

## HYDROLOGICZNE ASPEKTY POGŁĘBIANIA KORYT RZEK BESKIDZKICH

*Wojciech Froehlich*

Zakład Geografii Fizycznej w Krakowie  
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN

### WSTĘP

Duże spadki podłużne rzek beskidzkich przy stosunkowo niewielkiej szerokości koryt powodują duże prędkości wody podczas wezbrań. Przy małej odporności skał fliszowych stwarza to potencjalne warunki silnej erozji wgłębnej.

Współczesne rozcinanie den dolin beskidzkich postępuje generalnie od dołu, o czym zdaniem Starkla [10] świadczy malejąca w górę rzeki głębokość rozcięcia cokołu skalnego oraz zmniejszanie się szerokości tras holocenijskich. Pogłębianie w litej skale przebiega szczególnie intensywnie w ulegających podnoszeniu odcinkach przełomowych dolin beskidzkich [2]. Występujące poniżej wylotu z przełomów odcinki koryt roztokowych charakteryzują się dynamiczną równowagą dna z tendencją do bocznej migracji koryt i poszerzenia łóżyska powodziowego [1]. Procesy te sprzyjają utrwalaniu systemu koryt roztokowych.

Holocenijska tendencja do rozcinania den dolin beskidzkich [10] jest wyraźnie widoczna w procesie kształtowania koryt [1, 2, 5-9]. Powszechnym jej świadectwem jest występowanie cokołu skalnego w korytach oraz w spagu teras zalewowych, gdzie okryty jest cienką serią aluwiów.

Proces pogłębiania koryt pociąga za sobą zmiany ich parametrów hydraulicznych, głównie spadku i pojemności. Pogłębianiu towarzyszy obniżanie się poziomu wody w rzece, do którego nawiązuje zwierciadło wód gruntowych w dnie doliny. Toteż tempo rozcinania koryt obok budowy geologicznej decyduje o zasobach i warunkach obiegu wód gruntowych w dnach dolin [8].

Celem niniejszego opracowania jest powiązanie geomorfologicznego procesu pogłębiania koryt naturalnych i zabudowanych hydrotechnicznie z przepływem wody w korytach i zmianami obiegu wody w dnach dolin.

## PRZYCZYNY I TEMPO WSPÓŁCZESNEGO POGŁĘBIANIA KORYT

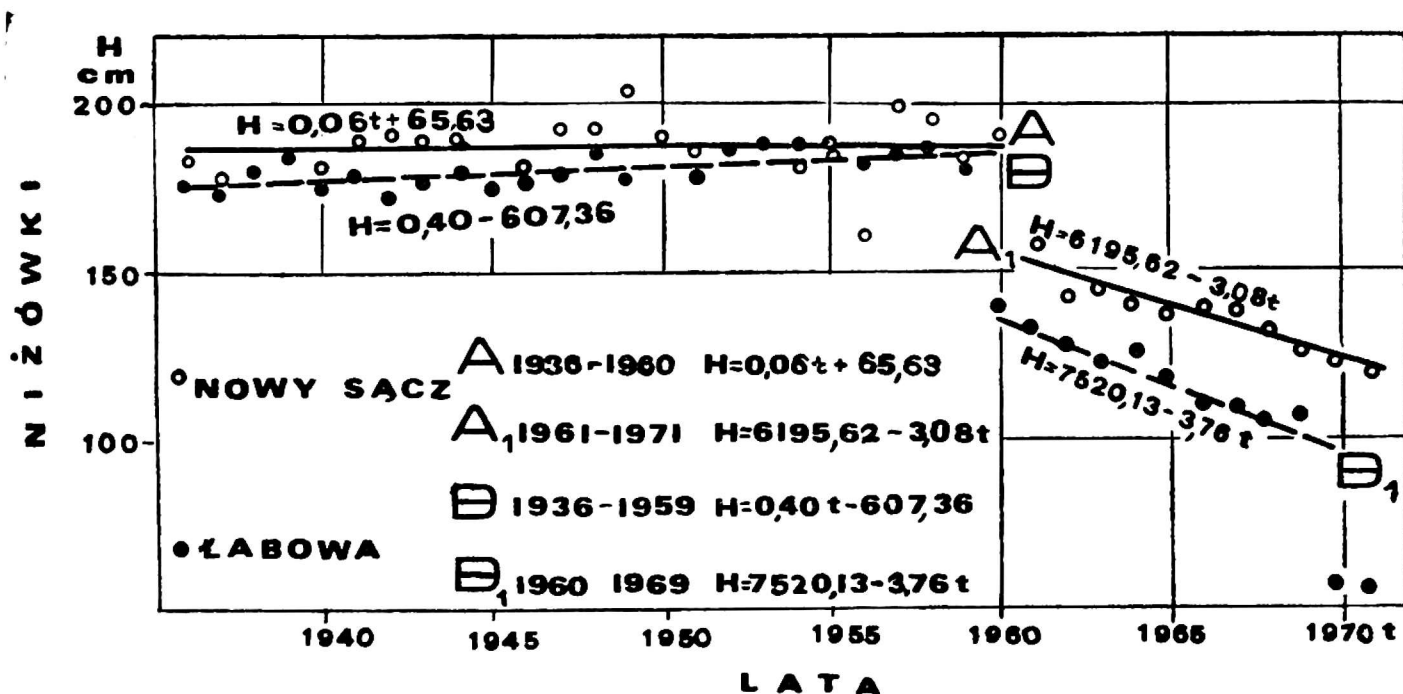
Dotychczasowe poznanie współczesnego wzrostu natężenia procesu pogłębiania koryt rzek karpackich ogranicza się zasadniczo do znajomości potencjalnych jego przyczyn. Brak jednak badań zmierzających do poznania mechanizmu procesu, jego przebiegu w profilu podłużnym całego koryta i wpływu na obieg wody w dnie doliny.

Wyniki stacjonarnych i przeglądowych badań koryt rzek beskidzkich wskazują, że obok wzrostu częstotliwości dużych wezbrań jedną z głównych przyczyn wzrostu tempa erozji wgłębnej w ostatnim 20-leciu jest nadmierna i niewłaściwie zlokalizowana eksploatacja aluwiów korytowych [1, 5, 8], jak również niewłaściwa zabudowa hydrotechniczna.

Na podstawie powtarzalnych geodezyjnych pomiarów koryta Ropy Soja [9] wiąże przyspieszenie pogłębiania ze wzrostem częstotliwości dużych wezbrań w ostatnim dziesięcioleciu oraz zmianami w sposobie użytkowania ziemi w okresie powojennym. Zmiany użytkowania ziemi w zlewni Ropy polegają na zwiększeniu powierzchni leśnych kosztem pól uprawnych.

Z porównania minimalnych rocznych stanów wody w przekrojach wodowskazowych Wisłoki [5, 8], Ropy [9], Kamienicy Nawojowskiej [1] (rys. 1) wynika, że średnie tempo pogłębiania koryt wynosi od 1 do 8 cm/rok. Proces pogłębiania koryt zachodzi również z dużym natężeniem w obrębie Pogórzy [6] i na przedpolu Karpat [12].

Z pomiarów tempa pogłębiania koryta Kamienicy Nawojowskiej, wykonanych w 36 przekrojach pomiarowych metodą prętów, w latach 1970-



Rys. 1. Trendy zmian minimalnych rocznych stanów wody (H) w Kamienicy Nawojowskiej; profil wodowskazowy Nowy Sącz i Łabowa, 1936-1971

1975, charakteryzujących się dużą częstotliwością wielkich wezbrań wynika, że proces ten zachodzi ze zmiennym natężeniem na całej długości rzeki. Największe wartości pogłębiania dna sięgające 40-50 cm za okres 6 lat zanotowano w ujściowym uregulowanym odcinku rzeki w Nowym Sączu. Bazą erozyjną tego odcinka jest koryto Dunajca, ulegające obniżaniu skutkiem nadmiernej eksploatacji aluwii. Postępująca erozja wgłębna w ujściowym odcinku Kamienicy Nawojowskiej wiąże się również z wyprostowaniem biegu rzeki przez regulację. O rozmiarach erozji wgłębnej świadczą tu zawieszane nad dnem koryta umocnienia regulacyjne z 1960 roku. Pogłębianie w litej skale zachodzi również pomiędzy progami korekcyjnymi i wywołane jest niewłaściwie dobranymi spadkami, powodującymi duże prędkości wody w czasie wezbrań. Odcinek ten pozbawiony jest prawie całkowicie możliwości do uruchomienia gruboziarnistego rumowiska dennego. W czasie wezbrań występują tu nadwyżki energii, o czym świadczą silnie zniszczone budowle hydrotechniczne.

Głębokości rozcięcia sięgające 30-40 cm w ciągu 6 lat zarejestrowane zostały w przekrojach zlokalizowanych powyżej miejsc intensywnej eksploatacji aluwii z koryta i łożyska powodziowego w środkowym biegu rzeki (rys. 2). Nadmierna eksploatacja jest często impulsem wyzwalającym erozję wsteczną, a niekiedy jest bezpośrednią przyczyną pogłębienia i prowadzi do zmian funkcji odcinka rzeki z akumulacyjnego na erozyjny (rys. 3). Typowym przykładem takiego odcinka jest koryto Kamienicy Nawojowskiej pomiędzy Nawojową i Zawadą, gdzie pokrywa aluwialna została wyeksploatowana i odsłonił się cokół fliszowy, który obecnie ulega rozcinaniu. Podobny proces zachodzi w korycie Dunajca w Nowym Sączu.

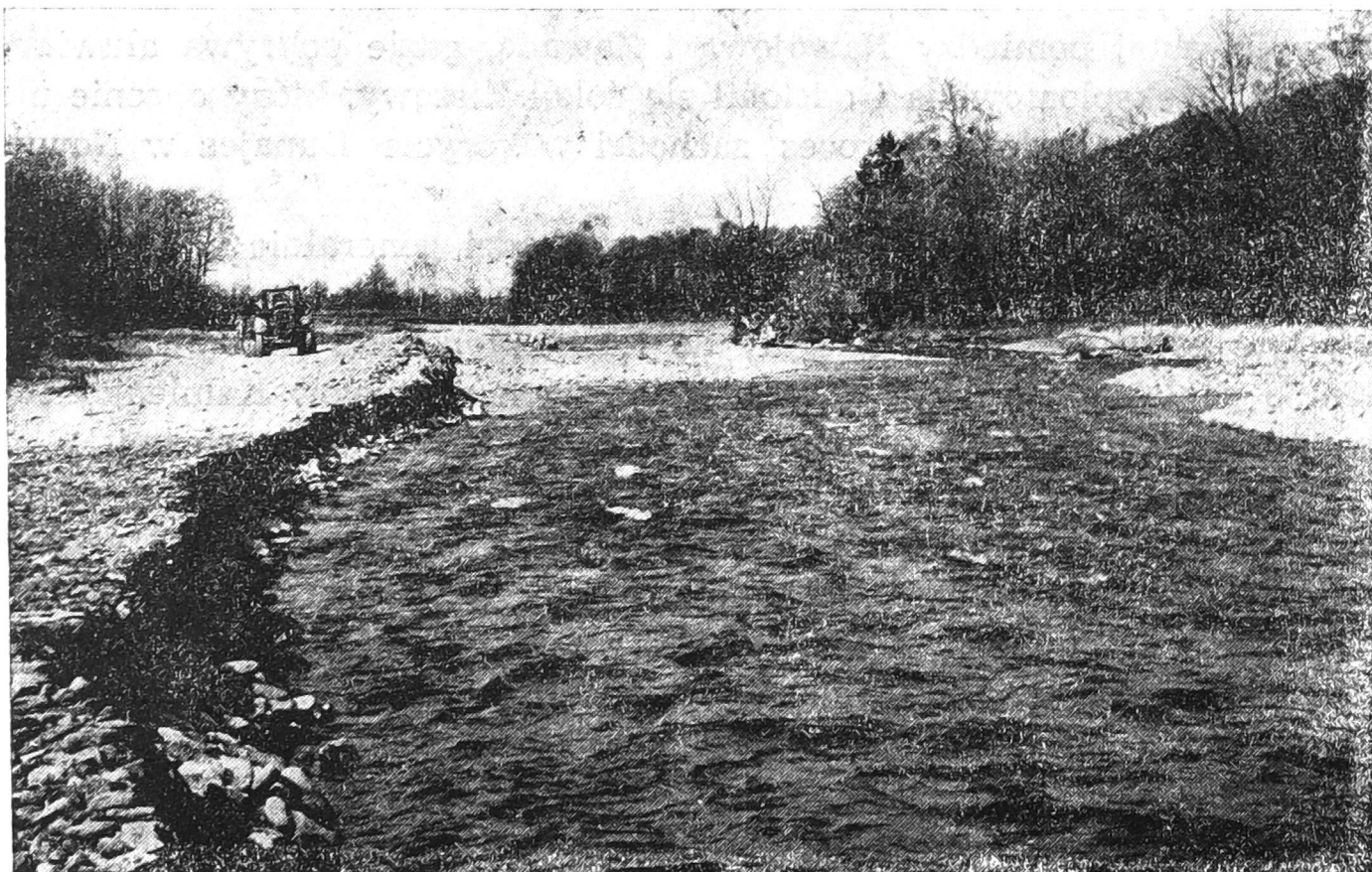
W górnym biegu rzeki pogłębianie zachodzi generalnie w litej skale i odbywa się znacznie wolniej — 15-30 cm w ciągu 6 lat (rys. 4). Lokalnie wycięte kotły eworsyjne osiągały do 1,4 m głębokości (rys. 5). Podobne tempo pogłębiania zarejestrowano w korytach dopływów Kamienicy Nawojowskiej, niezależnie od różnic w sposobie użytkowania zlewni.

Oprócz zróżnicowania głębokości rozcięcia w poszczególnych odcinkach koryta zarejestrowano również duże różnice lokalne pomiędzy sąsiadującymi ze sobą przekrojami pomiarowymi. Wynikają one z różnej odporności skał budujących koryto (np. wkładki łupków w piaskowcach), lokalnych zmian spadku (bystrza, płosa) i składu granulometrycznego aluwii. Wiążą się również z nierównomiernie zlokalizowaną eksploatacją rumowiska.

Obecne rozmiary eksploatacji aluwii znacznie przekraczają możliwości naturalnej regeneracji pokrywy aluwialnej poprzez transport rumowiska dennego [1]. Transport rumowiska dennego odbywa się odcinkowo i zachodzi bardzo wolno w stosunku do jego eksploatacji. Roczny ładunek



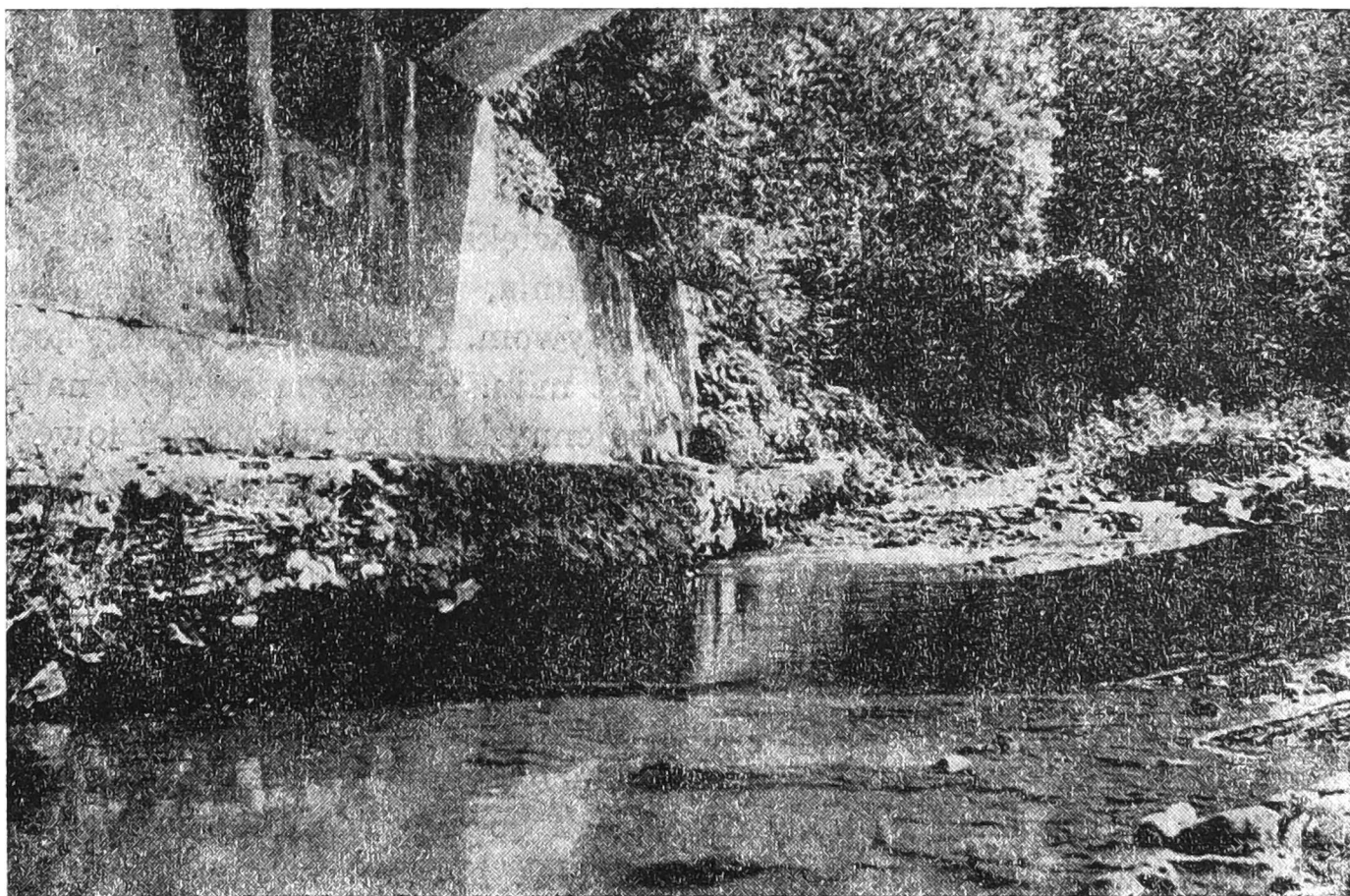
Rys. 2. Pomiary tempa erozji wgłębnej metodą stalowych prętów. Wysokość prętów nad powierzchnią gruntu określa rozmiary erozji wgłębnej. Zdjęcie wykonano po przejściu fali powodziowej w lipcu 1973 r.



Rys. 3. Nadmierna eksploatacja aluwów z koryta i łożyska powodziowego Kamienicy Nawojowskiej k. Frycowej prowadzi do powstania lokalnej bazy erozyjnej i zmiany funkcji odcinka koryta z akumulacyjnego na erozyjny



Rys. 4. Rozcinanie cokołu skalnego w korycie Kamienicy Nawojowskiej. W dnie koryta widoczne strefy bardziej odpornych wychodni piaskowcowych



Rys. 5. Kocioł eworsyjny wycięty w cokole piaskowcowym w korycie Kamienicy Nawojowskiej w Nowej Wsi. O głębokości rozcięcia świadczą odsłonięte fundamenty filaru mostu kołowego. Zdjęcie wykonane po powodzi w lipcu 1970 r.

T a b e l a

Bilans wyniesionego materiału rozpuszczonego, zawiesiny i materiału wlezonego ze zlewni Kamienicy Nawojowskiej

Rok hydrologiczny	Rodzaj wynoszonego materiału	Ładunek roczny w t	Procent całkowitego ładunku rocznego
1970	materiał rozpuszczony	32 637	9,87
	zawiesina	285 769	86,39
	materiał wleczony	12 390	3,74
Całkowity ładunek roczny		330 796	100,00
1971	materiał rozpuszczony	16 629	53,14
	zawiesina	14 168	45,28
	materiał wleczony	496	1,58
Całkowity ładunek roczny		31 293	100,00

transportowanego rumowiska dennego w rzekach beskidzkich prawdopodobnie nie przekracza 10-15% całkowitej masy wynoszonych w postaci stałej zwierzelin [1, 13]. Przeważającą część ładunku stanowi zawiesina (tabela).

#### ZMIANY KIERUNKU I NATĘŻENIA PROCESÓW W DNACH DOLIN SPOWODOWANE POGŁĘBIANIEM KORYT

Proces erozji wgłębnej prowadzi do zwiększenia pojemności koryta i łożyska powodziowego. W miarę pogłębiania, stan brzegowy *bankfull stage* odpowiada coraz to większym przepływom. Powoduje to wzrost koncentracji energii w obrębie koryta i jest m.in. przyczyną wzrostu natężenia erozji wgłębnej. Zwiększanie pojemności łożyska powodziowego jest korzystne z punktu widzenia ochrony przeciwpowodziowej. Równocześnie z pogłębianiem wzrasta bowiem względna wysokość równiny zalewowej. W niewielkim stopniu jest to również następstwem akumulacji pozakorytowej na równinie zalewowej, która jest zalewana coraz rzadziej, podczas coraz to większych wezbrań, przekraczających stan brzegowy.

Pogłębianie koryta pociąga za sobą istotne zmiany w obiegu wody w dnie doliny. Następuje obniżanie poziomu wody w rzece i zwiększenie amplitudy wahań stanów wody od niskich do wysokich. Do wysokości zwierciadła wody w rzece nawiązuje spadek hydrauliczny wód gruntowych w dnie doliny. Wzrost spadku hydraulicznego powoduje szybszą filtrację wód w kierunku koryta. Momentem zwrotnym dla obiegu wody w dnie doliny jest rozcięcie pokrywy aluwialnej i odsłonięcie cokołu skal-

nego. Może nastąpić wówczas całkowite zdrenowanie wód występujących w pokrywie aluwialnej. Znajduje to odbicie w przyspieszeniu obiegu wody w dnie doliny, polegające na skracaniu czasu przejścia od niskich do wysokich stanów wody i odwrotnie. Wzrost szybkości opadania stanów wody i regresji odpływu w nawiązaniu do tempa pogłębiania koryt zarejestrowano w zlewni potoku Homerka [3].

Zmniejszenie pojemności zbiorników wód gruntowych prowadzi do osuszania den dolin, którego świadectwem jest ciągle obniżanie poziomu wody w misach starorzeczy. Szczególnie szybki proces obniżania poziomu wód gruntowych w dnie doliny związany z eksploatacją aluwiów, powodującą pogłębianie koryta Dunajca, zachodzi w Kotlinie Sądeckiej. W ostatnich latach nastąpiło tu katastrofalne zmniejszenie zasilania ujęć wodociągowych dla Nowego Sącza spowodowane tym procesem. Przyczynia się to do poważnych strat ekonomicznych i zmusza do budowy kosztownych stopni piętrzących wody w korycie. Toteż nowe projekty budowy ujęć wodociągowych, wykorzystujących zbiorniki wód gruntowych w aluviach, winny w większym stopniu uwzględniać obniżanie zwierciadła wód gruntowych wywołane procesem pogłębiania koryt.

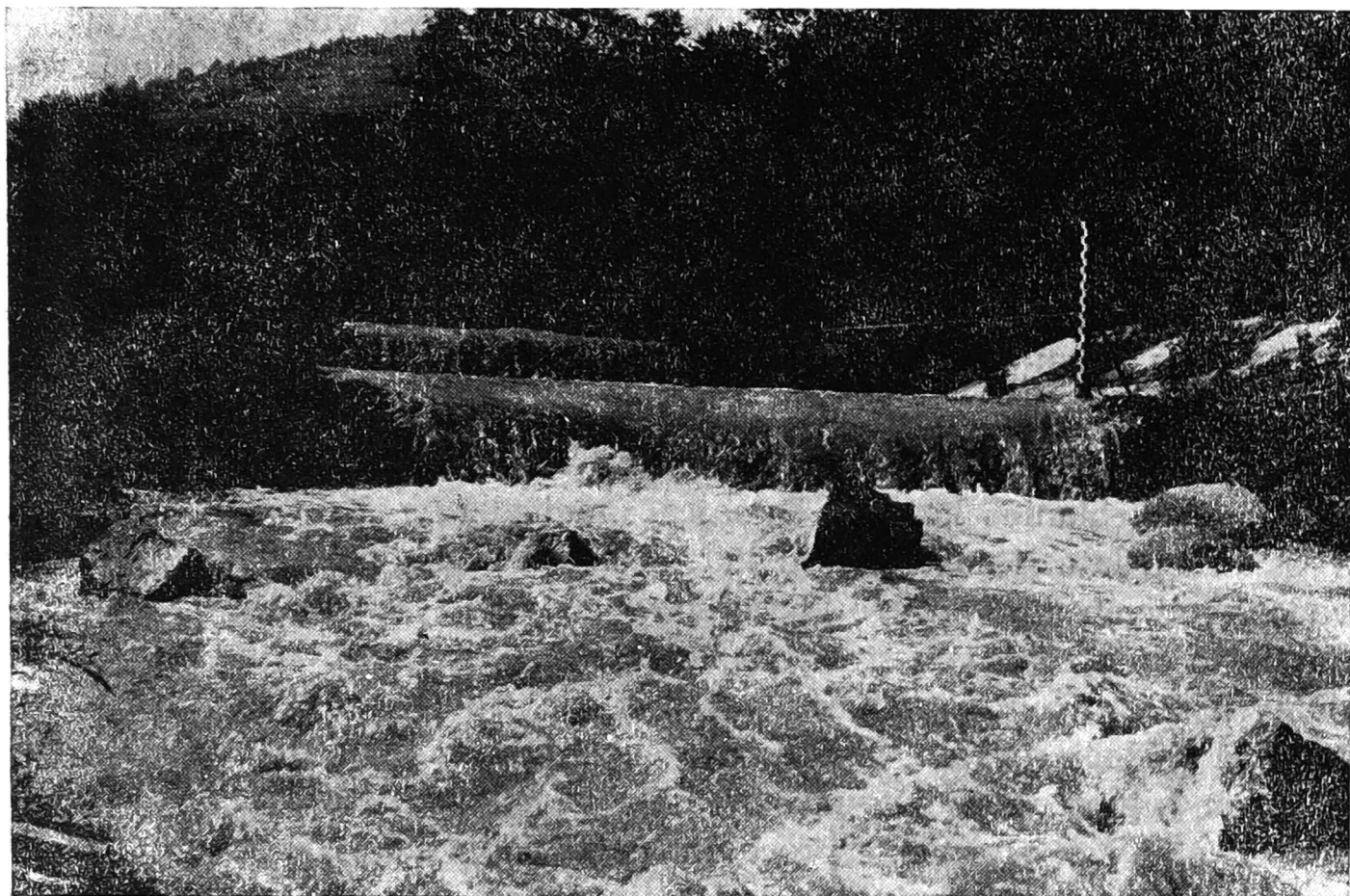
Zmniejszanie retencyjności den dolin i głębokie drenowanie pokryw aluwialnych pozostaje również w bezpośrednim związku z nadmierną i niewłaściwie zlokalizowaną eksploatacją aluwiów z równin zalewowych i wyższych poziomów terasowych.

#### SKUTECZNOŚĆ HYDROTECHNICZNEJ ZABUDOWY POTOKÓW GÓRSKICH W ŚWIETLE PROCESU POGŁĘBIANIA KORYT

Model hydrotechnicznej zabudowy potoków górskich w Karpatach oparty na wzorach alpejskich [4, 14] nie stanowi skutecznego zabezpieczenia koryt przed erozją wgłębną. Jedną z podstawowych przyczyn niepowodzeń w regulacji rzek i potoków beskidzkich jest brak dokładnych danych ilościowych o rozmiarach i natężeniu podstawowych procesów fluwialnych, umożliwiających prawidłowe projektowanie teras regulacyjnych. Systemy regulacyjne winny w jednakowym stopniu uwzględniać zabezpieczenie przeciwpowodziowe jak i ochronę przed nadmierną erozją i transportem.

Najbardziej rozpowszechniony w Beskidach system zabudowy potoków progami korekcyjnymi lub żłobami kamiennymi powoduje zmniejszenie szorstkości oraz skrócenie długości koryta, a tym samym zwiększenie jego spadku. Następstwem jest przyspieszenie odpływu potęgujące wzrost gwałtowności wezbrań w dużych rzekach [11], który znajduje odbicie we wzroście natężenia procesów fluwialnych.

Koncentracja energii w odcinku uregulowanym powoduje gwałtowną erozję poniżej budowli hydrotechnicznych o natężeniu wielokrotnie więk-



Rys. 6. Koncentracja energii poniżej progu korekcyjnego w korycie potoku Homerka wyzwała impuls do erozji wgłębnej. Obniżenie o 95 cm dna skalnego koryta poniżej progu nastąpiło w ciągu 4 lat

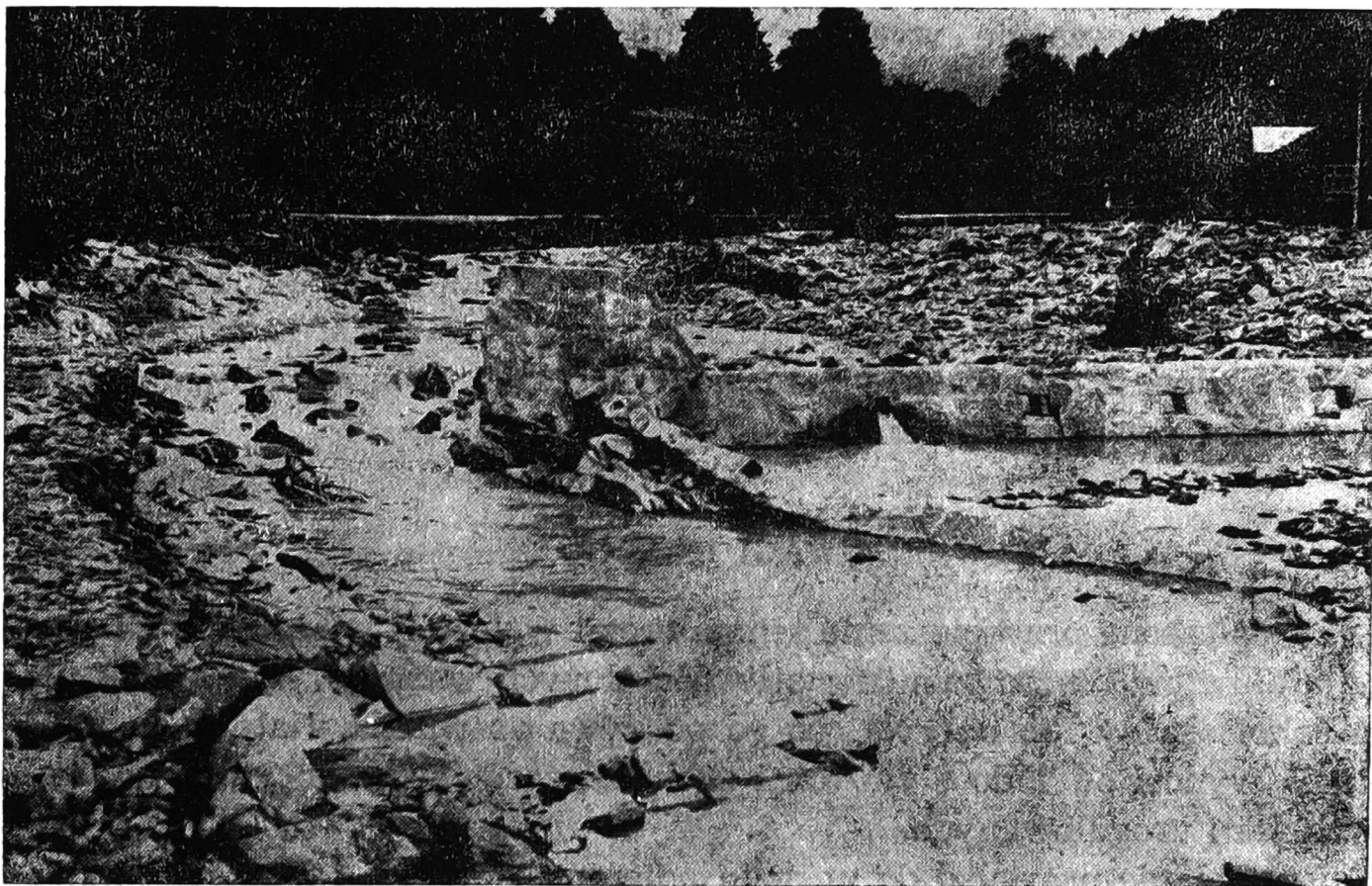
szym niż w korycie naturalnym. Badania nad wpływem zabudowy hydrotechnicznej na tempo erozji prowadzone w korycie potoku Homerka wykazały, że erozja wgłębna cokołu skalnego poniżej progu korekcyjnego wynosiła 95 cm za okres 4 lat (rys. 6). Równocześnie w korycie naturalnym osiągnęła zaledwie 10-20 cm.

Niewłaściwie dobrane spadki pomiędzy budowlami hydrotechnicznymi powodują wzrost natężenia transportu denego i dają impuls do erozji wstecznej, która doprowadza do odsłaniania fundamentów budowli i szybkiego ich niszczenia w czasie katastrofalnych wezbrań (rys. 7). Również budowa murów oporowych oraz budowa koryt szczelnych pancierzem kamiennym lub betonowym, przy równoczesnym wyprostowaniu koryta, przyspiesza erozję wgłębnią i niszczenie tych budowli (rys. 8).

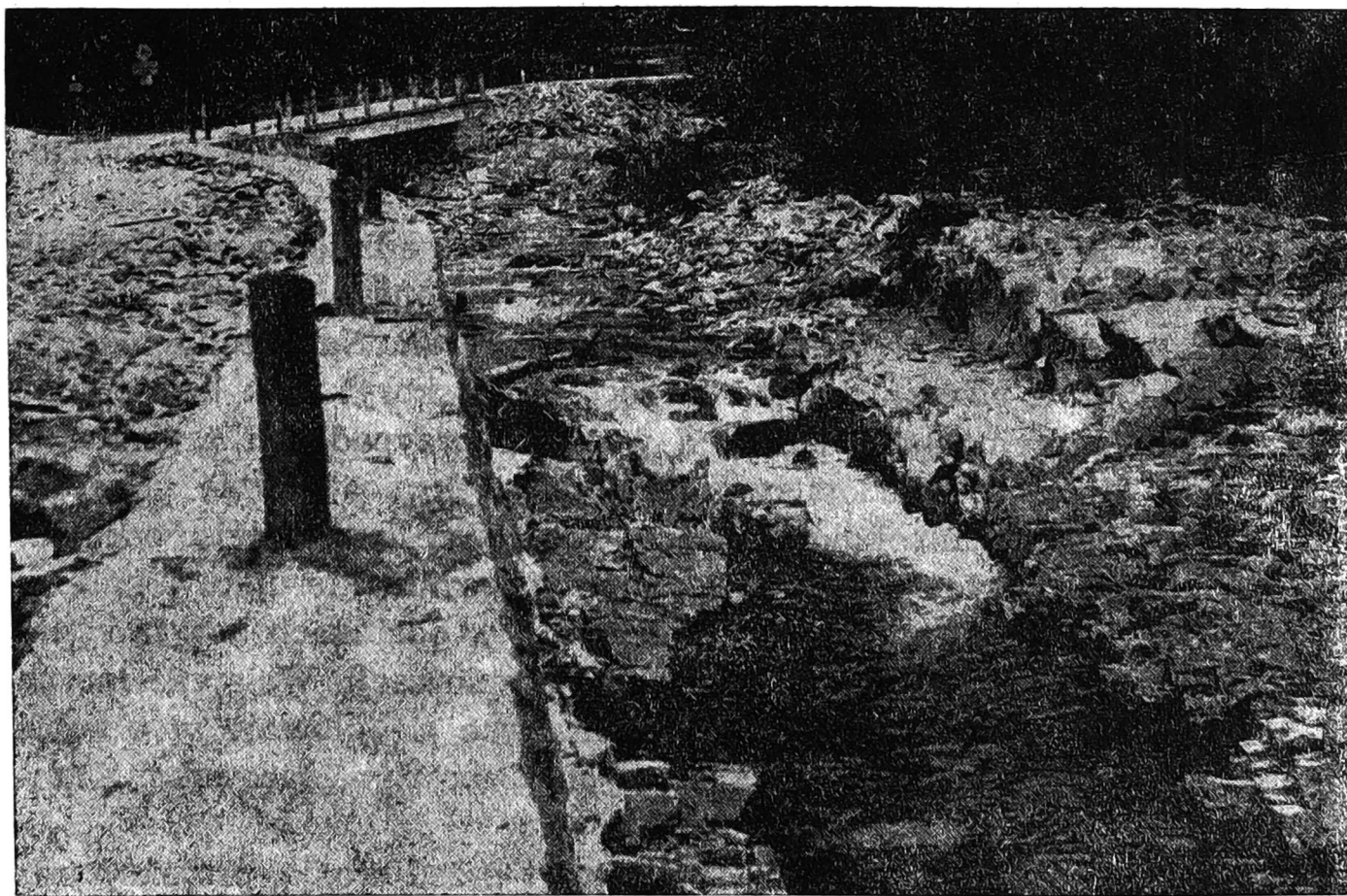
Szczelna obudowa koryt murami kamiennymi lub betonowymi uniemożliwia swobodny kontakt wód stokowych z korytem. Niekiedy dochodzi do ich podparcia w dnie doliny, co objawia się występowaniem podmokłości.

Budowle hydrotechniczne przegradzające koryta ograniczają lub wręcz uniemożliwiają transport rumowiska dennego i regenerację nadmiernie eksploatowanych zasobów złóż aluwialnych. Toteż współcześnie w wielu





Rys. 7. Niewłaściwie dobrane spadki są jedną z głównych przyczyn niszczenia budowli hydrotechnicznych w czasie katastrofalnych wezbrań. Zdjęcie wykonane po torencjalnym wezbraniu potoku Wierchomla w lipcu 1970 r.



Rys. 8. Rynna erozyjna wycięta w dnie skalnego odcinka koryta potoku Wierchomla w czasie torencjalnego wezbrania w lipcu 1970 r.

korytach zaznacza się wyraźny niedobór grubego rumowiska. Jest to przyczyną powstawania w korycie „nadwyżek” energii skierowanej na erozję.

Odprowadzane produkty erozji koryta i stoków składają się w 90% z frakcji piaszczysto-pyłastych transportowanych w zawieszynie [1]. Obserwując potoki w zlewni Kamienicy Nawojowskiej, problematyczna wydaje się lokalizacja wielu zapór przeciwrumowiskowych, za którymi ulegają sedymentacji pylasto-piaszczyste zwietrzeliny, a w małym stopniu gruboziarnisty materiał denny.

#### UWAGI KOŃCOWE

Współczesne przyspieszenie tempa erozji wglębnej wiąże się z eksploatacją aluwiów i wzrostem częstotliwości dużych wezbrań. Rozcinaniu ulega cokol skalny lub okrywająca go pokrywa aluwialna. Natężenie pogłębiania wynosi od 1 do 8 cm/rok i zachodzi zarówno w korytach naturalnych jak i uregulowanych.

Pogłębianie prowadzi do wzrostu pojemności koryta i zmniejszenia zasięgu łożyska powodziowego. Powoduje również wzrost wysokości względnej równiny zalewowej. Obniżanie zwierciadła wody w rzece wywołuje wzrost spadku hydraulicznego wód gruntowych w dnie doliny. Przyspiesza to filtrację wód gruntowych w kierunku koryta, a przez zmniejszenie retencyjności dna doliny skraca czas przejścia od wysokich do niskich stanów. Poprzez głębokie drenowanie den dolin kurczą się zbiorniki wód gruntowych. Koryta wycięte w skale są praktycznie izolowane od zbiorników wód podziemnych w dnach dolin.

Często bezpośrednią przyczyną pogłębiania jest nadmierna eksploatacja aluwiów z koryta lub łożyska powodziowego. Jest ona przyczyną wyzwalania impulsu do erozji wstecznej w czasie wezbrań. Na obecnym etapie poznania przyczyn wzrostu natężenia pogłębiania koryt rzek beskidzkich staje się koniecznym ograniczenie, a w wielu przypadkach zaniechanie eksploatacji aluwiów. Niedopuszczalne jest wyeksploatowanie pokrywy aluwialnej i odsłonięcie cokołu skalnego. Toteż określenie miejsc eksploatacji winno być oparte na wszechstronnym poznaniu kierunku i natężenia procesów erozji, transportu i sedymentacji w odcinkach koryta sąsiadujących w górę i w dół rzeki z miejscem eksploatacji. Wstępnie można wskazać, że eksploatacja powinna koncentrować się głównie w obrębie mis projektowanych zbiorników zaporowych (Czorsztyn, Jazowsko, Klimkówka).

Dążąc do skutecznego zabezpieczenia koryt przed erozją, projekty tras regulacyjnych należy dostosować indywidualnie do typów koryt i przewodnich w danych odcinkach procesów fluwialnych.

## LITERATURA

1. Froehlich W.: Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy Nawojowskiej. Pr. geog. IG i PZ PAN, nr 114, 1975, ss. 122.
2. Froehlich W., Klimek K., Starkel L.: The Holocene Formation of the Dunajec Valley Floor within the Beskid Sądecki in the Light of Flood Transport and Sedimentation. *Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica*, 6, 1972, s. 63-83.
3. Froehlich W., Słupik J.: Spatial differentiation of run-off of water and dissolved material in Homerkan drainage basin during summer drought. *Quaestiones Geographicae* (in print).
4. Golczewski A.: O trudnościach metodycznych przy projektowaniu zabudowy potoków górskich. *Gosp. wod.*, 4 (278), 1970, s. 130-133.
5. Klimek K.: The retreat of alluvial river banks in the Wisłoka Valley (South Poland). *Geogr. pol.*, 28, 1974, s. 59-75.
6. Klimek K., Starkel L.: History and Actual Tendency of Floodplain Development at the Border of the Polish Carpathians. *Nachr. Acad. Göttingen, Report of Commision on Present-day Geomorph. Proces (IGU)*, 1974, s. 185-196.
7. Lach J.: Ewolucja stosunków wodnych wywołana gospodarczą działalnością człowieka w dorzeczu Ropy. *Zesz. probl. Post. Nauk rol.*, z. 162, 1975, s. 365-369.
8. Osuch B.: Problemy wynikające z nadmiernej eksploatacji kruszywa rzecznoego na przykładzie rzeki Wisłoki. *Zesz. nauk AGH*, 219, 1968, s. 283-301.
9. Soja R.: Depending of Channel in the Ligth of the Crossprofile Analysis (Carpathian river as example). *Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica*, 11, 1977, s. 127-138.
10. Starkel L.: Rozwój rzeźby Karpat fliszowych w holocenie. Pr. geogr. IG PAN, 22, 1960, ss. 239.
11. Starkel L.: Problemy regulacji obiegu wody w górach. *Mater Konf. Jadwisin k. Serocka 25-27 III 1976, Komit. Nauk geogr., Komit. Melior.* 3, 1976, s. 378-388.
12. Trafas K.: Zmiany obiegu koryta Wisły na wschód od Krakowa w świetle map archiwalnych i fotointerpretacji. *Pr. Inst. Geogr. UJ*, 62, 1975, ss. 85.
13. Wiśniewski B.: Ilość rumowiska unoszonego i wlezonego w rzekach polskich. *Gosp. wod.*, 10-11, 1972, s. 381-386.
14. Wołoszyn J.: Regulacja rzek i potoków. PWN, Warszawa 1974, ss. 463.

*Войцех Фрелих*

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УГЛУБЛЕНИЯ РУСЕЛ РЕК  
В РАЙОНЕ БЕСКИД

Резюме

Гидравлические параметры русел бескидских рек и малая прочность флишевых скал способствует разрыванию дна долин (рис. 2-8). Рост частоты крупных паводков в последнем десятилетии, а также чрезмерная и неправильно локализованная эксплуатация аллювиев (рис. 3) резко ускоряют процесс углубления долин. Он происходит с изменчивой интенсивностью в продольном разрезе речного русла и связан с местными изменениями уклонов, прочностью

скал и гранулометрическим составом аллювиев. Темпы углубления составляют 1-8 см в год (рис. 1).

Углубление русел находит свое отражение в изменениях оборота воды в дне долины. Повышается ёмкость речного русла и паводкового ложа. Со снижающимся зеркалом воды в русле связан гидравлический градиент грунтовых вод в дне долины. Происходит снижение водозадержательной способности дна долин и сокращение времени перехода от высоким к низким уровням воды.

Наиболее частой причиной роста изменчивости углубления и изменений функций участков русел от аккумуляционных к эрозионным является чрезмерная и неправильно локализованная эксплуатация аллювиев и неправильное урегулирование русел рек. Используемая до сих пор модель крепления горных потоков базирующая на альпийских стандартах не обеспечивает эффективной защиты от эрозии, а иногда даже приводит к ее резкому повышению.

*Wojciech Froehlich*

DEEPENING OF STREAM CHANNELS IN THE BESKIDY MTS —  
A HYDROLOGICAL ASPECT

S u m m a r y

Hydrological parameters of channels of the Beskidy mountain rivers and little strength of flysh rocks create favourable conditions for cutting of valley bottoms (Figs. 2-8). The growth of frequency of great floods in the last 10-year period and an excessive and improperly located exploitation of alluvia (Fig. 3) accelerated rapidly the deepening process of valleys. It occurs with variable intensity in the longitudinal profile of the river bed, depending on the strength of rocks and granulometric composition of alluvial formations. The deepening rate amounts to 1-8 m a year (Fig. 1).

The deepening of river beds leads to changes of the water circulation in the valley bottom. The river and flood bed capacity increases. The decreasing water level in the river bed is connected with a drop of hydraulic gradient of ground waters in the valley bottom. A drop of the retentional capacity of the valley bottom and a shortening of the time of transition from high to low water levels is taking place.

Most often a direct cause of the deepening intensity and of changes of functions of particular sectors of river beds from accumulation to erosion ones is an improperly located and excessive exploitation of alluvia as well as a faulty regulation of river beds. The hitherto model of reinforcement of mountain streams based on the Alpine standards does not ensure an efficient protection against erosion and sometimes leads even to its growth.