

ZOFIA ALEXANDROWICZ

Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków

Ochrona wodospadów w Karpatach Polskich

Wodospady tworzą się na odpornych progach skalnych, które mają różną genezę. W wysokogórskich obszarach są one związane z formami rzeźby glacialnej, takimi jak zawieszona dolina i kary lodowcowe. Mogą to być również progi w miejscach rozcięć starych powierzchni zrównań. Spektakularne przykłady wodospadów w krajobrazach polodowcowych są bardzo liczne na świecie. Dużymi rozmiarami charakteryzują się także formy usytuowane w obrębie stref wielkich uskoków, wąskich i spiętrzonych fałdów lub głębokich kotlin (Czaya 1987).

W Karpatach fliszowych pochodzenie wodospadów jest uwarunkowane nierównomiernym erodowaniem skał o zróżnicowanej odporności, odsłoniętych w dnach potoków. W wyjątkowych przypadkach progi wodospadowe mogą być założone w miejscach zatamowania potoku przez kolumium osuwiska lub w skalistych odcinkach przyźródłowych. Wodospady w dnach dolin karpackich nie osiągają dużych rozmiarów. W ogólnej klasyfikacji należą one do form niskich (2–5 m wysokości) i średnich (5–10 m) (Klimaszewski 1978). Przeważnie mają one 3–4 m wysokości (Alexandrowicz 1976, 1994, Ziętara, Lis 1986). Wodospady karpackie reprezentują wszystkie typy znane w obrębie skał osadowych o zróżnicowanej odporności na erozję wodną i różnym przebiegu warstw względem kierunku przepływu potoku. Zróżnicowanie i niewielka wysokość wodospadów, dogodna dla dokonywania bezpośrednio obserwacji i pomiarów, powodują, że Karpaty fliszowe mogą być uznane za obszar modelowy dla badań geomorfologicznych w zakresie skalnych form erozyjnych.

Typy i ewolucja wodospadów

Korzystnymi warunkami geologicznymi do formowania się dużych, pojedynczych wodospadów są miejsca w potokach karpackich, gdzie sporadycznie występują grube lub szczególnie odporne na erozję ławice piaskowców, zalegające pośród znacznej miąższości kompleksów piaskowcowo-łupkowych, łupków, mułowców lub margli. Mogą to być również zestawy kilku ławic piaskowców podścielone łupkami lub innymi mało odpornymi utworami fliszu. Strefy występowania odpornych sekwencji grubych ławic piaskowców, przegradzanych bardziej miękkimi utworami, są predysponowane do kształtowania zespołu progów tworzących układy kaskadowe.

W zachodniej części Karpat fliszowych dotychczas zinventaryzowano i udokumentowano ponad 50 wodospadów znajdujących się w obszarach rozprzestrzenienia płaszczowin śląskiej i magurskiej oraz fliszu podhalańskiego. Wśród nich wyróżniono 15 typów na podstawie kryteriów uwzględniających: I – następstwo (sekwencję) warstw w obrębie progów wodospadu, ich miąższość i odporność na procesy erozji, II – układ warstw (bieg i upad) w stosunku do kierunku przepływu potoku (ryc. 1) (Alexandrowicz 1994).

Zastosowanie pierwszego z wymienionych kryteriów pozwoliło na wyróżnienie czterech modelowych przypadków budowy progów wodospadowych. W każdym z tych przypadków szczyt progów utrzymującego wodospad stanowi twarda, odporna ławica piaskowca lub ich zestaw o różnej grubości – od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów. Progi są zbudowane z następujących sekwencji utworów (ryc. 1-I).

1. Stropowa ławica piaskowca stosunkowo niegruba, ale bardzo twarda i oporna na mechaniczne niszczenie, a pod nią kompleks mało odpornych łupków, mułowców, fliszu lub żwirowców.

2. Bardzo gruba ławica (lub zespół ławic nie przedzielonych łupkami) tworząca cały lub prawie cały próg wodospadu, podścielona przez łupki ilaste lub inne mało zwarte utwory.

3. Dwie (lub więcej) grube (ponad 1 m) ławice piaskowców rozdzielone cienkimi wkładkami lub soczewkami łupków ilastych, z pakietem utworów mało odpornych w spągu.

4. Ławice piaskowców cienkie lub średniej grubości, przedzielone i podścielone utworami o mniejszej spoiwości, przy czym udział pierwszych w stosunku do drugich może być różny.

W zastosowaniu drugiego z wymienionych kryteriów klasyfikacji wodospadów można wyróżnić pięć układów warstw tworzących progi względem kierunku przepływu potoku (ryc. 1-II):



1. Kamieniołom w Zabierzowie – projektowane stanowisko dokumentacyjne. Ściana północna – wapień górnourajskie z formami krasu kopalnego w zachodniej części odsłonięcia. – Quarry in Zabierzów – planned documentary site. Northern wall – Upper Jurassic limestones with fossil karst forms in the western part of the outcrop. Fot. I. Felisiak (1993 r.)

2. Odsłonięcie w Trojanowicach koło Krakowa – pomnik przyrody. Wapień górnej jury ścięte powierzchnią abrazyjną i profil wapieni turonu (górnokreda). – Outcrop in Trojanowice near Cracow – nature monument. Upper Jurassic limestones truncated by an abrasive surface and a sequence of Turonian limestones (Upper Cretaceous). Fot. Z. Alexandrowicz (1997 r.)



3. Chroniona skałka wapienia górnjurajskiego nad Wisłą, poniżej klasztoru OO. Benedyktynów w Tyncu. – Protected tor formed of Upper Jurassic limestone over the Vistula River beneath the Benedictine Abbey in Tyniec. Fot. M. Kalisz (1996 r.)

4. Odślonięcie facjalnego przejścia górnjurajskiego wapienia skalistego w wapien lądowy z krzemieniami – pomnik przyrody. Piekary nad Wisłą naprzeciwko klasztoru OO. Benedyktynów w Tyncu. – Outcrop of Upper Jurassic limestones facial transition from massive (reef) to bedded ones with flints – nature monument. Piekary upon the Vistula River facing the Benedictine Abbey in Tyniec. Fot. M. Kalisz (1996 r.)



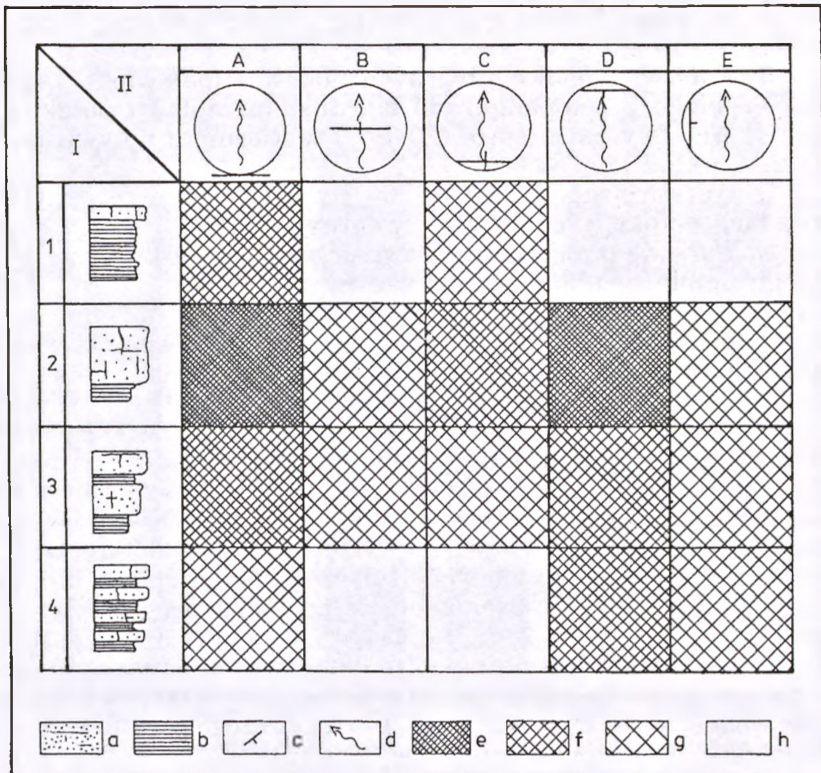
5. Okrażek w Piekarach – chroniona skałka wapieni górnojurajskich w dolinie przełomu Wisły pod Tyńcem. – Okrażek in Piekary – protected tor formed of Upper Jurassic limestone in the gap of the Vistula River valley near Tyniec. Fot. Z. Alexandrowicz (1996 r.)

6. Sokołowe Skály w grupie chronionych Jerzmanowickich Skałek wapieni górnojurajskich na wierzchołwie Wyżyny Krakowskiej. – Sokołowe Rocks in the protected group of Jerzmanowickie Rocks formed of Upper Jurassic limestones. The top surface of the Cracow Upland.
Fot. Z. Alexandrowicz (1996 r.)



7. Wodospad w potoku Zbludza w Beskidzie Wyspowym – projektowany pomnik przyrody. – Waterfall in the Zbludza Stream valley in Beskid Wyspowy Mts. – planned nature monument. Fot. Z. Alexandrowicz (1995 r.)

8. Jeziorko Iwanowskie w paśmie Lubania (Gorce). Z lewej strony widoczny wał koluwalny tamujący odpływ wody. – Iwanowskie dew pond in Lubañ Range (Gorce Mts.). Colluvial swell damming up the water outflow is visible on the left. Fot. W. Margielewski (1995 r.)



Ryc. 1. Klasyfikacja i częstotliwość występowania wodospadów w Karpatach fliszowych (wg Alexandrowicz 1994). I – sekwencja utworów w progach wodospadowych (1–4): a – piaskowce, zlepnieńce, b – łupki; II – układ biegu i upadu warstw (c) w progach wodospadowych względem kierunku przepływu potoku (d): A – poziomy lub prawie poziomy (upad do 20°), B – pionowy lub prawie pionowy (upad powyżej 60°), C – konsekwentny (upad 20–60°), D – obsekwentny (20–60°), E – subsekwentny; częstotliwość występowania sklasyfikowanych typów wodospadów: e – częsty, f – nieliczny, g – rzadki, h – brak. — Classification and frequency of waterfalls occurrence in the Polish Flysch Carpathians (after Z. Alexandrowicz 1994). Criteria of classification: I – bed sequence in the fall steps (1–4): a – sandstone, conglomerate, b – shale; II – strike and dip of beds (c) in falls' steps versus stream course (d): A – horizontal or nearly horizontal beds (less than 20° dip), B – vertical or nearly vertical (more than 60° dip), C – downstream-dipping beds (20–60° dip) – consequent pattern, D – upstream-dipping beds (20–60° dip) – obsequent, E – subsequent; occurrence frequency of classified types of falls: e – frequent, f – scarce, g – rare, h – absent

A. Warstwy leżące poziomo lub prawie poziomo (upad mniejszy niż 20°),

B. Warstwy pionowe lub prawie pionowe (upad większy niż 60°) o biegu prostopadłym do kierunku przepływu potoku,

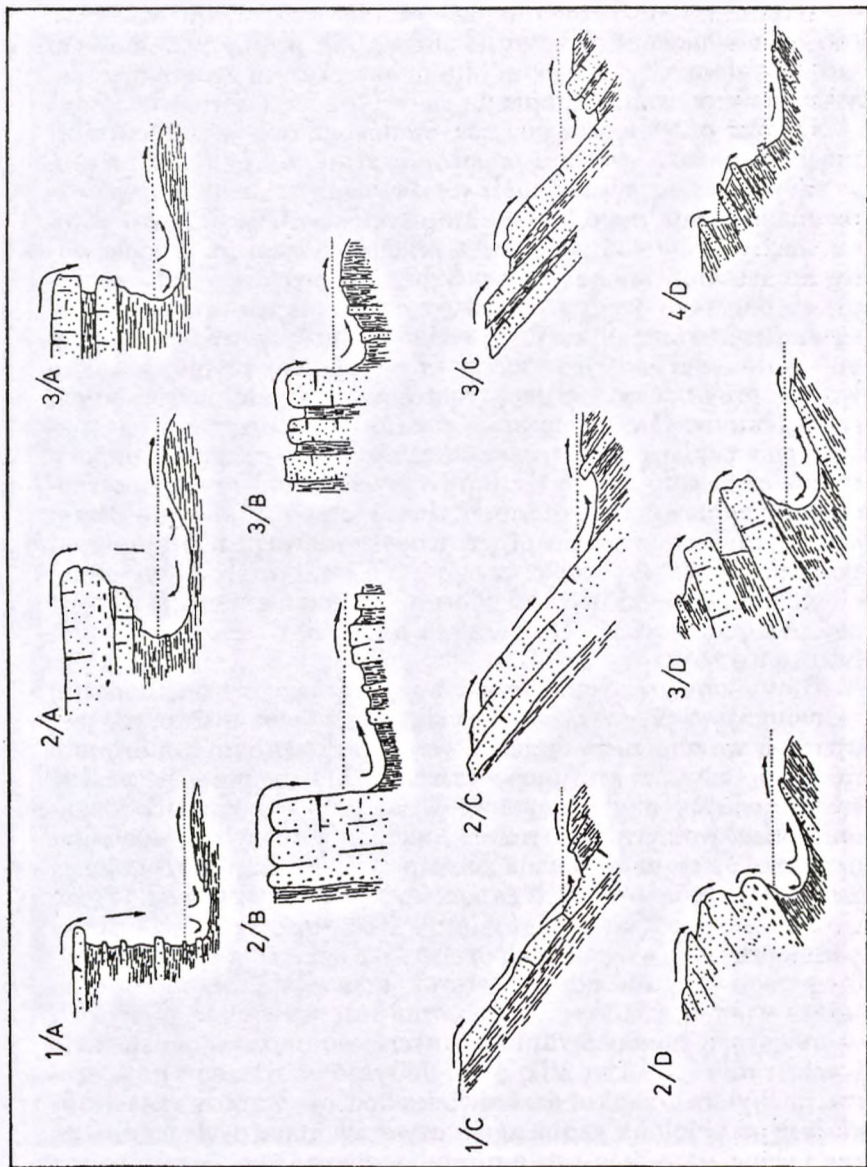
C. Warstwy zapadające ($20-60^\circ$) w kierunku spływu potoku – układ konsekwentny,

D. Warstwy zapadające ($20-60^\circ$) w kierunku przeciwnym niż bieg potoku – układ obsekwentny,

E. Warstwy o rozciągłości równoległej lub nieco skośnej do biegu potoku – układ subsekwentny.

Cechy progów wodospadowych określane kryteriami sekwencji utworów oraz ich układu względem kierunku przepływu potoku świadczą o zróżnicowanych warunkach sytuacyjnych powstawania tych form erozyjnych (ryc. 1, 2). Wśród wyróżnionych na podstawie powyższych kryteriów 15 typów wodospadów najczęściej spotykane formy są założone na progach zbudowanych z bardzo grubych ławic piaskowcowych leżących poziomo lub zapadających obsekwentnie w stosunku do biegu potoku. Najrzadziej występują wodospady na warstwach pionowo ustawionych lub rozciągających się mniej więcej równoległe (subsekwentnie) do kierunku przepływu potoku.

Zalegające poziomo lub pod małymi kątami odporne ławice piaskowców są najbardziej predysponowane do powstawania wodospadów (ryc. 1, 2 – typ 1-3/A). Szczególnie korzystne warunki stwarzają bardzo grube ławice (typ 2/A). Wodospady te osiągają duże wysokości. Przy pionowym lub zbliżonym upadzie warstw i rozciągłości w poprzek potoku, wodospady mogą się tworzyć jedynie w miejscach pojawienia się odpornych, grubych ławic piaskowców (ryc. 1, 2 – typ 2/B i 3/B). Na konsekwentnych odcinkach potoków ześlizgowe wodospady najczęściej powstają na bardzo grubych ławicach (ryc. 1, 2 – typ 2/C), a w innych sytuacjach geologicznych są sporadyczne (ryc. 1 – typ 1/C i 3/C) lub nie wykształcają się (przypadek układu 4/C). Obsekwentny układ warstw względem biegu potoku, podobnie jak w przypadku poziomego ułożenia, jest szczególnie dobry do rozwoju wodospadów, zwłaszcza w miejscach występowania grubych kompleksów piaskowcowych (ryc. 1, 2 – typ 2/D, 3/D). Jedynie w sytuacji, gdy stromo nachylona, cienka, aczkolwiek odporna, warstwa piaskowca jest podścielona grubą serią utworów podatnych na erozję, nie dochodzi do powstania progów wodospadowych (przypadek układu 1/D). Subsekwentne progi wodospadowe są rzadko spotykane, częściej na bardzo grubym kompleksie piaskowców



Ryc. 2. Wybrane typy wodospadów Karpat fliszowych sklasyfikowane i objaśnione na ryc. 1. — Selected types of waterfalls in the Polish Flysch Carpathians rated and explained in Fig. 1

i nieco skośnej jego rozciągłości względem głównego nurtu potoku (ryc. 1 – typ 2/E).

Wizualnie dostrzegane są przede wszystkim wielkość i kształt wodospadu, który zaznacza się profilem pionowym lub nachylonym pod różnym kątem w kierunku zgodnym z biegiem potoku (wodospad ześlizgowy) lub przeciwnie do niego (wodospad przewieszony). Progi wodospadowe jako dynamiczne formy erozji zmieniają swój kształt w różnym tempie, w zależności od sytuacji ich występowania i ewolucji w warunkach normalnego i wezbraniowego stanu przepływu potoku. Zarys krawędzi progu jest przede wszystkim dostosowany do systemu spękań ciosowych piaskowcowej płyty szczytowej. Przepływ wody także wykorzystuje spękania skał i poszerzając je, rozczłonkuje powierzchnię szczytową wodospadu. W ten sposób nurt wody na stropowej płycie, a także wzdłuż progu coraz bardziej dostosowuje się do poszerzonych spękań skały. O postępującej transformacji progów wodospadowych świadczą wyraźnie pozostawione na brzegach potoków reliktywie ostrogi ławic piaskowcowych, które niegdyś utrzymywały wodospady, a obecnie tworzą ich obramowania. Przekształcanie i niszczenie progu wodospadowego następuje: od góry, tj. szczytowej części progu – na skutek erozji wgłębnej – i od dołu, czyli od podstawy formy – z udziałem erozji wstecznej (Ängeby 1951, Schwarzbach 1967, Young 1985, Alexandrowicz 1994).

Głównymi procesami erozji wgłębnej są abrazja (korazja) i kawitacja. W pierwszym przypadku szczytowa płyta progu jest ustawnie uderzana i ścierana transportowanym materiałem skalnym, a w drugim odrywane są z niej fragmenty wzdłuż erozyjnie rozluźnionych spękań ciosowych i płaszczyzn oddzielności piaskowców. Postęp erozji wgłębnej zależy od wielkości przepływu i transportowanego rumowiska oraz wytrzymałości stropowej ławicy progu. Niszczenie od góry progu powoduje jego obniżanie się i odsłanianie coraz to niższych jego części o mniejszej lub większej odporności na działanie erozji. Szczytowa płyta progu wodospadowego rzadko jest niszczona wzdłuż całej swojej szerokości, a najczęściej intensywnie w miejscach skoncentrowanego przepływu wody, co może doprowadzić z czasem do rozcięcia progu i przekształcenia go w rynnę erozyjną. W stanach wezbraniowych potok niesie dużo materiału skalnego i płynie zwykle całą szerokością progu, a wówczas jego szczyt jest szczególnie silnie erodowany.

Głównym czynnikiem erozji wstecznej – powodującym niszczenie progu od dołu – jest wirowy (turbulentny) ruch

wody u jego podstawy. W tym miejscu następuje intensywny rozprysk wody i bombardowanie ścian progu transportowanym materiałem, co powoduje ich podcinanie i sprzyja powstawaniu, a następnie poszerzaniu i pogłębianiu kotła eworsyjnego. Następstwem takiego erozyjnego oddziaływania jest sukcesywne cofanie się dolnej części progu. Ławica progotwórcza ponad kotłem eworsyjnym staje się wówczas zbyt przewieszona, traci stabilność i obrywa się wzdłuż systemu płaszczyzn ciosowych, w rezultacie czego próg przemieszcza się w górę potoku.

Ewolucja progu wodospadowego jest wypadkową oddziaływania i wzajemnej relacji erozji wgłębnej i wstecznej, co uzewnętrznia się w jego kształcie. Przewaga siły erozji wgłębnej prowadzi do ukształtowania się nachylonych progów. Dominacja erozji wstecznej zaznacza się tendencją do powstawania progów przewieszonych. Wyrównane nasilenie oddziaływania obu procesów sprzyja utrzymywaniu pionowego profilu progu. Te naturalne tendencje kształtowania się progów ulegają zmianom w warunkach wezbrań potoków.

Relacje udziału erozji wgłębnej i wstecznej w procesie przekształcania progów wodospadowych są w dużym stopniu zależne od układu warstw względem biegu potoku. Wodospad założony na odpornych ławicach ustawionych pionowo i prostopadle do nurtu wody podlega głównie rozcinaniu od góry. Utrzymywać się on będzie tak długo, dopóki ławica progowa nie zostanie rozcięta. W przypadku, gdy próg składa się z kilku odpornych, pionowych ławic, rozdzielonych mniej wytrzymałymi utworami, w toku niszczenia będzie on obniżał się oraz rozczłonkował na kilka stopni i sukcesywnie cofał.

Przy warstwach ułożonych poziomo lub nachylonych prawie dokładnie tak samo jak w tym miejscu koryto potoku, próg wodospadowy cofa się, zachowując jednakże prawie tę samą wysokość. W podobny sposób zachowują się progi ułożone równoległe do biegu potoku (subsekwentne) w warunkach niewielkiego kąta zapadania warstw. Przekształcają się one zwykle szybko w rynnę erozyjne.

W konsekwentnym układzie przy warstwach słabo nachylonych podcinanie progu od dołu jest mało efektywne, większe w warunkach cienkiej ławicy ześlizgowej. Gruby zestaw ławic, występujący w strefie ześlizgowej wodospadu, jest częściej rozcinany od góry, co prowadzi do uformowania jednej lub kilku rynien w przypadku nurtów wody skoncentrowanych wzdłuż poszerzonych szczelin. Przy stromym zaleganiu płyty

ześlizgowej udział erozji wgłębnej (od góry) i wstecznej (od dołu) jest mniej więcej równoważny, a tempo przekształcania wodospadu stosunkowo szybsze i powoduje złagodzenie profilu progu.

W obsekwentnym układzie obserwuje się, że progi wodospadowe są erodowane początkowo bardziej intensywnie od dołu, co doprowadza do przewieszenia płyty szczytowej, która następnie obrywa się. Próg cofa się nierównomiernie, ma coraz łagodniejsze nachylenie, obniża się on w całości lub przyjmuje układ kaskadowy w przypadku, gdy w jego budowie mają udział odporne ławice.

Motywy ochrony

Pojedyncze wodospady i ich zespoły tworzące kaskady, jako dynamiczne oraz spektakularne zjawiska krajobrazów dolin rzek i potoków, budzą podziw dla sił natury i są wielką atrakcją turystyczną w wielu krajach. Krajobrazowa niezwykłość wodospadów była od dawna doceniana i częstokroć stanowiła główną motywację w staraniach o ochronę przyrodniczych obszarów na świecie. W miarę poznawania praw funkcjonowania sieci hydrograficznej oraz jej oddziaływania na środowisko, estetyczno-krajobrazowe znaczenie wodospadów w tym układzie zostało uzupełnione o nowe wartości.

Skalne progi w korytach rzek i potoków warunkujące raptowny spad wody są lokalnymi bazami erozji. Ich rola polega na wytracaniu energii przepływającej tu wody, dzięki czemu zmniejsza się jej siła erozyjna poniżej progu. Poznanie tego prawa dynamiki przez obserwację wodospadów zaważyło na postępie technicznej regulacji rzek, m.in. ich przegradzania wysokimi barierami w postaci zapór wodnych tak licznych obecnie budowli przeciwdziałających powodziom i wykorzystywanych do produkcji energii elektrycznej. Można w tym przypadku powiedzieć, że cel uświęca środki. Po wielu latach doświadczeń stwierdzenie to jednakże nie należy bezkrytycznie odnosić do wielu przeprowadzonych regulacji technicznych potoków. Wiadomo dzisiaj, że skutki takiej ingerencji człowieka zaznaczyły się przyspieszeniem przepływu, zmniejszeniem retencji, lokalnym wzmocnieniem erozji, osłabieniem procesu naturalnego oczyszczania wód, a także zubożeniem jej zasobów biologicznych. Na tym tle rozważa się potrzebę renaturalizacji niektórych uregulowanych systemów wodnych.

Skalne progi wodospadowe jako formy erozyjne, zmniejszające skutecznie spadek potoków, spełniają rolę naturalnych regulatorów przepływu wody. W trakcie technicznej zabudowy lub wymuszonej zmiany biegu potoków, naturalne fragmenty ich koryt ulegają zniszczeniu lub nakryciu. Zanikają wówczas procesy rozwoju i przekształcania form erozyjnych, stają się niedostępne do obserwacji interesujące sekwencje utworów niegdyś trwale tu odsłonięte. Naturalne, ciągle odsłonięcia w potokach są często jedyne i szczególnie znaczące dla postępu badań i dokumentacji budowy geologicznej wyżynnych i górskich obszarów.

Pojedyncze wodospady oraz kaskadowe odcinki rzek i potoków spełniają również inne funkcje, wynikające z ich oddziaływania na lokalne środowisko i jego mikroklimat. Występująca tu intensywna i nieustająca turbulencja wody powoduje jej natlenienie, korzystne dla rozwoju organizmów wodnych, a zwłaszcza ryb. W obrębie bliskiego otoczenia wodospadów powietrze jest nasycone rozproszonymi cząstkami wody, co stwarza szczególnie dobre warunki do rozwoju roślinności, a pośrednio – wielu gatunków owadów i zwierząt wilgociolubnych. Często zalatują tu ptaki. Przesycone aerozolem powietrze działa również regenerująco na organizm człowieka.

Wymienione funkcje wodospadów świadczą o wieloznaczności tego typu form erozyjnych w problematyce ochrony przyrody. Rejestracja i dokumentacja progów wodospadowych i towarzyszących im innych form erozyjnych jest podstawowym zadaniem zmierzającym do ich zabezpieczenia przed obudową lub zniszczeniem. Przedmiotem ochrony miejsc występowania wodospadów jest nie tylko ich stan aktualny, ale także przyszłe formy, będące efektami dalszego tu rozwoju procesu erozji. W przeciwieństwie do wielu innych typów zabytków przyrody nieożywionej, odznaczających się niezmiernością swojego stanu zachowania, progi wodospadowe podlegają bowiem dynamicznym przemianom, których poszczególne etapy powinny być dokumentowane. Ochrona dotyczy zatem zarówno sukcesywnie krótko lub długotrwale rozwijających się form, jak i procesów je kształtujących. Przebieg ewolucji progów wodospadowych, jako elementów skalnych o względnie większej odporności, jest jednym ze wskaźników służących ocenie kształtowania dolin w zależności od litologicznego zróżnicowania ich podłoża.

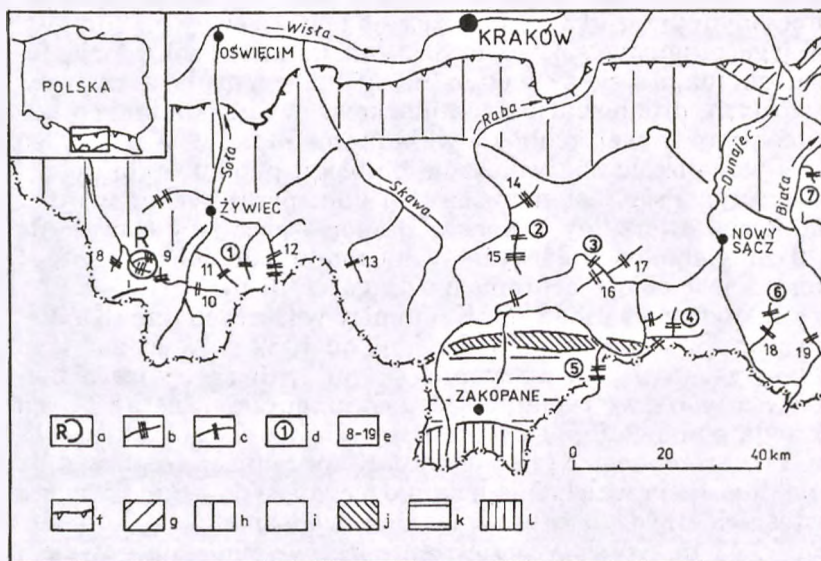
Wodospady zatwierdzone i proponowane do ochrony

Wodospady chronione. W obszarach górskich parków narodowych najbardziej znane i podziwiane są wodospady wyróżniające się spośród innych dużymi rozmiarami, jak np. Wielka Siklawa w dolinie Roztoki (64 m wysokości) i kaskada Wodogrzmotów Mickiewicza (ok. 30 m) w Tatrzańskim Parku Narodowym lub wodospady skalistych wąwozów Kamieńczyka (27 m) i Szklarki (13 m) w Karkonoskim Parku Narodowym. Rezerваты przyrody, których główną wartość stanowią tego rodzaju zjawiska wodne, należą do rzadkości. Na szczególną uwagę zasługuje rezerwat „Wodospad Wilczki” (wodospad im. S. Żeromskiego) w Masywie Śnieżnika, jako jeden z najwyższych progów wodospadowych w Sudetach, osiagający 27 m wysokości.

Wśród chronionych obszarów Karpat fliszowych rezerwat „Wisła” jest wyjątkowy ze względu na występowanie zróżnicowanych form erozji wodnej (Alexandrowicz 1976, Ziętara, Lis 1986) (ryc. 3). W dolinach Wisłek Czarnej i Białej skupiają się liczne progi wodospadowe z kotłami eworsyjnymi u ich podstawy, rynny erozyjne i płyty ześlizgowe, rozwinięte w różnych stadiach i uzależnione od litologii warstw oraz ich układu względem przepływu potoków. Szczególnie interesująca jest Biała Wisłka wraz z jej górnymi dopływami – Potokami Roztocznym i Wątrobnym – gdzie występują kaskady składające się z wodospadów o wysokości nierzadko 3–5 m. Powstanie tak bogatego, unikatowego zespołu wodospadów jest tu wyraźnie uwarunkowane budową geologiczną płaszczowiny śląskiej. Jest to strefa kontaktu utworów skrajnie różniących się odpornością: fliszowych, górnych warstw godulskich i spągowych, grubych ławic piaskowców istebniańskich.

Pojedyncze wodospady w Karpatach fliszowych są chronione jako pomniki przyrody. Do oceny ich wartości służą następujące kryteria: typ genetyczny, sytuacja geologiczna występowania, wielkość, zachowane ślady ewolucji progów wodospadowego oraz jego związek z innymi elementami rzeźby strukturalnej otoczenia. Na omawianym obszarze indywidualną ochroną objęto dotychczas 7 wodospadów, łącznie z przyległymi odcinkami skalistych koryt potoków (Młodziejowski 1948, Alexandrowicz 1970, Alexandrowicz red. 1989, 1996, Alexandrowicz, Denisiuk 1991, Alexandrowicz i in. 1992). Są to następujące wodospady, chronione jako pomniki przyrody (ryc. 3).

1. Wodospad na Sopotni Wielkiej w Beskidzie Żywieckim (gm. Jeleśnia, m. Sopotnia Wielka), chroniony od 1982 r. Jest to największy wodospad ześlizgowy (typ 2/C) w polskich Karpatach fliszowych, chroniony łącznie z fragmentem koryta powyżej i poniżej, o łącznej długości 40 m (fot. na 3 s. okładki). Wysokość wynosi około 10 m. Ześlizgowa ławica piaskowcowa grubości 2,5 m jest nachylona około 30° w kierunku biegu potoku. Woda spływa do kotła eworsyjnego osi-



Ryc. 3. Wodospady chronione i proponowane do ochrony w zachodniej części Karpat fliszowych: a – rezerwat przyrody „Wisła”, b – grupa wodospadów (kaskada), c – pojedynczy wodospad, d – wodospad chroniony jako pomnik przyrody, e – wodospady (8–19) udokumentowane do ochrony (pozostałe zarejestrowane bez numeracji), f – północna granica Karpat, g – płaszczowina skolska, h – płaszczowiny podśląska i śląska, i – płaszczowiny przedmagurska i magurska, j – pieniński pas skałkowy, k – flisz podhalański, l – Tatry. — Protected and proposed for protection waterfalls in the western part of the Polish Flysch Carpathians: a – Wisła nature reserve, b – group of falls (a cascade), c – single fall, d – fall protected as a nature monument, e – waterfalls (8–19) documented for protection (they have been inventoried without numbering), f – northern border of Carpathians, g – Skole Nappe, h – Sub-Silesian and Silesian Nappes, i – Fore-Magura and Magura Nappes, j – Pieniny Klippen Belt, k – Podhale Flysch, l – Tatra Units

gającego 2,5 m głębokości. W obecnym etapie płyta ześlizgowa jest sukcesywnie erodowana w strefie przepływu wody, o czym świadczą wychodnie skalne ciągnące się wzdłuż brzegów progów.

2. Wodospad przy Końskim Baniorze w potoku Konina w Beskidzie Wyspowym (gm. Niedźwiedź, m. Konina), chroniony od 1982 r. Wodospad (typ 4/D) znajduje się w obszarze występowania warstw krośnieńskich jednostki przedmagurskiej, ukazujących się w oknie tektonicznym Mszany Dolnej, otoczonym przez utwory należące do płaszczowiny magurskiej. W jego proggu (wysokość do 3 m) odsłania się sekwencja fliszu, składająca się z cienkich (na ogół 20 cm grubości) warstw twardych, drobnoziarnistych piaskowców, przekładanych kilkunantymetrowej grubości wkładkami łupków. Warstwy są nachylone około 35° wstecznie do biegu potoku (układ obsekwentny). Próg jest niszczonej od dołu przez rozbudowujący się kocioł eworsyjny – Koński Banior – sięgający obecnie do 1,2 m głębokości. Powyżej wodospadu odcinek skalistego koryta jest objęty ochroną na długości 40 m.

3. Wodospad „Spad” na Kamienicy w Gorcach (gm. Kamienica, m. Szczawa-Białe), chroniony od 1982 r. Wodospad (typ 3/B) wysokości 2 m utrzymuje się na grubych ławicach piaskowca (warstwy ropianieckie serii magurskiej) ustawionych prawie pionowo (85°) i rozciągających się w poprzek koryta rzeki, chronionego tu na odcinku 20 m. Poniżej proggu w dnie znajduje się przegłębienie lokalnie sięgające do 1,2 m. W ciągu ostatnich trzydziestu kilku lat próg wodospadu uległ obniżeniu, o czym świadczy porównanie jego wyglądu na dawnych i obecnych fotografiach.

4. Wodospad na Potoku Sopotnickim w Beskidzie Sądeckim (gm. Szczawnica, m. Szczawnica Wyżnia-Sewerynowka), chroniony od 1982 r. Wodospad (typ 2/D) jest założony na bardzo grubej ławicy (około 5 m miąższości) piaskowca magurskiego, nachylonej pod kątem 50° wstecznie do biegu potoku (układ obsekwentny). Wodospad ma 4,5 m wysokości, a kocioł eworsyjny wyerodowany w obrębie utworów fliszu sięga 2 m głębokości. Masywny próg wodospadu znajduje się w stadium cofania się ku górze i sukcesywnego obniżania. Chroniony odcinek koryta potoku długości 24 m świadczy o ewolucji wodospadu obramowanego obecnie skalistymi przyczółkami, zachowanymi z dawnego zasięgu jego proggu.

5. Wodospad w Kacwińskim Potoku na Spiszu (gm. Łąpsze Niżne, m. Kacwin), chroniony od 1982 r. Wodospad (typ 2/A) o wysokości 7 m utrzymuje się na proggu zbudowanym

z warstw należących do sekwencji fliszu podhalańskiego (warstwy zakopiańskie). Szczyt progu tworzy poziomo leżąca, bardzo twarda ławica piaskowca grubości 1,5 m. Ochrania ona niżej leżący kompleks cienkich warstw piaskowców i łupków. Poniżej progu wodospadowego znajduje się rozległy kocioł eworsyjny, mający głębokość do 2 m. Sprzyja on rozwojowi erozji wstecznej i przemieszczaniu się progu w górę potoku. Istniejące poniżej wodospadu skaliste brzegi potoku świadczą o postępie erozji wstecznej. Poziomy układ warstw i wyjątkowa odporność ławicy szczytowej progu gwarantuje względną niezmienną wysokość sukcesywnie cofającego się wodospadu.

6. Wodospad potoku Wapnik w Beskidzie Sądeckim (gm. Piwniczna, m. Łomnica-Zdrój), chroniony od 1982 r. Wodospad (typ 2/D) utrzymuje się na ławicy piaskowca o miąższości około 4 m, nachylonej pod kątem 25° wstecznie do kierunku spływu potoku. Poniżej progu odsłania się w dnie potoku i na jego brzegach kompleks utworów fliszu – cienkoławicowe piaskowce przekładane łupkami. W nich wyerodowany jest kocioł eworsyjny głębokości około 1 m. Obsekwentny wodospad wraz z chronionym odcinkiem potoku długości 50 m znajduje się w strefie kontaktu różniących się odpornością utworów należących do fliszowej sekwencji (formacja z Zarzecza) i piaskowcowego kompleksu (formacja magurska). Wysokie skalne obramowanie wodospadu wysunięte w kierunku spływu potoku świadczy o cofaniu się jego progu. W czasie tego procesu następuje przekształcenie stropowej części progu w zespół niskich stopni uwarunkowanych poziomą oddzielnością skały.

7. Wodospad Ciężkowicki na Pogórzu Ciężkowickim (gm. i m. Ciężkowice), chroniony od 1968 r. Obiekt ma odrębną genezę niż wodospady występujące w potokach. Znajduje się on w górnym zakończeniu jaru, chronionego w strefie długości 40 m i szerokości do 4 m, ograniczonego ścianami piaskowców ciężkowickich. Wysokie na 15 m zamknięcie jaru tworzy próg wodospadu, a ponad nim znajduje się obfite źródło. Próg jest zbudowany z czterech grubych ławic piaskowców, z których każda zawiera w stropie wkładki łupkowe i mułowcowe. Wgłębienie w szczytowej części progu świadczy o niszczącym procesie postępującym od góry. Przeważa ono w stosunku do erozji wstecznej z uwagi na grube ławice piaskowcowe występujące u podnóża progu.

Wodospady proponowane do ochrony. Bardzo liczne odcinki karpaccich potoków, interesujące z punktu widzenia naturalnych odsłoneń sekwencji utworów oraz skalistych form erozyjnych, pozostają jeszcze poza ochroną. Ostatnio poświęca się im dużo uwagi w pracach rejestracyjno-dokumentacyjnych dla celów ochrony. Wyróżnione odcinki potoków z wodospadami znacznie uzupełnią dotychczasowy ich stan ochrony pod względem liczebności i różnorodności typów (Alexandrowicz, Denisiuk 1991, Alexandrowicz 1994, Alexandrowicz red. 1996). Ponadto niektóre z wytypowanych miejsc reprezentują równocześnie odsłonecia sukcesji utworów o ważnym znaczeniu dla litostratygrafii fliszu. W pierwszym etapie realizacji projektów należałoby włączyć, głównie w rejestr pomników przyrody, takie wodospady w zachodniej części Karpat fliszowych (ryc. 3), jak:

8. Kaskada w potoku Łabajów (dorzecze Wisły) w okolicy Wisły (Beskid Śląski). Na odcinku potoku długości przeszło 100 m występują cztery grupy wodospadów (typ 3/A, 4/A) o wysokościach 4–6 m. Utrzymują się one na odpornych ławicach piaskowców i zlepieńców istebniańskich. Progi, cofając się ku górze potoku, coraz bardziej rozczłonkują się na niskie stopnie.

9. Wodospady na potoku Janoska (dorzecze Soły) w okolicy Kamesznicy (Beskid Śląski). Erozyjny odcinek koryta potoku długości około 1,5 km odznacza się występowaniem grubych ławic piaskowców górnych warstw istebniańskich, tworzących system płyt ześlizgowych nachylonych pod różnymi kątami w kierunku spływu wody. Jedna z nich, najniżej leżąca, grubości 1,5 m, nachylona 25°, utrzymuje wodospad (typ 2/C) o wysokości 3 m. Znajdujący się u jego podstawy kocioł eworsyjny sięga do 1,2 m głębokości i jest wyerodowany w łupkach. Poniżej kaskadowego odcinka potok płynie wąską gardzielią, wyźłobioną w łupkach należących do górnych warstw istebniańskich, a następnie rozcina piaskowce i łupki warstw ciężkowickich. W górnym biegu potoku Janoska, powyżej wodospadów, odsłaniają się łupki i piaskowce dolnych warstw istebniańskich. Zróżnicowany erozyjnie odcinek koryta potoku ma również dużą wartość jako ciągle odsłonecie sukcesji utworów górnej kredy i paleogenu płaszczowiny śląskiej (Unrug red. 1969). Z uwagi na walory geologiczne i geomorfologiczne proponuje się objąć dolinę potoku Janoska ochroną rezerwatową.

10. Wodospad w Potoku Milowskim (dorzecze Soły) w okolicy Milówki (Beskid Żywiecki). Jest to wodospad obsekwentny

(typ 2/D), wysokość 2,2 m, założony na grubej ławicy piaskowca pasierbieckiego jednostki magurskiej. Ławica o miąższości 2 m zapada pod kątem 25°. W dolnej części progu wodospadowego występują płytowe piaskowce, przekładane łupkami. W nich rozwinął się kocioł eworsyjny głębokości około 1 m.

11. Wodospad w potoku Zabnica (dorzecze Soły) w Żabnicy (Beskid Żywiecki). Wodospad (typ 2/A) ma wysokość 2,2 m. Gruba, pozioma ławica piaskowca tworząca próg wodospadu jest wymodelowana (widoczne dobrze struktury sedymentacyjne) i silnie przewieszona ponad kotłem eworsyjnym, rozwiniętym w obrębie łupków. Kształt progu wodospadowego wskazuje na tendencję jego przyszłego przekształcenia na skutek utraty stabilności zbyt przewieszonej ławicy. Wówczas próg cofnie się w górę potoku, zachowując swoją dotychczasową wysokość.

12. Wodospad w potoku Glinne (dorzecze Soły) w Korbiewowie Dolnym (Beskid Żywiecki). Wodospad (typ 2/A) o wysokości 3 m utrzymuje poziomo leżąca ławica piaskowca obcięta uskokiem. U podnóża pionowej ściany progu w strefie zdyslokowanej ukazują się utwory fliszowe o biegu warstw zgodnym z nurtem potoku. W ich obrębie został wyerodowany na głębokość około 1,6 m kocioł eworsyjny przechodzący w rynnę.

13. Wodospad Lajkonik w potoku Skawica (dorzecze Skawicy) w Zawoi Górnej (Beskid Wysoki). Jest to wodospad konsekwentny (typ 2/C), założony na grubej ławicy piaskowca magurskiego (około 1,5 m) o upadzie 25°. Ześlizgowy wodospad ma 3,5 m wysokości. Woda sływa do płytkiego zagłębienia (około 30 cm głębokości). Szczyt progu znajduje się w obramowaniu ścian skalnych wysokich do 5 m. Słabo rozwinięty w piaskowcach kocioł eworsyjny i wysokie obramowanie wodospadu świadczą o przeważającej erozji wgłębnej (od góry), która z czasem może doprowadzić do rozcięcia progu i przekształcenia go w stromą rynnę.

14. Kaskada w potoku Podlesie na południowym, stromym stoku Lubogoszczy (dorzecze Raby) w okolicy Mszany Dolnej (Beskid Wysoczy). Na odcinku kilkuset metrów w głęboko wciętych potoku występują liczne proggi wodospadowe w układzie obsekwentnym (typ 2/D, 3/D). Zespół progów mających wysokość 2–4 m znajduje się w strefie kompleksu piaskowców gruboławicowych. U podstawy poszczególnych progów na ogół brak wyraźnych kotłów eworsyjnych. Poniżej kaskady w obrębie fliszowych utworów wykształciły się głębokie rynny erozyjne.

15. Wodospad w potoku Kowaniec (dorzecze Dunajca) w Kowańcu (Gorce). Próg wodospadu jest utworzony z ławicy piaskowca o miąższości 3 m i upadzie około 25°. Ma on przebieg zbliżony do kierunku przepływu potoku. Jest to rzadko spotykany typ (2/E) subsekwentnego progu wodospadowego z kotłem eworsyjnym (1,3 m głębokości) u jego podnóża.

16. Wodospad w potoku Zasadne (dorzecze Dunajca) w Szczawie (Beskid Wyspowy). Wodospad (typ 2/A) jest utworzony z grubej ławicy piaskowca (około 2 m) o upadzie około 10°. Próg znajduje się prawdopodobnie wzdłuż linii uskoku. Kocioł eworsyjny jest dobrze rozwinięty, głęboki na 1,5 m, wyerodowany w łupkach.

17. Wodospad w potoku Zbludza (dorzecze Dunajca) w Zbludzy (Gorce). Próg wodospadu jest zbudowany z dwóch odpornych ławic piaskowców, rozdzielonych cienkim wkładem łupkowo-piaskowcowym (fot. 7 na wkładce). Kompleks skalny grubości do 2,5 m leży prawie poziomo (typ 3/A). Stosunkowo płytki kocioł eworsyjny (0,5 m) jest wyerodowany w utworach fliszu, podścielających kompleks piaskowcowy. Ewolucja progu wodospadowego polega na jego rozwarstwianiu wzdłuż wkładki fliszowej i sukcesywnym cofaniu w górę potoku dwóch stopni założonych na odpornych ławicach piaskowców.

18. Wodospad w potoku Łomniczanka (dorzecze Popradu) w Łomnicy-Zdroju (Beskid Sądecki). Wodospad (typ 2/B) jest założony na ławicy piaskowca grubości 1,5 m, nachylonej stromo pod kątem 75°. Prawie pionowy próg długości 7 m wznosi się ponad średni stan poziomu wody około 2,5 m. U jego podnóża znajduje się kocioł eworsyjny głębokości maksymalnej 1,6 m. W sąsiedztwie wodospadu występują źródła wody mineralnej typu szczaw.

19. Wodospad w Czarnym Potoku (dorzecze Popradu) w okolicy Krynicy. Wodospad (typ 2/D) ma obecnie 2 m wysokości i utrzymuje się na grubej ławicy piaskowca o upadzie nieco powyżej 20° wstecznym do biegu potoku. Próg jest znacznie obniżony w stosunku do sąsiadujących z nim skalnych ścian. Szczytowa jego część jest wysunięta w formie okapu. Próg wodospadu jest przykładem końcowego etapu jego przekształcania i z tego względu zasługuje na uwagę. We wczesnym etapie był on intensywnie niszczony od góry, obecnie jest silnie przewieszony, co spowoduje z czasem jego rozpad.

W kolejnym etapie realizacji programu ochrony wodospadów karpackich powinny być uwzględnione pozostałe wyróżnione pod tym względem odcinki potoków (ryc. 3). Należy przeprowadzić również systematyczną inwentaryzację skalistych form erozyjnych we wschodniej części Karpat fliszowych, a wyselekcjonowane, ważne obiekty zaproponować do objęcia ochroną.

SUMMARY

Waterfall conservation in the Polish Carpathians

The waterfalls occurring at the valleys' bottoms in the Polish Carpathians are 2–10 m high, mostly 3–4 m. They represent all types of falls controlled by differentiated resistance of sedimentary rocks to erosion and by their various strikes related to streamflow direction. In respect of that and considering possibility of direct observation and measurement, the Flysch Carpathians are of a model significance for formation and transformation of erosion forms. Following criteria have been applied to estimate fall values: genetic type, geological setting, size, traces of fall step evolution and its connection with other elements of structural relief.

The waterfalls are formed on thick or particularly resistant sandstone beds which occur between the complexes composed of alternating thin beds of sandstones and shales or argillaceous deposits. The zones of numerous sandstone beds that include thin intercalations of poorly resistant deposits are prone to treshold set formation which form a cascade. Fifteen types of falls have been distinguished in the Flysch Carpathians on the basis of criteria considering: I – bed sequence within the fall step, their thickness and resistance to erosion, II – strike and dip of beds to streamflow direction (Fig. 1) (Alexandrowicz 1994). According to the first criterion four model types of steps have been distinguished (Fig. 1-I). The second criterion allowed to distinguish five possible patterns of step forming beds in relation to streamflow direction (Fig. 1-II). Step features defined by these criteria (I, II) prove the differentiated circumstances of falls formation (Fig. 1, 2). The commonest falls are found on very thick sandstone beds of horizontal or of reverse dip versus streamflow direction. The falls developed on beds of vertical or nearly vertical dip or of subsequent-strike waterfalls in relation to streamflow direction are rare.

Waterfall steps as dynamic erosion forms change their shape at different rate according to their geological setting and their evolution in the course of flood or normal discharge. The shape of fall according to step

sequence can be vertical or downstream-inclined (skid fall) or upstream-inclined (overhanged fall). Transformation and destruction of fall step occur in two-fold way: from the top in the result of bottom erosion and from the bottom i.e. from the fall basis in consequence of headward erosion (Ångeby 1951, Schwarzbach 1967, Young 1985, Alexandrowicz 1994). Fall degradation from the top results from abrasion and cavitation and causes step lowering. Degradation from the bottom is the result of pothole development and step undercutting so the step retreats up the stream. The course of fall evolution manifesting in its shape depends on discharge energy of water from a stream and on influence of both the bottom and the headward erosion. Relative participation of these erosion processes in step transformation is controlled by the top sandstone layer resistance and by the way the layers' situation to the streamflow direction.

The worldwide recognized cause for protection of waterfalls are their aesthetic-landscape value. However the falls play different functions. They are local erosion base, where stream loses its discharge energy. They also influence on natural environment and microclimate. The above mentioned reasons strengthen the need of falls protection regardless their size. River and stream training brings about destruction of erosion forms or their artificial regulation are the falls' threat. The present state of falls, their future shapes resulting from their evolution and controlling processes are the subject of conservation. The falls should be protected together with the rocky stream channels considering the dynamic changes of falls.

Up to now, seven single falls and one great concentration of falls have been protected in the region of the Polish Flysch Carpathians (Młodziejowski 1948, Alexandrowicz 1976, 1994, Alexandrowicz ed. 1989, 1996, Alexandrowicz, Denisiuk 1991, Alexandrowicz et al. 1992) (Fig. 3). These seven ones are the inanimate nature monuments. The concentration occurs in the Wisła nature reserve comprising headwaters of the Vistula River. Single waterfalls are protected with adjacent parts of stream channels. Over ten single falls or their groups have been documented for conservation purposes. The need of conservation has been pointed out for other more important forms (Fig. 3). The selected parts of stream channels supplement existing state of waterfalls' conservation in respect to number and diversity of fall types. Simultaneously, some fragments of these stream channels are the spectacular outcrops of great importance for lithostratigraphy of the flysch deposits.

PIŚMIENNICTWO

Alexandrowicz Z. 1970. *Skalki piaskowcowe w okolicy Ciężkowic nad Białą*. Ochr. Przyr. 35: 281–335.

Alexandrowicz Z. 1976. *Wodospady Białej i Czarnej Wisetki*. Ochr. Przyr. 41: 323–354.

Alexandrowicz Z. 1994. *Geologically controlled waterfall types in the Outer Carpathians*. Geomorphology 9: 155–165.

Alexandrowicz Z., Denisiuk Z. 1991. *Rezerваты i pomniki przyrody Żywieckiego Parku Krajobrazowego (Karpaty Polskie)*. Ochr. Przyr. 49, II: 143–162.

Alexandrowicz Z. (red.), Denisiuk Z., Michalik S., Bolland A., Czemerda A., Józefko U., Zabierowska D. 1989. *Ochrona przyrody i krajobrazu Karpat Polskich*. Studia Naturae B, 33: 1–241.

Alexandrowicz Z., Kućmierz A., Urban J., Oteńska-Budzyn J. 1992. *Waloryzacja przyrody nieożywionej obszarów i obiektów chronionych w Polsce*. Pań. Inst. Geol., ss. 140, mapa 1: 750 000, Warszawa.

Alexandrowicz Z. (red.), Margielewski W., Gonera M., Urban J. 1996. *Geochrona Beskidu Ślądeckiego i Kotliny Ślądeckiej*. Studia Naturae 42: 1–148.

Ängeby O. 1951. *Pothole erosion in recent waterfalls*. Lund Stad. Geogr. A, 2: 1–34.

Czaya E. 1987. *Rzeki kuli ziemskiej* (tłum. I. Dynowska). PWN, Warszawa.

Klimaszewski M. 1978. *Geomorfologia*. PWN, Warszawa.

Młodziejowski J. 1948. *Wodospady w Kacwinie na Spiszu*. Ochr. Przyr. 18: 143–148.

Schwarzbach M. 1967. *Islandische Wasserfälle und eine genetische Systematik der Wasserfälle überhaupt*. Z. Geomorph. N. F. 11 (4): 377–417.

Unrug R. (red.). 1969. *Przewodnik geologiczny po zachodnich Karpatach fliszowych*. Wyd. Geol., Warszawa.

Young R. W. 1985. *Waterfalls: form and process*. Z. Geomorph. N. F., Suppl. 55: 81–95.

Ziętara T., Lis J. 1986. *Part of geological structure in evolution of waterfalls in the Flysch Carpathians*. Folia Geogr. 18: 31–50.