

POLSKA  
AKADEMIA  
NAUK

PL ISSN 0012-503 2

INSTYTUT GEOGRAFII  
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

ANDRZEJ WELC

ZMIENNOŚĆ  
DENUDACJI CHEMICZNEJ  
W KARPATACH FLISZOWYCH  
(NA PRZYKŁADZIE ZLEWNI  
POTOKU BYSTRZANKA)



ROK 1985

ZESZYT 5

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

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

**1982**

- 1—2 N. K. MUKITANOW — **Problemy metodologiczne teoretyzacji geografii**, s. 146,  
zł 80,—  
3—4 **XXIV Międzynarodowy Kongres Geograficzny, Tokio—Japonia—1980**, s. 113,  
zł 80,—

**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,—

**ZMIENNOŚĆ DENUDACJI CHEMICZNEJ  
W KARPATACH FLISZOWYCH  
(NA PRZYKŁADZIE ZLEWNI POTOKU BYSTRZANKA)**

POLISH ACADEMY OF SCIENCES  
INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND SPATIAL ORGANIZATION

---

---

ANDRZEJ WELC

VARIABILITY OF CHEMICAL DENUDATION  
IN THE FLYSH CARPATHIANS  
(WITH THE BYSTRZANKA CATCHMENT  
AS EXAMPLE)



YEAR 1985

FASC. 5

---

---

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

ANDRZEJ WELC

ZMIENNOŚĆ  
DENUDACJI CHEMICZNEJ  
W KARPATACH FLISZOWYCH  
(NA PRZYKŁADZIE ZLEWNI  
POTOKU BYSTRZANKA)



ROK 1985

ZESZYT 5

---

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  
Władysława Stola, Józef Skoczek  
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

JAN A. DRAJCZYK

*Printed in Poland*

Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo. Wrocław 1985.  
Nakład: 400 egz. Objętość: ark. wyd. 6,50, ark. druk. 6,38, ark.  
A<sub>1</sub> - 8. Papier druk. sat. kl. IV, 70 g, 70 × 100. Oddano do składa-  
nia 1985. Podpisano do druku 1985. 11. 7. Druk ukończono w listo-  
padzie 1985. Wrocławska Drukarnia Naukowa. Zam. 3274/85. R-7.  
Cena zł 70.—

## SPIS TREŚCI

Przedmowa (Kazimierz Klimek) . . . . .	7
Wstęp . . . . .	9
Wprowadzenie do problemu . . . . .	9
Cel, metoda badań i opracowania materiałów . . . . .	10
Środowisko obszaru badań . . . . .	15
Położenie, budowa geologiczna, ukształtowanie i roślinność . . . . .	15
Hydrologiczny ustrój zlewni Bystrzanki i warunki pogodowe w okresie badań . . . . .	16
Dynamika i przestrzenne zróżnicowanie denudacji chemicznej w zlewni Bystrzanki . . . . .	19
Ługowanie chemiczne a budowa geologiczna zlewni . . . . .	19
Ługowanie na stokach wymodelowanych w utworach inceramowych . . . . .	19
Ługowanie na stokach wymodelowanych w piaskowcach magurskich . . . . .	35
Zróżnicowanie odprowadzania soli z pokryw zwietrzelinowych stoków wymodelowanych w warstwach inceramowych i w warstwach magurskich . . . . .	36
Dynamika odprowadzania soli ze zlewni Bystrzanki . . . . .	39
Zmienność odprowadzania głównych jonów . . . . .	47
Wapń . . . . .	48
Magnez . . . . .	53
Sód . . . . .	56
Potas . . . . .	57
Węglany . . . . .	58
Siarczany . . . . .	62
Chlorki . . . . .	67
Przestrzenne zróżnicowanie denudacji chemicznej w zlewni Bystrzanki . . . . .	69
Przyczyny przestrzennej i czasowej zmienności denudacji chemicznej . . . . .	79
Rola budowy geologicznej i związanego z nią krążenia wód . . . . .	79
Rola opadów w okresowej zmienności denudacji chemicznej . . . . .	80
Wpływ gospodarczej działalności człowieka na przebieg denudacji chemicznej . . . . .	83
Denudacja chemiczna w Karpatach fliszowych . . . . .	87
Wnioski . . . . .	91
Literatura . . . . .	93
Variability of chemical denudation in the Flysch Carpathians (with the Bystrzanka catchment as example) — summary . . . . .	97
Изменчивость химической денудации во флишевых Карпатах (на примере водосбора потока Быстржанка) — резюме . . . . .	100

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page. The text is arranged in several paragraphs and appears to be a formal document or report.

## PRZEDMOWA

Denudacja chemiczna obszarów niewęglanowych stanowi margines zainteresowań naukowców, zajmujących się denudacją chemiczną. W Karpatach fliszowych brak wyraźnych form rzeźby, związanych z tego typu denudacją, co czyni te tereny pozornie mało atrakcyjnymi. O natężeniu denudacji chemicznej wnosi się tutaj zazwyczaj na podstawie ilości materiału rozpuszczonego i przenoszonego przez rzeki.

Dr Andrzej Welc w swojej pracy podejmuje ten pozornie mało atrakcyjny temat. Jest on częścią kompleksowych badań środowiska geograficznego modelowego obszaru Karpat, realizowanych przez pracowników Stacji Naukowej Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Szymbarku, a zainicjowanych i ciągle inspirowanych przez prof. dr. hab. Leszka Starkła. Wyniki szczegółowych badań przeprowadzonych przez dr. A. Welca wskazują, że denudacja chemiczna stanowi poważną część ogólnego bilansu denudacyjnego zlewni fliszowej. Proces ten wykazuje mozaikowość przestrzenną, dowiązującą do litologii podłoża oraz bardzo dużą zmienność w czasie, wynikającą przede wszystkim ze zmian klimatycznych.

*Kazimierz Klimek*





## WSTĘP

### WPROWADZENIE DO PROBLEMU

Niszczenie skał podłoża w wyniku wietrzenia chemicznego i odprowadzania rozpuszczonego materiału mineralnego przez odpływające wody prowadzi do denudacji chemicznej, czyli w konsekwencji wraz z innymi procesami do degradacji, obnażania i wyrównywania powierzchni Ziemi. Literatura światowa jak również krajowa najwięcej uwagi poświęca badaniom denudacji chemicznej w obszarach zbudowanych ze skał węglanowych, gdzie proces ten ma decydujące znaczenie w rozwoju rzeźby. Badania ilościowe, dające pogląd na przebieg i rozmiary denudacji chemicznej w tych obszarach zostały na szerszą skalę rozwinięte przez A. Bögli'ego (1956, 1960), J. Corbela (1957, 1959, 1964), J. Gamsa (1962, 1966, 1969) i I. Douglasa (1964, 1968). W Polsce procesowi rozpuszczania i denudacji chemicznej obszarów węglanowych sporo uwagi poświęcono w wielu pracach (np. Stangenber 1953, 1958; Oleksynowa, Komornicki 1958, 1965; Oleksynowa 1966, 1970; Paschalski 1960; Jaworska 1968; Markowicz-Łohinowicz 1969; Głazek, Markowicz-Łohinowicz (1973). Szczegółowe badania powierzchniowej denudacji chemicznej w wysokogórskim obszarze wapienno-dolomitowym Tatr Zachodnich przeprowadził A. Kotarba (1971, 1972). Szeroki pogląd na rozmiary denudacji chemicznej w obszarach węglanowych Polski i innych krajów leżących w strefie klimatu umiarkowanego i subtropikalnego przedstawił M. Pulinina (1971, 1974).

Badania te skłoniły do zwrócenia uwagi również na problem ługowania obszaru Karpat fliszowych. Większość prac dotyczyła chemizmu wód rzek i potoków oraz jego związku z budową geologiczną zlewni (Bombówna 1960, 1968, 1969; Pasternak 1968; Maultz 1972). Pierwszą próbę określenia wielkości denudacji chemicznej w obszarze Karpat fliszowych podjął K. Figuła (1966) opierając się na okresowych pomiarach stężenia soli w niektórych rzekach i potokach. Szczegółowe badania nad transportem rozpuszczonych soli i genezą ich dostawy do koryta potoku prowadzi W. Froehlich (1975, 1982). Przedstawiając obraz zmienności i wielkości transportu soli, autor ten koncentruje się na szukaniu związków pomiędzy transportem soli a parametrami określającymi cechy zlewni. Szczególną uwagę zwraca na związek pomiędzy przepływem

wody, długością cieku czy przyrostem powierzchni zlewni a koncentracją i ładunkiem transportowanych soli.

Początkowo cały ładunek odprowadzanych soli utożsamiano z wielkością denudacji chemicznej. W ostatnich latach zwrócono uwagę, że prowadzi to do zawyżania faktycznej denudacji chemicznej o ładunek soli pochodzących z opadów, nawozów i zanieczyszczeń (Pulina 1974; Wilamski 1978 i inni). W wymienionych pracach nie stosuje się jednoznacznego określenia niektórych pojęć. Na przykład J. Wilamski określając erozję chemiczną w zlewni rzeki Słupi posługuje się terminem „transport sumy jonów głównych erozyjnych”. Wielkość erozji lub denudacji chemicznej uzyskuje z różnicy pomiędzy transportem sumy jonów brutto a transportem jonów wodorowęglanowych oraz transportem ładunku ściekowego, nawozowego i opadowego, podzielonych przez powierzchnię zlewni. D. E. Walling i W. B. Webb (1978), podając wzór na obliczenie ładunku soli pochodzenia niedenudacyjnego, uwzględniają tylko sole pochodzące ze źródeł atmosferycznych.

Większość dotychczasowych badań w Karpatach fliszowych dotyczyła składu chemicznego wód i transportu soli w rzekach i potokach. Odczuwało się natomiast brak wiedzy na temat sposobu i zmienności odprowadzania soli przez wody powierzchniowe, śródpokrywowe i śródskalne ze stoków fliszowych o odmiennym składzie mineralnym, litologii i przepuszczalności tych utworów.

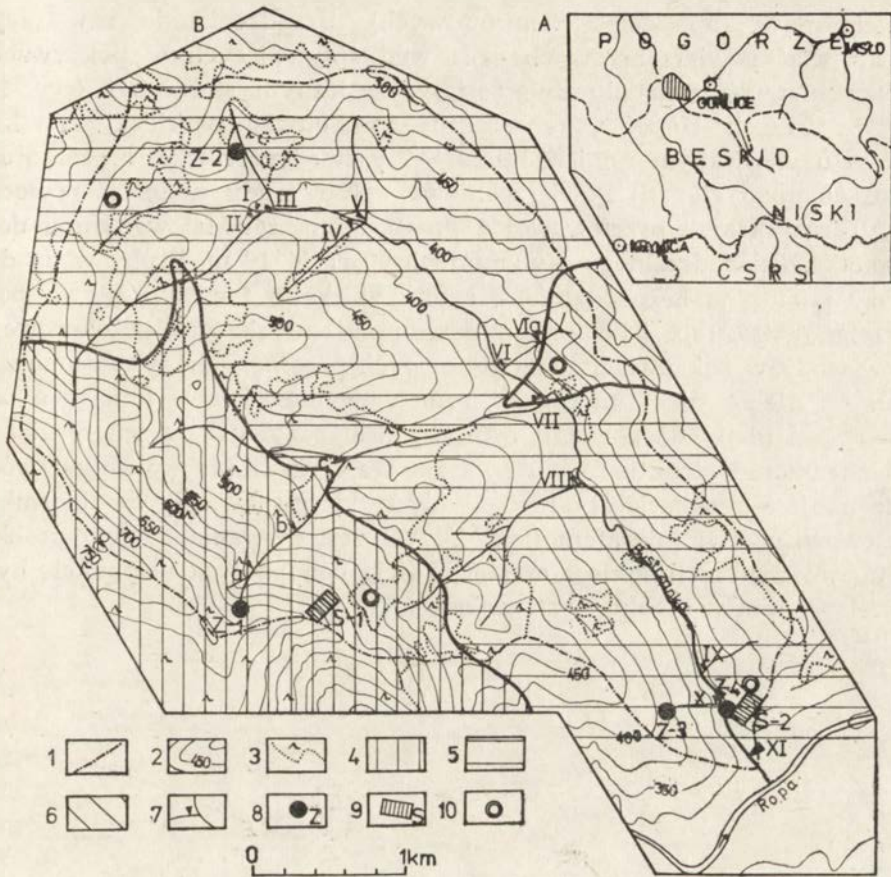
#### CEL, METODA BADAŃ I OPRACOWANIA MATERIAŁÓW

Celem podjętych badań było poznanie mechanizmu odprowadzania soli z utworów zwietrzelinowych i skalnych stoków oraz czasowej i przestrzennej zmienności denudacji chemicznej, wywołanej czynnikami klimatycznymi (głównie opadem) i zróżnicowaną litologią fliszu.

Badania prowadzono w latach 1973—1975 w zlewni potoku Bystrzanka, posiadającej cechy reprezentatywne dla przeważającej części polskich Karpat fliszowych (Kotarba 1970). Zlewnia Bystrzanki leży na pograniczu dwóch jednostek morfostrukturalnych: Pogórza Karpackiego i Beskidów, na wysokości 305—750 m n.p.m. W badaniach korzystano z zespołu urządzeń pomiarowych zainstalowanych w terenie oraz z laboratorium fizyczno-chemicznego Stacji Naukowo-Badawczej Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk w Szymbarku. Ogółem zainstalowano 22 punkty pomiarowe, w tym: 2 ujęcia wód powierzchniowych i 2 ujęcia wód śródpokrywowych na stokach doświadczalnych, 4 źródła stokowe oraz 14 punktów hydrometrycznych na ciekach (ryc. 1).

Urządzenia do pomiarów spływu powierzchniowego i śródpokrywowego na stokach zainstalowane zostały w październiku 1973 r., dlatego dla stoków uzyskano tylko pełną dwuletnią serię pomiarów, natomiast





Ryc. 1. Położenie obszaru badań

A — zlewnia Bystrzanki na tle głównych jednostek geomorfologicznych Karpat, B — rozmieszczenie punktów pomiarowych w zlewni Bystrzanki na tle głównych elementów środowiska geograficznego

1 — dział wodny, 2 — hipsometria, 3 — lasy; obszary występowania: 4 — piaskowców magurskich, 5 — warstw inoceramowych, 6 — warstw krośnieńskich; 7 — cieki i punkty hydrometryczne, 8 — źródła objęte pomiarami, 9 — stoki doświadczalne, 10 — stacje opadowe

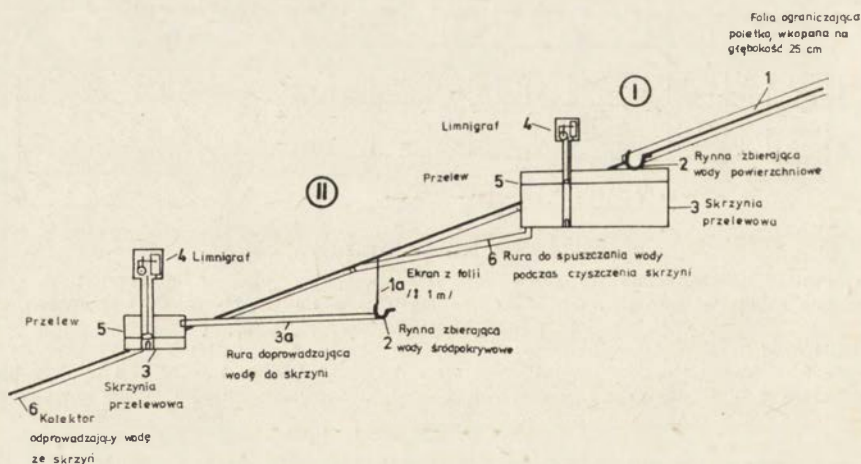
#### Location of the study area

A — Bystrzanka catchment on a phone of geomorphic units of the Carpathians, B — location of the measurement sites in the Bystrzanka catchment on a phone of the elements of the natural environment

1 — water divide, 2 — hipsometry, 3 — forests; areas of the presence of: 4 — the Magura sandstones, 5 — the Inoceramus layers, 6 — the Krosno layers; 7 — streams and hydro-metric posts, 8 — springs under investigations, 9 — experimental slopes, 10 — rain gauges

dla pozostałych punktów — trzyletnią serię pomiarów. Główny punkt wodowskazowy, przy ujściu Bystrzanki do rzeki Ropy, posiadał limniograf i zaporkę stabilizującą koryto z przelewem typu Ponceleta. Codziennie odczytywano tutaj temperaturę i stan wody oraz pobierano próbki wody do analiz chemicznych. Okresowo oznaczano pH wody. Podczas wezbrań pomiary wykonywano i pobierano próbki wody w krótkich od-

stęпах czasu (np. dziesięciominutowych). Urządzenia do rejestracji spływu wód powierzchniowych oraz wód spływających w pokrywach zwietrzelinowych zainstalowane zostały na leśnym stoku S-1 (ryc. 1) masywu Trzech Kopców, reprezentującym obszar beskidzki (górski) oraz na użytkowanym rolniczo stoku S-2 garbu Taborówka, reprezentującym obszar pogórski. Powierzchniowy spływ wody ujęto za pomocą rynny oraz skrzyni przelewowej z limnigrafem, zainstalowanym u dołu poletka doświadczalnego o wymiarach 60 m × 10 m. Próby wody do analizy pobierano bezpośrednio z rynny w czasie trwania spływu powierzchniowego lub jako próby uśrednione ze skrzyni przelewowej. Spływ wody w pokrywach zwietrzelinowych przejmowała rynna umieszczona na głębokości 1 m, dzięki zainstalowaniu ekranu foliowego od powierzchni gleby do poziomu rynny. Ekran przylegał do ściany gleby o nienaruszonej strukturze, co gwarantowało niezaburzony spływ wód aż do miejsca przecięcia ekranem. Wody te kierowane były do zbiornika przelewowego z limnigrafem (ryc. 2). W czasie trwania spływu próbki wody pobierano codziennie z częstotliwością podobną jak w punkcie hydrometrycznym w potoku Bystrzanka.



Ryc. 2. Schematyczny przekrój przez urządzenia przechwytyjące i rejestrujące powierzchniowy (I) i śródpokrywowy spływ wody do głębokości 1 m (II) na stokach doświadczalnych. (Wody powierzchniowe ze skrzyni przelewowej były odprowadzane poza zasięgiem rynny zbierającej wody śródpokrywowe)

Schematic cross-section of the equipment to collect and register surface runoff (I) and interflow to the depth of 1 m (II) on the experimental slopes. (Surface runoff has been drained off from the overflow container beyond the channel collecting the interflow.)

1 — foil limiting the plot and dug to the depth of 25 cm, 1a — foil screen, 2 — channel collecting the surface runoff and interflow, 3 — overflow containers, 3a — pipe leading water to the container, 4 — limnigraphs, 5 — overflow opening, 6 — collector draining water from the containers ad a pipe to drain off water cleaning of the container (I)



Badany obszar jest stosunkowo mało zasobny w źródła stałe. Wybór źródeł do badań przypadł na okres suszy, co upewniało o ich stałym zasilaniu przez głębsze wody gruntowe. Badaniami objęto trzy źródła w obszarze pogórskim (Z-2, Z-3, Z-4) oraz jedno źródło w obszarze górskim (Z-1, ryc. 1). W źródle Z-4 (osuwisko) pobierano wodę i wykonywano pomiary codziennie, natomiast w pozostałych źródłach czynności te powtarzano 2—5 razy w miesiącu.

Na dziewięciu stałych dopływach Bystrzanki zainstalowano punkty hydrometryczne z łatami wodowskazowymi i przelewami Thomsona (w trzech przypadkach wykorzystano i wyskalowano przepusty betonowe). Na cieku II, IV i V (ryc. 1) stany wody odczytywano codziennie. Na potoku Gerucha (VII), odprowadzającym wody z obszaru górskiego, wyznaczono trzy dodatkowe punkty pomiarowe (a, b, c) w miejscach wyraźnych zmian litologii podłoża. Pomiary i próby wody do analiz pobierano w tych wszystkich punktach z częstotliwością taką jak w źródłach. Okresowe pomiary składu chemicznego wód opadowych dla Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku wykonał autor w latach 1975—1976, natomiast uśrednione dane z lat 1977—1978 dla tej samej stacji opadowej udostępnił J. Pawlik-Dobrowolski.

W pobieranych i przesączanych wodach określano przewodność roztworu wody, suchą pozostałość, mineralizację, twardość ogólną i węglanową oraz jony:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ . Sód i potas oznaczano okresowo na fotometrze płomieniowym w Pracowni Gleboznawstwa Akademii Rolniczej w Krakowie. Pozostałe analizy wykonywano w laboratorium Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku. Wapń i magnez oznaczano metodą kompleksometryczną (Skawina, Janiczek 1958). Węglały uzyskiwano miareczkując 0,1 n kwasem solnym w obecności wskaźnika Mortimera. Siarczany określano metodą benzydynową (Just, Hermanowicz 1964) i przeliczano również z milivali twardości niewęglanowej, mnożąc przez gramorównoważnik. Zawartość chlorków określano metodą Mohra. Podstawą wszelkich dalszych obliczeń było wyliczenie mineralizacji ogólnej i stężenia głównych jonów badanych wód, wyrażone w mval/l i mg/l, a określone w pracy jako koncentracja lub stężenie, oraz wskaźników objętości spływu wody ze stoków (w l/s, l/min) i przepływu wody w ciekach ( $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $\text{m}^3/\text{min}$ ,  $\text{m}^3/\text{godz}$ . itp.). Ładunkiem odprowadzanych soli lub transportem soli nazwano całkowitą ilość soli odprowadzaną w określonym czasie z omawianego obszaru, który obliczano według wzoru (stosując oznaczenia przyjęte w literaturze światowej):

$$L_d = \frac{n}{1} \sum (C \cdot Q \cdot \Delta t)$$

gdzie:  $L_d$  — ładunek odprowadzanych soli,  $n$  — liczba pobranych prób wody,  $C$  — koncentracja soli,  $Q$  — objętość przepływu (lub spływu —  $q$ ) wody w czasie pobrania próby wody,  $\Delta t$  — przedział czasu przypa-

dający na koncentrację danej próby. Dla odprowadzania soli ze stoków stosowano również drugi termin — ługowanie, który może budzić zastrzeżenia ze względu na jego wielorakie znaczenie. Wielkość denudacji chemicznej obliczono z różnicy pomiędzy ładunkiem odprowadzanych soli ( $L_d$ ) a ładunkiem soli pochodzenia opadowego ( $L_p$ ) i ładunkiem soli pochodzenia nawozowego ( $L_f$ ):

$$D_d = L_d - (L_p + L_f)$$

Sposób obliczenia ładunku soli pochodzących z opadów i z nawozów przedstawiono w dalszej części pracy.

\*

\*                      \*

Niniejsza praca została wykonana pod kierunkiem prof. dr. hab. K. Klimka, któremu serdecznie dziękuję za opiekę oraz cenne uwagi i rady podczas prowadzenia badań terenowych, jak również nadawania ostatecznego kształtu pracy. Profesorowi dr. hab. L. Starkłowi, kierownikowi Zakładu Geomorfologii i Hydrologii IGiPZ PAN w Krakowie, dziękuję za zachętę do prowadzenia badań oraz za wskazówki dotyczące opracowania wyników. Docent dr hab. K. Oleksynowej z Instytutu Gleboznawstwa Akademii Rolniczej w Krakowie składam podziękowania za przekazaną wiedzę z zakresu wykonywania podstawowych analiz chemicznych wody oraz za oznaczenie tych składników, których nie byłem w stanie wykonać w laboratorium Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku. Dziękuję serdecznie dr. J. Pawlikowi-Dobrowolskiemu za udostępnienie średnich rocznych wartości składników zawartych w wodach opadowych za lata 1977—1978 oraz Koleżankom i Kolegom, pracownikom Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku, szczególnie W. Stawiarz, H. Stasiak i dr. E. Gilowi — za okazaną pomoc w czasie badań. Docentowi dr. hab. T. Gerlachowi dziękuję za cenne uwagi w trakcie przygotowania pracy do druku.

## ŚRODOWISKO OBSZARU BADAŃ

### POŁOŻENIE, BUDOWA GEOLOGICZNA, UKSZTAŁTOWANIE I ROŚLINNOŚĆ

W zlewni Bystrzanki, o powierzchni 13,6 km<sup>2</sup>, reprezentowane są dwa typy rzeźby — typ górski, zwany też beskidzkim oraz typ pogórski (Starkel 1972). Obszar o typie rzeźby górskiej występuje w zachodniej części zlewni i zajmuje obszar około 3,1 km<sup>2</sup>. Wznosi się on do 750 m npm. w postaci synklinalnego grzbietu Trzech Kopców i zbudowany jest z warstw magurskich, w których przeważają średnioziarniste, gruboławicowe, odporne piaskowce, słabo reagujące z HCl. Piaskowce te przewarstwione są wąskimi wkładkami łupków ilastych, a cały kompleks podścielony jest kilkudziesięciometrową warstwą łupków pstrych (Kozikowski 1956) o podobnej reakcji z HCl. Obszar masywu Trzech Kopców posiada stoki proste, niekiedy wypukło-wklęsłe, o nachyleniach 15—30°, rozcięte dolinkami wciosowymi i przemodelowane osuwiskami.

Obszar o typie rzeźby pogórskiej obejmuje pozostałą część zlewni (ok. 10,5 km<sup>2</sup>). Charakteryzują go szerokie garby, wznoszące się do 400—500 m npm. Zbudowane są one z łupkowo-piaskowcowych serii warstw inoceramowych, w których występują wapniste cienko-, średnio-, a nawet gruboławicowe piaskowce skorupowe z żyłami kalcytowymi, czasem piaskowce arkozowe lub zlepieńce. Wśród nich występują wkładki łupków marglistych. Garb Taborówka od strony północnej i północno-zachodniej zbudowany jest z zasobnych w węglany warstw krośnieńskich (porwak tektoniczny), wykształconych głównie jako łupki margliste rozdzielone piaskowcami (Świdziński 1973). W zlewni Bystrzanki warstwy krośnieńskie występują na niewielkim obszarze, odwadnianym przez ciek VI (ryc. 1). Stoki obszaru pogórskiego mają profil wypukły lub wypukło-wklęsły o średnich nachyleniach 10—18°. W obrębie stoków występują liczne osuwiska i dolinki nieckowate. Generalnie rzeźba nawiązuje do własności odpornościowo-strukturalnych podłoża.

W obszarze o rzeźbie beskidzkiej, zbudowanym z piaskowców magurskich wykształciły się pokrywy zwietrzelinowe, charakteryzujące się dużym udziałem części szkieletowych. Ich miąższość maksymalnie wynosi około 2 m. W warstwie przypowierzchniowej (do głębokości ok. 30 cm) udział okruchów skalnych dochodzi już do 50%, a na głębokości 130—150 cm zawartość rumoszu skalnego sięga 90%. Na zwietrzelinie tej wy-



kształciły się gleby brunatne wylugowane. W wierzchnich poziomach gleby części ziemiste mają charakter glin średnich pylastych, a w poziomach głębszych — glin ciężkich (Adameczyk i in. 1973). Odczyn gleby w poziomie próchnicznym jest najczęściej kwaśny lub niekiedy słabo kwaśny (pH śr. 5,1—6,4). Głębiej odczyn gleby przechodzi w słabo kwaśny, a często nawet alkaliczny (pH 7,5). Gleby te charakteryzują się dobrymi warunkami infiltracyjnymi (Słupik 1973), w wyniku czego spływ powierzchniowy wód opadowych jest na tych stokach minimalny i wynosi około 1% dostarczanych wód opadowych.

W obszarze o rzeźbie pogórskiej, zbudowanym z warstw inoceramowych i częściowo z warstw krośnieńskich, rozwinęły się bardziej mięjsze (w dolnych częściach stoków do 4 m) gliniaste pokrywy zwietrzelinowe, średnioszkieletowe, w głębszych poziomach często zailone. Wykształciły się na nich głównie gleby brunatne wylugowane i słabo wylugowane, a także gleby bielcowe, plastosole i pararędziny. Odczyn tych gleb jest podobny jak wyżej opisanych, niekiedy głębiej bardziej zasadowy. Przepuszczalność tych pokryw jest gorszą, co m. in. przejawia się w większym powierzchniowym spływie wody, wynoszącym na różnych użytkach 11,1—14,3% wód opadowych (Gil, w druku).

W krajobrazie zlewni Bystrzanki zaznaczają się wyraźnie dwa piętra roślinne. W obszarze pogórskim zdecydowanie przeważają uprawy rolne, głównie roślin zbożowych (ok. 30%) i użytków zielonych z uprawami roślin motylkowych (ponad 20%) oraz roślin okopowych (9% — wg Gila 1976). W obszarze górskim stoki masywu Trzech Kopców porośnięte są lasem o przewadze buczyny karpackiej z domieszką jodły, jawora i klonu (Staszkievicz 1973).

#### HYDROLOGICZNY USTRÓJ ZLEWNI BYSTRZANKI I WARUNKI POGODOWE W OKRESIE BADAŃ

W zlewni Bystrzanki opady są zróżnicowane (Obrębska-Starkel 1973). Źródłowy obszar zlewni charakteryzuje się wyższymi opadami niż obszar środkowy i ujściowy. Uwarunkowane to jest wysokością nad poziom morza i gradientem opadowym, wynoszącym około 60 mm/100 m dla zachodniego obszaru Beskidu Niskiego i przyległych obszarów Pogórza (Soja 1977). Środkowy obszar zlewni otrzymuje najmniej opadów, gdyż leży w cieniu opadowym masywu Trzech Kopców. Opady cechuje także znaczna zmienność (tab. 1). Najwięcej opadów w ciągu roku (78%) występuje w okresie wegetacyjnym (kwiecień—październik).

Układ sieci rzecznej zlewni Bystrzanki jest asymetryczny i nawiązuje do budowy geologicznej. Wyraża się to w postaci dłuższych (1,5—3,0 km) i zasobniejszych w wodę cieków wypływających z bardziej odpornych piaskowców magurskich masywu Trzech Kopców oraz krót-

Tabela 1

Roczne sumy opadów na Stacji Naukowo-Badawczej IGiPZ PAN w Szymbarku w latach 1968–1976

Rok	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	Średni opad
Opad w mm	774	668	1022	792	854	852	1174	853	648	849

kich (poniżej 1 km) i mało zasobnych cieków wypływających z warstw inoceramowych i krośnieńskich. Gęstość sieci rzecznej jest stosunkowo duża (tab. 2). Potok Bystrzanka otrzymuje 6 stałych dopływów lewo-brzeżnych oraz 9 dopływów prawobrzeżnych. Trzy najdłuższe prawobrzeżne cieki (ryc. 1), odprowadzające wody z leśnych stoków masywu Trzech Kopców, charakteryzują się najwyższymi przepływami wody. Powierzchniowy spływ wód zachodzi głównie na stokach pogórskich użytkowanych rolniczo, najczęściej podczas letnich ulew oraz roztopów, szczególnie przy przemarznietym podłożu. Na leśnych stokach górskich spływ powierzchniowy występuje bardzo rzadko i w minimalnych rozmiarach (Słupik 1973). W ciągu roku największe ilości wody odprowadzane są podczas wiosenno-letnich ulew i deszczów rozlewnych, mniejsze natomiast w czasie śródziemowych odwilży i roztopów. Zlewnia Bystrzan-

Tabela 2

Gęstość sieci rzecznej zlewni Bystrzanki (wg Niemirowskiej 1970)

Sieć rzeczna	Długość (km)	Głębokość (km/km <sup>2</sup> )
Stała	21,1	1,50
Okresowa	14,4	1,08
Epizodyczna	5,7	0,40

ki posiada deszczowo-śnieżno-gruntowy reżim zasilania, typowy dla większości obszaru Karpat. Największy spływ wody w potokach koncentruje się w miesiącach: maj—lipiec oraz grudzień i marzec. W niektórych latach duży spływ wody notuje się również na początku jesieni (październik). Głębokie niżówki występują najczęściej na przełomie lata i jesieni (sierpień—wrzesień), a często również zimą (styczeń) i wiosną (kwiecień). Przepływy wody w Bystrzance charakteryzują się dużymi amplitudami. W okresie niżówkowym przepływy minimalne osiągają 0,012 m<sup>3</sup>/s, natomiast podczas wezbrań przepływy maksymalne dochodzić mogą do 50 m<sup>3</sup>/s.

Na tle wielolecia lata 1973 i 1975 pod względem opadów można uznać za przeciętne, natomiast rok 1974 — jako wilgotny (tab. 3). W 1973 r. większość opadów wiosenno-letnich koncentrowała się w czerwcu



Opady na Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku (mm)

Rok hydrologiczny	Sumy roczne	Sumy miesięczne											
		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1973	844,5	48,5	9,3	26,4	69,5	21,4	39,3	62,0	296,7	154,5	43,3	57,1	16,5
1974	1102,1	48,1	17,1	63,6	20,6	3,7	46,3	136,3	225,0	144,0	99,1	101,0	197,3
1975	919,8	64,9	72,3	26,7	17,4	42,3	103,3	118,7	155,5	121,2	70,4	28,9	98,2
Średnie z okresu 1968–1976	848,6	46,1	43,8	39,5	29,7	26,3	61,1	93,5	156,5	115,6	113,8	61,2	61,2

i w lipcu. Wyjątkowo wysoki opad odnotowano w dniach 30. 06 — 1. 07 (160,7 mm), który spowodował wezbranie wód Bystrzanki o rzadko notowanym przepływie — 45,0 m<sup>3</sup>/s. W 1974 r. na szczególną uwagę zasługuje długi okres opadów, rozpoczęty z końcem kwietnia i trwający z niewielkimi przerwami do końca roku. Największe nasilenie opadów wystąpiło w miesiącach: maj, czerwiec, lipiec i październik (tab. 3). Opady te powodowały intensywny spływ wody ze stoków i liczne wezbrania wód Bystrzanki. Opady tego roku wpłynęły na znaczne zwiększenie retencji i wydajności źródeł w początkowym okresie hydrologicznym 1975 r., co miało swoje odzwierciedlenie również w podwyższonych przepływach wody w Bystrzance. W 1975 r. najwyższe opady wystąpiły głównie od kwietnia do lipca. Spowodowały one kilka niewielkich wezbrań, z których największe osiągnęło przepływ 3,6 m<sup>3</sup>/s.

Charakteryzując opady i odpływ wód ze zlewni Bystrzanki w okresie trzech lat hydrologicznych (1973—1975) należy stwierdzić, że najmniej wód odpłynęło w roku 1973 (tab. 4). Wskaźniki odpływu wskazu-

Tabela 4

Opad i odpływ wody ze zlewni Bystrzanki (mm)

Rok hydrologiczny	Opad	Odpływ*	Wskaźnik odpływu
1973	844,5	377,2	0,45
1974	1102,1	438,7	0,40
1975	919,8	383,5	0,42

\* Według obliczeń R. Soji

ją, iż w latach obfitujących w opady o charakterze rozlewnym odpływ w stosunku do opadów jest proporcjonalnie niższy. Świadczy to o znacznej retencji zlewni w tych latach. Zróżnicowany przebieg i wielkość opadów miały decydujący wpływ na zmienność ługowania na stokach i transportu soli w Bystrzance.

## DYNAMIKA I PRZESTRZENNE ZRÓŻNICOWANIE DENUDACJI CHEMICZNEJ W ZLEWNI BYSTRZANKI

### ŁUGOWANIE CHEMICZNE A BUDOWA GEOLOGICZNA ZLEWNI

#### ŁUGOWANIE NA STOKACH WYMODELOWANYCH W UTWORACH INOCERAMOWYCH

Badaniami objęte zostały wszystkie poziomy odprowadzania wód ze stoków, począwszy od wód powierzchniowych przez wody spływające w pokrywach glebowych, zwietrzelinowych i głębszych utworach skalnych.

Ługowanie powierzchniowe zachodziło w okresach intensywnych opadów deszczu oraz intensywnego topnienia pokrywy śnieżnej. W związku z tym, wielkość powierzchniowego ługowania soli ze stoków uzależniona była od częstotliwości występowania i czasu trwania intensywnych opadów i roztopów w poszczególnych latach. Badania nad powierzchniowym spływem wody na stoku zbudowanym z warstw inoceramowych (w latach 1974—1975) wskazują, iż więcej wód spłynęło w okresie deszczów wiosenno-letnich, a mniej w wyniku topnienia pokrywy śnieżnej zimą. Obydwa wspomniane lata różniły się pod względem wielkości i czasu trwania spływu powierzchniowego na tym stoku (tab. 5). W roku hydrologicznym 1974, obfitującym w opady, powierzchniowy spływ wody ze stoków był prawie 3-krotnie większy niż w roku 1975.

Podczas roztopów zimowych intensywność ługowania chemicznego powierzchni stoku zwiększała się w miarę wydłużania się czasu kontaktu wody z powierzchnią stoku, pomimo obniżania się ilości spływającej wody. Zaobserwowano to np. podczas roztopów w dniach 19—21. 01. 1974 r. Przed roztopami grunt był zamrożony do głębokości 10 cm, a na jego powierzchni leżała kilkunastocentymetrowa warstwa śniegu (ryc. 3 i 4). W dniu 19. 01. wystąpiły opady (32,7 mm) śniegu, stopniowo przechodzące w deszcz, który spowodował tajanie pokrywy śnieżnej. Koncentracja soli w wodach spływających w pierwszym dniu była prawie dwukrotnie niższa niż w dniu następnym (tab. 6), pomimo nieznacznego tylko spadku ilości wody odprowadzanej w drugim dniu. Niska koncentracja soli i słabe ługowanie powierzchni stoku w pierwszym dniu było wynikiem występowania prawie zwartej pokrywy śnieżnej i zamrożonego gruntu.

Powierzchniowy spływ wody na stoku „inoceramowym” S-2 o powierzchni 6 arów (Stacja Naukowa IGiPZ PAN w Szymbarku)

Miesiące	Rok hydrologiczny 1974		Rok hydrologiczny 1975	
	spływ wody (1)	czas trwania spływu wody	spływ wody (1)	czas trwania spływu wody
XI	10	4 <sup>h</sup> 13'	—	—
XII	—	—	13584	124 <sup>h</sup> 12'
I	1234	49 <sup>h</sup> 13'	3886	70 <sup>h</sup> 05'
II	—	—	—	—
III	—	—	—	—
IV	—	—	16092	96 <sup>h</sup> 46'
V	1569	21 <sup>h</sup> 03'	760	26 <sup>h</sup> 52'
VI	69196	143 <sup>h</sup> 20'	5269	59 <sup>h</sup> 55'
VII	2684	21 <sup>h</sup> 08'	1455	31 <sup>h</sup> 35'
VIII	3468	25 <sup>h</sup> 02'	772	6 <sup>h</sup> 50'
IX	54	2 <sup>h</sup> 36'	—	—
X	37735	109 <sup>h</sup> 20'	—	—
Sumy roczne	115950	375 <sup>h</sup> 55'	41818	416 <sup>h</sup> 25'
Wskaźnik spływu	193 250m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>		69 697m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	

W drugim dniu spływu obserwowano wyższe koncentracje soli, na co wpłynęło rozmarznięcie gruntu i głębsze przesiąknięcie gleby wodą.

Inny przebieg ługowania soli z powierzchni stoku obserwowano przy powierzchniowym spływie wody, wywołanym silną krótkotrwałą ulewą,

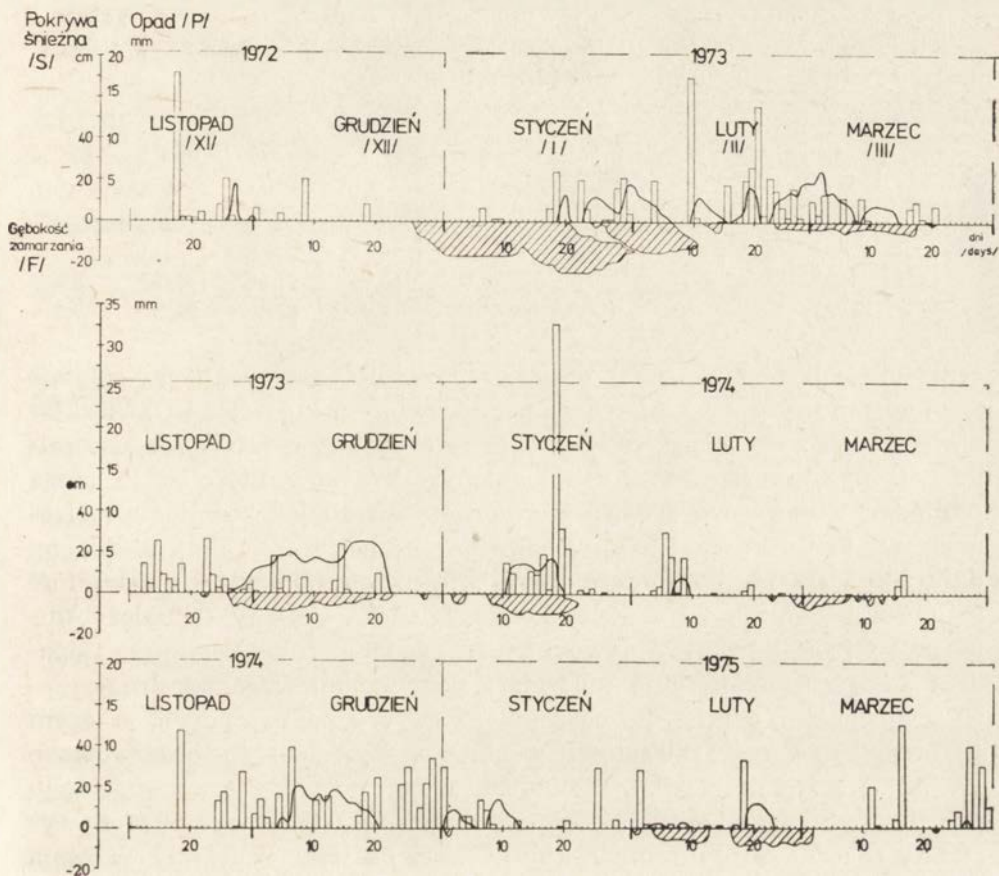
Powierzchniowy spływ wody oraz mineralizacja i skład jonowy wód na stoku „inoceramowym” S-2 w dniach 19–20. 01. 1974 r.

Data	Opad (mm)	Spływ wody (1)	Średnia mineralizacja	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
19	32,7	450	127,66	13,4	18,8	0,2	2,6	36,9	77,3	3,8
20	7,9	410	246,10	56,3	11,5	1,0	16,0	7,9	174,4	10,3

w warunkach wilgotnej gleby. Przykładem takim było ługowanie powierzchni stoku podczas ulewy w dniu 22. 05. 1974 r. (w warunkach dużej wilgotności gruntu przed ulewą). W ciągu 4 min. spadło 6,5 mm wody a w następnych 10 min. — 2,1 mm. W końcowej fazie spływu wody koncentracja soli była wysoka, pomimo krótkiego kontaktu wody z powierzchnią stoku (tab. 7), co świadczy o łatwym i szybkim ługowaniu powierzchni gleb na stoku w przypadku wcześniej wilgotnej gleby.

Jeszcze inny przebieg ługowania powierzchni stoku obserwowano





Ryc. 3. Opady, pokrywa śnieżna i głębokość zamrażania gruntu podczas zim:  
1972/1973, 1973/1974, 1974/1975

Precipitation (P), snow cover (S) and depth of the ground freezing (F) during  
the winters: 1972/1973, 1973/1974, 1974/1975

Tabela 7

Koncentracja i skład chemiczny soli w wodach powierzchniowych na stoku „inoceramowym”  
S-2 po opadach w dniu 22. 05. 1974 r.

Opad (mm)	Splyw wody (l/min)	Mineralizacja	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
						(mg/l)			
22,9	6,5	275,74	27,4	37,8	0,5	12,8	16,2	170,5	17,7

podczas kilkugodzinnych opadów w dniach 11—12. 04. 1975 r. (tab. 8).  
Opady (59,0 mm) deszczu w końcowej fazie przeszły w opady śniegu,  
które w wyniku ujemnych temperatur i utworzenia się pokrywy śnież-  
nej, zahamowały intensywne ługowanie powierzchniowe. Wysoka kon-

Koncentracja i skład chemiczny soli w wodach powierzchniowych na stoku S-2 w dniach 11-12.04. 1975 r.

Data	Opad (mm)	Spyływ wody (l)	Średnia mineralizacja	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
10	41,7	brak spływu						
11	17,3	12801,0	269,96	52,1	19,7	14,6	191,0	4,8
12	0,4	1248,0	154,92	44,3	4,9	68,0	72,2	7,7

centracja soli w pierwszym dniu, przy równoczesnym dużym spływie powierzchniowym, związana była z intensywnym ługowaniem związków nawozowych i organicznych. Szczególnie chodzi tu o łatwo rozpuszczalne i wymywalne bardzo ruchliwe aniony siarczanów, które m. in. mogą pochodzić z nawozów, z opadów atmosferycznych jak również z nagromadzenia materii organicznej w humusowych poziomach gleb. W drugim dniu spływu wody koncentracja soli była niższa, obniżyła się zawartość magnezu i siarczanów, a zwiększyła węglanów. Zmiany te należy tłumaczyć z jednej strony wpływem ujemnych temperatur powietrza i opadem śniegu (zahamowanie ługowania powierzchniowego), z drugiej — wydostawaniem się na powierzchnię wód śródpokrywowych, o czym świadczyłby wzrost zawartości węglanów. Zjawisko to obserwowano zawsze w dalszej fazie powierzchniowego spływu wody, po nasiąknięciu pokryw zwietrzelinowych. Z końcem okresu wegetacyjnego 1974 r. wystąpiły znaczne opady deszczu, które trwały od trzeciej dekady września do 3 listopada (suma opadów — 285,1 mm). Powierzchniowy transport soli w okresach intensywnych opadów, po zbiorze ziemniaków (1 i 3.10) oraz po wykonaniu nawożenia (16. 10) przedstawia tabela 9. Przed na-

Tabela 9

Koncentracja i skład chemiczny soli wód powierzchniowych na stoku S-2 po zbiorze okopowych przed i po nawożeniu w październiku 1974 r.

Data	Opad (mm)	Spyływ wody (l)	Średnia mineralizacja	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
1	21,2	553,0	146,80	38,7	10,1	5,8	19,6	116,8	40,6	7,4
3	19,6	1423,0	107,73	35,2	4,7	n.o.	n.o.	118,9	9,5	12,0
16	21,3	8451,0	296,06	40,1	34,6	n.o.	n.o.	39,3	202,0	10,9

wożeniem poletka doświadczalnego w wodach powierzchniowych obserwowano niższe koncentracje soli niż po nawożeniu, a w składzie jonowym wyraźną przewagę komponentów pochodzących z utworów zwietrzelinowych (węglany). Natomiast po nawożeniu poletka, w spływają-



ych wodach przeważały składniki pochodzące z nawozów (magnez, siarczany). Stwierdzono, że jeżeli w wodach powierzchniowych przeważały komponenty pochodzące z nawozów, wówczas mineralizacja tych wód była wyższa i wahała się w przedziale 201,91—367,44 mg/l. Natomiast gdy przeważały składniki pochodzące z ługowania utworów zwierzelinowych, mineralizacja wynosiła od 58,50 mg/l do 154,92 mg/l. Zmienność składu soli odprowadzanych przez wody powierzchniowe uzależniona była nie tylko od składników zawartych i zakumulowanych w glebie, lecz również od zawartości i składu soli w opadach (tab. 10).

Tabela 10

Średnia mineralizacja i skład jonowy wód opadowych na Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku (mg/l)

Rok	Mineralizacja ogólna	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dane nie publikowane wg autorów
1975	33,1	3,1	0,4	0,4	0,5	17,8	—	—	12,2	7,6	A. Welc
1976	32,5	4,5	0,7	0,8	1,1	11,4	—	—	19,8	4,9	A. Welc
1977	35,7	2,1	0,5	0,7	0,8	—	1,9	1,6	21,4	6,7	J. Pawlik-
1978	28,0	4,5	0,5	0,5	0,5	—	1,5	1,2	14,6	4,7	Dobrowolski

Przewaga siarczanów w opadach oraz kwaśny odczyn tych wód (pH 5,1) zwiększały ich agresywność.

Odmienne warunki pogodowe dwóch kolejnych lat wpłynęły na różnicowanie powierzchniowego ługowania soli ze stoków inoceramowych. Wskazują na to wyniki badań prowadzonych na stoku doświadczalnym S-2 (tab. 11). Duże opady, wilgotność gruntu i znacznie większy po-

Tabela 11

Wielkość spływu i odprowadzania soli przez wody powierzchniowe ze stoku „inoceramowego” S-2

Rok	Wielkość spływu wody (l)	Średnia mineralizacja (mg/l)	Ładunek odprowadzanych soli (kg/6a)	Wskaźnik odprowadzania soli (t/km <sup>2</sup> )
1974	115 950,0	230,83	26,76	44,60
1975	41 818,0	234,63	9,81	16,35

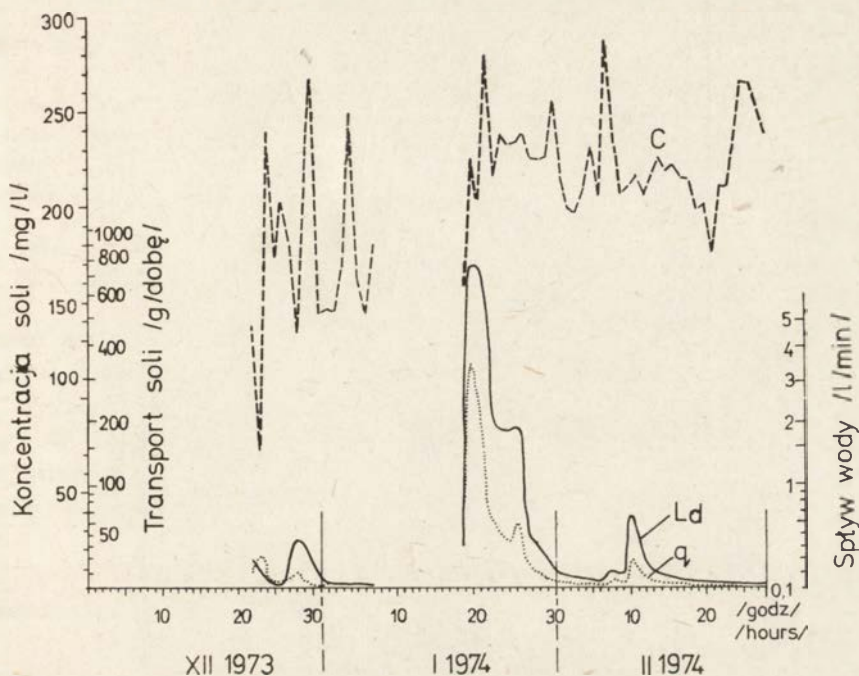
wierzchniowy spływ wody w 1974 r. wpłynęły na prawie 3-krotnie większy transport soli w stosunku do roku następnego. Wysoką koncentrację soli w wodach powierzchniowych, pomimo blisko 3-krotnie wyższego spływu wody w pierwszym z tych lat należy tłumaczyć odpowiednimi warunkami termicznymi i wilgotnościowymi gleby, sprzyjającymi roz-

wojowi mikroorganizmów, powodujących szybki rozkład materiału organicznego i mineralnego.

Z obserwacji prowadzonych na stoku wynika, że koncentracja soli w wodach powierzchniowych wahała się w granicach 58,5—367,4 mg/l i uzależniona była w dużym stopniu od wilgotności gruntu przed wystąpieniem spływu wody oraz od czasu nasycenia gleby wodą, tj. od czasu pomiędzy początkiem opadu bądź roztopów a rozpoczęciem się powierzchniowego spływu wody. Podczas silnej ulewy po okresie suszy powierzchniowy spływ wody organizuje się dość szybko, a spływające wody nie mają możliwości dłuższego oddziaływania na glebę i ługowania związków z jej wierzchnich poziomów. W związku z tym, w początkowej fazie powierzchniowego spływu wody koncentracja soli jest niska. Natomiast podczas długotrwałych opadów lub następujących po sobie ulewach gleba nasycy się wodą, przez co następuje dłuższy kontakt wody z glebą i tym samym zwiększa się stężenie i ładunek odprowadzanych soli. Zamarzanie gleby wpływa natomiast hamująco na ługowanie z niej związków. W takich przypadkach większość z nich pochodzi z ługowania soli dostarczanych na stok przez opady atmosferyczne i nawożenie.

**Ługowanie śródpokrywowe.** Część wód opadowych infiltruje w głąb pokryw stokowych a głębokość infiltracji oraz spływu wód w tych utworach uzależniona jest m. in. od intensywności i czasu trwania opadów bądź roztopów. Wody opadowe i roztopowe posiadają znaczne możliwości agresywnego oddziaływania, które słabną w miarę wydłużania się czasu kontaktu z utworami zwietrzelinowymi. W związku z tym wody te najintensywniej atakują i rozpuszczają wierzchnie warstwy utworów zwietrzelinowych. Na badanym obszarze odczyn wód opadowych wynosił średnio pH 5,1, wód śródpokrywowych do głębokości 1 m — pH 6,3, a głębszych (na kontakcie utworów koluwalnych z podłożem) — pH 7,4. Ługowanie soli z pokryw stokowych, wykształconych na utworach inceramowych, przedstawione zostanie na podstawie badań spływu wody z pokryw w warstwie do głębokości 1 m na stoku S-2 oraz spływu wody i transportu soli z głębszych utworów koluwalnych (źródło osuwiskowe Z-4).

W roku hydrologicznym 1974 ługowanie soli z pokryw do głębokości 1 m trwało łącznie 165 dni: zimą 58 dni, w okresie wiosenno-letnim 76 dni, a jesienią 31 dni. Intensywność spływu wód w zimie była mała (maksymalnie 3,4 l/min). Znaczne ługowanie soli w dniach 19—31.01, dochodzące do 791,0 mg/min, spowodowane było wyższymi niż w grudniu i na początku stycznia koncentracjami soli (203,26—279,76 mg/l) pomimo intensywniejszego spływu wody (ryc. 4). W tym krótkim czasie odprowadzone zostało z pokryw zwietrzelinowych prawie 88,5% ładunku soli całego okresu zimowego. W okresie wiosenno-letnim ługowanie spowodowane było występowaniem częstych i obfitych opadów deszczu.



Ryc. 4. Koncentracja i odprowadzanie soli z pokryw zwietrzelinowych (do głębokości 1 m) ze stoku S—2 zimą 1973/1974

C — koncentracja,  $L_d$  — ładunek soli, q — spływ wody

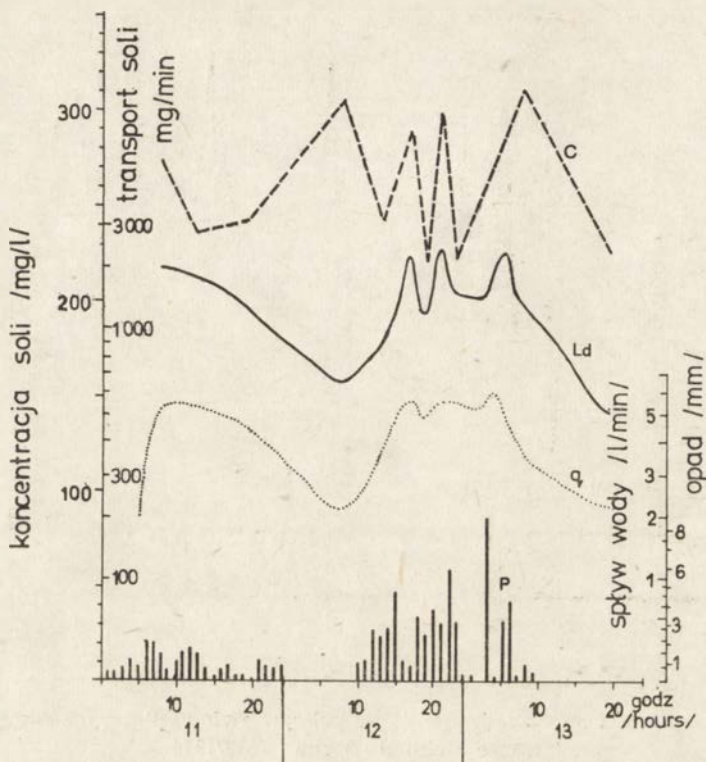
Concentration and carrying away of the salts from the weathering covers (to the depth of 1 m) from the slope S—2 in winter 1973/1974

C — concentration (mg/l),  $L_d$  — load of salts (g/24 h), q — outflow l/minute

Szczególnie intensywny proces ługowania notowano 22.05—26.06, z kulminacją w dniu 2.06 — 1602,65 mg/min przy spływie wody 5,0 l/min i stężeniu soli 300,53 mg/l oraz w dniu 12.06—1692,27 mg/min przy spływie 5,7 l/min i stężeniu soli 296,89 mg/l (ryc. 5). W lipcu, mimo długiego okresu występowania spływu, silniejsze ługowanie zaznaczyło się tylko w dniach 22—23.07. Maksymalny transport soli w tym czasie wynosił 540,62 mg/min i był 3-krotnie niższy niż w czerwcu.

Podobne natężenie ługowania soli (567,22 mg/min) notowano w dniu 12.08 po intensywnych opadach (68,3 mm). W okresie wiosenno-letnim odprowadzone zostało z pokryw ponad 5-krotnie więcej soli niż zimą. W wyniku opadów w trzeciej dekadzie września gleba była wilgotna, a wyjątkowo duże opady w październiku były przyczyną intensywnego ługowania pokryw zwietrzelinowych. Po opadach w dniu 3.10 spływ wody osiągnął nie notowaną wielkość — 10,73 l/min, podczas którego stężenie soli wynosiło 118,16 mg/l i transportowane było 1674,46 mg/min soli. Podobnie intensywny spływ (9,70 l/min) i transport soli (1137,03 mg/min) spowodowały opady w dniu 6.10 (26,2 mm). Wzmoczone ługo-





Ryc. 5. Koncentracja (C) i odprowadzanie soli ( $L_d$ ) z pokryw zwietrzelinowych (1 m) stoku S—2 na tle opadów (P) w dniach 11—13.06.1974 r.

Concentration (C) and carrying away of the salts ( $L_d$ ) from the weathering covers (1 m) of the slope S—2 versus to precipitation (P) on 11—13 June, 1974

wanie soli wystąpiło po opadach w dniach 13-16.10 (54,6 mm). Zaoranie i nawożenie gruntu w dniu 12.10 spowodowało, że pod koniec tych opadów zaznaczył się 2-krotny wzrost koncentracji soli (292,48 mg/l). Przy 4-krotnie niższym spływie wody niż na początku miesiąca transportowane było 737,05 mg/min soli, tj. tylko o 40% mniej. Natomiast pod koniec miesiąca przy spływie 10-krotnie niższym ługowanie było tylko 4-krotnie niższe, na co wpłynął dalszy wzrost stężenia soli (394,45 mg/l). Nawożenie miało więc niewątpliwy wpływ na wzrost odprowadzania soli z pokryw zwietrzelinowych (szczególnie Mg i  $SO_4$  — ryc. 35).

Opady deszczu na początku listopada (37,7 mm) oraz zapas wody w gruncie z poprzedniego miesiąca spowodowały dalsze ługowanie pokryw zwietrzelinowych na początku następnego roku hydrologicznego (1975). Już w pierwszej dekadzie listopada zostało odprowadzone ponad 80% całego miesięcznego ładunku soli. W miesiącu tym koncentracje soli średnio były o 74,0 mg/l wyższe niż w październiku (tab. 12) co spowodowało, że pomimo prawie 4-krotnie niższego spływu wody odprowa-

Tabela 12

Mineralizacja wód w pokrywach zwietrzelinowych (do głębokości 1 m) na stoku zbudowanym z warstw inoceramowych (mg/l)

Rok hydrologiczny	Średnia roczna	Średnia miesięczna											
		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1974	243,34	—	176,4	207,3	219,1	—	—	345,4	313,1	247,4	214,0	—	213,8
1975	264,61	287,9	316,1	364,7	—	—	276,4	242,3	187,6	215,0	184,2	—	307,3

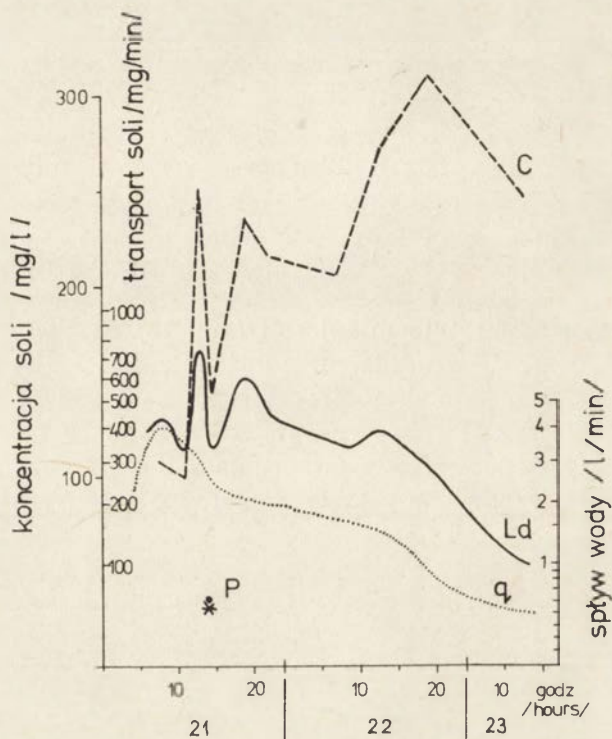
dzone zostało tylko 2-krotnie mniej soli (tab. 13). Większe opady deszczu w trzeciej dekadzie grudnia, przedłużone przez niewielkie roztopy w styczniu, wywołały silniejszy proces ługowania soli w tym okresie (ryc. 6). Topnienie nikłej pokrywy śnieżnej oraz słabe opady w lutym i w marcu nie spowodowały odprowadzania soli z pokryw zwietrzelinowych. Ługowanie wznowione zostało dopiero po intensywnych i wyso-

Tabela 13

Miesięczne sumy spływu wody (l) i transportu soli (g) z pokryw zwietrzelinowych stoku „inoceramowego” S-2

Miesiące	Rok hydrologiczny 1974		Rok hydrologiczny 1975	
	spływ wody	transport soli	spływ wody	transport soli
XI	—	—	14013,4	4610,65
XII	865,9	146,13	14414,9	3942,09
I	13135,3	2983,14	7603,8	2164,59
II	942,4	201,62	—	—
III	—	—	—	—
IV	—	—	12807,7	4541,37
V	3906,8	1603,29	3677,1	686,79
VI	40948,6	10543,67	24032,6	4070,28
VII	10914,4	2728,43	10003,0	2377,72
VIII	5307,4	1213,92	2392,3	425,95
IX	—	—	—	—
X	52363,3	8840,36	4156,3	1298,09
Sumy roczne	128 381,1	28 260,56	93 101,1	24 117,53
Wskaźniki jednostkowe	77 880 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	17,13 t/km <sup>2</sup>	63 510 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	14,64 t/km <sup>2</sup>

kich opadach deszczu ze śniegiem (59,0 mm) w dniach 10/11.04 (ryc. 7). Podczas kulminacji spływu wody w pokrywach (6,52 l/min) transport soli wyniósł 1675,44 mg/min, natomiast po kulminacji spływu (6,0 l/min) wzrósł on do 1829,58 mg/min. Dalsze niewielkie opady w tym miesiącu oraz opady (32,8 mm) w dniach 1 i 2.05 sprawiły, że transport soli utrzymywał się do połowy maja. Opady w ostatnich dwóch dniach maja (39,0 mm) ponownie uruchomiły ten proces, a dalsze opady w czerwcu

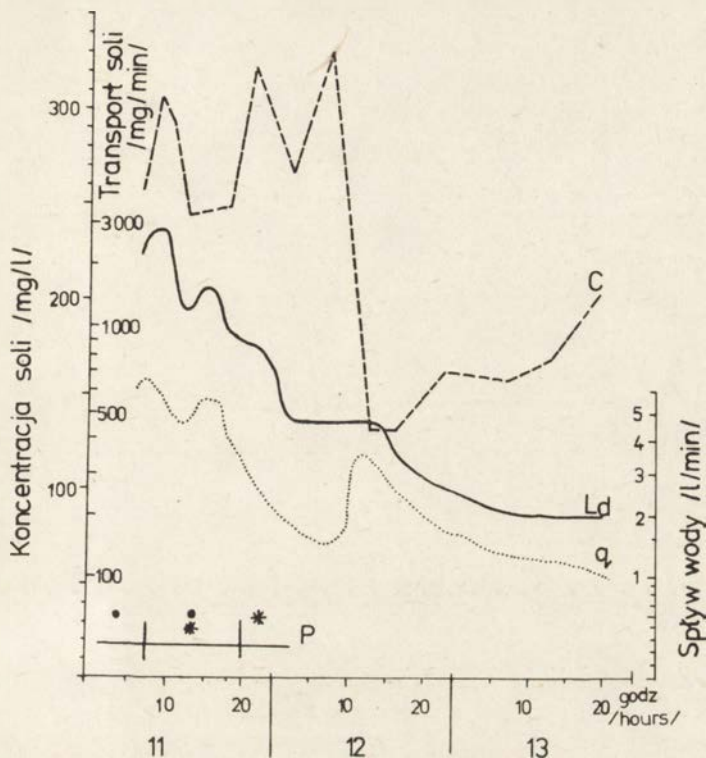


Ryc. 6. Koncentracja (C) i odprowadzanie soli ( $L_d$ ) z pokryw zwietrzelinowych (1 m) stoku S—2 w dniach 21—23.12.1974 r., po opadach deszczu i deszczu ze śniegiem oraz rozmarznięciu gleby

Concentration (C) and carrying away of salts ( $L_d$ ) from the weathering covers (1 m) of the slope S—2 on 21—23 December 1974 after rainfall, sleet and soil thawing

powodowały wynoszenie soli z pokryw stokowych jeszcze w początkowym okresie lipca. Ilość wód, jaka spłynęła w tym czasie, wydaje się być zawyżona w wyniku przedostawania się w dolnej części stoku do wód śródpokrywowych również wód powierzchniowych (korytarzami gryzoni). Skumulowanie znacznych ilości opadów (105,3 mm) w dniach 30.05—8.06 spowodowało, że w pierwszej dekadzie czerwca zostało odprowadzone ponad 90% miesięcznej sumy ładunku soli. O różnym wpływie wielkości opadów na rozmiary ługowania soli z pokryw można było się przekonać podczas niektórych opadów w tym miesiącu. Intensywne deszcze (33,4 mm) w dniu 20.06, poprzedzone niewielkimi opadami w dniach poprzednich (12,6 mm), spowodowały odprowadzenie ze stoku 375,51 g soli, tj. 2065, 3 g/ha, podczas gdy w dniu 28.06, przy opadach 20,9 mm, również poprzedzonych podobnymi opadami (12,6 mm), odprowadzone zostało ze stoku tylko 67, 20 g, dając wskaźnik 369,6 g/ha. Ponowny transport soli rozpoczął się dość gwałtownie w dniu 25.07 (ryc. 8). Podczas kulminacji spływu (5,04 l/min) transportowane było 1135,21



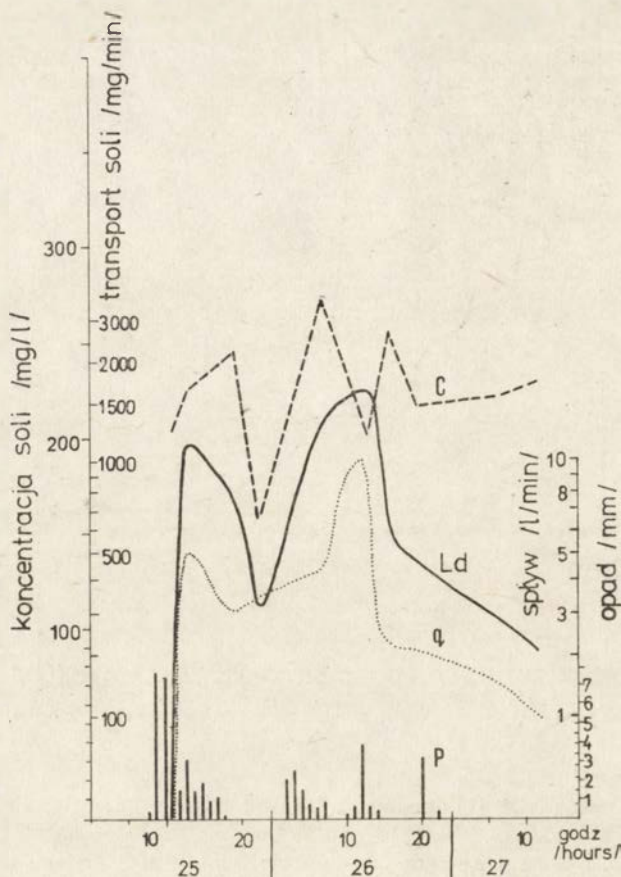


Ryc. 7. Koncentracja (C) i odprowadzanie soli ( $L_d$ ) z pokryw zwietrzelinowych (1 m) stoku S—2 w dniach 11—13.04.1975 r. podczas splywu wody (q) spowodowanego opadami deszczu przechodzącymi w opady śniegu (P)

Concentration (C) and carrying away of the salts ( $L_d$ ) from the weathering covers (1 m) of the slope S—2 on 11—13 April, 1975 during the outflow (q) caused by rainfall changing into snowfall (P)

mg/min soli. Maksymalny transport soli — 1641,63 mg/min wystąpił w drugim dniu przy splywie 8,11 l/min. Krótkotrwałe, częste ulewy zasilały w dalszym ciągu śródpokrywowy splyw wody na stoku i powodowały słabe odprowadzanie soli w sierpniu, a silna ulewa w dniu 7.08 (29,6 mm) była na krótko impulsem do intensywnego ługowania soli, zakończonego całkowicie 13.08. Silnie proces ten wystąpił jeszcze po opadach w dniach 14—21.10. Rozpoczynający się dnia 18.10 transport soli w pokrywach osiągnął maksimum (2472,58 mg/min) 21.10 (ryc. 9), by po pięciu dniach wynosić już tylko 9,21 mg/min, a po następnych trzech zakończyć się całkowicie. Krótkie, intensywne ługowanie mogło wystąpić dzięki utrzymywaniu się znacznej wilgotności gruntu przed wymienionym okresem opadów.

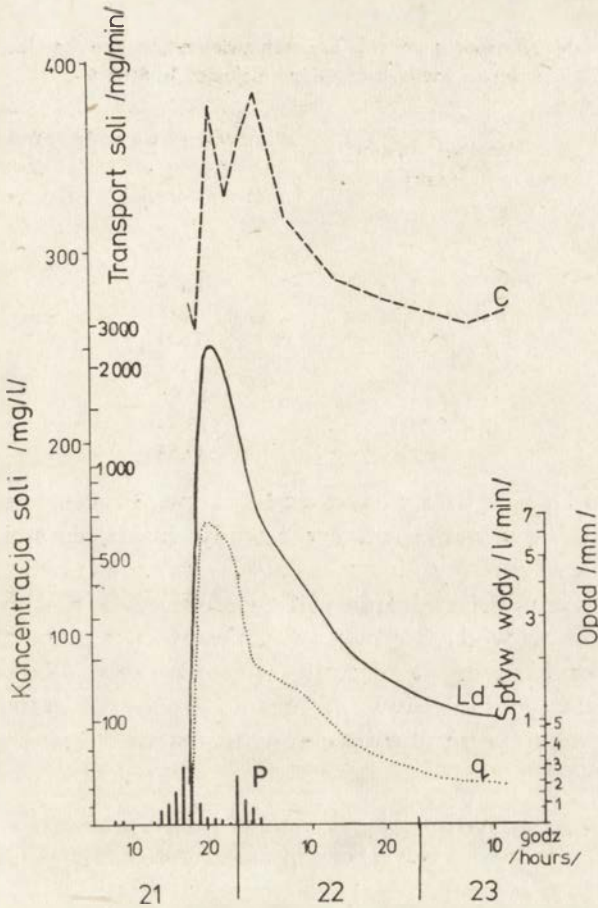
Powyższe przykłady pozwalają stwierdzić, że z pokryw zwietrzelinowych (do głębokości 1 m) największy ładunek soli odprowadzany jest



Ryc. 8. Koncentracja (C) i odprowadzanie soli ( $L_d$ ) z pokryw zwietrzelinowych (1 m) stoku S—2 w dniach 25—27.07.1975 r. podczas spływu wody (q) wywołanego częstymi ulewami

Concentration (C) and carrying away of the salts ( $L_d$ ) from the weathering covers (1 m) of the slope S—2 on 25—27 July, 1975 during outflow (q) caused by frequent downpours

w krótkim okresie trwania najbardziej intensywnego spływu wody. Stanowi on około 10% czasu trwania spływu wody i transportu soli w pokrywach w ciągu roku. Zmienność ługowania generalnie nawiązuje do zmian objętości spływu wody. Jednak jest ona również zależna od zmieniających się warunków pogodowych w czasie trwania spływu (ryc. 6—9). Warunki pogodowe mają wpływ szczególnie na zmianę stężenia soli, jak również na zmianę składu jonowego. Szerzej problem ten omówiono w odrębnej publikacji (Welc — w druku). Porównując wielkość ługowania soli z wielkością opadów inicjujących ten proces (tab. 14) stwierdzono, że najwyższe wskaźniki przyrostu odprowadzania soli w stosunku do jednostki opadu notowano podczas wysokich opadów.



Ryc. 9. Koncentracja (C) i odprowadzanie soli ( $L_d$ ) z pokryw zwietrzelinowych (1 m) stoku S—2 w dniach 21—23.10.1975 r. podczas spływu wody (q) wywołanego intensywnymi krótkimi opadami (P)

Concentration (C) and carrying away of the salts ( $L_d$ ) from the weathering covers (1 m) of the slope S—2 on 21—23 October, 1975 during the outflow (q) caused by intensive short-lasting precipitation (P)

Spływ wody w pokrywach zwietrzelinowych i związany z nim transport soli odbywa się dopiero przy większych opadach deszczu. Podczas dłuższych przerw bezopadowych proces ten zaczyna się zazwyczaj przy opadach powyżej 25,0 mm, natomiast w okresach większego zawilgocenia gruntu, spowodowanego wcześniejszymi, niewielkimi opadami, spływ wody i transport soli rozpoczynał się już przy opadach 13—15 mm. Należy przypuszczać, że podczas opadów nie wywołujących spływu wody w pokrywach, lub wywołujących bardzo mały spływ, następuje ługowanie soli z wierzchnich warstw gleby i przemieszczanie ich w poziom iluwialny. Sole te są ługowane podczas kolejnego śródpokrywowego spływu wody.



Wskaźniki spływu wody i transportu soli w pokrywach zwietrzelinowych (na głębokości 1 m) w stosunku do wielkości opadów inicjujących. Stok S-2

Okres ługowania	Wielkość opadu (mm)	Wskaźnik spływu wody z pokryw (l/mm opadu)	Wskaźnik odprowadzania soli z pokryw (g/mm opadu)
1974			
22-29.05	38,1	102,54	42,08
1-23.06	209,4	195,55	50,35
12-17.08	68,3	77,71	17,77
1975			
10-21.04	83,1	211,83	54,29
25-27.07	57,9	128,84	29,72
7-10.08	29,6	80,53	14,33

Ługowanie głębszych poziomów. Proces ten prześlędzono na podstawie odprowadzania soli przez wody drenujące stok osuwiskowy (źródło Z-4), występujący w sąsiedztwie stoku doświadczalnego S-2 oraz na podstawie odprowadzania soli ze źródła Z-3. Stwierdzono wzrost koncentracji soli w wodach utworów stokowych z głębokością ich występowania. Przykładem są średnie stężenia soli wód spływających w różnych poziomach utworów inoceramowych przedstawione w tabeli 15. Wraz z głębokością wydłuża się również okres spływu wód w pokry-

Tabela 15

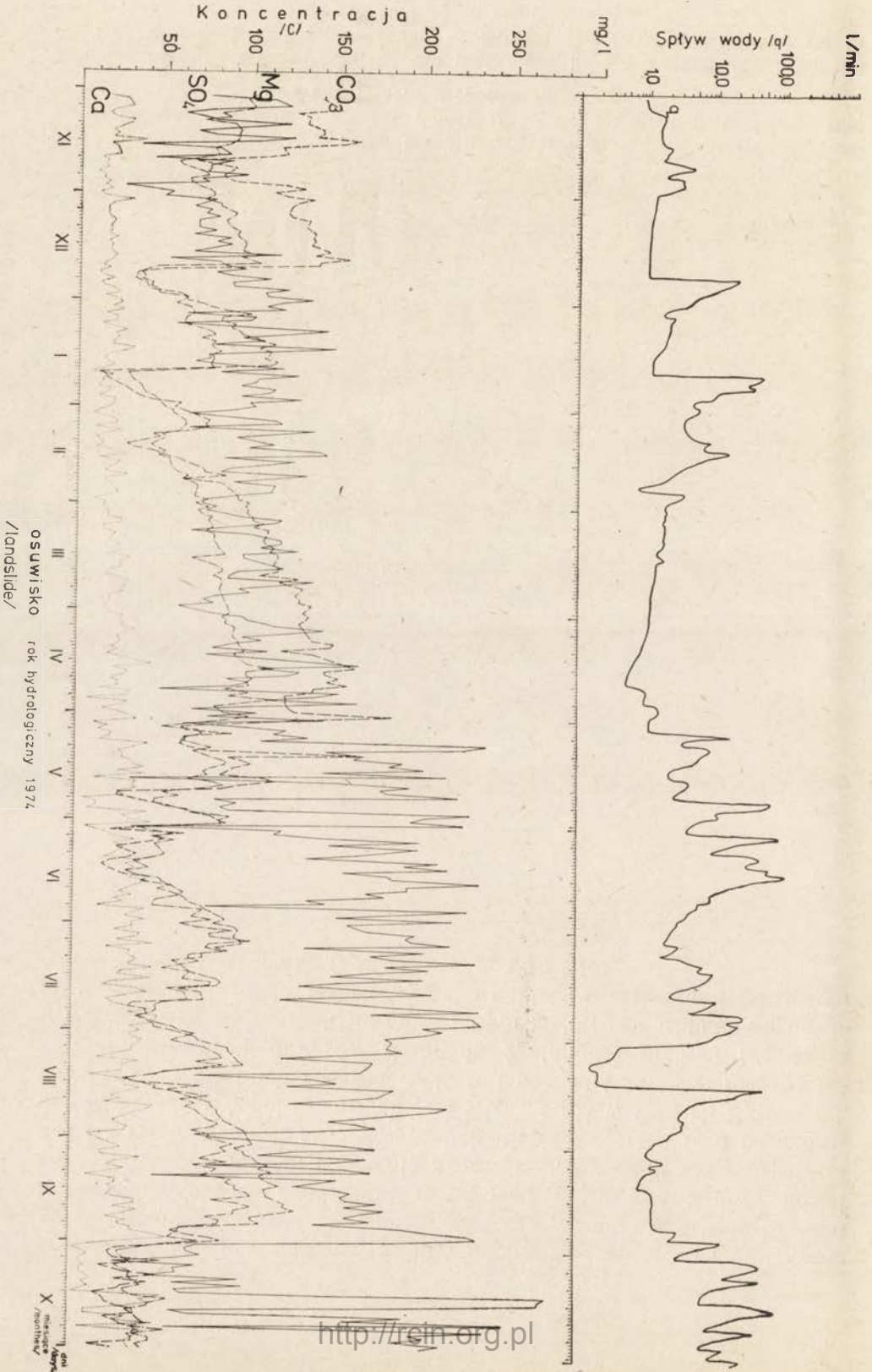
Średnie koncentracje soli wód spływających w różnych poziomach utworów wykształconych z warstw inoceramowych. Stok pogórski (mg/l)

Rok hydrologiczny	Wody w pokrywach zwietrzelinowych do głębokości 1 m	Wody w spągowych warstwach utworów zwietrzelinowych (źródło Z-4)	Wody z utworów skalnych (źródło Z-3)
1974	243,34	305,35	320,17

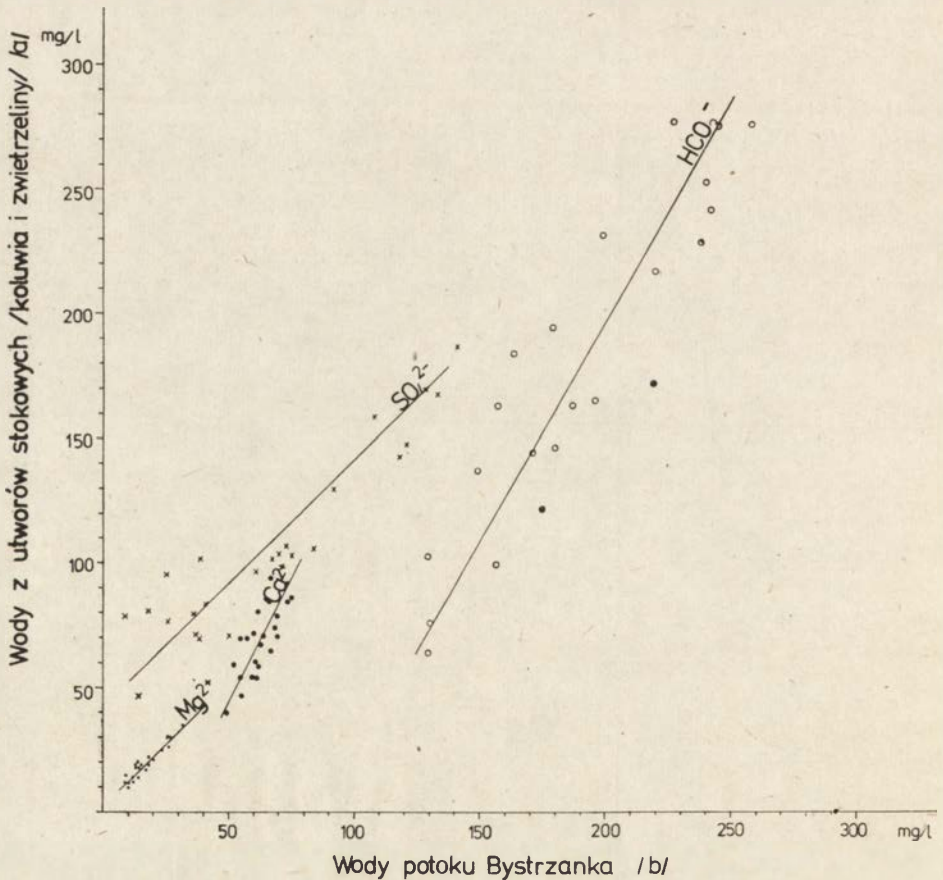
wach stokowych, a tym samym także okres transportu soli. Przykładem może być ciągle spływ wody w głębszych poziomach utworów koluwalnych osuwiska z tym, że podczas suszy źródło Z-4 niewątpliwie było zasilane wodami ze skał podłoża. Świadczył o tym m. in. wyraźnie zmieniający się skład chemiczny tych wód w okresach wilgotnych i suchych lat 1973 i 1974 (ryc. 10). W okresach bezopadowych w składzie odpro-

Ryc. 10. Przebieg koncentracji głównych składników soli w głębszych wodach śródpokrywowych warstw inoceramowych (źródło Z-4) na tle spływu wody w roku hydrologicznym 1974

Concentration (C) of the main components of the salts in the deeper interflowing water of the Inoceramus layers (spring Z-4) versus outflow (q) in the hydrological year 1974



wadzanych soli przeważały węglany, pochodzące z ługowania utworów zwietrzelinowo-skalnych, natomiast podczas wzmożonego spływu wód z osuwiska (okresy opadowe i roztopowe) obserwowano duży udział siarczanów, pochodzących głównie z nawozów, rozkładu masy organicznej i z zanieczyszczeń atmosferycznych. Stężenie jonów tego pochodzenia w wodach śródpokrywowych jest większe niż w wodach Bystrzanki, gdyż w tych ostatnich znaczna część soli pochodzi z równoczesnego ługowania głębszych utworów skalnych. Zmienność procesu ługowania utworów zwietrzelinowych na omawianym stoku, uzależniona warunkami pogodowymi, miała jednak wyraźne odbicie w zmienności transportu soli w potoku Bystrzanka (ryc. 11, por. ryc. 10 i 18).



Ryc. 11. Związek pomiędzy stężeniem jonów głównych w wodach śródpokrywowych na stoku S—2 a stężeniem jonów w wodach Bystrzanki w latach 1974 i 1975. Wartości średnie miesięczne

Relation between concentration of the main ions in the interflowing water (a) on the slope S—2 and concentration of ions in the Bystrzanka stream (b) in 1974 and 1975. Mean monthly values.



## ŁUGOWANIE NA STOKACH WYMODELOWANYCH W PIASKOWCACH MAGURSKICH

Badania ługowania chemicznego utworów magurskich i wykształconych na nich pokryw zwietrzelinowych prowadzono w najwyższym położonym obszarze zlewni Bystrzanki, porośniętym lasem. Obszar ten, ze względu na występowanie zarówno silnie szkieletowych pokryw zwietrzelinowych, jak również porowatych piaskowców magurskich posiada dobre warunki infiltracji wód opadowych i roztopowych. W związku z tym charakteryzował się on 15—17-krotnie mniejszym sływem powierzchniowym wody i mniejszym niż w obszarze inoceramowym sływem śródpokrywowym (tab. 20). Wody powierzchniowe i śródpokrywowe tego obszaru posiadały niższą koncentrację soli (średnio o ok. 70 mg/l) w porównaniu z wodami obszaru zbudowanego z warstw inoceramowych. Wynika to z mniejszej zawartości łatwo rozpuszczalnych minerałów, co bezpośrednio zostało stwierdzone przez B. Adamczyka i J. Tokaja (1957) a pośrednio przez M. Bombównę (1969), K. Pasternaka (1968) i S. Maultz (1972). W składzie jonowym wszystkich rodzajów wód obszaru warstw magurskich obserwuje się niższe stężenie wapnia, sodu, wodorowęglanów i siarczanów (tabele 16, 17, 29, 32, 34).

Tabela 16

Średnie roczne koncentracje soli i zawartość głównych jonów w wodach powierzchniowych na stoku inoceramowym i stoku magurskim (mg/l)

Okresy badań	Mineralizacja	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Stok inoceramowy (S-2)								
1974	230,83	35,2	19,6	1,9	12,7	56,0	117,7	10,3
1975	234,63	34,6	17,7	—	—	27,6	125,0	5,5
Stok magurski (S-1)								
1974	160,40	20,1	18,3	1,3	6,2	26,1	99,9	8,4
1975	167,65	21,8	22,5	3,0	4,3	14,2	120,7	6,3

Tabela 17

Średnie roczne koncentracje soli i zawartość głównych jonów w wodach śródpokrywowych na stoku inoceramowym i stoku magurskim (mg/l)

Okresy badań	Mineralizacja	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Stok inoceramowy (S-2)								
1974	243,29	45,3	16,5	0,6	9,3	46,2	138,1	12,0
1975	264,61	45,1	27,2	1,6	12,4	53,4	163,3	9,7
Stok magurski (S-1)								
1974	169,92	23,6	18,2	2,2	3,6	25,4	108,5	11,9
1975	186,78	27,2	21,0	1,3	7,2	33,2	122,2	7,2

Koncentracje soli w wodach powierzchniowych i śródpokrywowych wykazują dużą zmienność, zazwyczaj odwrotnie proporcjonalną do wielkości spływu wody. Dobre warunki infiltracyjne sprawiają, że większość wód z tego obszaru odprowadzana jest w głębszych poziomach zwietrzelinowo-skalnych. Za szybką i głęboką infiltracją wód opadowych w pokrywy zwietrzelinowe obszaru magurskiego przemawia m. in. fakt dużego udziału siarczanów w wodach odpływających z podłoża. Świadczy to o łatwiejszym niż w obszarze inoceramowym wmywaniu soli pochodzenia niedenudacyjnego w utwory skalne (tab. 18). Problem infiltracji

Tabela 18

Wydajność źródła Z-1 (1) w piaskowcach magurskich oraz stężenia soli i zawartość głównych jonów w wodzie (mg/l)

Rok hydrologiczny	Średnia wydajność źródła	Średnie stężenie soli	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
1973	—	202,19	59,1	9,9	0,9	5,0	163,7	53,9	3,1
1974	0,63	259,41	56,5	20,7	1,1	5,6	144,9	103,3	11,6
1975	0,30	326,90	66,4	31,0	1,8	8,9	176,9	142,5	8,4

szczególono rozpatrywał w swych badaniach J. Słupik (1973, 1981). Koncentracje soli w wodach odprowadzanych z utworów skalnych (źródło Z-1) były wyższe średnio o około 100—150 mg/l od koncentracji soli wód powierzchniowych i śródpokrywowych, wahając się w przedziale 136,33—449,84 mg/l, a w kolejnych latach badań wzrastały średnio o około 60—70 mg/l. Jest to o tyle ciekawe, że wyższe koncentracje soli notowano w 1974 r., charakteryzującym się wysokimi opadami oraz w 1975 r. również z wyższymi opadami, długimi i dużymi roztopami w tej części zlewni i znaczną retencją wód. Prawie 6-krotny wzrost zawartości węglanów i ponad 2-krotny wzrost wapnia w wodach odpływających z podłoża skalnego, w porównaniu do zawartości tych soli w wodach spływających w pokrywach zwietrzelinowych, świadczy o częściowym wylugowaniu niektórych minerałów z pokryw stokowych. Potwierdzają to badania gleboznawców, prowadzone w sąsiednich rejonach Karpat (Adamczyk, Tokaj 1957).

ZRÓŻNICOWANIE ODPROWADZANIA SOLI Z POKRYW ZWIETRZELINOWYCH  
STOKÓW WYMODELOWANYCH W WARSTWACH INOCERAMOWYCH  
I W WARSTWACH MAGURSKICH

Omówione już różnice litologiczne obszarów zbudowanych z piaskowców magurskich oraz z warstw inoceramowych, a także większa zasobność w rozpuszczalne minerały tych ostatnich (Lazar 1952, Skoczyła-Ciszewska, Kamieński 1959) zdecydowały o specyficznym dla każdego z tych obszarów krążeniu wody oraz rozpuszczaniu i odprowadzaniu

soli, niezależnie od odmiennych nieco warunków pogodowych. Z uwagi na wyższe położenie obszaru zbudowanego z utworów magurskich, ilość opadów jest tutaj większa (gradient opadowy). Odmienne warunki krążenia wody, jak również wielkości odprowadzania soli ze stoków tych obszarów dobrze odzwierciedlają początkowy okres dłuższych jesiennych opadów, występujących równocześnie i równomiernie w całej zlewni Bys-trzanki (tab. 19). Stwierdzono, że w tym czasie na stoku zbudowanym

Tabela 19

Opady, spływ wody, stężenie i wielkość ługowania soli na stoku inoceramowym i stoku magurskim w dniu 3.10.1974, godz. 10

Stoki i poziomy spływu wody	Opady w dniach 29. 09–3.10 (mm)	Spływ wody (l/min)	Stężenie soli (mg/l)	Transport soli (mg/min)	Wskaźnik transportu soli (g/s · km <sup>2</sup> )
Stok magurski:	57,4				
spływ powierzchniowy		0,60	28,10	16,9	0,5
spływ śródpokrywowy		0,60	92,00	66,0	1,2
Stok inoceramowy:	57,3				
spływ powierzchniowy		1,20	107,70	132,0	3,7
spływ śródpokrywowy		10,80	118,20	1266,0	12,8

z piaskowców magurskich powierzchniowy spływ wody był 2-krotnie, a śródpokrywowy 18-krotnie niższy niż na stoku zbudowanym z warstw inoceramowych. Natomiast rozmiary ługowania powierzchniowego były ponad 7-krotnie niższe, a ługowanie pokryw zwietrzelinowych (do głębokości 1 m) ponad 10-krotnie niższe.

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że powierzchniowy spływ wody na stoku magurskim był 11—17 razy mniejszy, a śródpokrywowy 1,2—2,5 razy mniejszy niż na stoku inoceramowym (tab. 20). Ługowanie powierzchniowe na stoku magurskim było 16—25 razy mniejsze, natomiast ługowanie pokryw zwietrzelinowych do głębokości 1 m było 1,5—3,7 razy mniejsze niż na stoku inoceramowym. Mały powierzchniowy i śródpokrywowy spływ wody na stoku magurskim wskazuje na głębszą infiltrację niż w obszarze inoceramowym. Powoduje to głębsze ługowanie na stoku magurskim, a płytsze, intensywniejsze na stoku inoceramowym. Wysokie wartości wskaźników odprowadzania soli z powierzchni i z pokryw zwietrzelinowych na stoku inoceramowym są wynikiem nie tylko dużego spływu wody w tych poziomach, lecz również wysokich koncentracji soli w wodach. Należy zaznaczyć, że część wód (a tym samym również soli) przechwytywana przez urządzenia rejestrujące powierzchniowy spływ wody pochodziła ze spływu śródpokrywowego, wydostając się korytarzami gryzoni na powierzchnię w różnych częściach stoku. I odwrotnie, część wód powierzchniowych przedostawała



Wskaźniki spływu wody i odprowadzania rozpuszczonych soli ze stoków doświadczalnych przez powierzchniowy i śródpokrywowy spływ wody

Rok hydrologiczny i rodzaj spływu	Stok górski (piaskowce magurskie)		Stok pogórski (warstwy inoceramowe)	
	wskaźnik spływu wody	wskaźnik transportu soli	wskaźnik spływu wody	wskaźnik transportu soli
	(tys. m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	(t/km <sup>2</sup> )	(tys. m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	(t/km <sup>2</sup> )
1974:				
Z powierzchni	11,24	1,80	193,25	44,60
Z pokryw zwietrzelinowych	67,33	11,44	77,88	17,13
1975:				
Z powierzchni	6,17	1,03	69,70	16,35
Z pokryw zwietrzelinowych	25,22	3,95	63,51	14,64

się taką samą drogą pod powierzchnię stoku, kontynuując dalszą drogę jako wody śródpokrywowe. W związku z tym w tabeli 21 przedstawiono łącznie odprowadzanie soli z tych dwóch poziomów, obrazując jego udział w całkowitym odprowadzaniu soli z każdego obszaru. Pozwala to pośrednio wnioskować o rozmiarach odprowadzania soli z głębszych poziomów.

Tabela 21

Wskaźniki oraz udział powierzchniowego i śródpokrywowego odprowadzania soli (do głębokości 1 m) w całkowitym odprowadzaniu soli z obszarów magurskiego i inoceramowego

Rok hydrologiczny	Obszar warstw magurskich		Obszar warstw inoceramowych	
	powierzchniowe + śródpokrywowe odprowadzanie soli	udział w całkowitym odprowadzaniu soli	powierzchniowe + śródpokrywowe odprowadzanie soli	udział w całkowitym odprowadzaniu soli
	(t·km <sup>2</sup> )	(%)	(t·km <sup>2</sup> )	(%)
1974	13,24	14,0	60,95	52,1
1975	4,98	4,2	31,77	27,9

Wysokie odprowadzanie soli przez wody powierzchniowe i płytkie wody śródpokrywowe na uprawianych stokach pogórskich obszaru inoceramowego wywołane było w dużym stopniu nawożeniem pól. Potwierdzeniem ługowania nawozów może być znaczna zawartość składników pochodzenia niedenudacyjnego w solach odprowadzanych przez te wody. W obszarze inoceramowym udział ładunku soli odprowadzanych przez wody powierzchniowe i śródpokrywowe w całkowitym ładunku odprowadzanych soli z tego obszaru był znaczny. W latach o wyjątkowo du-

zych opadach stanowić on może ponad połowę ogólnego ładunku soli (tab. 21). Natomiast w obszarze magurskim udział soli odprowadzanych z tych poziomów wynosił kilka do kilkunastu procent. Dobra przepuszczalność utworów tego obszaru sprzyjała większemu odprowadzaniu soli z głębszych poziomów utworów zwietrzelinowo-skalnych. Przewaga odpływu wód z tych poziomów oraz wysokie koncentracje soli powodują, że intensywne ługowanie warstw magurskich odbywa się w głębszych poziomach niż w obszarze warstw inoceramowych.

#### DYNAMIKA ODPROWADZANIA SOLI ZE ZLEWNI BYSTRZANKI

Proces denudacji chemicznej podlegał w badanym okresie ciągłym, często gwałtownym zmianom. Intensywność tego procesu nawiązywała do aktualnych warunków pogodowych. W rocznym cyklu hydrologicznym obserwowano okresy intensywnej, umiarkowanej i słabej denudacji chemicznej. Zmiany przebiegu intensywności procesu denudacji chemicznej śledzono między innymi na podstawie odprowadzania soli ze zlewni przez główny potok — Bystrzanę. W transporcie soli wyróżniono trzy rodzaje jego intensywności:

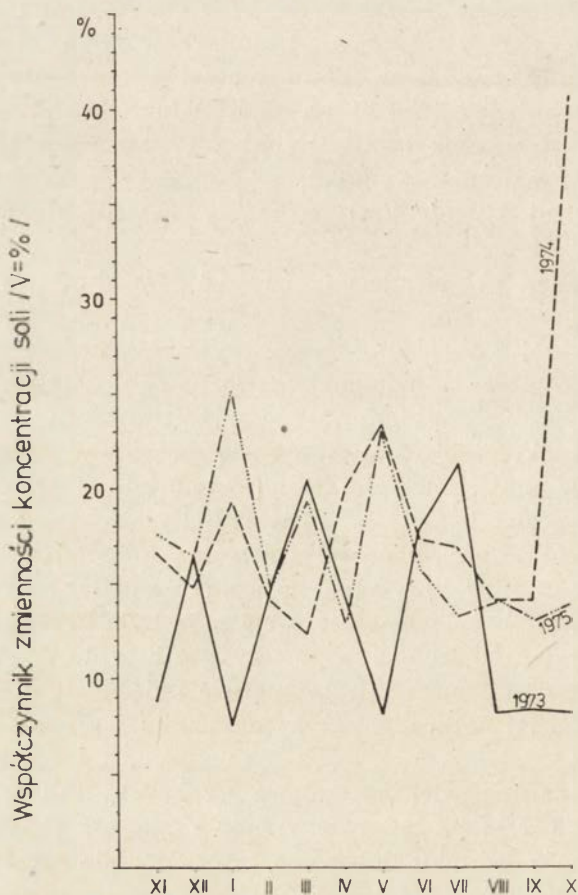
1) małą, poniżej  $1,1 \text{ g/s km}^2$  przy spływie jednostkowym poniżej  $7,3 \text{ l/s km}^2$ ,

2) umiarkowaną, w granicach  $1,1\text{—}4,4 \text{ g/s km}^2$  przy spływie  $7,3\text{—}22,0 \text{ l/s km}^2$ ,

3) dużą, powyżej  $4,4 \text{ g/s km}^2$  przy spływach powyżej  $22,0 \text{ l/s km}^2$ . Jako kryterium określenia małego transportu soli przyjęto górną granicę stabilizowania się niskich, słabo zróżnicowanych jego wartości w początkowych okresach formowania się przepływów niżówkowych. Granicę pomiędzy umiarkowanym transportem soli a transportem dużym ustalono na poziomie przeciętnej wartości maksymalnych ładunków soli w małych wezbraniach, o przepływach na ogół nie przekraczających  $0,3 \text{ m}^2/\text{s}$ , a także analizy krzywych transportu soli większych wezbrań. W tych ostatnich wezbraniach wartość  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$  była krytyczną, powyżej której przepływy i ładunki soli wzrastały gwałtownie. W wyznaczaniu wartości granicznych pomocną była metoda ścieg fali wezbraniowych. Granice te są bardziej naturalne niż w przypadku posługiwania się wartościami średnimi.

W okresie badań największe zmiany transportu soli w Bystrzance notowano w 1973 r. (ryc. 13—15). Wahały się one od  $2,55 \text{ g/s}$  do  $3844,6 \text{ g/s}$ . Wielkość ładunku dobowego soli zmieniała się od  $0,215 \text{ t}$  do  $81,12 \text{ t}$ . Największą zmienność transportu dobowego notowano w czerwcu, dla którego współczynnik zmienności  $V = 263\%$ , przy odchyleniu standardowym  $13,9$ . Natomiast ładunki dobowe w październiku charakteryzowały się małą zmiennością:  $V = 22,7\%$ , odchylenie standardowe  $= 0,99$ . Krótkie okresy wezbrań rzutują na wielkość odprowadzania

soli w poszczególnych miesiącach czy w dłuższym czasie. Na przykład w jednym dniu, 30.06.1973 r. odprowadzone zostało 81,1 t soli, tj. 52% ładunku miesięcznego, a w dniach 12—16.08.1974 r. — 79,7 t, tj. około 83% ładunku miesięcznego. W okresach wezbraniowych występuje duża zmienność koncentracji soli, co potwierdzają wysokie współczynniki zmienności  $V = 25,2\%$ , podczas gdy w okresach niżówkowych współczynnik ten wynosił tylko  $V = 7,5\%$  (ryc. 12). Zmienność koncentracji i ładunku soli podczas wezbrań uzależniona była od zmieniających się warunków pogodowych, wpływających na odprowadzanie soli ze stoków zlewni (ryc. 3—10). Na zmienność transportu soli zimą wywierało wpływ zamarzanie i odmarzanie gruntu, grubość pokrywy śnieżnej i szybkość jej zanikania, jak również częste opady w postaci deszczu (napływ ciep-

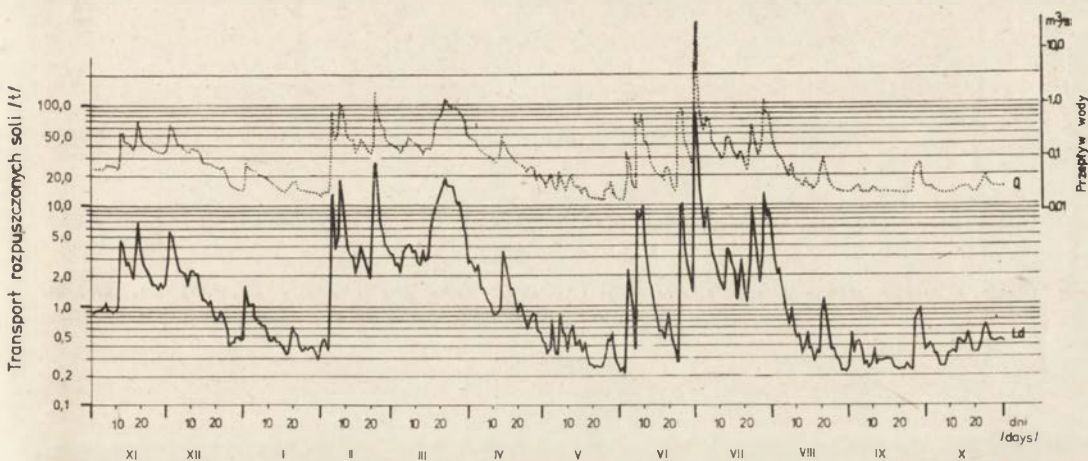


Ryc. 12. Zmienność koncentracji soli w wodach Bystrzanki w latach 1973—1975, wyrażona za pomocą współczynnika zmienności  $V\%$

Variability of the salt concentration in water of the Bystrzanka stream in 1973—1975 expressed by the variability coefficient  $V\%$

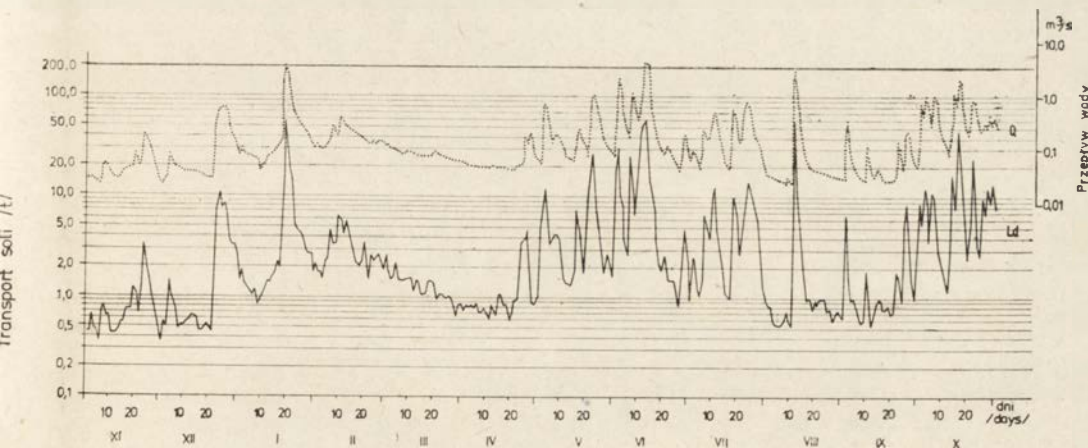


łych mas powietrza z południa) (ryc. 13—15). Prawidłowością jest wzrost stężenia soli w miarę obniżania się przepływów wody (ryc. 16). Jednak w przypadku zamarzania gruntu stwierdzono obniżanie się stężenia soli przy obniżaniu się przepływów wody. Potwierdzają to także niższe stężenia soli w wodach śródpokrywowych na stokach i w wodach potoku w okresie zim mroźnych (tab. 3, 22). Latem zmienność transportu soli w Bystrzance powodowana była głównie przepływem wody, na który miał wpływ rozkład i natężenie opadów. Podczas wezbrań zmienność



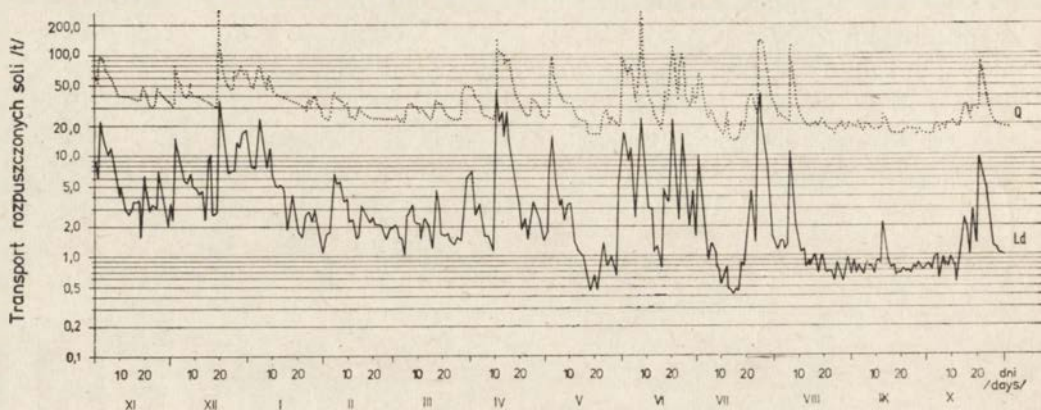
Ryc. 13. Zmienność dobowych ładunków soli ( $L_d$ ) na tle przepływów wody ( $Q$ ) w Bystrzance w roku hydrologicznym 1973

Variability of the daily load of salts ( $L_d$ ) versus water discharge of the Bystrzanka stream ( $Q$ ) in the hydrological year 1973



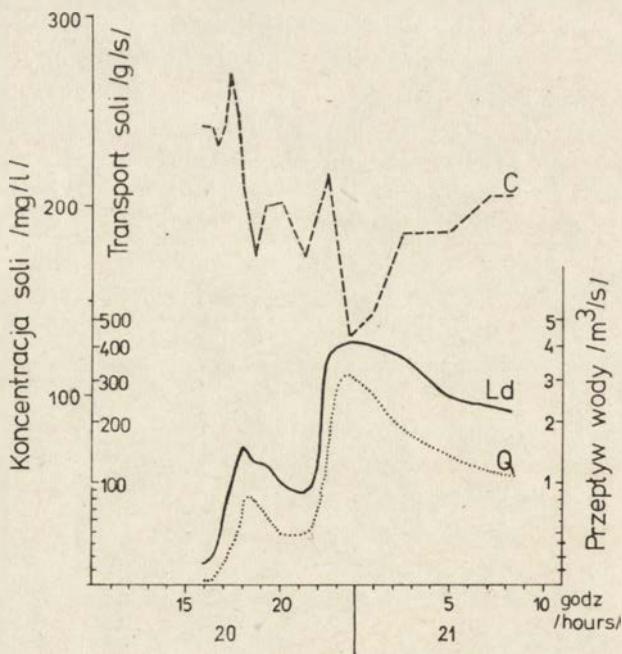
Ryc. 14. Zmienność dobowych ładunków soli ( $L_d$ ) odprowadzanych przez wody Bystrzanki ( $Q$ ) w roku hydrologicznym 1974

Variability of the daily load of salts ( $L_d$ ) carried away by the Bystrzanka stream ( $Q$ ) in the hydrological year 1974



Ryc. 15. Zmienność dobowych ładunków soli ( $L_d$ ) odprowadzanych przez wody Bystrzanki ( $Q$ ) w roku hydrologicznym 1975

Variability of the daily load of salts ( $L_d$ ) carried away by the Bystrzanka stream ( $Q$ ) in the hydrological year 1975



Ryc. 16. Koncentracja ( $C$ ) i transport soli ( $L_d$ ) podczas wezbrania Bystrzanki w dniach 20—21.06.1975 r., wywołanego opadami burzowymi

Concentration ( $C$ ) and transport of salts ( $L_d$ ) during the rise of the Bystrzanka water level caused by storm rainfall on 20—21 June, 1975

Tabela 22

## Mineralizacja wód w potoku Bystrzanka (mg/l)

Lata średnia hydro-logiczne	średnia miesięczna												
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1973	207,20	187,1	204,1	243,5	215,5	211,9	178,9	211,0	189,4	220,9	191,9	214,5	217,7
1974	266,13	229,7	229,8	224,5	217,6	236,6	280,4	295,3	290,1	318,1	300,1	336,7	234,7
1975	306,14	323,3	351,4	340,6	416,1	325,6	317,5	261,8	242,2	238,7	254,0	292,8	309,6

transportu soli wywoływana była zmianami dopływu wód powierzchniowych i wód gruntowych z różnych poziomów, jak również przestrzennym zróżnicowaniem dopływu wód. Podczas roztopów i opadów deszczu o małym zasięgu, nie obejmujących całej zlewni, uwidacznia się przewaga udziału mniej zmineralizowanych wód z obszaru warstw magurskich, bądź przewaga udziału bardziej zmineralizowanych wód z obszaru pogórskiego (warstwy inoceramowe i krośnieńskie). Najbardziej widoczna jest jednak zależność transportu soli od wielkości odpływu wody ze zlewni (tab. 23). Największy transport soli w ciągu roku występuje w okresach roztopów oraz deszczów wiosenno-letnich.

Wyniki trzechletnich badań wskazują, że w krótkich okresach dużego transportu soli, których łączny czas trwania w ciągu roku wynosił 41—88 dni, odprowadzana była przeważająca część rocznego ładunku soli (55,6—69,6%). Umiarkowany i mały transport soli trwał wielokrotnie

Tabela 23

Miesięczne wielkości odpływu wody oraz ładunki i wskaźniki odprowadzania soli ze zlewni Bystrzanki w latach hydrologicznych 1973—1975

Miesiące	Odpływ wody (tys. m <sup>3</sup> )			Ładunek soli (t)			Średni wskaźnik odprowadzania soli (t/km <sup>2</sup> )		
	1973	1974	1975	1973	1974	1975	1973	1974	1975
XI	34 5,6	118,1	614,4	60,22	25,53	181,30	4,42	1,88	13,33
XII	298,1	337,7	785,4	51,42	69,56	268,85	3,78	5,11	19,77
I	83,9	505,5	525,9	17,96	166,63	195,77	1,32	12,25	14,39
II	779,2	398,8	183,8	156,14	86,41	76,10	11,48	6,35	5,60
III	1110,6	175,4	230,3	218,89	38,18	74,12	16,09	2,81	5,45
IV	245,7	134,6	770,4	42,55	35,86	232,02	3,12	2,64	17,06
V	58,8	656,2	340,4	12,38	163,30	88,50	0,91	12,01	6,51
VI	994,8	1527,8	789,8	158,62	348,20	189,20	11,66	25,60	13,97
VII	1147,2	496,1	616,6	196,49	161,77	153,43	14,46	11,89	11,28
VIII	112,8	366,3	187,4	22,82	95,85	44,99	1,68	7,05	3,31
IX	52,4	149,2	83,6	10,88	51,87	24,24	0,80	3,81	1,78
X	57,1	1182,9	189,0	12,45	303,41	55,85	0,91	22,31	4,11
Wartości roczne	5286,2	6048,6	5317,0	960,82	1546,57	1585,14	70,64	113,71	116,56



dłużej a ilość odprowadzonych wtedy soli była mniejsza (tab. 24 i 25). Największe zmiany występowały w udziale transportu dużego i małego, natomiast udział transportu umiarkowanego w poszczególnych latach podlegał mniejszym wahaniom rocznym.

Tabela 24

## Czas trwania transportu soli w potoku Bystrzanka

Rok hydro- logiczny	Transport					
	duży		umiarkowany		mały	
	dni	%	dni	%	dni	%
1973	41	11,2	127	34,8	197	54,0
1974	72	19,7	147	40,3	146	40,0
1975	88	24,1	196	53,7	81	22,2

Tabela 25

## Wielkość i udział transportu soli ze zlewni Bystrzanki

Rok hydro- logiczny	Transport					
	duży		umiarkowany		mały	
	t	%	t	%	t	%
1973	534,28	55,6	228,28	23,8	198,26	20,6
1974	1077,23	69,6	356,90	23,1	112,44	7,3
1975	1043,93	65,9	455,64	28,7	85,58	5,4

W zmienności transportu soli w Bystrzance dominującą rolę odegrały opady, których wielkość i rozkład różnił się w poszczególnych latach. W latach o opadach skoncentrowanych w krótkich okresach przeważała słaba denudacja chemiczna (rok hydrologiczny 1973). W latach o opadach wyższych od przeciętnych, i bardziej równomiernie rozłożonych w ciągu roku, występowały dłuższe okresy silniejszej denudacji chemicznej.

Przedstawione w tabeli 26 wskaźniki odprowadzania soli skłaniają do stwierdzenia, że większe i intensywniejsze ługowanie badanego obszaru następuje w półroczu zimowym, pomimo niższych niż w półroczu

Tabela 26

Wskaźniki odprowadzania soli (t.km<sup>2</sup>) ze zlewni Bystrzanki na tle opadów (mm)

Rok hydro- logiczny	Wartości roczne		Półroczne zimowe		Półroczne letnie	
	opady	wskaźnik odprowadza- nia soli	opady	wskaźnik odprowadza- nia soli	opady	wskaźnik odprowadza- nia soli
1973	844,5	70,64	214,4	40,23	630,1	30,41
1974	1102,1	113,71	199,4	31,04	902,7	82,67
1975	919,8	116,55	326,9	75,60	592,9	40,95

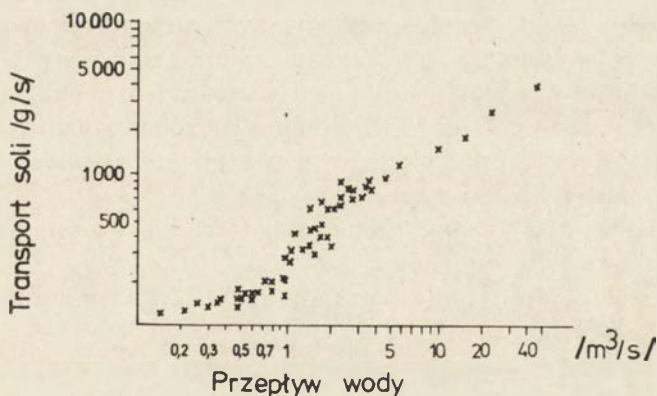
letnim opadów. W półroczu zimowym roku hydrologicznego 1973 odprowadzone zostało 57,6% ładunku soli, podczas gdy opady stanowiły w tym okresie tylko 25,4% rocznej sumy. W analogicznym okresie 1975 r. wartości te wynosiły 64,9% i 35,5%. Wyjątkowo wysokie opady (902,7 mm = 81,9%) w półroczu letnim 1974 r. spowodowały większe ługowanie (72,7%). Jednak we wszystkich latach — wskaźnik transportu soli przypadający na jednostkę opadu był 2—3-krotnie wyższy w półroczu zimowym (tab. 27).

Tabela 27

Wielkość odprowadzania soli ze zlewni Bystrzanki przypadająca na jednostkę opadu

Rok hydrologiczny	Wskaźnik transportu soli w t/1 mm opadu		
	półrocze zimowe	półrocze letnie	rok hydrologiczny (XI-X)
1973	2,55	0,66	1,14
1974	2,12	1,24	1,40
1975	3,14	0,94	1,72

Intensywniejszą denudację zimą należy przypuszczalnie wiązać z większą rozpuszczalnością w wodzie CO<sub>2</sub> (Ek i in. 1969) oraz wolniejszym i dłuższym krążeniem wód w utworach zwietrzelinowo-skalnych podczas odwilży oraz niezbyt gwałtownych roztopów. Według J. Corbela (1959) niskie temperatury dodatnie wywierają istotny wpływ na zwiększenie intensywności rozpuszczania minerałów. Również A. Bögli (1960) zwraca uwagę na wyższą zawartość CO<sub>2</sub> w wodach pochodzących z topnienia śniegu. Wody zimne nie tylko rozpuszczają więcej dwutlenku



Ryc. 17. Związek pomiędzy ładunkiem soli a przepływem wody w Bystrzance podczas kulminacji wezbrań

Relation between the load of salts and discharge of the Bystrzanka stream during the culminations of water level rises

węgla, lecz również zatrzymują go dłużej, przez co reakcje rozpuszczania przebiegają wolniej i dłużej, a nasycenie wód solami pochodzącymi z rozpuszczania skał jest większe. Duży udział ciepłych wiatrów z południa zimą (Welc 1977) wpływa na częste odwilże i roztopy, co sprzyja ługowaniu chemicznemu.

Potwierdza się wyraźna zależność pomiędzy transportem soli a przepływem (ryc. 17), wykazana wcześniej przez W. Froehlicha (1975). Cały zespół czynników abiotycznych i biotycznych wpływa na to, że w każdym badanym obszarze zależność ta wyrażona będzie nieco inaczej. Korelacja pomiędzy ładunkiem transportowanych soli a przepływem wody w Bystrzance wyraża się wysokim współczynnikiem  $r = 0,975$ . Tak wysoką korelację pomiędzy transportem soli a przepływem wody uzyskano dla przepływów powyżej  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , dla których zależność tę spełniają równania:

$$Q = 0,009 L_d - 3,97,$$

$$L_d = 101,09 Q + 457,82,$$

gdzie  $L_d$  — ładunek soli ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

Dla przepływów wody poniżej  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  korelację tę określa współczynnik  $r = 0,730$ . Na obniżenie korelacji pomiędzy tymi parametrami w małych, gwałtownych wezbraniach wpływały szybkie zmiany czynników pogodowych oraz duża zmienność koncentracji soli wód powierzchniowych, spływających ze stoków. Dla tych wezbrań zależność spełniają równania:

$$Q = 0,003 L_d + 0,148$$

$$L_d = 158,10 Q + 30,89$$

Z powyższych danych wynika, że silniejszy związek ładunku soli z przepływem wody obserwuje się przy wyższych przepływach, podczas których równocześnie wyższy jest przyrost ładunku soli.

Intensywność transportu soli jest odzwierciedleniem intensywności denudacji chemicznej w zlewni. Przeprowadzone badania skłaniają do wyróżnienia w ciągu roku okresów o różnej intensywności procesu denudacji chemicznej:

- intensywnej denudacji chemicznej w czasie wiosenno-letnich opadów,
- intensywnej lub umiarkowanej denudacji chemicznej w okresie roztopów zimowych,
- intensywnej lub umiarkowanej denudacji chemicznej podczas opadów jesiennych,
- słabej denudacji chemicznej w okresach suszy.

Okres intensywnej denudacji chemicznej w czasie wiosenno-letnich opadów rozpoczął się najczęściej w maju, rzadziej w kwietniu i trwał z krótkimi przerwami do końca lipca, a niekiedy do połowy sierpnia.



Kulminacja intensywności tego procesu przypadała na czerwiec i lipiec ze względu na najwyższe opady w tych miesiącach. W tym okresie maksymalny transport soli dochodził do 81,12 t/dobę, a suma ładunku odprowadzonych soli w kolejnych latach wahała się od 38% do 45% sumy rocznej.

Intensywną lub umiarkowaną denudację chemiczną, wywołaną roztopami i opadami deszczu w zimie, notowano od stycznia do marca, co łączyło się z największą częstotliwością ciepłych wiatrów południowych w tych miesiącach, przynoszących odwilże i roztopy. W okresie tym obserwowano mniejszą częstotliwość i mniejsze wahania transportu soli niż podczas letnich opadów. Ekstremalne wartości dobowych ładunków soli w Bystrzance zmieniały się w granicach 0,84—59,09 t, a transport soli stanowił 20,2—44,4% sumy rocznych.

Intensywną lub umiarkowaną denudację chemiczną w czasie opadów jesiennych obserwowano w październiku i listopadzie a w przypadkach dodatnich temperatur gruntu nawet do połowy grudnia. W okresie tym częściej należy się spodziewać denudacji o umiarkowanej intensywności. Na podstawie analizy wieloletnich opadów należy przypuszczać, że tak intensywna denudacja jak w październiku 1974 r. należy do rzadkości. W miesiącu tym maksymalny transport soli osiągnął wartość 47,53 t/dobę. Udział soli odprowadzanych ze zlewni podczas jesiennych opadów stanowił 10,7—19,6% rocznego ładunku, przy czym oscylował częściej w pobliżu dolnej wartości.

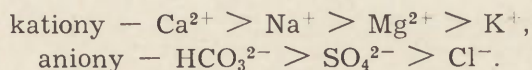
Słaba denudacja chemiczna występowała w okresach bezopadowych lub podczas słabych opadów na przełomie lata i jesieni (sierpień, wrzesień, październik). Najdłuższy okres słabej denudacji trwał od 6.08 do 19.11.1973 r. Średni dobowy transport soli wyniósł wtedy 0,44 t, przy wahaniami 0,22—1,26 t/dobę. W następnych latach transport soli w tym czasie był większy. Krótkie okresy słabej denudacji występowały również wiosną (kwiecień, maj) oraz zimą, co związane było najczęściej z przemarznięciem podłoża, brakiem pokrywy śnieżnej i opadów. Udział transportu soli w czasie suszy wynosił 5,4—20,6%

Wyróżnione okresy denudacji chemicznej pozwalają stwierdzić, że ogromna większość soli odprowadzana jest podczas opadów i intensywnych roztopów, pomimo że okresy te stanowią około 35—40%, a w wyjątkowych przypadkach przekraczają połowę dni w roku (np. w 1974 r.). Tempo ługowania uzależnione jest od wielkości i rozkładu opadów oraz od częstotliwości występowania i przebiegu roztopów zimą.

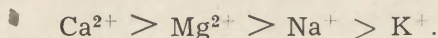
#### ZMIENNOŚĆ ODPROWADZANIA GŁÓWNYCH JONÓW

Skład chemiczny wód naturalnych zależy od budowy geologicznej zlewni, klimatu, typu gleb i zasiedlających je zespołów roślinnych (Wróbel 1976), a także antropopresji. Wśród wielu pierwiastków ługowanych

i transportowanych ze zlewni przez wody Bystrzanki w postaci jonów, największe znaczenie odgrywają kationy  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ . Duża jest także zawartość anionów  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ . Średni skład jonowy wód odpływających ze zlewni Bystrzanki można ułożyć pod względem ich zawartości w kierunku malejącym następująco:



Jest to szereg charakterystyczny dla średniego składu jonowego słodkich wód śródlądowych (Połynow 1937; Polański, Smulikowski 1969). W latach o wyjątkowo dużych opadach udział kationów w wodach Bystrzanki może być nieco inny, ze względu na wyższe zawartości jonów magnezu (tab. 30), przez co szereg ten może mieć następujący układ:



Również i ten szereg uważany jest za charakterystyczny dla większości wód śródlądowych (Perelman 1971). D.H. Anderson i H.E. Hawkes (1958) wykazują m.in. bardzo wysoką zawartość magnezu w wodach rzek, stawiającą go na pierwszym miejscu wśród kationów, w związku z czym dochodzą do wniosku, że w klimacie umiarkowanym ruchliwość tego pierwiastka jest wyższa niż się dotychczas wydawało. Zawartość poszczególnych jonów w wodach Bystrzanki ulega znacznym wahaniom w krótkich i dłuższych okresach. Przebieg dobowych wahań stężenia głównych składników (wapnia, magnezu, węglanów i siarczanów) w wodach Bystrzanki przedstawiono na rycinach 18—20.

#### WAPN

W okresie badań zawartość jonów wapnia w wodach Bystrzanki zmieniała się w granicach 25,02—110,44 mg/l, przy średniej zawartości 61,24 mg/l. Z zestawienia średnich i ekstremalnych stężeń jonów wapnia w poszczególnych latach wynika, że wartości w kolumnach są podobne pomimo dużych wahań w przebiegu rocznym (tab. 28).

Średnie zawartości tego składnika w wodach Bystrzanki są znacznie wyższe od średnich stężeń wapnia w wodach przyźródłowych odcin-

Tabela 28

Średnie roczne i ekstremalne stężenia jonów wapnia w wodach Bystrzanki (mg/l)

Rok hydrologiczny	Stężenie		
	średnie	minimalne	maksymalne
1973	57,09	30,94	111,84
1974	61,98	25,02	115,36
1975	64,66	31,66	110,44

ków rzek Karpat Zachodnich, płynących bardziej na zachód od badanego obszaru. W okresie 5-lecia 1964—1969 dla wspomnianych odcinków tych rzek średnia koncentracja wapnia wynosiła 36,5 mg/l (Maultz 1972), przy czym zawartość systematycznie rosła z zachodu na wschód, co potwierdzałyby również niniejsze badania.

Pomiędzy zawartością wapnia a wielkością przepływu wody w Bystrzance obserwowano zależność odwrotnie proporcjonalną, którą można prześledzić na rycinach 18—21. Występowanie niskich koncentracji jest związane m. in. z częstym w tym obszarze zanikaniem pokrywy śnieżnej w ciągu zimy, intensywnymi opadami na przełomie wiosny i lata oraz rozlewnymi opadami jesienią. Najniższe średnie miesięczne stężenia wapnia występowały w czasie i po roztopach wiosennych (marzec 1973 — 54,80 mg/l, kwiecień — 54,05 mg/l), podczas intensywnych opadów wiosenno-letnich (czerwiec 1975 — 51,64 mg/l) oraz rozlewnych deszczów jesiennych (październik 1974 — 48,65 mg/l). Wysokie koncentracje wapnia miały miejsce zimą, przy małych opadach i przemarzniętym podłożu (styczeń 1973 — średnio 73,20 mg/l) oraz w okresie suszy z końcem lata (wrzesień 1974 — 74,69 mg/l, wrzesień 1975 — 85,79 mg/l).

Zmienność koncentracji wapnia w wodach Bystrzanki uzależniona była od udziału dostawy wód powierzchniowych ze stoków, wód z pokryw zwietrzelinowych oraz wód drenujących głębsze utwory skalne obszarów zlewni, różniących się pod względem litologicznym i mineralogicznym. Wody odpływające z piaskowców magurskich posiadają niższe koncentracje wapnia we wszystkich poziomach niż wody obszaru zbudowanego z warstw inoceramowych zlewni Bystrzanki (tab. 29). Naj-

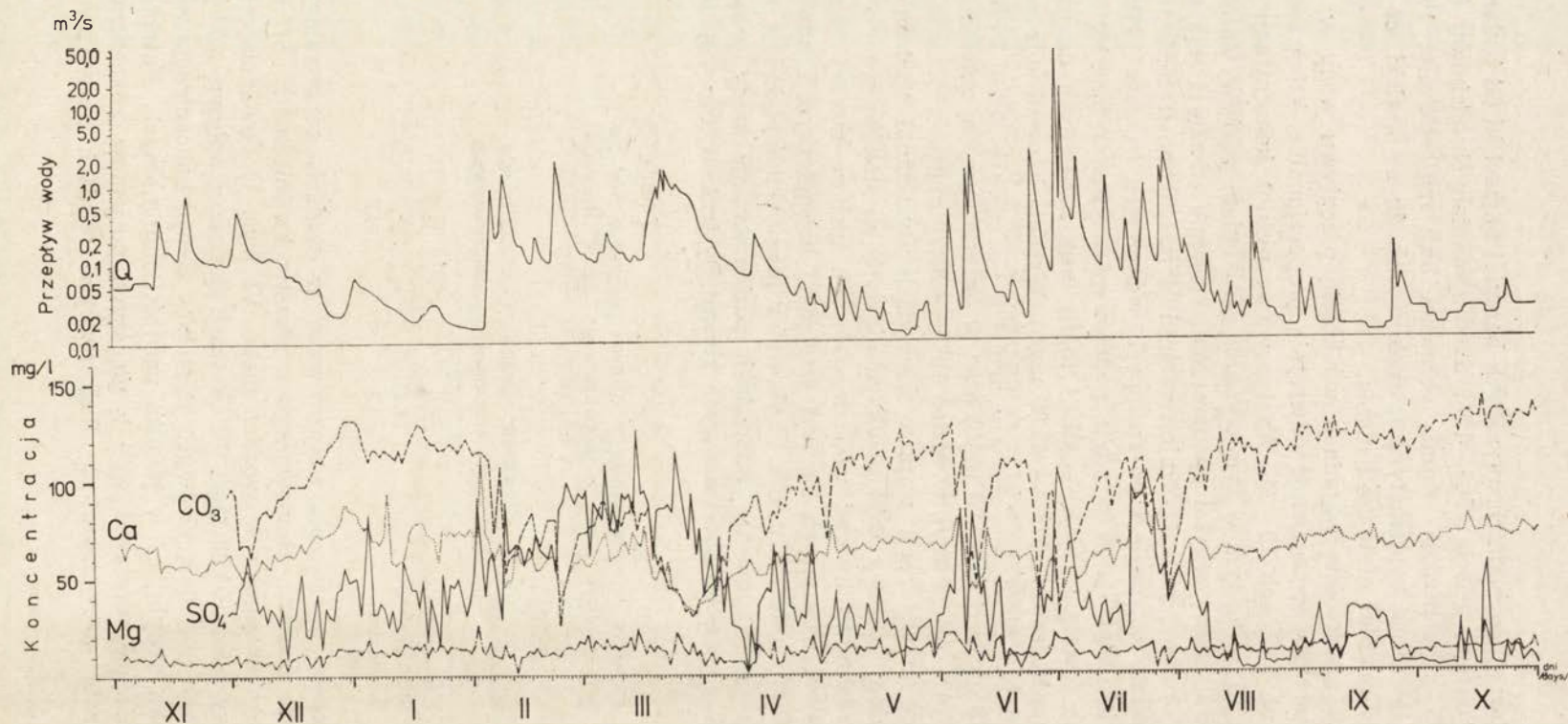
Tabela 29

Przeciętne stężenia wapnia w różnych poziomach wód obszarów magurskiego i inoceramowego zlewni Bystrzanki (mg/l)

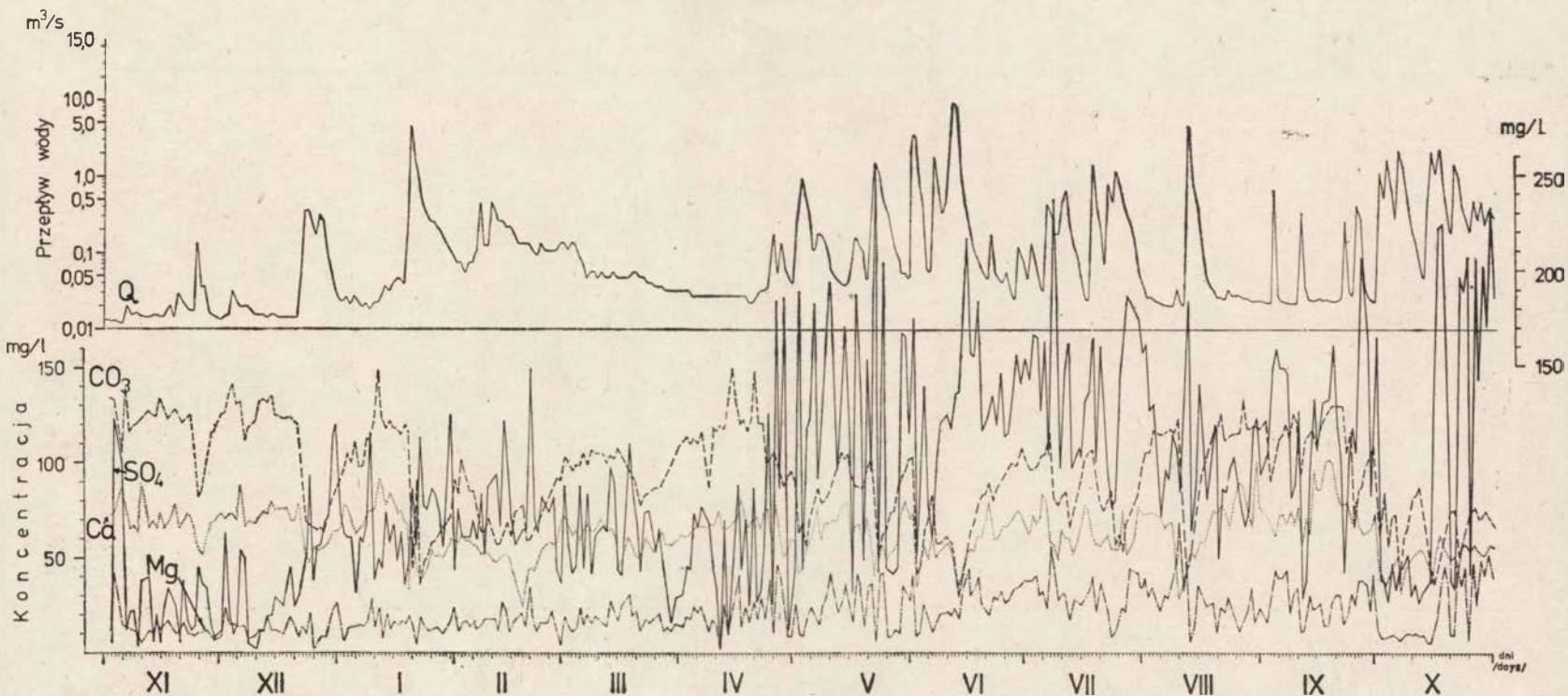
Rodzaj wód	Obszar piaskowców magurskich	obszar warstw inoceramowych
Powierzchniowe	21,0	34,9
Śródpokrywowe	25,4	45,2
Śródskalne	60,7	98,3

wyższe koncentracje wapnia obserwowano w wodach odpływających z niewielkiego obszaru, zbudowanego z warstw krośnieńskich. Średnia zawartość tego składnika w wodach cieką VI (ryc. 1) odwadniającego ten obszar wynosiła 104,23 mg/l. W okresach dłuższego spływu wód powierzchniowych i śródpokrywowych ze stoków zlewni koncentracja wapnia była niska, oscylująca w pobliżu wartości minimalnych. Natomiast przy przeważającej dostawie wód z głębszych poziomów koncentracja wapnia wzrasta, przy czym po długotrwałych opadach obserwowano

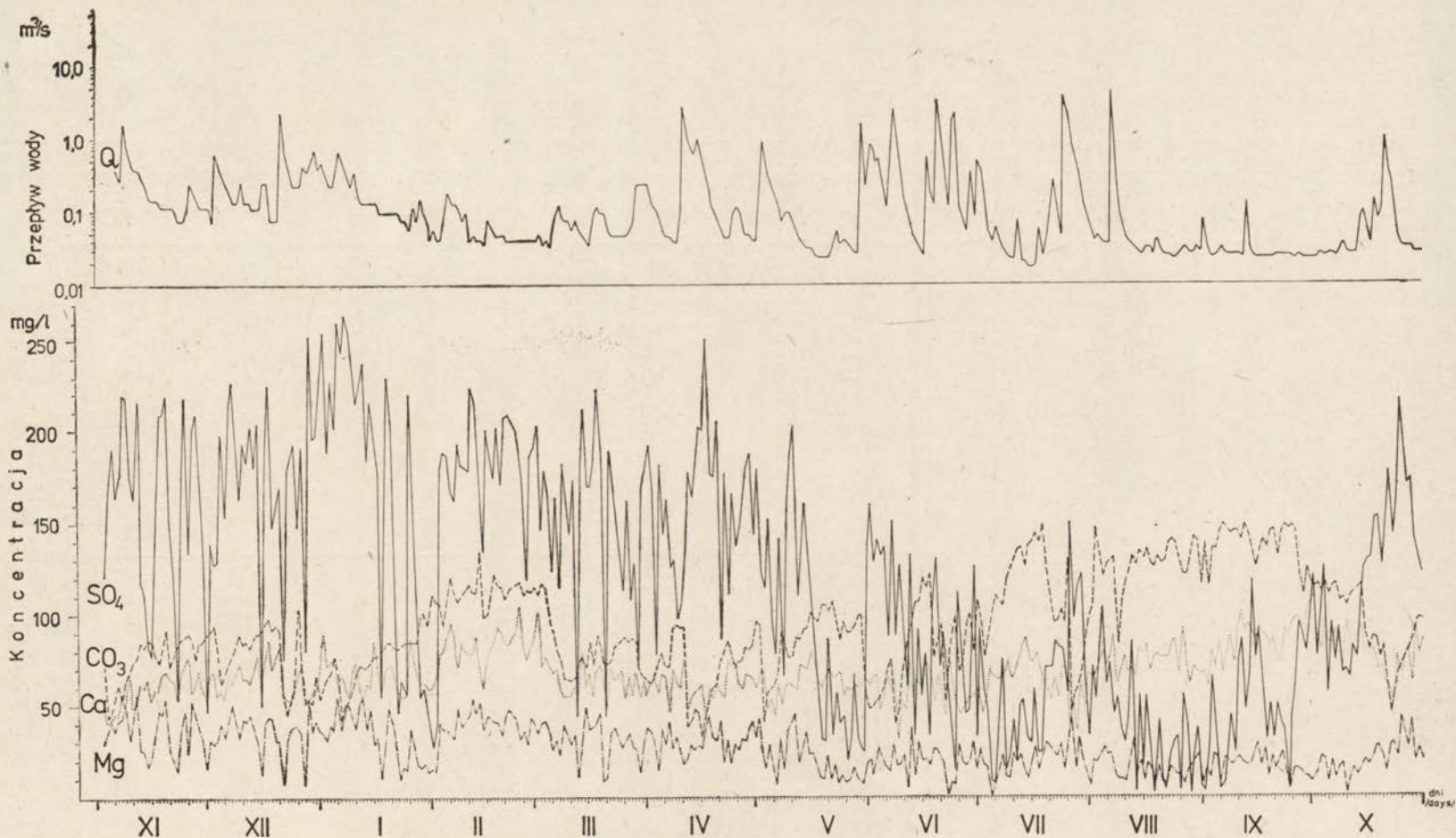




Ryc. 18. Zmiany koncentracji głównych składników soli w zależności od zmian przepływu wody Bystrzanki. Rok hydrologiczny 1973  
 Changes of concentration of the main components of salts versus discharge of the Bystrzanka stream. The hydrological year 1973



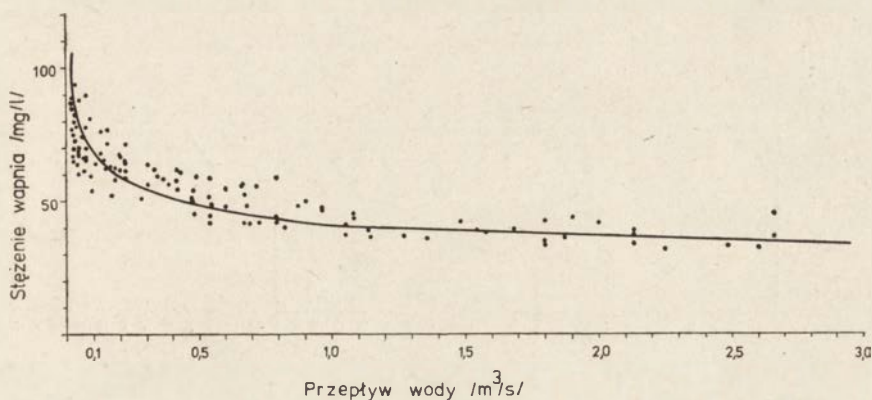
Ryc. 19. Zmiany koncentracji głównych składników soli w zależności od zmian przepływu wody w Bystrzance. Rok hydrologiczny 1974  
 Changes of concentration of the main components of salts versus discharge of the Bystrzanka stream. The hydrological year 1974



Ryc. 20. Zmiany koncentracji głównych składników soli w zależności od zmian przepływu wody w Bystrzance. Rok hydrologiczny 1975

Changes of concentration of the main components of salts versus discharge of the Bystrzanka stream. The hydrological year 1975





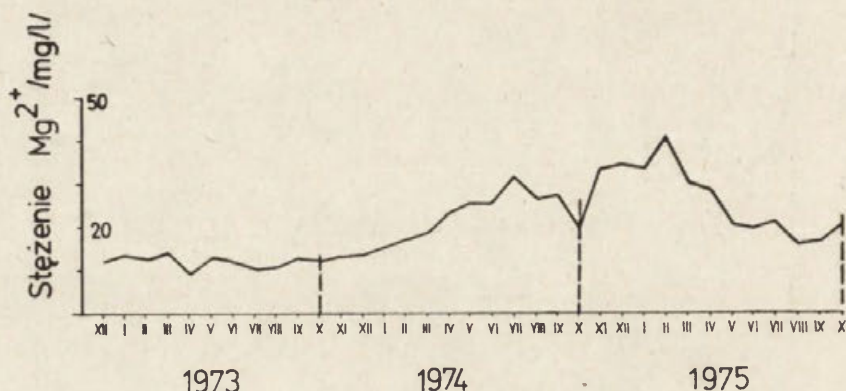
Ryc. 21. Relacja pomiędzy stężeniem wapnia a przepływem wody w Bystrzance  
Relation, between Ca concentration and discharge in the Bystrzanka stream

wzrost tego składnika w porównaniu do wartości przed opadów przy podobnych przepływach.

W okresie kolejnych trzech lat następował wzrost zawartości wapnia. Było to spowodowane wysokimi opadami w 1974 r. i zwiększoną retencją i opadami w 1975 r. Niska zawartość wapnia w wodach powierzchniowych i śródpokrywowych może być spowodowana m. in. krótkim czasem kontaktu wód z tymi utworami, przede wszystkim jednak wyługowaniem tego składnika z górnych poziomów pokryw zwietrzelinowych. Potwierdzeniem ostatnich przypuszczeń może być stwierdzenie wymycia kalcytu ( $\text{CaCO}_3$ ) z powierzchniowych warstw piaskowca magurskiego do głębokości 2 m (Adamczyk, Tokaj 1957). Badania zawartości wapnia w wodach zlewni Bystrzanki wskazują, iż zmienność koncentracji tego składnika w wodach jest funkcją zawartości wapnia w skałach oraz wielkości i sposobu spływu wód opadowych i roztopowych.

#### MAGNEZ

Przeciętna zawartość jonów magnezu ( $\text{Mg}^{2+}$ ) w wodach Bystrzanki wynosiła 19,24 mg/l i wahała się od 0,43 mg/l do 57,72 mg/l. Jony  $\text{Mg}^{2+}$  nie wykazują ścisłej zależności funkcjonalnej pomiędzy ich zawartością a przepływem wody. Obserwuje się natomiast zwiększenie koncentracji magnezu w wodach Bystrzanki podczas dłuższych okresów opadowych oraz podczas odprowadzania wód retencyjnych po opadach. Jaskrawym tego przykładem był wzrost zawartości tego składnika w okresie wystąpienia dłuższych, obfitych opadów w 1974 r. i dłuższej retencji wody w pierwszej połowie 1975 r. (ryc. 22, 26, 28). W roku 1974 obserwowano dwukrotny, a w 1975 r. 2,5-krotny, wzrost średnich koncentracji i wię-



Ryc. 22. Zmienność średnich miesięcznych stężeń magnezu w wodach Bystrzanki w latach 1973—1975

Variability of the mean monthly concentration of Mg in the Bystrzanka stream in 1973—1975

ksze wahania zawartości tego składnika w wodach Bystrzanki w porównaniu z rokiem 1973 (ryc. 18—20, 22, tab. 30).

Tabela 30  
Średnie roczne i ekstremalne stężenia jonów magnezu  
w wodach Bystrzanki (mg/l)

Rok hydrologiczny	Stężenie		
	średnie	minimalne	maksymalne
1973	10,87	0,85	25,67
1974	21,35	1,82	57,72
1975	25,21	0,43	56,45

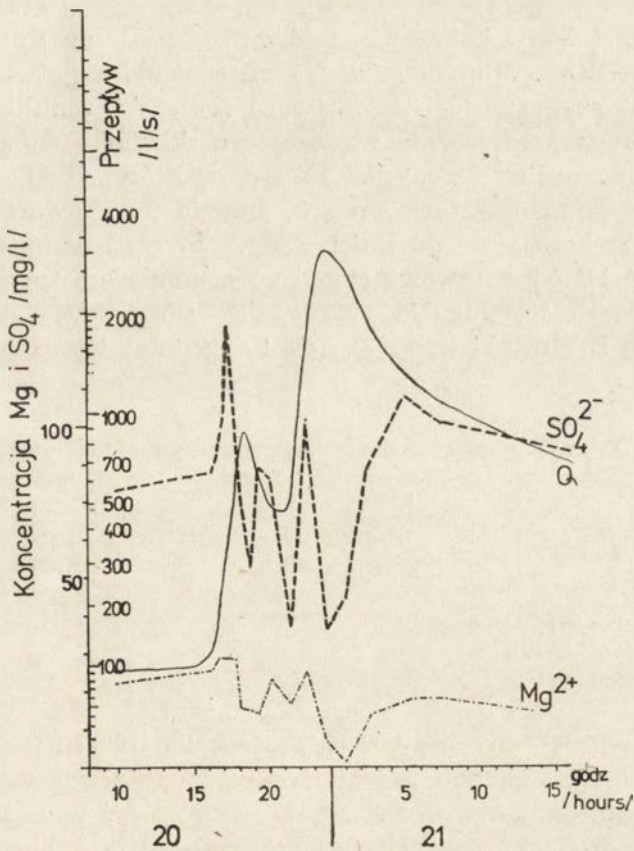
Magnez łatwo ługowany jest przez wody wskutek wszechobecności jonów  $\text{Cl}^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$ , dających łatwo rozpuszczalne związki magnezu z tymi solami (Polański, Smulikowski 1969). W piaskowcach magurskich magnez stanowi część składową spoiwa glaukonitowego tych utworów, w których według wyżej cytowanych autorów, jego zawartość waha się od 2,5% do 12,0% wagowo. Średnie koncentracje jonów  $\text{Mg}^{2+}$  migrujących z wodami powierzchniowymi i gruntowymi w obszarze magurskim nie odbiegały wiele od średnich koncentracji magnezu w wodach obszaru inoceramowego (tab. 31). W okresie zwiększonej retencji wód gruntowych występowały jednak wyższe koncentracje magnezu w wodach głębszych, zwłaszcza w obszarze zbudowanym z warstw inoceramowych, co wskazywać może na częściowe wyługowanie go z płytkich poziomów pokryw zwietrzelinowych. Bardziej wyrównaną jego zawartość we wszystkich poziomach wód obszaru magurskiego należy przypusz-

Tabela 31

Przeciętne stężenia magnezu w różnych poziomach wód obszarów magurskiego i inoceramowego zlewni Bystrzanki (mg/l)

Rodzaj wód	Obszar piaskowców magurskich	Obszar warstw inoceramowych
Powierzchniowe	20,4	18,6
Śródpokrywowe	19,6	21,8
Śródskalne	20,5	23,8

czalnie wiązać z biologicznym nagromadzeniem magnezu przez lasy. Podczas parowania wód gruntowych następuje kumulacja tego składnika w postaci łatwo rozpuszczalnych soli  $MgSO_4$  (Perelman 1971). Na wy-



Ryc. 23. Zmienność koncentracji magnezu i siarczanów podczas wezbrania Bystrzanki w dniach 20—21.06.1975 r.

Variability of concentration of Mg and sulphates during the rise of the Bystrzanka water level on 20—21 June, 1975



stępowanie w badanym obszarze soli magnezu w takiej postaci wskazują pośrednio jednakowe tendencje wahań stężenia magnezu i siarczanów w wodach Bystrzanki oraz w wodach pokryw stokowych (ryc. 11, 18—20, 23, 27, 29, 36).

Przeprowadzone badania wskazują, że zróżnicowanie litologiczne podłoża nie wpływa na zawartość magnezu w wodach w takim stopniu jak na zawartość wapnia. Wahania stężenia magnezu w wodzie uzależnione są zatem głównie od czynników klimatycznych, a w szczególności od opadów i ilości spływających wód.

#### SÓD

Sód jest stosunkowo łatwo rozpuszczalny w wodzie i zalicza się go, podobnie jak dwa poprzednie pierwiastki, do grupy migrantów ruchliwych. Jest metalem alkalicznym, tworzącym roztwory soli z anionami  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  i  $\text{HCO}_3^-$ . W procesie wietrzenia skał sód najłatwiej ze wszystkich potasowców przechodzi do roztworu (Polański, Smulikowski 1969). W wodach Bystrzanki średnia wartość tego składnika wynosi kilkanaście miligramów w litrze wody. W 1974 r., w którym wykonywano najwięcej oznaczeń sodu w tych wodach, średnia jego zawartość wynosiła 18,5 mg/l i zmieniała się od ilości śladowych do 50,0 mg/l. Wody powierzchniowe i śródpokrywowe obszaru inoceramowego posiadają ponad 2-krotnie wyższe stężenia  $\text{Na}^+$  niż analogiczne wody obszaru magurskiego zlewni Bystrzanki (tab. 32). Jest to zgodne z wynikami uzyskany-

Tabela 32

Przeciętne wartości sodu w różnych poziomach wód obszarów magurskiego i inoceramowego zlewni Bystrzanki (mg/l)

Rodzaj wód	Obszar piaskowców magurskich	Obszar warstw inoceramowych
Powierzchniowe	5,2	12,7
Śródpokrywowe	5,4	12,5
Śródskalne	6,5	24,7

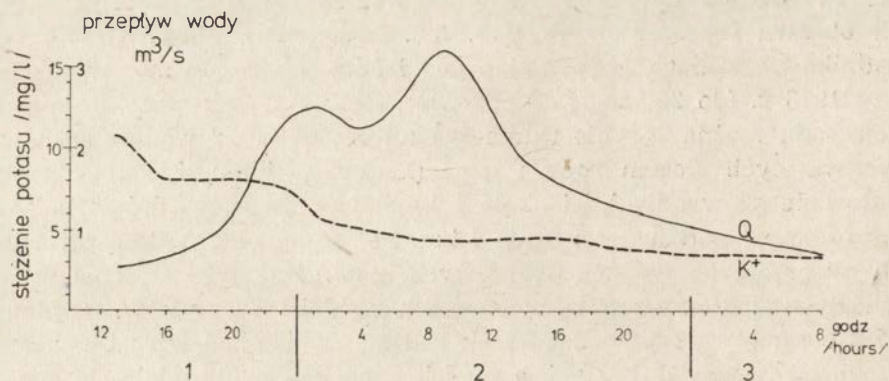
mi w podobnych obszarach przez K. Pasternaka (1968) i innych badaczy. W obszarze inoceramowym zlewni Bystrzanki obserwowano dwukrotnie wyższe stężenie sodu w wodach podłoża skalnego niż w wodach powierzchniowych i śródpokrywowych. W głębszych wodach obszaru magurskiego wzrost stężenia sodu był nieznaczny. Jednak w cieku odwadniającym ten obszar stężenie sodu było trzykrotnie wyższe niż w wodach gruntowych; zmieniało się od 20,4 mg/l w odcinku źródłowym do 24,1 mg/l przy ujściu. Najwyższe stężenia sodu notowano w źródle Z—2

(ryc. 1). Średnio były one 6-krotnie wyższe niż w pozostałych źródłach obszaru inoceramowego (tab. 33). Maksymalne koncentracje tego składnika w wodach wspomnianego źródła obserwowano w okresie suszy 1973 r. (do 250 mg/l — czerwiec, sierpień). Tak wysokie koncentracje sodu można jedynie tłumaczyć migracją  $\text{Na}^+$  z wód reliktowych, towarzyszących złożom ropy i gazu (Majewski 1964). Złoża gazu eksploatowane są w odległości około 1 km od omawianego źródła, a złoża ropy naftowej w odległości około 4 km. Ze względu na wyższą zawartość sodu w głębszych wodach gruntowych, najwyższe jego stężenia w wodach Bystrzanki występują w okresach niskich przepływów. S. Maultz (1972) obserwowała w wodach rzek Karpat Zachodnich wzrost zawartości sodu od wiosny do jesieni, a spadek zimą, czego nie udało się stwierdzić w wodach Bystrzanki.

Na podstawie zawartości sodu w wodach powierzchniowych, gruntowych i w wodach cieków obszarów magurskiego i inoceramowego można przypuszczać, że większe i głębiej sięgające wyługowanie tego składnika nastąpiło w obszarze zbudowanym z piaskowców magurskich. Spowodowane to zostało zapewne lepszymi warunkami infiltracyjnymi tych utworów. Zmienność czasowa koncentracji sodu w wodach Bystrzanki zależy od występowania opadów, roztopów lub susz oraz związanych z tym zmian przepływów wody.

#### POTAS

Potas należy do migrantów mało ruchliwych. Podobnie jak sól tworzy łatwo rozpuszczalne związki z głównymi anionami zasadowymi. Prawie cały ruchliwy potas pozostaje w obiegu biologicznym, w związku z czym tylko niewielkie jego ilości przedostają się do wód. Jest on łatwo adsorbowany przez koloidy (Perelman 1971) i dlatego jest go w wodach znacznie mniej niż sodu, pomimo takiej samej średniej zawartości w skałach kontynentów skorupy ziemskiej (po 2,5% wag. potasu i sodu — Polański, Smulikowski 1969). W wodach potoku Bystrzanka średnia zawartość potasu w 1974 r. wynosiła 4,5 mg/l, przy zmienności od zawartości słabo wykrywalnych (poniżej 0,1 mg/l) do 10,7 mg/l. Niskie koncentracje występowały zimą i jesienią, a najwyższe w okresie wiosenno-letnich opadów. W początkowych fazach wezbrań wód obserwowano zazwyczaj wzrost zawartości potasu (ryc. 24), natomiast w miarę wzrostu przepływów i wydłużania się czasu trwania wezbrania koncentracja jego malała. W następnym roku hydrologicznym (1975) średnia koncentracja potasu wynosiła 7,6 mg/l. Na jej zawyżenie mogła mieć wpływ m.in. mniejsza liczba wykonanych oznaczeń i dłuższe przerwy pomiędzy pobieraniem prób wody. Maksymalne stężenia były podobne jak w roku poprzednim. Wody powierzchniowe i gruntowe posiadały niższe



Ryc. 24. Zmienność koncentracji potasu podczas wezbrania Bystrzanki w dniach 1—3.06.1974 r.

Variability of the concentration of K during the rise of the Bystrzanka water level on 1—3 June, 1974

koncentracje potasu niż wody Bystrzanki i jej dopływów. Szczególnie wyższe stężenia K<sup>+</sup> posiadały wody cieków płynących przez obszary użytkowane rolniczo (cieki: IV, V, IX — ryc. 1). Według B. Adamczyka (1973) gleby tego obszaru wykazują względnie dużą zasobność w przyswajalne formy potasu. Dla gleb wytworzonych na warstwach magurskich średnia zawartość przyswajalnych form potasu wynosiła 14,1 mg K<sub>2</sub>O na 100 g gleby, a dla gleb wytworzonych na warstwach inoceramowych — 17,2 mg. Brak większego zróżnicowania zawartości potasu w wodach powierzchniowych, śródpokrywowych i głębszych oraz stwierdzenia wyżej cytowanego autora sugerują o małym wylugowaniu pokryw stokowych ze związków potasowych.

Ponieważ wyższe stężenia potasu związane są z wezbrzeniami deszczowymi i roztopowymi, przeważająca ilość soli potasowych odprowadzana jest w tych okresach.

#### WĘGLANY

W dotychczasowych badaniach najwięcej uwagi poświęcono problemowi rozpuszczania węglanów, ze względu na szczególną rolę tego procesu w denudacji obszarów węglanowych. Pomimo wielu studiów, proces rozpuszczania węglanów w warunkach naturalnych jak dotąd nie został w pełni wyjaśniony. Stwierdzono na podstawie badań laboratoryjnych (Bögli 1960; Roques 1969; Tillmans 1932), że nasycenie wód węglanami zależy od stężenia CO<sub>2</sub>, pH i temperatury, przy czym wzrost temperatury sprzyja rozpuszczaniu węglanów, lecz obniża zawartość CO<sub>2</sub>, któremu przypisuje się jednak w tym procesie większą rolę niż temperaturze. Ciągłe zmiany własności fizykochemicznych środowiska oraz wpływ mikroorganizmów i innych czynników powodują, że poznanie rozpusz-



czania węglanów w warunkach naturalnych wymaga jeszcze szczegółowych badań.

Węgłany stanowią dość znaczny udział w składzie mineralnym łupków, a także wchodzi w skład spoiwa warstw piaskowcowych serii fli-szu budującego obszar zlewni Bystrzanki (Kozikowski 1956; Świdziński 1973). Przemawia za tym również stosunkowo wysoka zawartość jonów węglanowych w wodach tego obszaru. Przeciętne stężenie wodorowęglanów w wodach Bystrzanki wynosiło 181,8 mg/l, a zmieniało się w przedziale 23,8—304,1 mg/l. Wartości te były równocześnie ekstremalnymi stężeniami tego składnika w ostatnim roku badań (tab. 33). Węgłany

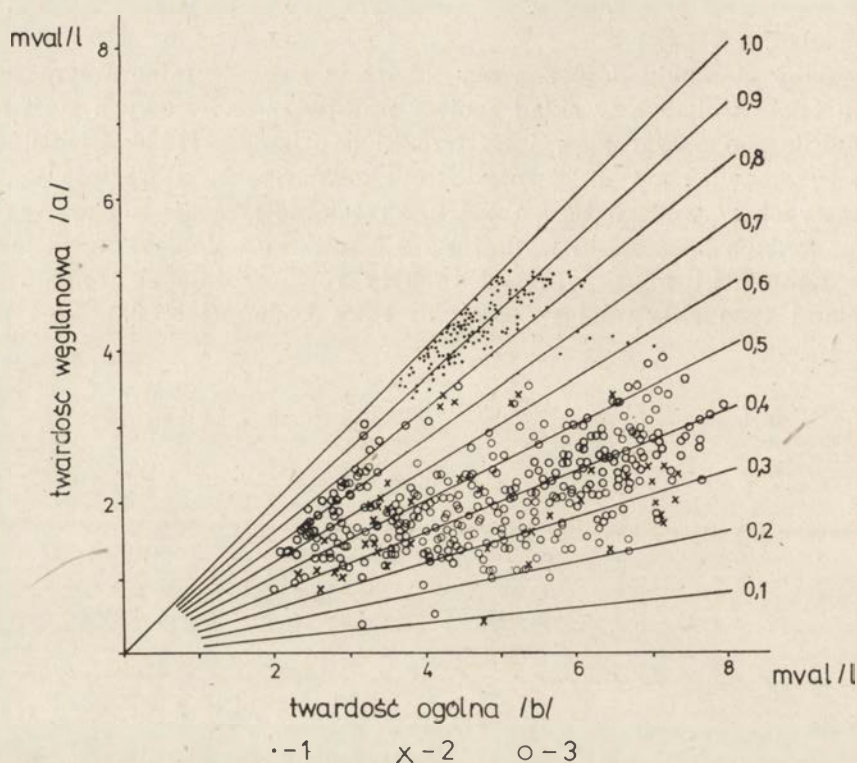
Tabela 33

Średnie roczne i ekstremalne stężenia jonów  $\text{HCO}_3^-$  w wodach Bystrzanki (mg/l)

Rok hydrologiczny	średnie	Stężenie minimalne	maksymalne
1973	181,48	51,85	280,30
1974	184,22	31,42	282,13
1975	179,73	23,79	304,08

wyraźnie reagują na zmiany przepływów wody, wykazując związek odwrotnie proporcjonalny, szczególnie wyraźny w pierwszych dwóch latach badań, dla których współczynniki korelacji wynosiły: 1973 —  $r = 0,805$ , 1974 —  $r = 0,800$ . Natomiast w trzecim roku korelacja była mniej istotna (1975 —  $r = 0,636$ ). Bardziej istotny związek wykazywały wodorowęglany z przepływem wody w przypadku analizy pojedynczych wezbrań.

Niskie koncentracje  $\text{HCO}_3^-$  w wodach Bystrzanki obserwowano podczas roztopów zimowo-wiosennych oraz deszczów wiosenno-letnich i jesiennych, najwyższe — w okresach przepływów niżówkowych, występujących najczęściej pod koniec lata. Wskazują na to wysokie wartości średnich miesięcznych koncentracji  $\text{HCO}_3^-$  w wodach Bystrzanki we wrześniu trzech kolejnych lat, wynoszące 247,1 mg/l. Udział węglanów w tych okresach prześledzić można na podstawie zależności pomiędzy twardością węglanową, a twardością ogólną wód Bystrzanki (ryc. 25). Zależności te są inne przy przepływach niżówkowych niż przy wezbraniowych. W pierwszym przypadku zbiór punktów mieści się w przedziale 0,8—1,0, natomiast w drugim — punkty skumulowane są głównie w przedziale 0,3—0,5. Również zależność pomiędzy twardością węglanową a twardością niewęglanową jest inna zimą i inną latem. W zimie obserwuje się wyższą twardość węglanową w wodach potoku i głębszych wodach gruntowych, natomiast niską w wodach płytkich. W lecie wody często posiadają wyższą twardość niewęglanową. W tym okresie płytkie



Ryc. 25. Zależność pomiędzy twardością węglanową a twardością ogólną wód Bystrzanki w okresach 1—suszy, 2—roztopów, 3—deszczów

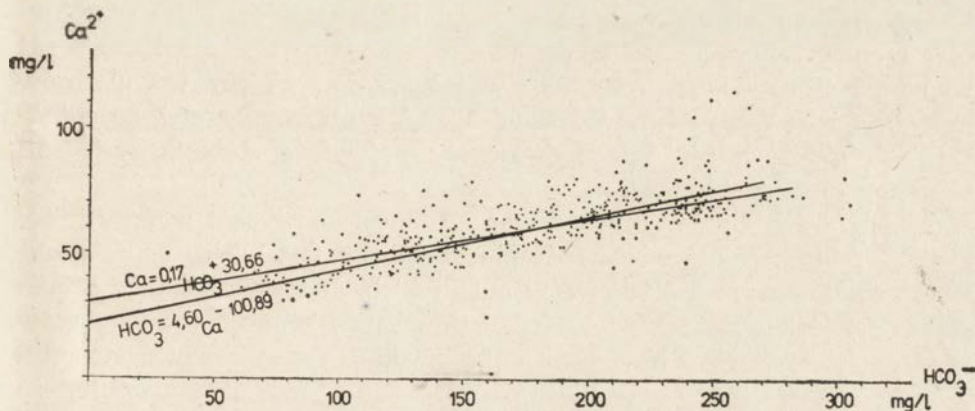
Relation between the carbonate hardness (a) and total hardness (b) of water of the Bystrzanka river in periods of 1—drought, 2—thawing, 3—rainfall

wody śródpokrywe charakteryzują się w wielu przypadkach wyższą twardością węglanową niż zimą.

Sole węglanowe występują w wodach najczęściej w postaci dwuwęglanów wapnia i magnezu. W przypadku wód badanego obszaru widoczna jest wyraźna zależność korelacyjna pomiędzy zawartością jonów  $\text{HCO}_3^-$  a zawartością jonów  $\text{Ca}^{2+}$ . Zależność tę (ryc. 26) wyrażają wysokie dodatnie współczynniki korelacji dla poszczególnych lat: 1973 —  $r = 0,850$ , 1974 —  $r = 0,880$ , 1975 —  $r = 0,820$ . Istotność tej korelacji, wynoszącej 99,9%, została sprawdzona na podstawie rozkładu  $t$ -Studenta. Najlepsze aproksymacje dla istniejących zależności wyrażają regresje prostoliniowe według równań:

$$\begin{aligned} \text{dla 1973 r.} \quad \text{Ca} &= 0,13\text{HCO}_3 + 33,50, \\ &\text{HCO}_3 = 5,75\text{Ca} - 146,79; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dla 1974 r.} \quad \text{Ca} &= 0,17\text{HCO}_3 + 30,66, \\ &\text{HCO}_3 = 4,60\text{Ca} - 100,89; \end{aligned}$$



Ryc. 26. Związek stężenia jonów wapnia ze stężeniem jonów wodorowęglanowych w wodach potoku Bystrzanka

Relation between the concentration of calcium ions and hydrogen carbonate ions in the Bystrzanka stream

$$\begin{aligned} \text{dla 1975 r.} \quad \text{Ca} &= 0,18\text{HCO}_3 + 33,38, \\ \text{HCO}_3 &= 3,71\text{Ca} - 64,16. \end{aligned}$$

Najbardziej wyraźna zależność funkcyjna występuje w okresach prze-wagi ługowania i odprowadzania tych składników z podłoża skalnego przez głębsze wody gruntowe. Podyktowane jest to m. in. tym, że więk-szość ługowanych węglanów pochodzi z głębszych poziomów utworów zwietrzelinowo-skalnych badanej zlewni (tab. 34). Stężenia  $\text{HCO}_3^-$

Tabela 34

Przeciętne stężenia wodorowęglanów w różnych poziomach wód obszarów magurskiego i inoceramowego zlewni Bystrzanki (mg/l)

Rodzaj wód	Obszar piaskow-ców magurskich	Obszar warstw inoceramowych
Powierzchniowe	20,2	41,8
Śródpokrywowe	29,3	49,8
Śródskalne	161,8	336,3

w wodach podziemnych są 6-krotnie i więcej wyższe niż w wodach powierzchniowych i śródpokrywowych, co świadczyć może o częściowym wylugowaniu tego składnika z wierzchnich poziomów pokryw zwietrzę-linowych.

W zlewni Bystrzanki obserwuje się wyraźne zróżnicowanie stężenia  $\text{HCO}_3^-$  w odpływających wodach, ściśle nawiązujące do zróżnicowania



litologii podłoża. Wody podziemne części zlewni zbudowanej z piaskowców magurskich posiadają średnio 2-krotnie niższe stężenia  $\text{HCO}_3^-$  niż wody części zbudowanej z utworów inoceramowych czy też utworów krośnieńskich. Wody odprowadzane drenami z obszaru warstw krośnieńskich w okresach niżówek wykazywały najwyższe stężenia tych soli (średnio 359,27 mg/l).

W obszarach zbudowanych z warstw inoceramowych i warstw krośnieńskich ługowanie i odprowadzanie węglanów jest większe niż w obszarze zbudowanym z piaskowców magurskich. Jednak skala tego procesu nie jest tak duża jak na to wskazują różnice koncentracji węglanów w wodach tych obszarów, ponieważ decydują o tym również stosunki wodne. Lepsza przepuszczalność utworów magurskich powoduje, że większość wód spływa w głębszych, mniej wyługowanych poziomach zwietrzelinowo-skalnych w odróżnieniu od utworów inoceramowych, gdzie znaczna część wód spływa po powierzchni stoków i w płytkich poziomach pokryw zwietrzelinowych. Największe ługowanie węglanów z tych obszarów odbywa się w okresach wezbrań roztopowych i deszczowych, gdyż w tym czasie koncentracje węglanów maleją nie więcej niż 13-krotnie, natomiast przepływy wzrastają kilkasetkrotnie, a nawet — jak np. w dniu 30. 06. 1973 r. — 3750-krotnie.

#### SIARCZANY

Siarczany dostające się do wód Bystrzanki pochodzić mogą z wielu źródeł. Mogą być ługowane z utworów skalnych, gdzie stwierdzono związki siarki (Szajnocha 1896; Ricke 1961) oraz z rozkładającej się roślinności czy resztek organizmów i mikroorganizmów. Według A. A. Kołodziejnej (1970) ilość tych ostatnich w 1 g gleby brunatnej dochodzić może do 7,5 mln. Badania L. E. Rodiny i N. I. Bazylewicza (cyt. Kołodziejna 1970) wskazują, że w obszarach leśnych strefy umiarkowanej dostaje się z opadem liści i igliwia 3—7,5 kg/ha siarki, która w procesie rozkładu koncentrować się może w górnych horyzontach gleby. Ponadto część siarczanów pochodzić może z gazów, uwalniających się ze złóż bituminów występujących na badanym obszarze, z nawożenia, a także z opadów atmosferycznych rozpuszczających produkty ekshalacji zakładów przemysłowych. Zakłady takie występują w odległości od kilku (Gorlice) do kilkudziesięciu kilometrów (Nowy Sącz-Biegonice, Jasło, Tarnów). W składzie jonowym opadów atmosferycznych tego obszaru siarczany wysuwają się na pierwsze miejsce (tab. 10). Znaczne ilości siarki w opadach stwierdza A. Chojnacki (1967) — (patrz tab. 46). Na Górnym Śląsku opad siarki w okresie 5 miesięcy wynosił 1500 kg/km<sup>2</sup>, a w rejonie Morskiego Oka 267 kg/km<sup>2</sup> (Kasina i in. 1976).

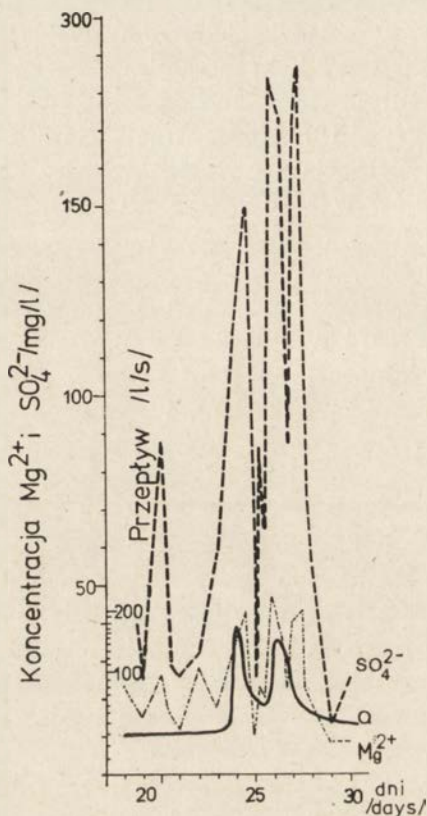
Siarczany należą do anionów bardzo ruchliwych i łatwo rozpuszczalnych w wodzie, żywo reagujących na dostawę wód opadowych i roz-

topowych. W czasie deszczów i roztopów wyraźnie wzrasta zawartość i udział siarczanów w składzie jonowym wód Bystrzanki. W 1973 r. dłuższy okres zwiększonej koncentracji siarczanów obserwowano podczas roztopów w lutym i w marcu oraz wiosenno-letnich opadów w czerwcu i lipcu (ryc. 18). Koncentracje siarczanów o wiele bardziej wzrosły z chwilą rozpoczęcia się długiego okresu opadów w 1974 r. oraz dużej retencji i opadów w 1975 r. (ryc. 19 i 20). Średnie roczne stężenia siarczanów w wodach Bystrzanki wykazywały z każdym rokiem progresywnie tendencje zmian, związane z warunkami hydroklimatycznymi w latach badań. W porównaniu z wartościami z 1973 r. średnia koncentracja siarczanów w 1974 r. była 2,5-krotnie, a w 1975 r. ponad 3-krotnie wyższa. Niskie koncentracje  $\text{SO}_4^{2-}$  występowały najczęściej w drugiej połowie lata (sierpień, wrzesień). Wyjątkowo wysokie opady od maja do grudnia 1974 r. sprzyjały znacznemu odprowadzaniu siarczanów w tym okresie.

Siarczany nie wykazują wyraźnych relacji z przepływem wody, gdyż koncentracja ich ulega bardzo częstym i dużym oscylacjom, nie zawsze związanym z wahaniami przepływów wody. Na fakt ten zwrócono uwagę wcześniej (Oleksynowa 1970; Maultz 1972), jednak jak dotąd nie zdołano wyjaśnić przyczyn tego zjawiska. Wydaje się, że oprócz wielu innych czynników na zmiany stężenia siarczanów ma wpływ rozkład natężenia pojedynczych opadów a bezpośrednio czas i ilość kontaktujących w danej chwili z podłożem wód. W warunkach topnienia śniegu, spowodowanego opadami deszczu i dodatnimi temperaturami powietrza przy zamrzniętym podłożu, wahania koncentracji siarczanów nie są zbyt duże (por. ryc. 3 i 18). Wody opadowe i roztopowe, nie mając możliwości wsiąkania w podłoże, posiadają takie stężenia siarczanów, jakie nabyły w atmosferze oraz w kontakcie z powierzchnią gruntu.

Znacznie wyższe stężenia siarczanów wystąpiły po odmarznięciu gruntu i spływie wód gruntowych, a zwłaszcza podczas wiosennych i letnich opadów deszczu. Jednym z przykładów może być przebieg ich stężeń w czasie niewielkiego wezbrania wiosennego, spowodowanego opadami deszczu po dłuższym okresie suszy (ryc. 27). Gwałtowny wzrost koncentracji siarczanów w potoku wywołany został dopływem wód z powierzchni stoków po intensywnych opadach, natomiast ostatni wzrost siarczanów wiązał się z dopływem płytkich wód śródpokrywowych. Szybki spadek koncentracji siarczanów w czasie obniżania się przepływów wody w Bystrzance był wynikiem ustawiania śródpokrywowego spływu wód na stokach. Podobny przebieg wzrostu koncentracji siarczanów obserwowano podczas wezbrania spowodowanego znacznie wyższymi opadami burzowymi w dniach 22 i 23.05.1974 r. (ryc. 28), poprzedzonego niewielkim wezbraniem w dniu 21.05. Pierwsza (I) faza wysokiego stężenia  $\text{SO}_4^{2-}$  charakteryzowała się gwałtownymi wahaniami, wywołanymi zmiennością natężenia opadów i czasem dopływu wód ze

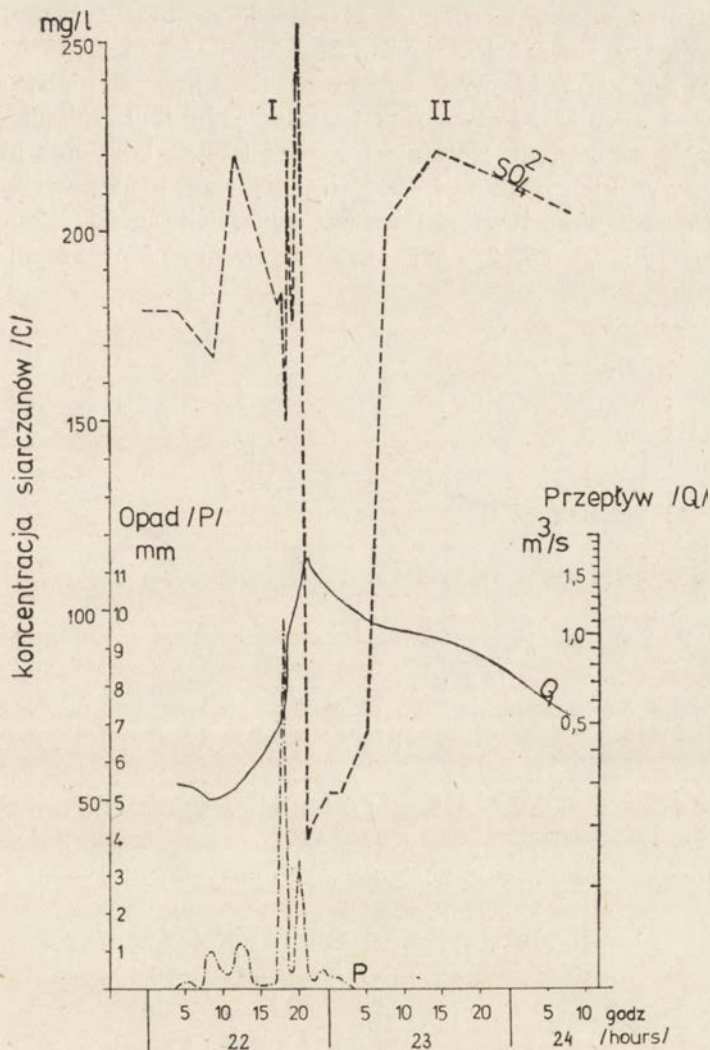




Ryc. 27. Zmienność koncentracji magnezu i siarczanów podczas niewielkiego wezbrania wód Bystrzanki w dniach 25 i 27.04.1974 r., po dłuższym okresie suszy  
 Variability of concentrations of Mg and sulphates during the small rise of the Bystrzanka water level on 25 and 27 April, 1974 after a longer period of drought

stoków i cieków do koryta Bystrzanki. Gwałtowny spadek koncentracji tuż przed i po kulminacji przepływu wody, z najwyższych notowanych w tym dniu wartości do najniższych, spowodowany został ulewnym deszczem i związanym z tym gwałtownym spływem powierzchniowym. Późniejszy nagły wzrost koncentracji siarczanów w kilka godzin po kulminacji przepływu wywołany został dotarciem do Bystrzanki wód spływających z pokryw zwietrzelinowych stoków (II faza — ryc. 28). Potwierdził to spływ wody w pokrywach zwietrzelinowych i wysokie koncentracje siarczanów na stoku S—2, wyprzedzające o około 2 godziny wzrost koncentracji siarczanów w potoku. Krótszy i płytszy kontakt wód opadowych oraz wyższe temperatury gruntu i częste wiatry w maju i czerwcu 1975 r. powodowały szybkie jego osuszanie i słabsze ługowanie. Wskazują na to niższe koncentracje siarczanów w wodach Bystrzanki w dniu 20.06, podczas wezbrania wywołanego opadami burzowymi (ryc. 23).





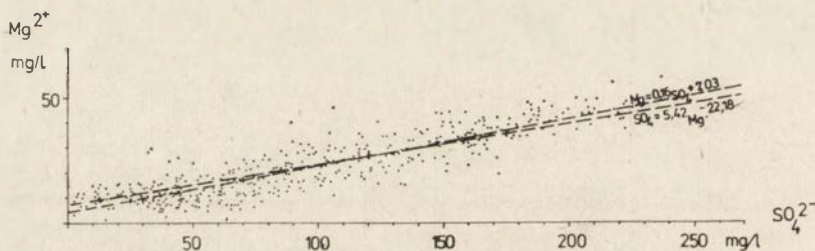
Ryc. 28. Zmiany koncentracji siarczanów na tle opadów i przepływów wody w Bystrzance w dniach 22—23.05.1974 r.

Changes of the sulphate concentration (C) versus precipitation (P) and discharge (Q) of the Bystrzanka stream on 22—23 May, 1974

Przed kulminacją przepływu obserwuje się wzrost stężenia  $\text{SO}_4^{2-}$  spowodowany dopływem wód powierzchniowych, natomiast wzrost ich stężenia po kulminacji — dopływem wód z pokryw zwietrzelinowych stoków.

Zmianom koncentracji siarczanów dość wyraźnie odpowiadają zmiany koncentracji magnezu, co wskazuje na łatwiejsze łączenie się w tych warunkach siarczanów z magnezem niż z wapniem, sodem czy potasem.

W latach umiarkowanie suchych obserwuje się brak lub mniejszą zależność pomiędzy zawartością jonów  $Mg^{2+}$  i  $SO_4^{2-}$  w wodach Bystrzanki, kiedy znaczna część wód odprowadzana jest z głębszego podłoża (1973 r. — ryc. 18). Potwierdza to współczynnik korelacji ( $r = 0,400$ ) pomiędzy tymi jonami. Natomiast bardzo istotną korelację obserwowano w latach wysokich opadów i dużej retencji wód gruntowych. W tych latach każdemu wzrostowi siarczanów odpowiada proporcjonalny wzrost magnezu (ryc. 19, 20, 29, 31). Przekonywającymi argumentami są wy-



Ryc. 29. Związek pomiędzy stężeniem jonów magnezu i siarczanów w wodach Bystrzanki

Relation between the concentration of magnesium ions and sulphates in the Bystrzanka stream

niki z dwóch kolejnych lat, dla których współczynniki korelacji były bardzo wysokie: 1974 —  $r = 0,920$ , 1975 —  $r = 0,930$ . Zależność tę wyrażają równania regresji o następujących postaciach:

$$\begin{aligned} \text{dla 1974 r.} \quad & Mg = 0,16SO_4 + 7,25, \\ & SO_4 = 5,49Mg - 29,10, \\ \text{dla 1975 r.} \quad & Mg = 0,16SO_4 + 7,03, \\ & SO_4 = 5,42Mg - 22,18. \end{aligned}$$

Nachylenie prostych, opisujących te równania (ryc. 29) tworzą nieznaczące nożyce. Zależność tę można uznać za funkcyjną, którą wyznacza jedna prosta, natomiast widoczne odchylenie od niej może być spowodowane błędem metodycznym oznaczania i obliczania tych wartości.

Skład chemiczny badanych wód opadowych wskazuje na to, że duża część odprowadzanych ze zlewni siarczanów pochodzi z tych właśnie wód, które w okresach spływu dostają się bezpośrednio w całości do Bystrzanki. Przy opadach mniejszych, nie powodujących powierzchniowego i śródpokrywowego spływu wód, następuje koncentracja siarczanów w górnych poziomach pokryw stokowych. Uruchamiane i odprowadzane są one dopiero przy większych opadach, powodujących spływ

wody w pokrywach zwietrzelinowych. Znaczna część siarczanów uwalniana jest w procesie rozkładu roślinności, szczególnie z dużego obszaru leśnego, występującego w części zbudowanej z piaskowców magurskich. Trzecim źródłem większego dostarczania siarczanów są nawozy rozsiewane na polach uprawnych pogórskiego obszaru zlewni. Za przewagą udziału siarczanów pochodzenia niedenudacyjnego (nie z podłoża) w ogólnym odprowadzaniu ze zlewni przemawia fakt dużego wzrostu ich koncentracji w okresach wezbraniowych oraz w wodach powierzchniowych i płytkich wodach gruntowych. Siarczany pochodzące z ługowania podłoża stanowią zatem tylko małą część wszystkich odprowadzanych ze zlewni siarczanów. Relacje te odzwierciedlać może w pewnym sensie stosunek koncentracji siarczanów w wodach śródpokrywowych do ich stężenia w wodach podłoża skalnego (źródło) obszaru warstw inoceramowych, który wynosi 3 : 1.

Ilość i zmienność odprowadzania siarczanów uzależniona jest nie tylko od zasobności skał podłoża w minerały zawierające związki siarki, lecz przede wszystkim od opadów, a także biologicznego i antropogenicznego nagromadzenia tych związków. Wyniki badań wskazują, że w latach wilgotnych odprowadzanych jest znacznie więcej siarczanów niż w latach o opadach przeciętnych lub niższych.

#### CHLORKI

Chlor należy do pierwiastków bardzo ruchliwych, a prawie wszystkie jego związki są łatwo rozpuszczalne w wodzie, dając sole kwasu solnego. W skałach osadowych największe nagromadzenie chloru stwierdzono w utworach ilastych i łupkach (180 g/t), a najmniejsze — w piaskowcach, 10 g/t (Turekian, Wedepohl 1961). Zawarte w wodzie rzecznej chlorki pochodzić mogą z gleby, z naturalnych złóż soli, ze ścieków oraz odchodów zwierzęcych.

Wody spływające z obszaru zlewni Bystrzanki cechuje dość znaczne zróżnicowanie stężenia chlorków. Wody obszaru zbudowanego z piaskowców magurskich wykazują najniższą koncentrację tego składnika w porównaniu z wodami pozostałej części zlewni. Dotyczy to wód powierzchniowych, śródpokrywowych, a zwłaszcza wód podłoża skalnego (tab. 35), jak również cieków odwadniających ten obszar (tab. 36 — ciek II i VII). W obszarze inoceramowym obserwuje się wzrost zawartości chlorków w wodach wraz ze wzrostem głębokości ich występowania, natomiast w obszarze magurskim — spadek, co świadczyć może o wtórnym nagromadzeniu chloru w pokrywach zwietrzelinowych. Najwyższe stężenia chlorków notowano w wodach obszaru zbudowanego z warstw krośnieńskich (19,0—61,0 mg/l). Wody cieków tego obszaru (tab. 36—ciek VI) posiadają średnio 2-krotnie wyższe stężenia  $\text{Cl}^-$  niż wody cieków obszaru inoceramowego (6,0—30,5 mg/l) i około 3-krotnie wy-



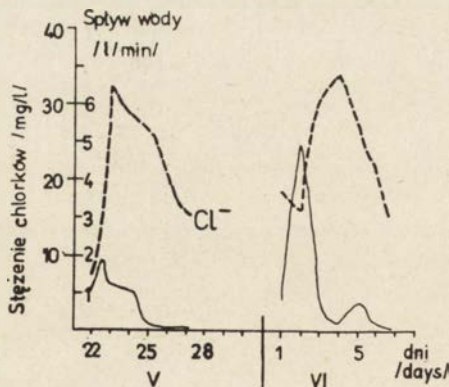
Tabela 35

Przeciętne stężenia chlorków w różnych poziomach wód obszarów magurskiego i inoceramowego zlewni Bystrzanki (mg/l)

Rodzaj wód	Obszar magurski	Obszar inoceramowy
Powierzchniowe	7,3	7,9
Śródpokrywowe	9,5	10,8
Śródskalne	6,5	12,1

ższe niż wody cieków obszaru magurskiego (4,8—26,7 mg/l). W latach obfitujących w opady również wody źródlane posiadały wyższe stężenia chlorków (1974—średnio w źródłach 11,6—14,8 mg/l) niż w latach suchych (1973—średnio 3,1—9,7 mg/l). Chlorki nie wykazują wyraźnego związku z przepływem wody w pojedynczych wezbraniach, zaznacza się jednak wzrost ich stężenia w okresach deszczowych i roztopowych, co związane jest z dopływem wód powierzchniowych i śródpokrywowych ze stoków (ryc. 30). Okresami zwiększonej dostawy chlorków przez te wody jest wiosna i jesień, kiedy stosuje się nawożenie gruntów.

Oprócz chlorków pochodzących z ługowania gleb, pokryw zwietrzelinowych i skał podłoża, duża ich część pochodzi również z opadów atmosferycznych. Na badanym obszarze stężenia  $\text{Cl}^-$  w opadach wynosiły od 5,1 mg/l do 12,7 mg/l, a zatem na obszar zlewni dostaje się średnio około 6,3 kg/ha chloru. A. Chojnacki (1967) obliczył, że w 1966 r. dostawało się z opadami na powierzchnię gleb Polski południowej 5,3—18,5 kg/ha chloru.



Ryc. 30. Zmiany koncentracji chlorków podczas śródpokrywowego spływu wody ze stoku S—2 po intensywnych opadach deszczu pod koniec maja i na początku czerwca 1974 r.

Changes of chlorides concentration during water interflow from the slope S—2 after the intensive precipitation at the end of May and at the beginning of June,

1974

Stwierdzono, że przeważająca masa chlorków jest odprowadzana w roztworze podczas zwiększonego spływu wód ze stoków, wywołanego opadami i roztopami. Stężenia chlorków w opadach i w wodach powierzchniowych wskazują, że w tych drugich  $\text{Cl}^-$  prawie w całości pochodzi z opadów. Dobra przepuszczalność utworów magurskich sprawia, że chlorki z wodami opadowymi dostają się do głębszych wód gruntowych, tam jednak stężenie ich nie wzrasta, co świadczy o słabym ługowaniu chlorków z tych skał. W obszarach zbudowanych z utworów inoceramowych i krośnieńskich ługowanie chlorków jest większe. Stężenia chlorków we wszystkich wodach wskazują, że w ogólnej ilości  $\text{Cl}^-$  odprowadzanych ze zlewni 25—30% pochodzi z ługowania utworów badanego obszaru.

Reasumując należy stwierdzić, że opady atmosferyczne są głównym czynnikiem powodującym zmiany koncentracji poszczególnych składników soli w wodach Bystrzanki oraz wielkości ich odprowadzania. Zwiększona dostawa wód opadowych powoduje wzrost intensywności ługowania wszystkich elementów, przy czym nie jest to równoznaczne ze wzrostem ich stężenia. W okresach wezbrań ługowanie takich jonów jak  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  czy  $\text{HCO}_3^-$  zwiększa się w wyniku wzrostu przepływów wody, pomimo wyraźnego spadku ich stężenia. Znacznie bardziej potęguje się w tych okresach odprowadzanie magnezu, siarczanów i chlorków z równoczesnym wzrostem ich stężenia. Mają one przede wszystkim wpływ na wzrost ogólnej koncentracji soli w latach większego odpływu wód ze zlewni Bystrzanki (1974, 1975). Niemalą rolę w zmienności odprowadzania omawianych jonów odgrywa również przestrzenne zróżnicowanie litologii podłoża badanej zlewni oraz warunki spływu wód z różnych obszarów.

#### PRZESTRZENNE ZRÓŻNICOWANIE DENUDACJI CHEMICZNEJ W ZLEWNI BYSTRZANKI

Większość badaczy łączy zróżnicowanie denudacji chemicznej ze zmiennością warunków naturalnych (m. in. Anderson, Hawkes 1958; Froehlich 1975; Lahermo 1971; Walling, Webb 1975), inni zwracają również uwagę na wpływ gospodarczej działalności człowieka (Foggin, Forcier 1964; Wilamski 1978).

Zarys zróżnicowania przestrzennego denudacji chemicznej w fliszowej zlewni Bystrzanki przedstawiono w odrębnym artykule (Welc 1978). We wszystkich rodzajach wód (powierzchniowe, śródpokrywowe i źródlane z głębszego podłoża) spływających z obszaru zbudowanego z warstw magurskich koncentracje soli są niższe niż w wodach spływających z obszaru zbudowanego z warstw krośnieńskich i inoceramowych. Różna jest również koncentracja soli w ciekach odwadniających te obszary zlewni.

Mineralizacja i skład jonowy wód cieków zlewni Bystrzanki w latach 1973–1975 (mg/l)

Numer ciek na rycinie 1	Średnia mineralizacja	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
I	240,23	58,6	19,6	2,6	34,0	184,7	73,6	13,3
II	213,71	40,4	23,3	2,1	31,2	128,3	88,7	8,6
III	255,53	64,1	19,8	1,9	43,5	211,1	66,6	15,8
IV	251,36	56,4	17,9	3,8	18,5	175,9	82,0	18,3
V	255,77	64,3	20,3	4,4	32,6	186,6	85,9	14,8
VI	374,95	104,2	23,8	1,4	24,2	323,6	89,4	25,7
VII	215,82	52,0	17,2	1,6	24,1	161,6	65,4	7,2
VIII	248,55	64,3	18,6	1,8	24,8	186,6	79,2	11,5
IX	306,32	87,8	17,3	6,4	27,4	248,3	87,8	16,5
X	297,16	89,8	20,5	2,6	19,5	281,3	70,2	12,2
Bystrzanka	259,31	61,2	19,1	5,0	19,3	181,8	79,9	11,9

Dwa cieki (II i VII—tab. 36) odwadniające obszar zbudowany z piaskowców magurskich posiadają najniższą mineralizację wód.

Śledząc zmiany mineralizacji wód potoku Gerucha (ciek VII) stwierdzono obniżanie się jej w odcinku przyujściowym. Wiąże się to przede wszystkim ze zmianą spadku, wolniejszym płynięciem wody, jej szybszym nagrzewaniem się po opuszczeniu strefy lasu i wytrącaniem się niektórych związków. Tendencjom tym nie podlegają jednak wszystkie makroelementy. Wodorowęglany, mające największy udział w składzie jonowym wód Geruchy (tab. 37), do chwili opuszczenia przez te wody obszaru łupków pstrych wykazywały ciągły wzrost stężenia (ok. 40 mg/l), po czym następował stopniowy jego spadek aż do wartości zbliżonych

Tabela 37

Zmiany średnich koncentracji soli w cieku Gerucha (VII), odwadniającym obszar warstw magurskich (mg/l)

Punkty pomiarów i zmiany podłoża ciek	Mineralizacja ogólna	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Źródło 1, piaskowce magurskie	262,83	60,7	20,5	1,3	6,5	161,8	99,9	7,7
Punkt a — piaskowce magurskie	250,58	59,7	20,0	2,6	20,4	173,2	85,7	5,6
Punkt b — piaskowce i łupki	250,56	59,6	21,5	1,1	22,4	189,4	71,5	6,8
Punkt c — łupki pstry	251,24	59,5	24,3	1,9	29,3	198,7	72,4	8,0
Punkt VII — warstwy inoceramowe	215,82	52,0	17,2	1,6	24,1	161,6	65,4	7,2



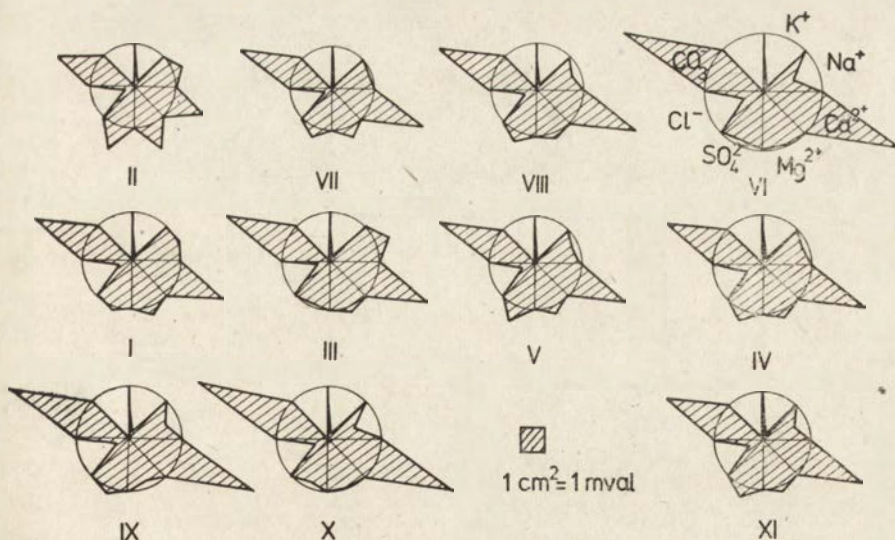
jak w źródle. Podobnym zmianom podlegał magnez, sól i chlorki. Natomiast stężenie siarczanów znacznie zmniejszało się z biegiem potoku. Wyższe koncentracje  $\text{SO}_4^{2-}$  notowano w latach obfitujących w opady. Zawartość wapnia na ogół utrzymywała się na jednakowym poziomie, nieznacznie tylko spadała w dolnym biegu potoku. Stężenia większości jonów wzrastają przy przepływanu wód przez łupki pstre.

Stężenia soli w wodach cieków części pogórskiej są wyższe od wód cieków części beskidzkiej, ale różnią się między sobą mineralizacją i składem chemicznym. W pogórskiej części zlewni wyróżnić można trzy regiony, charakteryzujące się odmiennym stężeniem i składem jonowym wód.

Region pierwszy obejmuje obszar źródłowy Bystrzanki. Wody tego obszaru (cieki I, III, IV, V; ryc. 1) miały niższe stężenie soli niż wody cieków pozostałej pogórskiej części zlewni (tab. 36). Przyczynę niższych stężeń soli w źródłowym odcinku Bystrzanki (I) w stosunku do trzech pozostałych cieków upatrywać można w docieraniu wód ze stoków magurskich w okresach dłuższych opadów i roztopów.

Region drugi charakteryzują wody cieku VI o najwyższych stężeniach soli. Tak wysoka mineralizacja ogólna, a także wysokie stężenia wapnia i wodorowęglanów (tab. 36) wskazywały na ługowanie bogatych w węglany utworów krośnieńskich porwaka tektonicznego, stwierdzonego przez H. Świdzińskiego (1973).

Trzecim regionem pogórskim jest ujściowy obszar zlewni Bystrzan-

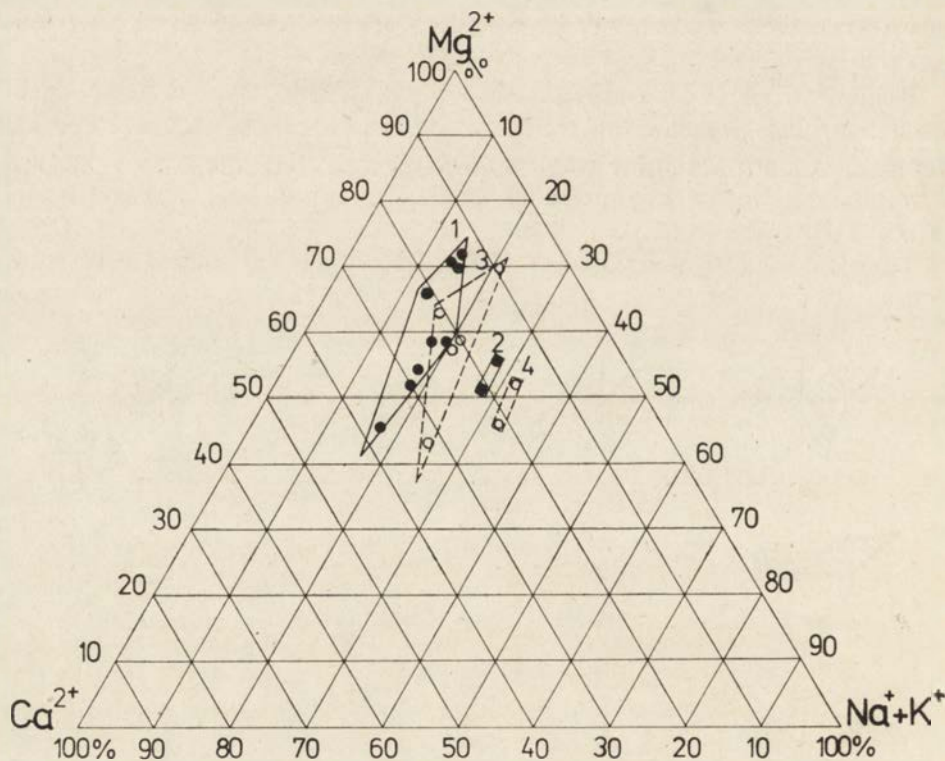


Ryc. 31. Zróznicowanie stężenia soli (mval/l) i składu jonowego wód potoków zlewni Bystrzanki (ryc. 1) w latach 1973—1975

Variability of the salt concentration (mval/l) and ionic composition of water of the streams in the Bystrzanka catchment (Fig. 1) in 1973—1975

ki, którego cieki (IX i X) charakteryzowały się wyższymi stężeniami soli niż wody źródłowego odcinka, pomimo że obydwa te obszary zbudowane są z warstw inoceramowych. Głównym składnikiem zwiększającym stężenie soli były węglany, w które — zdaniem H. Kozikowskiego (1956), a także H. Świdzińskiego (1973) — mogą być bardziej zasobne bądź niektóre warstwy piaskowców, bądź łupków w ujściowym obszarze zlewni.

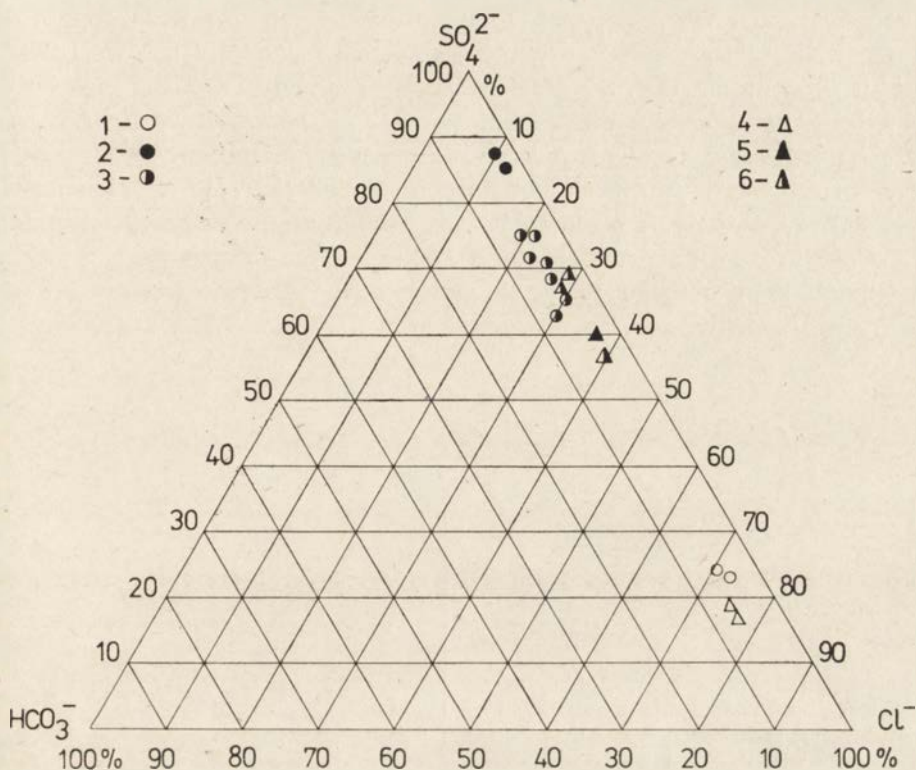
Zróznicowanie średniego stężenia soli (w mval/l) w wodach cieków różnych części zlewni Bystrzanki oraz udział jonów przedstawiony na rycinie 31 wskazują na hydrochemiczną odrębność tych regionów. Bez względu i względny udział kationów w wodach obszaru górskiego (piaskowce magurskie) oraz w wodach obszaru pogórskiego (utwory inoceramowe i częściowo krośnieńskie) wykazują w każdym przypadku prze-



Ryc. 32. Udział (%) kationów w wodach obszaru pogórskiego

(1 — cieki, 2 — wody powierzchniowe i śródpokrywowe) oraz górskiego zlewni (3 — cieki, 4 — wody powierzchniowe i śródpokrywowe)

Amount of cations (%) in water of the foreland part (1 — streams, 2 — surface runoff and interflow) and in mountain part of the catchment (3 — streams, 4 — surface runoff and interflow)



Ryc. 33. Udział (%) anionów w wodach obszaru pogórskiego

(1 — wody powierzchniowe i śródpokrywowe, 2 — źródło, 3 — ciekły oraz górskiego zlewni (4, 5, 6 — analogicznie)

Amount of anions (%) in water of the foreland part

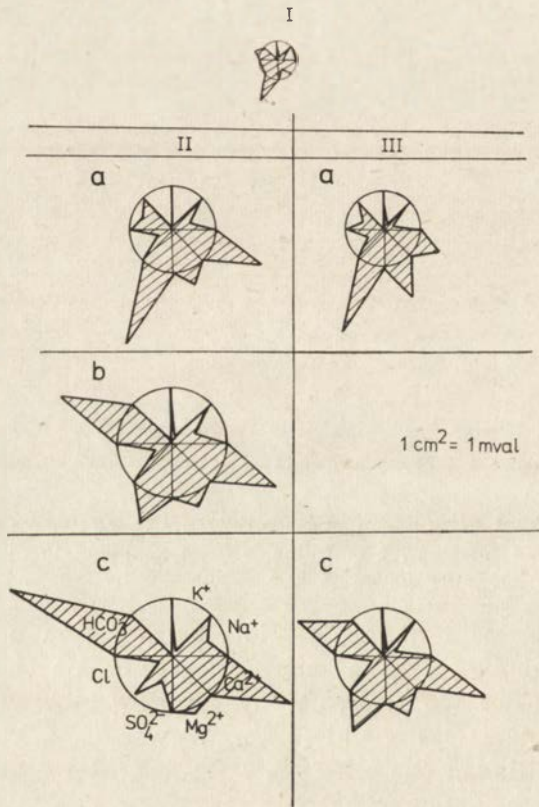
(1 — surface runoff and interflow, 2 — spring, 3 — stream) and in mountain part of the catchment (4, 5, 6 — analogically)

wagę  $\text{Ca}^{2+}$  nad  $\text{Mg}^{2+}$  i nad  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ . Najwyższym udziałem wapnia w stosunku do pozostałych kationów charakteryzują się wody obszarów warstw krośnieńskich (83%) oraz wody utworów inoceramowych ujściowego obszaru zlewni Bystrzanki (60%). W wodach źródłowego obszaru zlewni dużym udziałem charakteryzuje się sód, który łącznie z potasem dorównuje niekiedy kationom wapnia.

Względny stosunek kationów zawartych w wodach obszaru beskidzkiego nie wykazuje zbyt dużych różnic w porównaniu z tymi w wodach obszaru pogórskiego. Niewielkie różnice spowodowane są przede wszystkim większym udziałem magnezu we wszystkich wodach obszaru beskidzkiego. Widoczne jest to w równoległym przesunięciu punktów na trójkątach, charakteryzujących kationy i aniony badanych wód (ryc. 32 i 33). Względny udział węglanów i chlorków w wodach obszaru beskidzkiego, w porównaniu z udziałem ich w wodach obszaru pogórskiego, zmniejsza się na korzyść siarczanów. Rozrzut punktów, wyrażających



względny udział anionów zawartych w wodach cieków każdego z tych obszarów, mieści się w przedziale kilkunastu procent dla  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$  i kilku procent dla  $\text{Cl}^-$ . Stosunek udziału anionów w wodach cieków do ich udziału w wodach powierzchniowych i śródpokrywowych wykazuje podobną zależność w obydwóch wspomnianych obszarach. Mineralizacja wód gruntowych w tych obszarach zwiększa się z głębokością (ryc. 34). W badanych poziomach wód utworów inoceramowych średnio około 76,7 mg/l, a magurskich około 89,5 mg/l, przy czym we wszystkich poziomach wód obszaru magurskiego jest ona średnio niższa o około 60—70 mg/l niż w wodach obszaru inoceramowego. Wraz z głębokością



Ryc. 34. Zmienność koncentracji soli i składu jonowego (w mval/l) wód opadowych (I) oraz wód gruntowych na stoku inoceramowym (II) i na stoku magurskim (III)

a — wody śródpokrywowe do głębokości 1 m, b — wody głębszych utworów kółuwalnych, c — wody śródskałne

Variability of the salt concentration and ionic composition (in mval/l) of rain water (I) and of the ground water on the Inoceramus slope (II) and on the Magura slope (III)

a — interflowing water to the depth of 1 m, b — water of the deeper colluvia, c — inter-rock water

zmienia się również skład jonowy (ryc. 34). W wodach śródpokrywowych obszaru inoceramowego przeważają siarczany (51%), których udział w miarę głębokości maleje (w wodach śródskałnych wynosi poniżej 5%), na korzyść węglanów. Względny udział siarczanów w wodach śródpokrywowych warstw magurskich jest podobny, lecz ich udział maleje wolniej, gdyż w wodach śródskałnych wynosi jeszcze ponad 30%. Większy udział siarczanów w głębszych wodach tego obszaru można tłumaczyć lepszymi warunkami infiltracyjnymi i wmywaniem związków pochodzących z zanieczyszczeń atmosferycznych i rozkładu części masy organicznej z lasów. Głębsze wody gruntowe wykazują większy udział siarczanów niż wody cieków, natomiast w obszarze pogórskim obserwuje się sytuację odwrotną z równoczesnym wzrostem udziału węglanów.

Ponieważ ługowanie chemiczne jest procesem dynamicznym, jego obraz przestrzenny zmienia się zależnie od warunków pogodowych. W okresach przepływów niżówkowych ilość soli transportowana w ciekach była uzależniona od zróżnicowania zapasów retencyjnych wody. Podczas niskich przepływów najwyższym wskaźnikiem odprowadzania soli charakteryzował się obszar warstw magurskich, pomimo niższych koncentracji soli niż w wodach pozostałych obszarów zlewni (tab. 38).

Tabela 38

Wskaźniki transportu soli z różnych obszarów zlewni Bystrzanki w czasie odpływu niżówkowego

Rodzaj podłoża	Średnie stężenie soli (mg/l)	Wskaźnik średniego odpływu wody (l/s · km <sup>2</sup> )	Wskaźnik średniego transportu soli (g/s · km <sup>2</sup> )
Piaskowce magurskie	221,60	1,62	0,359
Warstwy inoceramowe	267,24	0,58	0,155
Warstwy krośnieńskie	375,61	0,41	0,154

Wynika to z faktu, że w okresach niżówkowych cieki tego obszaru odprowadzają najwięcej wody w stosunku do pozostałych. W czasie niżówek denudacja chemiczna obszaru inoceramowego i obszaru warstw krośnieńskich była ponad 2-krotnie niższa.

Inny przestrzenny obraz ługowania chemicznego rejestrowano w okresach roztopów czy opadów deszczu. Podczas niezbyt wysokich opadów i słabo intensywnych roztopów najniższym wskaźnikiem odprowadzania soli charakteryzowały się wody spływające z obszaru magurskiego, nieco wyższym wody z obszaru inoceramowego, a najwyższym wody z warstw krośnieńskich (tab. 39), pomimo odwrotnej kolejności wzrostu odpływu wód. W tej samej kolejności wzrastały wskaźniki odprowadzania soli w czasie wysokich odpływów wody (tab. 40). Okazuje się, że średnie stężenia soli w okresach małych wezbrań były wyższe niż pod-

Tabela 39

Wskaźniki odprowadzania soli z różnych obszarów zlewni Bystrzanki w czasie wezbrań o odpływach niższych od przeciętnych

Rodzaj podłoża	Średnie stężenie soli (mg/l)	Wskaźnik odpływu wody (1/s·km <sup>2</sup> )	Wskaźnik ługowania soli (g/s·km <sup>2</sup> )
Piaskowce magurskie	235,23	5,96	1,402
Warstwy inoceramowe	282,99	5,41	1,531
Warstwy krośnieńskie	391,06	4,70	1,838

Tabela 40

Wskaźniki odprowadzania soli z różnych obszarów zlewni Bystrzanki w czasie wysokich odpływów wody

Rodzaj podłoża	Średnie stężenie soli (mg/l)	Wskaźnik odpływu wody (1/s·km <sup>2</sup> )	Wskaźnik ługowania soli (g/s·km <sup>2</sup> )
Piaskowce magurskie	199,76	35,80	7,152
Warstwy inoceramowe	233,23	34,28	7,995
Warstwy krośnieńskie	354,73	28,56	10,131

czas niżówek. W czasie większych wezbrań, zwłaszcza po dłuższych okresach suszy, obserwuje się spadek przyrostu ładunku soli w stosunku do przepływu. Oprócz zróżnicowania ilościowego odprowadzania soli z wymienionych obszarów, wywołanego zmiennością odpływu wody, istnieje również wyraźne zróżnicowanie jakościowe. Przykładem może być średnia zawartość czterech głównych jonów w wodach odpływających z tych obszarów (tab. 41) w czasie suszy (6.08.1973) oraz wezbrania (26.07.1974). W okresach wezbraniowych w wodach wszystkich obszarów wyraźnie wzrasta zawartość magnezu i siarczanów, natomiast na ogół

Tabela 41

Średnie stężenia głównych jonów (mg/l) w wodach różnych obszarów zlewni Bystrzanki w okresach suszy i wezbrań

Rodzaj podłoża	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Okres suszy:				
piaskowce magurskie (obszar górski)	52,6	11,2	185,5	91,2
warstwy inoceramowe (obszar źródłowy)	59,2	14,9	227,4	21,9
warstwy inoceramowe (obszar ujściowy)	82,8	16,5	309,0	20,5
warstwy krośnieńskie	92,5	14,5	337,0	14,2
Okres wezbraniowy:				
piaskowce magurskie	41,4	31,8	96,1	149,2
warstwy inoceramowe (obszar źródłowy)	57,9	38,9	121,7	194,6
warstwy inoceramowe (obszar ujściowy)	88,5	29,5	213,6	115,5
warstwy krośnieńskie	110,8	29,7	335,8	118,9



spada zawartość wapnia i węglanów. Największy spadek stężenia jonów  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{HCO}_3^-$  obserwuje się w wodach obszaru magurskiego i źródłowego Bystrzanki (warstwy inoceramowe). Ich stężenie utrzymuje się na tym samym poziomie a nawet nieco wzrasta (np. wapń) w wodach obszaru warstw krośnieńskich.

Przedstawiony materiał wskazuje na to, iż o przestrzennym zróżnicowaniu, denudacji chemicznej decyduje zróżnicowanie litologiczne i skład mineralogiczny skał podłoża oraz zmiany pogody, powodujące niestabilność układu przestrzennego denudacji chemicznej.



## PRZYCZYNY PRZESTRZENNEJ I CZASOWEJ ZMIENNOŚCI DENUDACJI CHEMICZNEJ

### ROLA BUDOWY GEOLOGICZNEJ I ZWIĄZANEGO Z NIĄ KRAŻENIA WÓD

Struktura i litologia skał wpływają na rozmiary denudacji chemicznej, a według niektórych badaczy (np. Sweeting 1965) odgrywają decydującą rolę w tym procesie. Prowadzone w ostatnim ćwierćwieczu badania nad chemizmem wód Karpat dają pogląd na zróżnicowanie składu chemicznego soli i ich stężenia w zależności od budowy geologicznej drenowanego obszaru (Oleksynowa, Komornicki 1958; Bombówna 1960, 1968 1969; Pasternak 1968; Oleksynowa 1970; Maultz 1972).

Badania prowadzone w zróżnicowanej pod względem budowy geologicznej zlewni Bystrzanki dały możliwość przekonania się, w jakim stopniu zmienność podłoża wpływa na rozmiary ługowania chemicznego. W poprzednim rozdziale wskazano na odmienny sposób i tempo ługowania różnych utworów. W obszarze zbudowanym z piaskowców magurskich przepuszczalność szkieletowych pokryw zwietrzelinowych i podłoża powoduje, że większość wód infiltruje w te utwory, ługując intensywniej głębsze poziomy zwietrzelinowo-skalne w porównaniu z pozostałymi obszarami zlewni. Świadczy o tym rzadko występujący powierzchniowy spływ wody i rzadszy niż w obszarze inoceramowym spływ śródpokrywowy (do głębokości 1 m). Odmienny skład mineralogiczny podłoża omawianych obszarów wpływa m. in. na potencjalne możliwości nasycenia wód solami. W związku z tym, w wodach obszaru magurskiego koncentracje soli są średnio o 44,83 mg/l niższe niż w wodach obszaru inoceramowego i o 152,10 mg/l niższe niż w wodach warstw krośnieńskich. Wzrost koncentracji soli w tych ostatnich spowodowany jest przede wszystkim zasobnością skał w węglany. Różnice stężeń soli w wodach tych obszarów były na tyle duże, że one decydowały o wielkości ługowania, a nie różnice wielkości odpływu wody (tab. 42). Dlatego najsłabszemu ługowaniu chemicznemu podlega obszar zbudowany z piaskowców magurskich, silniejszemu z warstw inoceramowych, a najsilniejszemu — z utworów krośnieńskich. Ługowanie tych obszarów w podanej kolejności przedstawia stosunek liczb: 1,00: 1,11: 1,31, pomimo odwrotnie układających się relacji odpływu wody: 1,28 : 1,18: 1,00. Budowa geologiczna i związany z nią sposób krążenia wód



Średnie wskaźniki odprowadzania soli z różnych obszarów zlewni Bystrzanki na tle średnich odpływów wody w latach 1973–1975

Rodzaj podłoża	Średnie stężenia soli (mg/l)	Wskaźnik odpływu wody (l/s · km <sup>2</sup> )	Wskaźnik ługowania soli (g/s · km <sup>2</sup> )	Denudacja chemiczna (m <sup>3</sup> · km <sup>2</sup> )
Piaskowce magurskie	222,85	12,98	2,893	28,7
Warstwy inoceramowe	267,73	11,97	3,205	31,8
Warstwy krośnieńskie	374,95	10,10	3,787	39,1

wpływa również na zmienność koncentracji soli i skład jonowy wód gruntowych, występujących na różnych głębokościach. W wodach gruntowych wszystkich obszarów zlewni obserwuje się wzrost stężenia soli w miarę wzrostu głębokości. Szybkie krążenie wód w utworach magurskich powoduje głębokie wmywanie związków dostarczanych z wodami opadowymi, zanieczyszczenia atmosferyczne i związki organiczne z lasów.

Rozważania i wyniki przedstawione w tym i w poprzednim rozdziale pozwalają stwierdzić, że budowa geologiczna decyduje w znacznym stopniu o możliwościach ługowania nie tylko ze względu na potencjalne zasoby mineralne podłoża podlegające ługowaniu, lecz również na stwarzanie specyficznych warunków sposobu i szybkości krążenia wód.

#### ROLA OPADÓW W OKRESOWEJ ZMIENNOŚCI DENUDACJI CHEMICZNEJ

Wody opadowe są czynnikiem, który decyduje o możliwościach rozwoju procesu denudacji chemicznej i permanentnym jego trwaniu w obszarach strefy umiarkowanej. Dotychczasowe badania zanieczyszczeń atmosferycznych (Chojnacki 1967; Kołodziejnaja 1970; Kasina, Lewińska, Kwiek 1976 i inni), a także wyniki badań przedstawione w niniejszej pracy (tab. 10) pozwalają stwierdzić, że wody opadowe są roztworem chemicznym agresywnym. Agresywność ta wywołana jest występowaniem w opadach związków tworzących takie kwasy, jak np. azotowy, siarkowy czy węglowy.

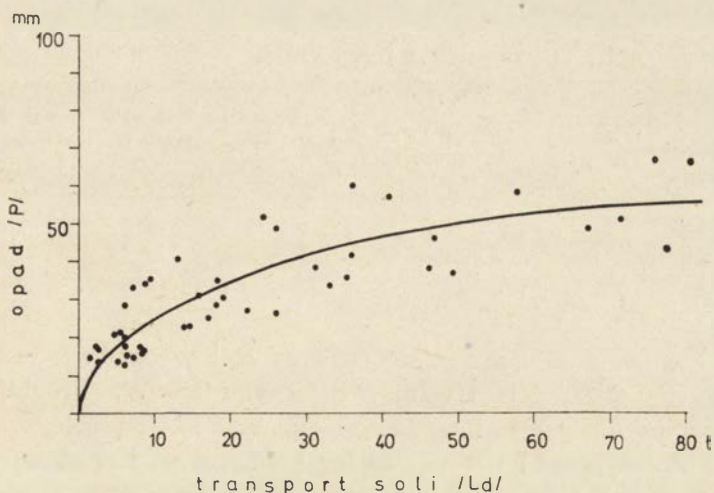
Wody opadowe, będące faktycznie słabymi kwasami, szczególnie łatwo ługują skały fliszowe, zawierające pewne ilości węglanów (jak np. łupki margliste czy piaskowce glaukonitowe). Ponadto niektóre związki chemiczne dostarczane przez opady, przechodząc przez kwaśne gleby wchodzi w reakcję wymienną z absorbowanym wodorem, w związku z czym infiltrująca woda gwałtownie obniża pH, zwiększając swoje właściwości agresywne. O dużych jeszcze możliwościach ługowania głębszych poziomów pokryw zwietrzelinowych świadczy kwaśny odczyn (pH 6,0) wód śródpokrywowych na głębokości 1 m, podczas gdy w głę-

szych poziomach wykazują one odczyn obojętny lub zasadowy (pH 7,0 — 7,8). Opady dostarczając znacznych ilości soli z zanieczyszczeń atmosferycznych powodują, iż w czasie trwania opadów i bezpośrednio po nich, odprowadzane ze zlewni wody wyraźnie zmieniają swój skład jonowy, by po pewnym czasie powrócić do postaci wyjściowej sprzed opadów. Wpływ wielkości opadów na rozmiary denudacji chemicznej jest wyraźny, na co zwrócili uwagę m. in. J. Corbel (1964) i A. Kotarba (1972). Potwierdziły to również wyniki badań w zlewni Bystrzanki. W latach wysokich opadów, jak również bezpośrednio po nich, denudacja chemiczna była większa. W okresach opadowych intensywnemu ługowaniu chemicznemu podlegają wierzchnie warstwy utworów stokowych.

Na rozmiary denudacji chemicznej ma również wpływ intensywność opadów. Podczas ulewnych większych opadów, występujących po dłuższych okresach suszy, odprowadzane jest kilkakrotnie mniej soli niż podczas opadów o tych samych wysokościach, lecz o mniejszej intensywności lub przy wilgotnym gruncie przed opadami. Wielkość transportu soli w pierwszym przypadku ilustrują najwyżej położone punkty na rycinie 35, a w drugim przypadku — najniżej położone punkty. Rozkład punktów na wykresie ilustruje zależność pomiędzy odprowadzaniem soli a opadami o różnym natężeniu i wielkości, przy różnym stopniu retencji wód gruntowych. Zależność tę opisuje funkcja logarytmiczna o następującej postaci:

$$\log L_d = 0,016 P + 0,65,$$

$L_d$  — ładunek soli transportowany w czasie wezbrania,  $P$  — opady powodujące wezbranie.



Ryc. 35. Związek między wielkością opadów a transportem soli w czasie wezbrań

Relation between precipitation (P) and salt transport (Ld) during the rises of water level

Korelacja dla wszystkich przypadków badanych jest istotna, gdyż współczynnik korelacji  $r = 0,778$ . Jest jednak mniej wyraźna niż w przypadkach opadów i transportu soli podczas wezbrań oddzielonych od siebie dłuższymi okresami suszy, dla których współczynnik korelacji  $r = 0,985$ . Zależność tę wyraża funkcja logarytmiczna według równania:

$$\log L_d = 0,031 P - 0,147$$

Lepsza korelacja pomiędzy tymi parametrami w drugim przypadku wynikała z możliwości bardziej dokładnego określenia wielkości ładunku soli, ługowanych wyłącznie przez wody z konkretnych opadów. Dlatego zarówno współczynnik regresji, jak również stałe bazy obydwóch równań różnią się. Różnice powstały nie tylko ze względów metodycznych, lecz również — a może przede wszystkim — z objęcia ługowaniem większej masy utworów zwietrzelinowo-skalnych w okresach opadów rozlewnych. Szukanie zależności pomiędzy opadami a transportem soli w czasie pojedynczych wezbrań wydawało się bardziej słuszne niż porównywanie opadów rocznych z roczną denudacją chemiczną (Pulina 1974) z dwóch względów. Po pierwsze — dysponowano większą liczbą przypadków do analiz statystycznych, po drugie — eliminowano wpływ opadów roku poprzedniego (retencji wód) na transport soli w roku badanym.

Ulewnie, krótkotrwałe deszcze oraz gwałtowne roztopy wywołują mniejsze odprowadzanie soli ze zlewni niż deszcze i roztopy o mniejszej intensywności, dające wezbrania podobnych rozmiarów. W miarę wzrostu opadów nie tylko zwiększa się ilość transportowanych soli, lecz następuje przyrost ładunku soli w stosunku do jednostki opadu (tab. 43). Dzieje

Tabela 43

Przyrost ładunku soli odprowadzanych ze zlewni Bystrzanki w miarę wzrostu wielkości opadów

Przedział wielkości opadów (mm)	Średni opad (mm)	Średni ładunek soli w wezbraniu (t)	Wskaźnik stosunku transportu soli do opadów (t/1 mm)
---------------------------------	------------------	-------------------------------------	--

10-35	22,4	9,7	0,43
36-60	47,6	45,6	0,96
> 60	95,6	141,9	1,48

się tak pomimo zmniejszania się stężenia soli w opadach w miarę wydłużania się czasu ich trwania, co stwierdził W. Froehlich (1982). W przypadku dłuższych i większych opadów istotną rolę w ługowaniu odgrywa dłuższy czas i większy zasięg kontaktu wód opadowych z utworami (dotarcie wód do mniej wylugowanych poziomów?).

Prowadzone badania potwierdziły, że wielkość i intensywność opadów wpływa na sposób i głębokość krążenia wód w utworach stokowych, a tym samym na rozmiary ługowania tych utworów. Przy intensywnych,



lecz krótkotrwałych opadach następuje najczęściej powierzchniowe ługowanie soli, natomiast przy dłużej trwających opadach ługowanie pokryw zwietrzelinowych i stropowych warstw skalnych, w związku z czym intensywność denudacji chemicznej wzrasta.

#### WPŁYW GOSPODARCZEJ DZIAŁALNOŚCI CZŁOWIEKA NA PRZEBIEG DENUDACJI CHEMICZNEJ

Pośredni wpływ człowieka na przebieg denudacji chemicznej przejawia się w wyniku prac agrotechnicznych (zaorywania gruntów, nawożenia, stosowania środków ochrony roślin, stosowania płodozmianów), wyrębu lasów, a także ekshalacji gazów głównie z obiektów przemysłowych. Powierzchnie zaorane i pod uprawami okopowymi sprzyjają łatwiejszej infiltracji agresywnych wód opadowych w glebę, powodując tym samym szybsze ługowanie. Równocześnie na tych powierzchniach stwierdzono największy powierzchniowy spływ wody i splukiwanie gleby (Gil 1976). Zużycie nawozów na rolniczo użytkowanych powierzchniach zlewni Bys-trzanki (tab. 44) było w latach 1973 — 1975 nieco niższe od średniego zu-

Tabela 44

Nawożenie gruntów na terenie wsi Bystra (wg danych Urzędu Gminy Gorlice) (kg/ha)

Rok	N	P	K	Razem NPK
1973	36	66	42	144
1974	58	68	45	171
1975	47	77	46	170

życia w kraju. W okresach opadowych część wysiewanych związków nawozowych odprowadzana była przez wody powierzchniowe. Część natomiast, w wyniku infiltracji wód dostawała się w głębsze poziomy gleby i pokryw zwietrzelinowych, skąd odprowadzana była przez śródpokrywowy spływ wody. Niektóre rozpuszczone związki nawozowe powodują wzrost agresywności wód, które przepływając przez grunt wchodzą w reakcje jonowymienne z minerałami tych utworów, powodując rozluźnienie wiązań atomowych, a w konsekwencji ługowanie pokryw zwietrzelinowych. Wyniki badań A. Ambergera (tab. 45), M. Ruszkowskiej

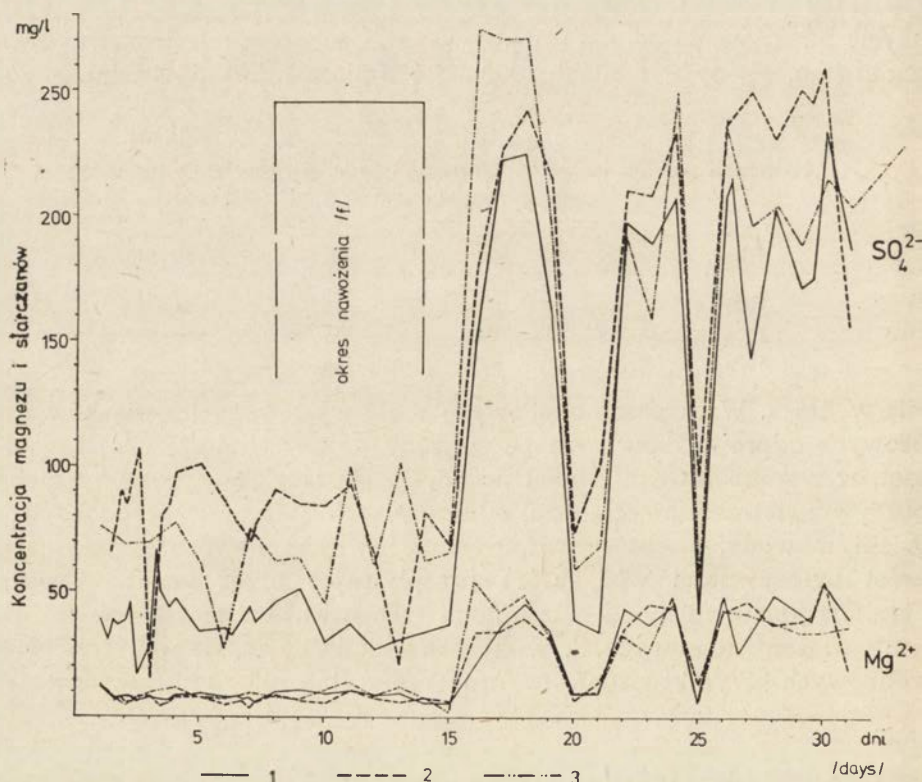
Tabela 45

Wymywanie składników pokarmowych z gleby w doświadczeniach lizymetrycznych A. Ambergera (patrz Wróbel 1976)

Rodzaj gleby	Pojemność wodna (%)	Wymywanie składników (kg/ha)			
		N org.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
Gleba gliniasta	40,9	66,0	6,0	15,0	545,0
Gleba piaszczysta	27,4	85,0	13,0	30,0	545,0

czy J. Junga (vide E. Gorlach 1979) wskazują na znaczne wymywanie składników pokarmowych — mniejsze z gleb gliniastych niż z gleb piaszczystych. Oddziaływanie nawożenia na proces denudacji chemicznej było silniejsze wiosną i jesienią (ryc. 36) niż latem. Wiąże się to z wysiewaniem nawozów w okresach kiedy pobieranie ich przez roślinność jest ograniczone ze względu na słabą wegetację.

Ważnym czynnikiem pośredniego oddziaływania człowieka na denudację chemiczną jest coraz większe zanieczyszczenie atmosfery. Zanieczyszczenia te opadają na powierzchnię ziemi w postaci pyłów lub roztworów podczas opadów atmosferycznych. Część związków występująca w postaci aerozoli, pochłaniana jest przez roślinność bezpośrednio z powietrza. Ilość soli dostarczana z atmosfery na powierzchnię ziemi znana jest z badań prowadzonych w Polsce przez A. Chojnackiego (1967),



Ryc. 36. Wpływ nawożenia na wzrost koncentracji magnezu i siarczanów w październiku 1974 r.

1 — w wodach Bystrzanki, 2 — w wodach pokryw koluwalnych (źródło Z-4), 3 — w wodach płytkich pokryw zwietrzelinowych (do głębokości 1 m)

Influence of fertilizers on the increase of Mg and sulphates in October, 1974  
1 — in the Bystrzanka stream, 2 — in water of the colluvial covers (spring Z-4), 3 — in water of shallow weathering covers (to the depth of 1 m); f — period of fertilization

S. Kasinę, J. Lewińską i J. Kwiek (1976). Badania w zlewni Bystrzanki wskazują, że pomimo kształtowania się średnich opadów w latach 1975—1978 poniżej przeciętnej dla tego obszaru, dostarczały one dużo soli pochodzących z zanieczyszczenia atmosfery (tab. 46). Dominowały siarczane

Tabela 46

Przeciętne ilości soli składników dostarczanych przez opady na Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku, na tle danych dla najbliższych obszarów Polski Południowej

Miejsce badań	Rok	Suma opadów (mm)	Ca	Mg	K	Na	NH <sub>4</sub> (kg/ha)	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Dane według autorów
Szymbark											
IGiPZ PAN	1975	853	26,4	3,4	3,4	4,3	—	—	104,1	64,8	A. Welc
	1976	648	29,2	4,5	5,2	7,1	—	—	128,3	31,7	A. Welc
	1977	678	14,2	3,4	4,7	5,4	12,9	10,8	145,1	45,4	J. Pawlik-
	1978	818	36,8	4,1	4,1	4,1	12,3	9,8	119,4	38,3	Dobrowol-
											ski
Tarnów	1966	868	18,2	3,6	3,8	6,2	20,9	4,5	105,6	10,4	A. Choj-
											nacki
Kasprowy											
Wierch	1966	2052	15,4	3,1	5,3	7,6	16,5	5,3	96,6	18,5	A. Choj-
											nacki

ny, ale nie mało było również chlorków, azotanów i wapnia. Z tabeli 46 wynika, że w latach 1975—1978 na obszar zlewni Bystrzanki dostawało się z opadami więcej soli niż w 1966 r. na inne wymienione obszary. Na tej podstawie można sugerować wzrost zanieczyszczenia atmosfery i dostawy tych składników przez opady. Wymaga to jednak potwierdzenia przez powtórzenie pomiarów.

Wpływ gospodarczej działalności człowieka na rozmiary denudacji chemicznej jest znaczny, jednak trudny do dokładnego sprecyzowania bez wykonania równoległych badań przez szersze grono specjalistów.





## DENUDACJA CHEMICZNA W KARPATACH FLISZOWYCH

Wielkość denudacji chemicznej utożsamiano początkowo z wielkością odprowadzania soli z badanego obszaru. Metody te w znacznym stopniu zawyżały faktyczną denudację chemiczną, gdyż nie uwzględniały soli pochodzących z naturalnego i przemysłowego zanieczyszczenia atmosfery oraz soli dostarczanych przez nawozy. Próby określenia denudacji chemicznej zbliżonej do faktycznej podejmowali m. in. M. Pulina (1974), D. E. Walling i B. W. Webb (1975, 1978), J. Wilamski (1978), J. Pawlik-Dobrowolski (1980). Metoda obliczania ładunku soli pochodzenia niedenudacyjnego, prezentowana przez Wallinga i Webba (1975), oparta na tzw. teoretycznej koncentracji soli pochodzenia atmosferycznego daje wyniki zawyżone, co sprawdzono w niniejszych badaniach. Natomiast obliczenie udziału (wielkości) odprowadzanych ze zlewni soli pochodzących z opadów przez pomnożenie odpływu wody przez koncentrację wód opadowych daje wartości zbliżone do rzeczywistych (tab. 47).

Tabela 47

Całkowite odprowadzanie soli ze zlewni Bystrzanki oraz soli pochodzących z opadów atmosferycznych i z nawozów mineralnych (t)

Rok hydrologiczny	Odpływ wody (mm)	Suma odprowadzanych soli	Ładunek soli allochtonicznych	
			z opadów atmosferycznych	z nawozów (z powierzchni 8,2 km <sup>2</sup> )
1973	371,6	960,8	190,3	47,2
1974	442,6	1 546,6	226,6	56,1
1975	391,0	1 585,2	200,2	55,8

Duże trudności występują również z obliczeniem ładunku soli pochodzących z ługowania nawozów. W badaniach przyjmuje się często pełne stężenie soli, lub poszczególnych ich elementów w odprowadzanych wodach (np. Kopec 1979). J. Wilamski i Z. Sliwa (1978) wliczają do składników wyłącznie nawozowych cały odprowadzany ze zlewni wapń i magnez, a z prezentowanych przez autorów danych wynika, że ilość odprowadzanych związków nawozowych równa się ilości nawozów wysianych na badany obszar (?). W ocenie wpływu nawożenia mineralnego na zanieczyszczenie wód rzeki Rudawy E. Gorlach (1979) cytuje wyniki prac wielu badaczy, zwracając uwagę na znaczny błąd meto-

dyczny pomiarów. Stwierdza, że wielkość ługowania nawozów waha się znacznie i zależna jest zarówno od wielkości opadów, rodzaju gleb, jak również użytkowania gruntu. Z cytowanych przez tego autora wyników badań lizymetrycznych M. Ruszkowskiej wynika, że ponad 40% nawozów jest odprowadzanych przy nawożeniu podobnym do tego, jakie zastosowano w zlewni Bystrzanki. Wyniki te posłużyły do obliczenia odprowadzania soli nawozowych z pól uprawnych zlewni Bystrzanki (tab. 47). Natomiast przy obliczaniu odprowadzania soli z górskiego obszaru zlewni, pokrytego lasem przyjęto za G. E. Likensem i F. H. Bormannem (1972), że z ekosystemów leśnych Karpat odprowadzane są sole w stężeniu 11,0 mg/l. Oddawanie soli przez las górskiej części zlewni Bystrzanki wahało się od 4,21 do 4,88 t/km<sup>2</sup>. Wielkość otrzymaną z różnicy pomiędzy całkowitym odprowadzaniem soli a odprowadzaniem soli pochodzenia niedenudacyjnego traktować można jako faktyczną wartość denudacji chemicznej.

Wielkość odprowadzania soli, jak również wielkość denudacji chemicznej jest różna w poszczególnych latach, o czym świadczą wskaźniki przedstawione w tabeli 48. W 1973 r. o opadach przeciętnych, skumulowa-

Tabela 48

Wskaźniki odprowadzania soli i denudacji chemicznej w pogórskiej części zlewni, użytkowanej rolniczo (warstwy inoceramowe) i w części górskiej z ekosystemem leśnym (piaskowce magurskie) (t/km<sup>2</sup>)

Rok hydrologiczny	Obszar pogórski			Obszar górski		
	wskaźnik całkowitego odprowadzania soli	wskaźnik odprowadzania soli pochodzenia niedenudacyjnego	wskaźnik denudacji	wskaźnik całkowitego odprowadzania soli	wskaźnik odprowadzania soli pochodzenia denudacyjnego	wskaźnik denudacji
1973	76,14	19,75	56,39	62,76	18,20	44,56
1974	116,93	23,50	93,43	94,20	21,54	72,66
1975	113,86	21,52	92,34	117,31	19,11	98,20

wanych w krótkich okresach, względny udział soli pochodzenia niedenudacyjnego był większy (ok. 24% w obszarze pogórskim i 29% w górskim) niż w bardziej wilgotnych latach następnych (analogicznie ok. 20% i 16—23%). Jednak bezwzględne wartości wskaźników tych soli były wyższe w 1974 i 1975 r. W dwóch kolejnych latach 1973 i 1974 denudacja chemiczna w obszarze górskim zlewni była niższa niż w pogórskim. Natomiast w 1975 r. denudacja w obszarze górskim była wyższa, na co wpłynęła większa retencja wód opadowych z poprzedniego roku i z zimy tego roku oraz głębokie ługowanie, objawiające się wysokimi stężeniami soli. Zatem sezonowe lub kilkakrotne w ciągu roku pomiary



denudacji chemicznej i na tej podstawie obliczenia jej wielkości oraz zróżnicowania prowadzi się mogą do fałszywych wniosków.

Próby określenia denudacji chemicznej w różnych obszarach Karpat fliszowych, prowadzone przez niektórych badaczy, polegały na okresowym pobieraniu prób wody do analiz chemicznych i okresowej lub ciągłej rejestracji stanów wody w punktach hydrometrycznych, zamykających średnie i duże zlewnie (Figuła 1966; Pulina 1974). M. Pulina przedstawia orientacyjny obraz zmienności denudacji chemicznej w całych polskich Karpatach, opierając się na zgeneralizowanym obrazie zróżnicowania spływu wody oraz na niewielkiej liczbie punktów pomiarowych i analiz wód. Zarysowana przez tego autora tendencja zróżnicowania denudacji chemicznej w Karpatach wydaje się słuszna, lecz bardzo uproszczona, a przedstawione wskaźniki nie są rzeczywiste. Wadą tych badań było ekstrapolowanie wyników pomiarów z jednego punktu hydrometrycznego na dużą zróżnicowaną zlewnię lub nawet jeszcze większy obszar. Brak było rozeznania tego procesu na stokach fliszowych, gdzie on wystąpił, oraz dokładnego poznania dynamiki transportu soli w potokach. Problem ten zauważono w ostatnich latach i zaczęto prowadzić mniej lub bardziej szczegółowe badania na mniejszych obszarach (Foehlich 1975, 1982; Gerlach 1976; Łajczak 1980; Pawlik-Dobrowolski 1980; Welc 1978 i w druku). W tabeli 49 zestawiono wyniki uzyskane dla róż-

Tabela 49

Transport rozpuszczonych soli i denudacja chemiczna w Karpatach fliszowych

Obszar badań	Wskaźnik transportu soli (t/km <sup>2</sup> ·rok)	Wskaźnik denudacji chemicznej (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> ·rok)	Autorzy
Karpaty fliszowe	50,0–90,0		K. Figura
Beskid Żywiecki i Mały (Soła)		25,8	M. Pulina
Beskid Wyspowy (Śnieżnica)		18,6	M. Pulina
Beskid Sądecki: Gorce (denudacja powierzchniowa)		12,2–14,0	T. Gerlach
Kamienica Nawojowska	69,6–136,6*		W. Froehlich
Grajcarek (górnny)	55,7–216,5	8,8–74,2	J. Pawlik-Dobrowolski
Beskid Niski-Pogórze (Bystrzanka)	76,4–116,9	17,8–39,3	A. Welc
Bieszczady (San)		33,7	M. Pulina

\* Obliczył A. Welc z sum ładunków rocznych

nych obszarów Karpat przez kilku autorów, posługujących się metodami o różnej dokładności i stosujących różne miana.

Kilkuletnie wskaźniki denudacji chemicznej dla małych zlewni fliszowych świadczą o znacznym zróżnicowaniu przestrzennym i czasowym tego procesu. Również wskaźniki dla większych obszarów Karpat fliszowych

wych są różne i potwierdzają ogólne tendencje zróżnicowania denudacji chemicznej w całych polskich Karpatach fliszowych. Jednak, jak wcześniej zaznaczono, wyniki pochodzą z badań prowadzonych w różnych latach i obarczone są różną skalą błędu metody. Dlatego analizowanie ich i bezkrytyczne porównywanie prowadzić może do fałszywych wniosków.

## WNIOSKI

Analiza wyników badań ilościowych na stokach doświadczalnych i w ciekach zlewni Bystrzanki oraz badań innych autorów w obszarze Karpat fliszowych pozwala na poznanie mechanizmu ługowania stoków, a także czasowej zmienności i przestrzennego zróżnicowania denudacji chemicznej.

W zależności od wielkości i natężenia opadów procesem ługowania objęte są mniej lub bardziej miększe warstwy pokryw zwietrzelinowych i utworów skalnych. Najbardziej intensywnie ługowane są pokrywy zwietrzelinowe z przyległymi, górnymi poziomami warstw skalnych. Utrudniona migracja wód w głębsze poziomy oraz obniżanie się agresywności infiltrujących wód zmniejszają tempo ługowania w miarę zwiększania się głębokości, pomimo wzrostu mineralizacji wód.

O sposobie ługowania stoków fliszowych decyduje zróżnicowanie pokryw zwietrzelinowych i utworów podłoża oraz wymuszony przez nie sposób i rozkład spływu wód. Dobra przepuszczalność pokryw zwietrzelinowych, wytworzonych z piaskowców magurskich, wpływa na szybką infiltrację wód w głębsze poziomy zwietrzelinowo-skalne, gdzie następuje główny spływ wód i największe odprowadzanie soli. Wskazuje na to niewielki udział powierzchniowego i śródpokrywowego (do głębokości 1 m) odprowadzania soli w ogólnym ładunku soli wynoszonych z tego obszaru (tab. 20 i 21). Natomiast bardziej zwarte pokrywy zwietrzelinowe na utworach inoceramowych powodują, że większość wód spływa po powierzchni stoku i w płytkich poziomach tych pokryw, skąd odprowadzanych jest najwięcej soli. W latach wilgotnych ilość ta przekroczyć może nawet połowę całkowitego ładunku odprowadzanego z obszaru warstw inoceramowych. Głębiej intensywne ługowanie soli występuje jedynie w silnie uszczelinionych utworach osuwiskowych.

Na wyraźne różnice przebiegu i wielkości denudacji chemicznej obszarów fliszowych ma wpływ zmienność litologii i skład chemiczny skał. O rozmiarach denudacji chemicznej utworów fliszowych decyduje udział łatwo rozpuszczalnych składników (głównie lepiszcza węglanowego) oraz sposób i szybkość krążenia wody, uwarunkowane przepuszczalnością podłoża. Z tego względu najintensywniej ługowane są obszary zbudowane z zasobnych w węglany warstw krosnieńskich. Średni roczny ładunek soli odprowadzanych z tych utworów w zlewni Bystrzanki wynosił 119,4 t/km<sup>2</sup>, a średnia denudacja chemiczna — 97,8 t/km<sup>2</sup> lub 39,1 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>



(przy ciężarze właściwym  $2,5 \text{ g/cm}^3$ ). Nieco mniej intensywnie ługowane są obszary zbudowane z warstw inoceramowych, gdzie średni roczny ładunek odprowadzanych soli wynosił  $101,1 \text{ t/km}^2$ , a denudacja chemiczna —  $79,5 \text{ t/km}^2$  lub  $31,8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ . Najslabiej ługowane są obszary zbudowane z piaskowców magurskich. Z tego obszaru odprowadzane było w ciągu roku średnio  $91,2 \text{ t/km}^2$  soli, a denudacja chemiczna wynosiła  $71,8 \text{ t/km}^2$  lub  $28,7 \text{ m}^3/\text{km}^2$ . Odporne piaskowce magurskie, budując najwyższe wzniesienia beskidzkie, otrzymują więcej opadów. Dlatego większy udział wód w drenażu tych obszarów zwiększa ługowanie, które w niektórych latach może dorównywać lub nawet przekraczać ługowanie w obszarze zbudowanym z innych utworów fliszowych (tab. 4, 1975 r.).

Proces denudacji chemicznej podlega dużym i częstym wahaniom spowodowanym czynnikami klimatycznymi. Zmienność w krótkich przedziałach czasu wywołana jest głównie natężeniem opadów bądź roztopów, przy niemałym wpływie również innych czynników, jak np. temperatury, a bezpośrednio zamarzania i odmarzania gruntu. Natomiast zmienność tego procesu w dłuższych okresach wywołana jest wielkością i rozkładem opadów oraz roztopów. Z tego względu rzadko wykonywane pomiary dają wyniki nie odzwierciedlające rzeczywistej wielkości i zmienności denudacji chemicznej.

Wody opadowe, zawierające średnio  $28,5$ — $46,36 \text{ mg/l}$  soli, wywierają wpływ na zwiększenie denudacji chemicznej utworów fliszowych a także na ługowanie soli z nawozów wysiewanych w obszarach rolniczych. Ze względu na ciągły wzrost zanieczyszczenia atmosfery i wód opadowych, należy się liczyć ze wzrostem ługowania.

Rozmiary denudacji chemicznej wskazują na to, że proces ten ma — obok denudacji mechanicznej — decydujące znaczenie w modelowaniu Karpat fliszowych.

## LITERATURA

- Adameczyk B., Tokaj J., 1957, *Studia nad glebami górskimi na terenie gromady Sieniawa*, Roczn. Glebozn., 6.
- Adameczyk B., Maciaszek W., Januszek K., 1973, *Gleby gromady Szymbark i ich wartość użytkowa*, [w:] *Gleby i zbiorowiska leśne okolic Symbarku*, Dok. Geogr., 1.
- Anderson D. H., Hawkes H. E., 1958, *Relative mobility of the common element in weathering of some schist and granite areas*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 14.
- Bögli A., 1956, *Der Chemismus der Lösungsprozesse und der Einfluss der Gesteinsbeschaffenheit auf die Entwicklung des Karstes*, Rep. of the Comm. Karst Phenomena IGU, New York.
- 1960, *Kalklösung und Karrenbildung*, *Z. Geomorph.*, suppl. 2.
- Bombówna M., 1960, *Hydrochemiczna charakterystyka rzeki Soły i jej dopływów*, *Acta Hydrobiol.*, 2.
- 1968, *Hydrochemiczna charakterystyka potoku Białka Tatrzańska*, *Acta Hydrobiol.*, 10.
- 1969, *Hydrochemiczna charakterystyka rzeki Raby i jej dopływów*, *Acta Hydrobiol.*, 11.
- Chojnacki A., 1967, *Badania składu chemicznego wód opadowych w Polsce*, Pam. Puławski, 24 i 29.
- Corbel J., 1957, *Les karst du Nord-Ouest de l'Europe et de quelques régions de comparaison*, *Rev. Géogr. Lyon*, 12.
- 1959, *Erosion en terrain calcaire*, *Ann. Géogr.*, 336, 68.
- 1964, *L'érosion terrestre, étude quantitative (Méthodes—Techniques—Résultats)*, *Ann. Géogr.*, 378, 73.
- Douglas I., 1964, *Intensity and periodicity in denudation processes with special reference to the removal of material in solution by rivers*, *Z. Geomorph.*, 8, 4.
- 1968, *Some hydrologic factors in the denudation of limestone terrains*, *Z. Geomorph.*, 12, 3.
- Ek C., Gilewska S., Kaszowski L., Kobyłecki A., Oleksynowa K., Oleksynówna B., 1969, *Some analyses of the CO<sub>2</sub> content of the air in five Polish caves*, *Z. Geomorph.*, 13, 3.
- Figula K., 1966, *Badania transportu rumowiska w ciekach górskich i podgórskich o różnej budowie geologicznej i użytkowaniu*, *Wiad. IMUZ*, 6, 3.
- Foggin G. T., Forcier L. K., 1964, *Cation concentrations of small streams draining matched forested and clearcut watersheds in Western Montana*, *Water Resources Research Center Montana*.
- Froehlich W., 1975, *Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy Nawojowskiej*, *Prace Geogr. IGiPZ PAN*, 114.
- 1982, *Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin do koryta w górskiej zlewni fliszowej*, *Prace Geogr. IG i PZ*, 143.
- Gams J., 1962, *Meritve korozijske intenzitete v Slovenji in njihov pomen za geomorfologijo*, *Geogr. Vestn.*, 36.

- 1966, *Factors and dynamics of corrosion of the carbonatic rocks in the Dinaric and Alpine Karst of Slovenia*, Geogr. Vestn., 38.
- 1969, *Ergebnisse der neueren Forschungen der Korrosion in Slowenien (NW-Jugoslawien). Problems of the Karst Denudation*, *Studia Geogr.*, 5.
- Gerlach T., 1976, *Współczesny rozwój stoków w Polskich Karpatach fliszowych*, *Prace Geogr. IGiPZ PAN*, 122.
- Gil E., 1976, *Sptukiwanie gleby na stokach fliszowych w rejonie Szymbarku*. *Dok. Geogr.*, 2.
- 1986, *Rola użytkowania ziemi w przebiegu splywu powierzchniowego i sptukiwania na stokach fliszowych*, *Przepl. Geogr.*, 1.
- Głazek J., Markowicz-Łohinowicz M., 1973, *Dependence of karst denudation on geological structure in the SW part of the Holy Cross Mts (Central Poland)*, *Acta Geol. Pol.*, 23, 3.
- Gorlach E., 1979, *Ocena wpływu nawożenia mineralnego na zanieczyszczenie wód zlewni rzeki Rudawy*, [w:] *Rolnicze zagospodarowanie zlewni rzeki Rudawy a jakość jej wód*, Materiały na Konferencję Naukowo-Techniczną, Kraków.
- Jaworska M., 1968, *Erozja chemiczna i denudacja zlewni rzek Wleprza i Pilicy*, *Prace PIHM*, 95.
- Just J., Hermanowicz W., 1964, *Fizyczne i chemiczne badanie wody do picia i potrzeb gospodarczych*, PZWL, Warszawa.
- Kasina S., Lewińska J., Kwiek J., 1976, *Badania nad dynamiką procesów zanieczyszczenia atmosfery w wyniku emisji SO<sub>2</sub>*, *Folia Geogr.*, 10.
- Kołodziejnaja A. A., 1970, *Agriessivnost prirodnich wod w karstowych rajonach jęwopejskiej czasti SSSR*, *Izd. Nauka, Moskwa*.
- Kopeć S., 1979, *Znaczenie użytków zielonych w zmniejszaniu strat składników pokarmowych wyptukanych z gleby*, [w:] *Rolnicze zagospodarowanie zlewni rzeki Rudawy a jakość jej wód*, Materiały na Konferencję Naukowo-Techniczną, Kraków.
- Kotarba A., 1970, *Charakterystyka rzeźby okolic Szymbarku*, [w:] *Badania fizyczno-geograficzne otoczenia Stacji Naukowo-Badawczej Instytutu Geografii PAN w Szymbarku*, *Dok. Geogr.*, 3.
- 1971, *Course and intensity of present-day superficial chemical denudation in the Western Tatra Mts*, *Studia Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 5.
- 1972, *Powierzchniowa denudacja chemiczna w wapienno-dolomitowych Tatrach Zachodnich*, *Prace Geogr. IG PAN*, 96.
- Kozikowski H., 1956, *Geologia płaszczowiny magurskiej i jej okien tektonicznych na południowy zachód od Gorlic*, [w:] *Z badań geologicznych w Karpatach*, 1.
- Lahermo P., 1971, *On chemical denudation caused by ground water in Central Finnish Lapland*, *Bull. Geol. Soc. Finland*, 43.
- Lazar J., 1952, *Badania wstępne nad glebami Karpat fliszowych*, *Rocz. Nauk Roln.*, A-66, 1.
- Likens G. E., Bormann F. H., 1972, *Nutrient cycling in ecosystems*, [w:] *Ecosystem structure and function*, Oregon State Univ. Press, Oregon.
- Łajczak A., 1980, *Denudacja chemiczna północnego skłonu Babiej Góry*, *Studia Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 15.
- Majewski J., 1964, *Hydrogeologia*, *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- Markowicz-Łohinowicz M., 1969, *Próba oceny intensywności korozji kra-sowej w czwartorzędzie na obszarze Jury Częstochowskiej*, *Speleologia* 4.
- Maultz S., 1972, *Chemizm wód dopływów górnej Wisły*, *Folia Geogr.*, 6.
- Niemirska J., 1970, *Charakterystyka hydrograficzna zlewni Bystrzanki i Bie-*



- lanki, [w:] *Badania fizyczno-geograficzne otoczenia Stacji Naukowo-Badawczej Instytutu Geografii PAN w Szymbarku*, Dok. Geogr., 3.
- Obrebska-Starkel B., 1973, *Stosunki mezo- i mikroklimatyczne Szymbarku*, Dok. Geogr., 5.
- Oleksynowa K., 1966, *Materiały do poznania chemizmu wód Doliny Prądnika i Doliny Sąpowskiej*, Acta Hydrobiol., 8.
- 1970, *Charakterystyka geochemiczna wód tatrzańskich*, Acta Hydrobiol., 12.
- Oleksynowa K., Komornicki T., 1958, *Materiały do znajomości wód w Tatrach. Dolina Kościeliska*, Zesz. Nauk. WSR w Krakowie, 5.
- 1965, *The chemical composition of water in the Polish Tatra Mts and the problem of its variation in time*, [w:] *Limnological investigations in the Tatra Mountains and Dunajec River Basin*, Komitet Zagospodarowania Ziemi Górskich PAN, 11.
- Paschalski J., 1960, *Zdolności buforowe tatrzańskich wód krasowych*, Speleologia, 2.
- Pasternak K., 1968, *Skład chemiczny wody rzek i potoków o zlewniach zbudowanych z różnych skał i gleb*, Acta Hydrobiol., 10.
- Pawlik-Dobrowolski J., 1980, *Differences in chemical denudation rates in the Grajcarek drainage basin (The Beskid Sądecki Mts)*, *Studia Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 15.
- Perelman A. J., 1971, *Geochemia krajobrazu*, PWN, Warszawa.
- Polański A., Smulikowski K., 1969, *Geochemia*, Wyd. Geol., Warszawa.
- Połynow B. B., 1937, *The cycle of weathering*, London.
- Pulina M., 1971, *Observations on the chemical denudation of some karst areas of Europe and Asia*, *Studia Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 5.
- 1974, *Denudacja chemiczna na obszarach krasu węglańowego*, *Prace Geogr. IG PAN*, 105.
- Ricke W., 1961, *Ein Beitrag zur Geochemie des Schwefels*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 35.
- Roques H., 1969, *A review of present-day problems in the physical chemistry of carbonates in solution*, Cave Research Group of Great Britain, 11.
- Skawina T., Janiczek S., 1958, *Zastosowanie kompleksu III do oznaczania  $Ca^{++}$  i  $Mg^{++}$  w glebach i wodach gruntowych*, *Roczn. Glebozn.*, 7.
- Skoczyła-Ciszewska K., Kamiński M., 1959, *O facji inoceramowej warstw istebniańskich Pogórza Wiśnicko-Rożnowskiego*, *Kwart. Geol.*, 3, 4.
- Słupik J., 1973, *Zróźnicowanie splywu powierzchniowego na fliszowych stokach górskich*, Dok. Geogr. 2.
- 1981, *Rola stoku w kształtowaniu odpływu w Karpatach fliszowych*, *Prace Geogr. IG i PZ PAN*, 142.
- Soja R., 1977, *Przestrzenne zróźnicowanie opadów w dorzeczu Ropy*, [w:] *Opady atmosferyczne i deflacja w okolicy Szymbarku*, Dok. Geogr., 6.
- Stangenberg M., 1953, *Skład chemiczny wód rzecznych na Dolnym Śląsku*, Kosmos, 46, 4.
- 1958, *Ogólny pogląd na skład chemiczny wód rzecznych Polski*, *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 4.
- Starkel L., 1972, *Karpaty zewnętrzne*, [w:] *Geomorfologia Polski*, 1, PWN, Warszawa.
- Staszkievicz J., 1973, *Zbiorowiska leśne okolic Szymbarku (Beskid Niski)*, [w:] *Gleby i zbiorowiska leśne okolic Szymbarku*, Dok. Geogr., 1.
- Sweeting M. M., 1965, *Introduction*, [w:] *Denudation in limestone regions: A Symposium*, *Geogr. J.*, 131, 1, March.

- 1966, *The weathering of limestones*, [w:] G. H. Dury, red., *Essays in Geomorphology*, New York.
- Szajnocha W., 1896, *Atlas geologiczny Galicji*, Komisya Fizyograficzna Akademii Umiejętności, Kraków.
- Świdziński H., 1973, *Z badań geologicznych w Karpatach*, *Prace Geol.*, 80.
- Tillmans J., 1932, *Die chemische Untersuchung von Wasser und Abwasser*, Knappe, Halle.
- Turekian K. K., Wedepohl K. H., 1961, *Distribution of the elements in some major units of the earth's crust*, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 72.
- Walling D. E., Webb B. W., 1975, *Spatial variation of river water quality: a survey of the River Exe*, The Institute of British Geographers, Exeter.
- 1978, *Mapping solute loadings in an area of Devon, England*, *Earth Surface Processes*, 3, Exeter.
- Welc A., 1977, *Procesy eoliczne w zlewni Bystrzanki koło Szymbarku w latach 1969—1971*, [w:] *Opady atmosferyczne i deflacja w okolicach Szymbarku*, *Dok. Geogr.*, 6.
- 1978, *Spatial differentiation of chemical denudation in the Bystrzanka flysch catchment (the West Carpathians)*, *Studia Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 12.
- *Zróżnicowanie denudacji chemicznej w Karpatach fliszowych*, *Przegl. Geogr.*, 1 (w druku).
- Wilamski J., 1978, *Erozja chemiczna zlewni Słupi*, *Mat. Bad. IMGW, ser.: Gosp. Wodna i Ochrona Wód*, 9.
- Wilamski J., Śliwa Z., 1978, *Spływ składników nawozowych roślin ze zlewni rzek Przymorza Zachodniego*, *Mat. Bad. IMGW, ser.: Gosp. Wodna i Ochrona Wód*, 10.
- Wróbel S., 1976, *Eutrofizacja wód*, [w:] *Hydrobiologia*, PWN, Warszawa.

## VARIABILITY OF CHEMICAL DENUDATION IN THE FLYSCH CARPATHIANS (WITH THE BYSTRZANKA CATCHMENT AS EXAMPLE)

### Summary

Results presented in this paper are based on the measurements made by the author on the experimental slopes of the Research Station of the Institute of Geography and Spatial Organization of the Polish Academy of Sciences in Szymbark (in 1974—1975) and in the springs and streams of the Bystrzanka catchment (in 1973—1975).

The study aimed at the cognition of the mechanism and dynamics of the salts carried away by water circulating within the slopes. Moreover, the temporal and spatial variations of chemical denudation were the purpose of the study.

The Bystrzanka catchment, area 13.6 km<sup>2</sup>, is situated at a border of the Beskidy Mts. and the Carpathian foreland, at the height 305—750 m a.s.l. (Fig. 1). The properties of the catchment are representative of the major parts of the Polish Carpathians. The part of the catchment in the Carpathian foreland, built of the Inoceramus layers and in the small fragments of the Krosno layers, is under cultivation. The mountain area of the catchment built of the more resistant Magura sandstones is overgrown with mixed forests. Unlike the former part, the Magura sandstones are covered with the more permeable skeletal weathering covers.

The salts carried away by the surface runoff (from 2 plots), by interflowing water (to the depth of 1 m) and by the deeper ground water (springs) on the slope built of the Magura sandstones (S-1, Fig. 1) as well as on the slope built of the Inoceramus layers (S-2), and all the permanent streams in the catchment were subject to the study. Downflow on the slopes (Fig. 2) and water discharge in a hydrometric profile closing the Bystrzanka catchment were registered by limnigraphs. The measurements have been carried out and the water samples for the analysis have been collected everyday with a frequency dependent on the downflow intensity and water discharge (e.g. every 10 minutes) in the area in question and in the weathering-rocky spring (Z-4, Fig. 1). Chemical composition of water (including a rainfall one) was determined by titration. Only sodium and potassium were determined using a flame photometer.

The studied area is located in a zone of an influence of oceanic and continental climates with a rain-snow-ground regime. Precipitation is characterized by a large variability (Table 1, 3). Precipitation exceeded average ones in the second and third year (hydrological years) what resulted in an increased water runoff (Table 4).

The mechanism of salt leaching from the slope modelled in the Inoceramus layers and from the slope modelled in the Magura sandstones has been presented in this paper. The influence of the weather conditions on the dynamics of salt leaching has been presented in details based on the results from the slope S-2 (Fig. 4—10). Salt transportation dynamics has been presented in Fig. 12—16, and by variation coefficient of transportation  $V = 263.2\%$  for periods of high water



stages and  $V = 22.7\%$  for periods of low water stages. The relation between salt transportation and water discharge has been expressed by equations. The dynamics of carrying away of major ions (Fig. 18—20) has been presented in a similar manner. When characterizing the spatial and temporal variations of chemical denudation special attention was paid to the geological structure, role of precipitation and human impact. Finally, differentiation of carrying away of salts and that of chemical denudation in a phone on existing data from the Polish Flysch Carpathians have been discussed.

The presented material allowed for the following conclusions. Depending on the magnitude and intensity of precipitation the less or more thick layers of weathering covers and rocks are subject to leaching. The weathering covers with adjacent upper horizons of rocky layers are leached most intensively. The hindered migration of water into the deeper layers and decreased aggressiveness of infiltrating water cause a rapid decrease of leaching rate with an increasing depth.

The type of the weathering covers and that of substratum, and the resulting therefore manner and distribution of water runoff decide on the mode of leaching of the flysch slopes. Good permeability of the weathering covers on the Magura sandstones influences fast infiltration of water into the deeper weathering-rocky layers where the main water outflow and the largest washing of salts take place. The above is evidenced by a relatively small surface runoff and interflow (to the depth of 1 m) of salts in a total load of salts carried away from the discussed are a (Table 20, 21). The most compact weathering covers on the Inoceramus layers cause the major flow of water at the surface of the slope and within shallow horizons of the weathering covers from where the majority of salts are carried away. The amount of salts carried away from there in humid years can exceed a half of the total load of salts from the area of the Inoceramus layers. The intensive carrying away of these salts within the slopes in question occurs deeper only in a strongly fissured landslide (Fig. 10).

Distinct differences in both the process and magnitude of chemical denudation of flysch areas are influenced by various lithology and chemical composition of rocks. The magnitude of chemical denudation of the flysch depends on: the amount of easily soluble components (mainly of carbonate cement), and of a manner and rate of water circulation being conditioned by permeability of the substratum. Therefore, the areas, built of the Krosno layers rich in carbonates, are leached most intensively. Mean annual load of salts carried away from these layers in the Bystrzanka catchment was  $119.4 \text{ t/km}^2$  while mean chemical denudation was  $97.8 \text{ t/km}^2$  or  $39.1 \text{ m}^3/\text{km}^2$  (specific weight  $2.5 \text{ g/cm}^3$ ). The areas built of the Inoceramus layers where the mean annual load of salts carried away is  $101.1 \text{ t/m}^2$  and chemical denudation  $79.5 \text{ t/km}^2$  or  $31.8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , are leached less intensively. The areas built of the Magura sandstones are leached most weakly. At average,  $91.2 \text{ t/km}^2$  was carried away annually from the latter area and the corresponding chemical denudation was  $71.8 \text{ t/km}^2$  or  $28.7 \text{ m}^3/\text{km}^2$ . The resistant Magura sandstones forming the highest Beskidian hills receive more precipitation. Thus, the increased amount of water draining that area increases leaching, the latter being sometimes of the same order of magnitude as that of the areas located at the lower elevations built of the Inoceramus layers (e.g. in 1975).

Chemical denudation process is subject to large and frequent fluctuations in time caused by climatic factors. Variability in short time periods is mainly caused by increased rainfall or snowmelt with significant influence of temperature, freezing and thawing of ground etc. The variation of the process in question in longer time periods is caused by a magnitude and distribution of rainfall or

snowmelt. Therefore, rare measurements bring the results which do not reflect a real magnitude and variability of chemical denudation.

Rainfall water, containing 28.0—35.7 mg/l of salt at average, influences an increase of chemical denudation of the flysch and that of leaching of salts from artificial fertilizers used in agricultural areas. Because of a continuously growing air pollution and rain water pollution the increasing leaching has to be expected.

The magnitude of chemical denudation indicates that apart mechanical denudation this process is of definite importance in modelling of the Flysch Carpathians.

*Translated by Teresa Mrozek*





ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ ДЕНУДАЦИИ  
ВО ФЛИШЕВЫХ КАРПАТАХ  
(НА ПРИМЕРЕ ВОДОСБОРА ПОТОКА БЫСТЖАНКА)

Резюме

Результаты представленные в работе опираются на измерениях, которые проводились на опытных склонах Научной станции Института географии и пространственного освоения Польской Академии Наук в Шимбарке (в 1974—1975 гг.) а также в источниках и водотоках водосбора Быстжанки (в 1973—1975 гг.).

Целью опытов было ознакомление с механизмом и динамикой отведения солей водокружением на склонах, а также с временной и пространственной переменчивостью денудации.

Водосбор потока Быстжанка, площадью в 13,6 км<sup>2</sup> расположен на пограничье Бескидов и Карпатского Погорья, на высоте 305—750 м н. у. м. (рис. 1) Она характеризуется представительными чертами для преобладающей части польских флишевых Карпат. Погорный район бассейна построен инокерамовыми слоями и в небольшой части кросненскими слоями, использован сельским хозяйством. Горный район бассейна построен более устойчивыми слоями магурского песчаника, покрытый смешанным лесом. В отличие от первого района, магурские песчаники покрыты более проницаемыми скелетными покровами выветривания.

Исследования касались отведения солей поверхностными водами, средьпокровными (глубиной до 1 м) и более глубокими грунтовыми водами (источники), на склоне построенном из магурских песчаников (S-1, рис. 1), на склоне построенном из инокерамовых слоев (S-2), а также всех постоянных водотоков бассейна. Сток воды на склонах (рис. 2) и переплыв воды в гидрометрическом пункте, закрывающим бассейн Быстжанки регистрировался лимниграфами. В этих местах и в источнике выветренного скального материала (Z-4, рис. 1) проводились измерения ежедневно опробовывалась вода с частотой зависимо от интенсивности стока и переплыва воды (пр. каждое 10 минут). Химический состав вод (тоже осадков) обозначался мериллом, только натрий и калий обозначался периодически фотометром.

Исследуемая территория расположена в зоне влияния океанского и континентального климатов с дождево-снежно-грунтовым режимом питания. Осадки характеризуются большой изменчивостью (табл. 1 и 3). В течение второго и третьего (гидрологического) года, осадки были выше средних, что повлияло на повышение стока воды (табл. 4).

В работе представлен механизм выщелачивания солей со склона сформированного в инокерамовых слоях, а также со склона сформированного в магурских песчаниках. Влияние погодных условий на динамику выщелачивания солей представлено подробно на основании данных со склона S-2 (рис. 4—10). Динамику транспорта солей в потоке Быстжанка образуют рисунки 12—16 и коэффициент изменчивости транспорта  $V = 263,2\%$  в периоды поднятий и  $V = 22,7\%$  в периоды мелководья. Зависимость между транспортом солей и переплывом воды отражена при помощи уравнений. Подобным образом представлена динамика отведения более важных ионов (рис. 18—20). Характеризуя временную и пространственную изменчивость химической денудации подчёркивается роль геологической структуры, роль осадков и хозяйственной деятельности человека. Наконец обсуждается дифференциация отведения солей и химическая денудация, на фоне полученных до сих пор данных из района польских флишевых Карпат.

Представленный материал позволяет сделать следующие выводы: В зависимости от количества и интенсивности осадков процессу выщелачивания подвергаются менее или более толстые слои покровов выветренного материала и скальных пород. Наиболее интенсивному выщелачиванию подвергаются покровы выветривания с соседними горными скальными слоями. Затруднение в миграции вод в более глубокие горизонты, а также снижение агрессивности инфильтрующих вод, приводит к тому, что по мере глубины воды скорость выщелачивания быстро уменьшается.

О способе выщелачивания флишевых склонов решает тип покровов выветривания и материнских пород, а также вынужден ими способ и распределение стока вод. Хорошая водопроницаемость покровов выветривания на магурских песчаниках влияет на быструю инфильтрацию вод в более глубокие горизонты выветренно скального материала, где происходит главный сток воды и самое большое отведение солей. Это указывает на небольшое участие поверхностного и средьпокрового (глубиной до 1 м) отведения солей в общем количестве солей отведенных с исследованной территории (табл. 20 и 21). Более прочные покровы выветривания на инокерамах способствуют стоку большинства вод по склонам и неглубоких слоях покровов выветривания, откуда отводится большое количество солей. Во влажные годы их количество может превысить даже половину общего количества солей транспортированных из инокерамовых слоев. Глубже интенсивное отведение солей на склонах происходит только в очень трещиноватых опол — зневых породах (рис. 10).

На резкие разницы в ходе и объёме химической денудации флишевых территорий влияет литологическая изменчивость и химический состав скал. О размерах химической денудации решает участие легкорастворяющихся элементов (главным образом склеивающей карбонатной породы), а также способ и скорость водокружения, обусловлены проницаемостью материнской породы. Наиболее интенсивное выщелачивание происходит потому в районах построенных из обильных карбонатами кросненских слоев. Средний годичный запас солей отводимых из этих слоев в водосборе Быстжанки составлял  $119,4 \text{ т/км}^2$ , а средняя химическая денудация —  $97,8 \text{ т/км}^2$  или  $39,1 \text{ м}^3/\text{км}^2$  (удельный вес —  $2,5 \text{ г/см}^3$ ). Менее интенсивное выщелачивание наблюдается в инокерамовых слоях, где средний годичный запас отводимых солей составлял  $101,1 \text{ т/км}^2$  а химическая денудация  $79,5 \text{ т/км}^2$  или  $31,8 \text{ м}^3/\text{км}^2$ . Менее всех выщелачиваются территории построены из магурских песчаников. С этой территории отводилось в среднем в течение года  $91,2 \text{ т/км}^2$  а химическая денудация составляла  $71,8 \text{ т/км}^2$  или  $28,7 \text{ м}^3/\text{км}^2$ . Устойчивые магурские песчаники, образуя самые высокие бескидские возвышенности, получают больше осадков. Большее участие вод в дренаже этих территорий повышает выщелачивание, которое достигает порой размеров выщелачивания ниже расположенных территорий, построенных из инокерамовых слоев (пр. в 1974 г.)

Процесс химической денудации подвергается большим и частым временными колебаниям, обусловленным климатическими факторами. Изменчивость в небольших пределах времени вызвана главным образом интенсивностью осадков или снеготаяния, не без влияния тоже температуры, замерзания и разморозки грунта итп. Изменчивость этого процесса в более длинные периоды обусловлена обильем и распределением осадков или снеготаяния. По этому поводу редко проводимые измерения не отражают действительного объёма и изменчивости химической денудации.

Осадковые воды, которые содержат в среднем  $28,5-46,35 \text{ мг/л}$  солей, влияют на повышение химической денудации флишевых территорий а также на выщелачивание солей из минеральных удобрений, применяемых на территориях использованных сельским хозяйством. По поводу постоянного роста засорения атмосферы и атмосферных осадков надо учитывать постоянный рост выщелачивания.

Размеры химической денудации указывают, что этот процесс кроме механической денудации имеет решающее значение в формировании флишевых Карпат.

*Перевела Барбара Вельч*







**WYDAWNICTWA IGI PZ PAN  
VARIA**

**Bibliografia geografii polskiej 1980, 1984, s. 441, zł 500,—**

**Streszczenie prac habilitacyjnych i doktorskich 1981, 1983, s. 114, zł 60,—**

**Centralny katalog zbiorów kartograficznych w Polsce. Zeszyt 5. Wieloarkuszowe mapy topograficzne Polski 1576—1870, 1984, cz. 1 s. 109, cz. 2 tab. 220, zł 3500,—**

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

**WYKAZ ZESZYTÓW DOKUMENTACJI GEOGRAFICZNEJ**  
za ostatnie lata

## 1983

- 1 A. KOTARBA, M. KŁAPA, Z. RĄCZKOWSKA — Procesy morfogenetyczne kształtujące stoki Tatr Wysokich, s. 84, zł 60,—
- 2 A. POTRYKOWSKA — Współzależności między dojazdami do pracy a strukturą społeczną i demograficzną regionu miejskiego Warszawy w latach 1950—1973, s. 101, zł 60,—
- 3 K. BŁAŻEJCZYK — Bioklimatyczna ocena i typologia uzdrowisk Polski, s. 85, zł 60,—
- 4 M. SWAŁDEK — Przekształcenia pokrywy glebowej i zbiorowisk roślinnych w Staropolskim Okręgu Przemysłowym, s. 96, zł 60,—
- 5 J. GRUCZA — Wpływ migracji na stan i strukturę demograficzną ludności gmin województw kozzalińskiego i słupskiego, s. 90, zł 60,—
- 6 W. ANTONIAK — Komasacja gruntów jako czynnik rozwoju rolnictwa na przykładzie województwa białostockiego, s. 93, zł 60,—

## 1984

- 1—2 PRACA ZBIOROWA — Problemy bioklimatologii uzdrowiskowej cz. V, s. 138, zł 60,—
- 3 L. ANDRZEJEWSKI — Dolina Zgłowiączki, jej rozwój w późnym glacie i holocenie, s. 84, zł 60,—
- 4 F. SZLAJFER — Rola plantacji w kształtowaniu przestrzeni społeczno-gospodarczej na przykładzie Ameryki Łacińskiej, 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. 101, zł 70,—
- 6 T. NIEDŹWIEDŹ, M. ORLICZ, J. ORLICZOWA — Wiatr w Karpatach polskich, s. 90, zł 70,—