. BUREK — Infrastruktura gospodarcza a towarowość rolnictwa (na przykładzie woj. kieleckiego), s. 82, zł 60,—

1985

- 1 T. LIJEWSKI — Układy komunikacyjne województw, s. 80, zł 70,—
- 2 I. CHUDZYŃSKA — Struktura przestrzenna handlu detalicznego w Warszawie, s. 74, zł 70,—
- 3 M. GÓRALCZYK, B. GÓRZ — Z badań nad strukturą i infrastrukturą rolnictwa, s. 100, zł 70,—
- 4 P. WERNER — Zmiany struktury przestrzennej przemysłu środków informatyki w Polsce w latach 1965—1980, s. 88, zł 70,—
- 5 A. WELC — Zmienność denudacji chemicznej w Karpatach fliszowych (na przykładzie zlewni potoku Bystrzanka), s. 99, zł 70,—
- 6 T. NIEDŹWIEDŹ, M. ORLICZ, J. ORLICZOWA — Wiatr w Karpatach polskich, s. 90, zł 70,—

1986

- 1 K. OSTASZEWSKA — Zastosowanie modeli matematycznych do przewidywania zmian rozmieszczenia ludności Polski, s. 74, zł 80,—
- 2 PRACA ZBIOROWA — Niektóre problemy metodyczne hydrologii, s. 73, zł 70,—
- 3 PRACA ZBIOROWA — Wyniki badań bioklimatu Polski, cz. I, s. 92, zł 70,—
- 4 PRACA ZBIOROWA — Współczesne problemy światowych procesów rozwoju
- 5 PRACA ZBIOROWA — Zbiornik wrocławski — niektóre problemy z geografii fizycznej (w druku)
- 6 A. JELONEK — Ruch naturalny ludności Polski 1948—1982 według województw (w druku)