
Z Zakładu Geografii Fizycznej UMCS
Kierownik: prof. dr Adam Malicki

Andrzej HENKIEL, Kazimierz PEKALA

Krzywe hipsograficzne dolin tatrzańskich

Гипсографические кривые долин Татр

Courbes hypsographiques des vallées des Tatra

W licznych pracach morfologicznych E. Romera spotyka się wielokrotnie próby zastosowania metod morfometrycznych dla analizy rzeźby i wyjaśniania jej genezy. Niektóre prace oparte niemal wyłącznie na matematycznej analizie mapy hipsometrycznej dają bardzo interesujące wyniki o charakterze nie tylko szczegółowym, ale także ogólnym. Do takich rozpraw należą „Ruchy epirogeniczne w górnym dorzeczu Rodanu” (26) oraz „Próba morfometrycznej analizy grzbietów Karpat Wschodnich” (24). W pierwszej z nich Romer stawia zagadnienie bezsiły erozyjnej lodowców i dowodzi, że tak zwane „stopnie spływu” w alpejskich, dawniej zlodowaconych dolinach nie wiążą się ze specyfiką działania lodowców górskich, lecz z procesami tektonicznymi; w drugiej wyjaśnia przyczynę różnic w rozmiarach zlodowacenia pomiędzy grupami górkimi Wschodnich Karpat. Jedną z ostatnich prac Romera była próba odtworzenia rozwoju rzeźby Afryki na podstawie analizy i pomiarów sieci rzecznej na mapie (35).

E. Romer nie tylko sam stosował metody morfometryczne, lecz także propagował je wśród swoich uczniów i współpracowników. Publikowali prace morfometryczne Bolkot (1), Bryński (2), Orlicz (21, 22), Kmicikiewicz (12), Orkiszówna (20). Były to opracowania krzywych hipsograficznych poszczególnych kontynentów. Innymi zagadnieniami zajmowali się Malicki (16), Uhorczak (cyt. za 34) i Teisseyre (41). Dorobek morfometryczny Romera i jego współpracowników został omówiony w artykułach Malickiego (15) i Zierhoffer (43).

Szczególną uwagę należy poświęcić pracom R o m e r a, dotyczącym zagadnień geomorfologii glacialnej Tatr (25, 27, 28, 29, 30, 31, 33) i stosowanym w nich metodom morfometrycznym. Zagadnienia tatrzańskie, zwłaszcza związane z epoką lodową, i problemy morfologicznej działalności lodowców znajdowały wyraz w dużej liczbie rozpraw publikowanych w latach od 1911 do 1930 r.

Z inicjatywy A. Z i e r h o f f e r a wykonano próbę interpretacji krzywych hipsograficznych dolin tatrzańskich. Próba ta ma na celu uzupełnienie danych morfometrycznych, wykorzystywanych przez R o m e r a do analizy rzeźby glacialnej Tatr, a także konfrontację materiałów pomiarowych ze współczesnym stanem geologii i geomorfologii tatrzańskiej.

Krzywa hipsograficzna jest krzywą matematyczną obrazującą graficznie rozkład powierzchni w określonych klasach wysokości w stosunku do powierzchni całego mierzonego obszaru (kontynentu, dorzecza). W ślad za L a p p a r e n t e m (14) i M u r r a y e m (18) została zastosowana przez A. P e n c k a (23) do porównawczej analizy ukształtowania pierwszorzędnych elementów rzeźby Ziemi — kontynentów i dna oceanów. Jej przydatność do tego celu nie wzbudza większych zastrzeżeń; krzywe hipsograficzne lądów i oceanów, obliczane na podstawie coraz to bardziej dokładnych danych, używane są do dzisiaj.

Inaczej przedstawia się kwestia używania krzywej hipsograficznej do przedstawiania rzeźby niewielkich obszarów i wyciągania wniosków dotyczących genezy form. W literaturze polskiej spotyka takie próby, dokonane przez C h e l i ń s k ą (3) i G a l o n a (6). Zastrzeżenia budzi zwłaszcza stosowanie jako pola pomiarowego innej jednostki niż dorzecze oraz traktowanie krzywej jako wykładnika realnie istniejących w terenie spadków. Według S m o l e ń s k i e g o (36) nie można w żadnym przypadku porównywać krzywej, lub nawet utożsamiać z profilem topograficznym ze względu na jej sumaryczny charakter. Analizując rzeźbę dorzecza na tej podstawie należy szczególnie ostrożnie traktować wszelkie załamania w przebiegu krzywej, ponieważ mogą one być obrazem jedynie kształtu dorzecza i nie odpowiadać zupełnie istniejącym w terenie stosunkom nachyleń (36). Natomiast metoda ta umożliwia obliczanie średnich wysokości, a w przypadku dolin zlodowaconych przy znanym położeniu granicy śniegu pozwala na określenie względnej wielkości powierzchni, na jakiej może zachodzić alimentacja mas lodowych. Według S t r a h l e r a (38) krzywa hipsograficzna w pewnym ograniczonym zakresie pozwala na wnioskowanie o stosunkach pomiędzy natężeniem czynników endogenicznych i egzogenicznych. W tym przypadku jako wskaźnik może służyć wartość procentowa powierzchni zawartej pomiędzy krzywą i osiami współrzędnych w stosunku do powierzchni prostokąta wyznaczonego przez skrajne punkty układu (D o r y w a l s k i, 4). Analiza kształtu

krzywej nie pozwala na wyciąganie wniosków dotyczących średnich nawet spadków w obrębie dorzecza, mimo że pewna zależność tutaj istnieje (D o r y w a l s k i, 4). Daje natomiast dane dotyczące przedziałów wysokości, w których następują zmiany nachyleń, ujawnia czy zachodzą one płynnie, czy skokowo, i pozwala na porównywanie dorzeczy pomiędzy sobą. Ponieważ istnieje możliwość wpływu kształtu dorzecza na przebieg krzywej (S m o l e Ń s k i, 36), przy analizie porównawczej konieczne jest rozpatrywanie wykresów wraz z planem mierzonej jednostki.

Krzywe hipsograficzne dolin tatrzańskich sporządzono planimetrując powierzchnię dorzeczy poszczególnych potoków w przedziałach wysokości co 20 metrów. W dolnych odcinkach dolin reglowych planimetrowano powierzchnie objęte izohipsami o odstępach wartości 10 metrów, a w odcinkach górnych dolin walnych co 50, a nawet — 100 metrów w przypadkach, gdy przyrost powierzchni pomiędzy poziomiami 20 metrowymi wynosił poniżej 1% powierzchni dorzecza. Podobnie postępowano, gdy rysunek skał uniemożliwiał prześledzenie izohips. Pomiarów wykonywano na wydanej w 1934 r. przez Wojskowy Instytut Geograficzny Fotogrametrycznej Mapie Tatr 1 : 20000. W oparciu o tak uzyskany materiał liczbowy nakreślono 14 krzywych hipsometrycznych. Pomiarami objęto wszystkie doliny walne Tatr Polskich, to znaczy dolinę Chochołowską, Kościeliską, Małej Łąki, Bystrej i Suchej Wody, oraz doliny reglowe: Lejową, Strążyską, Białego, Olczyšką i Filipka. Ponadto sporządzono osobny pomiar dla doliny Miętusiej, która posiada swoisty charakter rzeźby i wybitną indywidualność w stosunku do doliny Kościeliskiej. Ponieważ niemożliwe było wykonanie pomiarów na jednolitym materiale kartograficznym dla całej doliny Białej Wody, sporządzono osobne wykresy dla poszczególnych jej części wchodzących w granice Polski, to znaczy dolin Rybiego Potoku, Roztoki i Pięciu Stawów Polskich (nazywanej dalej w skrócie doliną Roztoki) i Waksmundzkiej.

Na wykresach krzywych hipsometrycznych zaznaczono średnią wysokość dorzecza oraz położenie dolnej granicy śniegu w ostatnim glacie. Średnią wysokość uzyskano planimetrując na wykresie powierzchnię zawartą pomiędzy współrzędnymi i krzywą, a następnie dzieląc otrzymaną wartość przez podstawę wykresu. Dolną granicę śniegu w czasie zlodowacenia bałtyckiego przyjęto wg Klimaszewskiego (11) na podstawie danych Romera, Halickiego i Klimaszewskiego. Ponadto obliczono procent objętości masy skalnej dorzecza licząc od poziomu jego ujścia w stosunku do objętości bryły zawartej pomiędzy płaszczyznami przeprowadzonymi przez jego najniższy i najwyższy punkt. Wartość ta jest równa powierzchni pomiędzy krzywą i osiami współrzędnych, podzielonej przez powierzchnię prostokąta, którego trzy wierzchołki wyznaczają punkty 0 i 100% podstawy oraz największa wysokość.

Przy wykreślaniu krzywych przyjęto dla każdego dorzecza stałą podziałkę wysokości i stałą podziałkę procentowych wartości osi odciętych. Ponieważ przy tej metodzie jest w ogóle niedopuszczalna analiza spadków krzywej i porównywanie ich wartości, sprowadzenie dorzeczy o bardzo różnych powierzchniach do jednej wartości odciętych w układzie współrzędnych nie mogło wpłynąć negatywnie na uzyskane wyniki. Natomiast przyjęcie podstaw proporcjonalnych do wielkości dolin mogłoby zaciemnić obraz graficzny wskutek nadmiernego spłaszczenia krzywych dużych dorzeczy i wyciągnięcia w górę małych. Załamania krzywych, które po wyeliminowaniu wpływu kształtu dorzecza odpowiadają realnie istniejącym w terenie w z g l ę d n y m zmianom nachyleń, mogłyby stać się nieuchwytnie przy przyjęciu zbyt dużej lub zbyt małej podstawy. Jednakowa podstawa także w znacznym stopniu upraszczała obliczanie dodatkowych parametrów wykorzystywanych do analizy.

Dla ułatwienia porównania na każdym wykresie naniesiono plan danego dorzecza w jednakowej dla wszystkich wykresów podziałce oraz wrysowano w układ współrzędnych dodatkowo pomierzony profil podłużny głównej doliny dorzecza. W tym przypadku podziałka pionowa odpowiada podziałce krzywej, natomiast pozioma odpowiada relacji 10% równe 1 km.

Dorzecza poszczególnych dolin tatrzańskich mają wszystkie kształt podobny, zbliżony do silnie wydłużonego trójkąta równoramiennego, w którym wierzchołek odpowiada wylotowi doliny. Według S m o l e ń s k i e g o (36) krzywa hipsograficzna powierzchni jednostajnie pochyłonej o takim kształcie miałyby przebieg na całej długości regularnie wypukły. Wszystkie więc odstępstwa od tego przebiegu w przypadku krzywych dorzeczy typu tatrzańskiego należy przypisać procesom erozji i denudacji. Wobec znacznego podobieństwa kształtów poszczególnych dorzeczy, można je ze sobą porównywać bez konieczności obliczania skomplikowanych poprawek, a nawet wyeliminować z rozważań wpływ tego czynnika.

Dla sprawdzenia jak dalece kształt sumarycznego wykresu, jakim jest krzywa hipsograficzna, odpowiada istniejącym formom rzeźby, przeanalizowano jej stosunek do profilu podłużnego doliny. Okazało się, że w większości przypadków istnieje zaskakująca zgodność. Krzywa dorzecza Roztoki posiada załamania dokładnie odpowiadające wysokością progom Sikławy i Wodogrzmotów Mickiewicza. Wyraźnie zaznacza się mniejsze nachylenia w obrębie doliny Pięciu Stawów w stosunku do doliny Roztoki. Załamania krzywej doliny Waksmundzkiej dokładnie odpowiadają załamaniom profilu. Jedynie dolny próg krzywej nie ma odpowiednika w terenie i wynika z silnego zwężenia się dorzecza w odcinku ujściowym. Idealną zgodność wykazują krzywa i profil doliny Miętusiej. W przypadku krzywych dolin Rybiego Potoku i Małej Łąki zgodność

krzywej i profilu prowadzonego wzdłuż doliny głównej nie występuje tak wyraźnie. Jednak wysokość spłaszczeń w górnej części wykresu odpowiada dobrze dnom dolin zawieszonych nad Morskim Okiem – to znaczy dolinie Za Mnichem, Galeriom Cubryńskim i Kotłom Miękusowieckim — oraz spłaszczeniom Wielkiej Turni nad doliną Małej Łąki. Krzywe hipsograficzne dolin reglowych, jednostajnie wklęsłe z licznymi drobnymi załamaniem równie dobrze odpowiadają profilom podłużnym. Pozostałe cztery doliny (Chochołowska, Kościeliska, Bystrej i Suchej Wody) posiadają krzywe bardzo wyrównane, nie odpowiadające profilom podłużnym pełnym progów i załamań.

Analizę morfometryczną dolin tatrzańskich i próbę interpretacji rozpoczęto od zestawienia uzyskanego za pomocą krzywych materiału liczbowego. Wzięto tu pod uwagę następujące wartości: średnią wysokość dorzecza, wskaźnik objętości skalnej masy doliny, procent powierzchni dorzecza, znajdującej się w ostatnim glacie powyżej granicy wiecznego śniegu. Wskaźniki te zostały ugrupowane w następujący sposób: dla uzyskania danych o zależnościach zachodzących pomiędzy tempem procesów denudacji i stopniem ich zaawansowania w stosunku procesów tektonicznych, podnoszących względnie obniżających obszar, wykorzystano wartość średniej wysokości dorzecza i wskaźnika objętości cokołu skalnego. Według Strahlera (38) i Dorywalskiego (4) tego typu analiza ma dużą wartość.

Tab. 1. Średnia wysokość dorzeczy i wskaźnik objętości masy skalnej
Hauteur moyenne des bassins et indice de volume de la masse de roche

Doliny walne	Średnia wys.	%	Doliny reglowe	Średnia wys.	%
Rybiego Potoku	1690 m	40	Filipka	1148 m	42
Roztoki	1725 m	53			
Waksmundzka	1580 m	45			
Suchej Wody	1540 m	44			
Bystrej	1430 m	41	Olczyńska	1215 m	40
Małej Łąki	1420 m	42	Białego	1220 m	38
Miętusia	1445 m	42	Strążyska	1240 m	34
Kościeliska	1430 m	40			
Chochołowska	1400 m	37	Lejowa	1185 m	30

Materiał liczbowy powyższej tabeli nie pozwala na wydzielenie jakichś charakterystycznych grup czy typów dolin, ale ujawnia zastanawiające prawidłowości, zwłaszcza w zestawieniu z budową geologiczną. Rozpatrując szereg ugrupowany w kolejności od wschodu ku zachodowi można poczynić interesujące spostrzeżenia. Wszystkie doliny Tatr Zachodnich mają średnie wysokości dorzeczy w granicach 1400—1445 m. Dwie doliny

Tatr Wysokich mają wysokość 1540—1580 m i dwie 1690—1725 m. W obrębie Tatr Wysokich to zróżnicowanie wynika z faktu, że dwie doliny o mniejszej wartości średniej znajdują się zarówno w obrębie trzonu krystalicznego jak i serii reglowej, a dwie doliny o wyższym wskaźniku tylko w obrębie trzonu. Decyduje tu jak widać średnia odporności skał. Jeszcze bardziej interesująca jest zmienność wskaźnika objętości masy skalnej doliny: wzrasta on stopniowo z zachodu na wschód osiągając maksimum w dolinie Roztoki. Występuje tu wyraźna zbieżność z poprzecznymi elementami tektoniki Tatr. Wartości najniższe przypadają na depresję Goryczkowej — Jaworą (K o t a ń s k i, 13), maksimum odpowiada dobrze elewacji Koszystej, a ponowny spadek znajdujemy na skłonie depresji Szerokiej Jaworzyńskiej. Jeszcze bliższe zależności pomiędzy wartością tego wskaźnika a budową geologiczną znajdujemy rozpatrując odporność materiału skalnego budującego dane dorzecze. Doliny Kościeliska i Chochołowska o wartościach 37 i 40% zbudowane są ze skał osadowych i mało odpornych serii metamorficznych trzonu krystalicznego. Doliny Miętusia i Małej Łąki znajdują się całkowicie w strefie mezozoiku, jednak stosunkowo znaczny procent powierzchni dorzecza zbudowany jest z mało podatnych na denudację wapieni i dolomitów. Wyjaśnia to wzrost wskaźnika do 42%. Dolina Bystrej (41%) zbudowana jest podobnie jak doliny zachodnie, natomiast znaczną część doliny Suchej Wody (44%) buduje granit. W całości granitowe jest dorzecze Roztoki (53%), a tylko w części — Waksmundzkiego Potoku (45%). Anomalią jest granitowa dolina Rybiego Potoku ze wskaźnikiem 40%. Reglowe doliny ze średnimi wysokościami od 1148 do 1240 m i wartościami wskaźnika od 30 do 42% dobrze uzupełniają powyższy system.

Tab. 2. Dolna granica wiecznego śniegu w Würmie i % pow. dorzecza powyżej granicy śniegu i powyżej izohipsy 1500 m
 Limite inférieure de la neige dans le Würm et % de surface du bassin au-dessus de cette limite et de l'isohypse 1500 m

Doliny walne	Wys. gr. śniegu w m	% pow. śnieg.	% pow. 1500 m	Doliny reglowe	% pow. 1500 m
Rybiego Potoku	1609	53	68		
Roztoki	1609	71	78		
Waksmundzka	1609	45	55	Filipka	0
Suchej Wody	1508	51	52	Olczyńska	6
Bystrej	1423	49	39	Białego	9
Małej Łąki	1518	33	34	Strążyska	9
Miętusia	1545	36	40		
Kościeliska	1489	42	39		
Chochołowska	1502	34	34	Lejowa	3

Tabela druga powstała przez zestawienie razem wysokości dolnej granicy śniegu w czasie ostatniego zlodowacenia w obrębie każdego dorzecza, procentu powierzchni znajdującej się powyżej tej granicy i powierzchni znajdującej się powyżej wysokości bezwzględnej 1500 m. Wartości położenia dolnej granicy śniegu w czasie ostatniego glacjału przyjęto według Klimaszewskiego (11, dane Romera, Halickiego i Klimaszewskiego). Ponieważ orograficzna granica śniegu uzależniona jest od bardzo wielu czynników i waha się znacznie pomiędzy poszczególnymi dorzeczami, dla wyeliminowania rozbieżności i uzyskania jednolitego materiału porównawczego przyjęto jako wartość średnią poziomicy 1500 m. Umożliwia to także zestawienie dla porównania dolin reglowych, dla których ze względu na brak śladów rzeźby glacialnej i niwalnej nie było możliwe obliczenie orograficznej granicy śniegu. Trzeba przypomnieć, że poziomica 1500 m była użyta przez Romera (24) do rozpatrywania problemów rzeźby glacialnej Świdowca i Gorganów.

Porównanie danych zamieszczonej powyżej tabeli z mapą zlodowacenia Tatr w ostatnim glacialu (Klimaszewski 11, według danych Romera, Klimaszewskiego i Lukniša) zwraca uwagę na daleko idące związki i zależności pomiędzy zestawionymi wartościami a rozmiarem plejstoceniowego zlodowacenia poszczególnych dorzeczy. Zwłaszcza wartość procentowa powierzchni dorzecza, znajdującej się powyżej poziomicy 1500 m, odpowiada dokładnie rozmiarom lodowców Würmu. W kolejności — od najsilniej do najslabiej zlodowaconych — doliny szeregują się następująco: 1) Rostoki (wsk. 78%), 2) Rybiego Potoku (68%), 3) Waksmundzka (55%), 4) Suchej Wody (52%), 5) Miętusia (40%), 6 i 7) Kościeliska i Bystrej (39%), 8 i 9) Małej Łąki i Chochołowska (34%). Wprawdzie lodowce dolin Kościeliskiej i Bystrej przewyższały lodowiec Miętusiej, podobnie jak Suchej Wody i Waksmundzkiej, ale w stosunku do wielkości dorzecza doliny Miętusiej i Waksmundzkiej były zlodowacone silniej. Prawie identyczny szereg daje zestawienie danych o orograficznej wysokości granicy śniegu. Wyjaśnia on lepiej bezwzględne wielkości lodowców, na przykład pozwala umieścić lodowce Suchej Wody i Bystrej przed lodowcem Waksmundzkim. Analiza obu wskaźników różnicuje doliny tatrzańskie na cztery grupy:

1. Dolina Rybiego Potoku i Rostoki. Doliny wysoko położone. Znaczny procent powierzchni dorzecza znajduje się powyżej 1500 m, a zatem powyżej plejstoceniowej dolnej granicy śniegu, i może tworzyć obszerny zbiornik firnowy. Były to doliny silnie zlodowacone.

2. Dolina Waksmundzka, Suchej Wody i Bystrej. Znaczne powierzchnie położone powyżej poziomicy 1500 m i — co za tym idzie — znaczny, choć mniejszy niż w poprzedniej grupie, rozwój lodowców. Dolina By-

strej wchodzi tutaj ze względu na silnie obniżoną orograficzną granicę śniegu.

3. Dolina Małej Łąki, Miętusia, Kościeliska i Chochołowska. Małe fragmenty dorzecza położone na znacznej wysokości. Stosunkowo słaby rozwój lodowców.

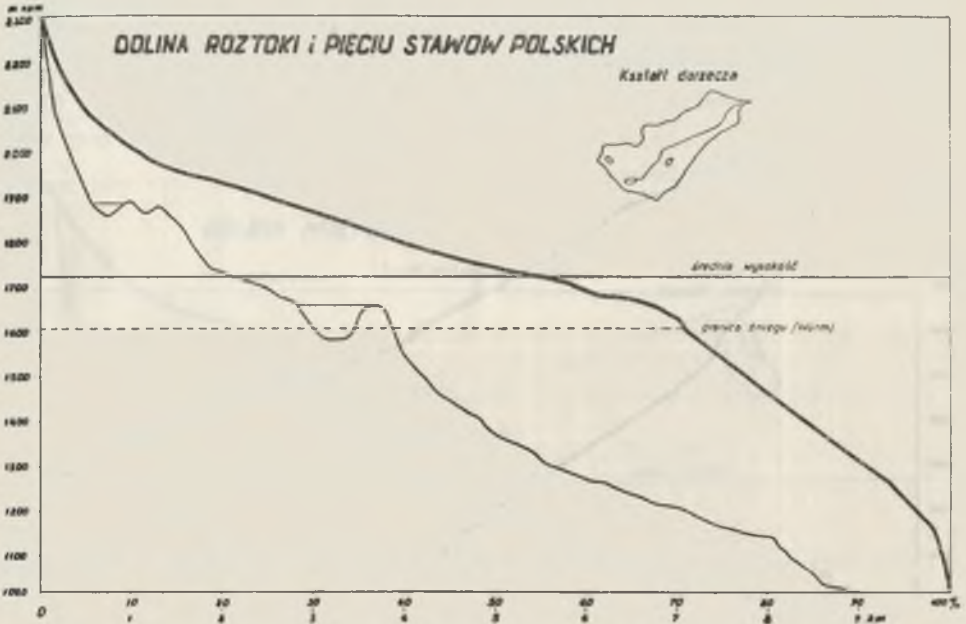
4. Doliny reglowe, nie zlodowaczone.

Jedną z podstawowych tez R o m e r a w pracach poświęconych rzeźbie gór zlodowaczonych (25, 26, 27, 28, 29, 31) było przyjmowanie bezsilności erozyjnej lodowców i — co za tym idzie — pogląd, że większe pogłębienie dolin jest wynikiem modelowania głównie przez działalność wód płynących. R o m e r udowadniał tę tezę na przykładach dolin Strążyskiej, Małej Łąki oraz Kondratowej i Kasprowej, operując profilami podłużnymi. Fakty te istnieją niewątpliwie, jednak dziś są odmiennie interpretowane. Mniejsze pogłębienie doliny zlodowaczonej traktowane jest jako przyczyna, a nie skutek, zlodowaczenia. Doliny silnie pogłębione w górnym pliocenie nie posiadały płaskich, wysoko położonych powierzchni, na których mogły się gromadzić masy firnu. Gdzie zaś dzięki odporności skał lub z innych przyczyn zachowały się fragmenty dolnoplioceńskich zrównań, istniały dogodne warunki dla alimentacji lodu (K l i m a s z e w s k i 8, 9, 10, 11).

Niezależnie od genetycznej interpretacji, trafność obserwacji R o m e r a w całej pełni potwierdza analiza wykonanych krzywych hipsograficznych i uzyskanych z nich wskaźników liczbowych. Wielkość zlodowaczenia okazała się wprost proporcjonalna do średniej wysokości dorzecza i względnej wartości powierzchni znajdującej się w plejstocenie powyżej granicy śniegu. Pozostaje do oceny, w jakim stopniu sam kształt krzywej hipsograficznej wykazuje związek ze zjawiskami morfologii glacialnej Tatr.

Według zróżnicowania w kształcie krzywej hipsograficznej doliny tatrzańskie podzielono na cztery typy:

1. Dolina Roztoki i Pięciu Stawów Polskich. Krzywa składa się z wyraźnych czterech odcinków. Od wysokości 2306 do około 1900 m odcinek wklęsły, prosty, stosunkowo nieznacznie nachylony; od 1900 do 1660 m znów prosty; stromy od 1660 do 1170 m i wreszcie najniższe ostre załamanie o wypukłym kształcie i wysokości 140 m. Doskonała zgodność kształtu krzywej z profilem podłużnym doliny. Odcinek wklęsły odpowiada skalnym ścianom otaczającym dolinę, długi odcinek prosty naśladuje płaskie dno doliny Pięciu Stawów, zaznacza się próg Siklawy i — ciągnąca poniżej niego — dolina Roztoki, wreszcie najniższe załamanie krzywej zgadza się dobrze z progiem Wodogrzmotów Mickiewicza.

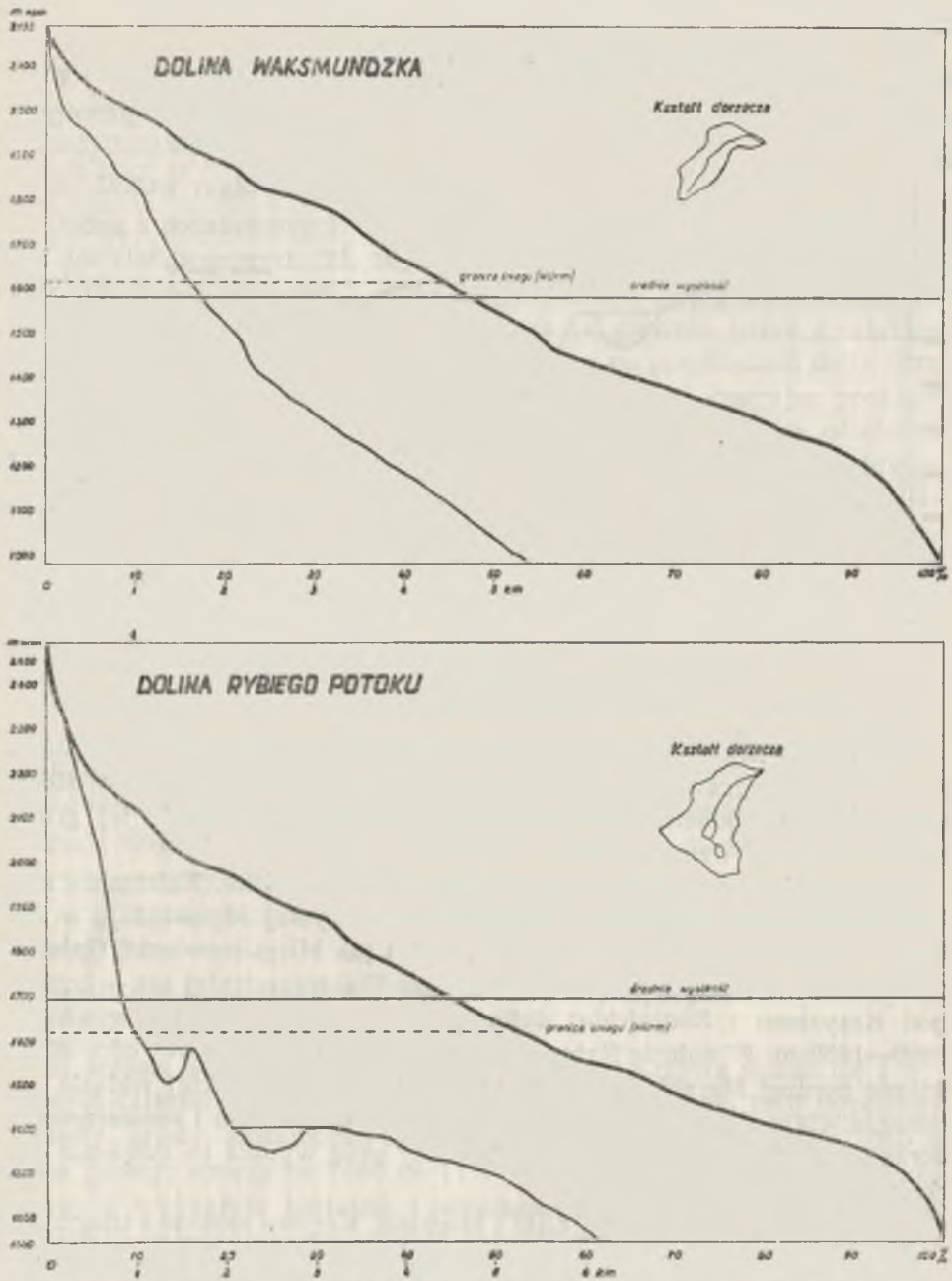


Ryc. 1. Krzywa hipsograficzna doliny Rostoki
 Courbe hypsographique de la vallée Rostoka

2. Dolina Rybiego Potoku, Waksmundzka, Małej Łąki i Miętusia. Krzywe o niewyrównanym przebiegu. Zasadniczo złożone z dwu odcinków wklęsłych oddzielonych wyraźnym progiem. W obrębie tej grupy można wyróżnić dwa podtypy:

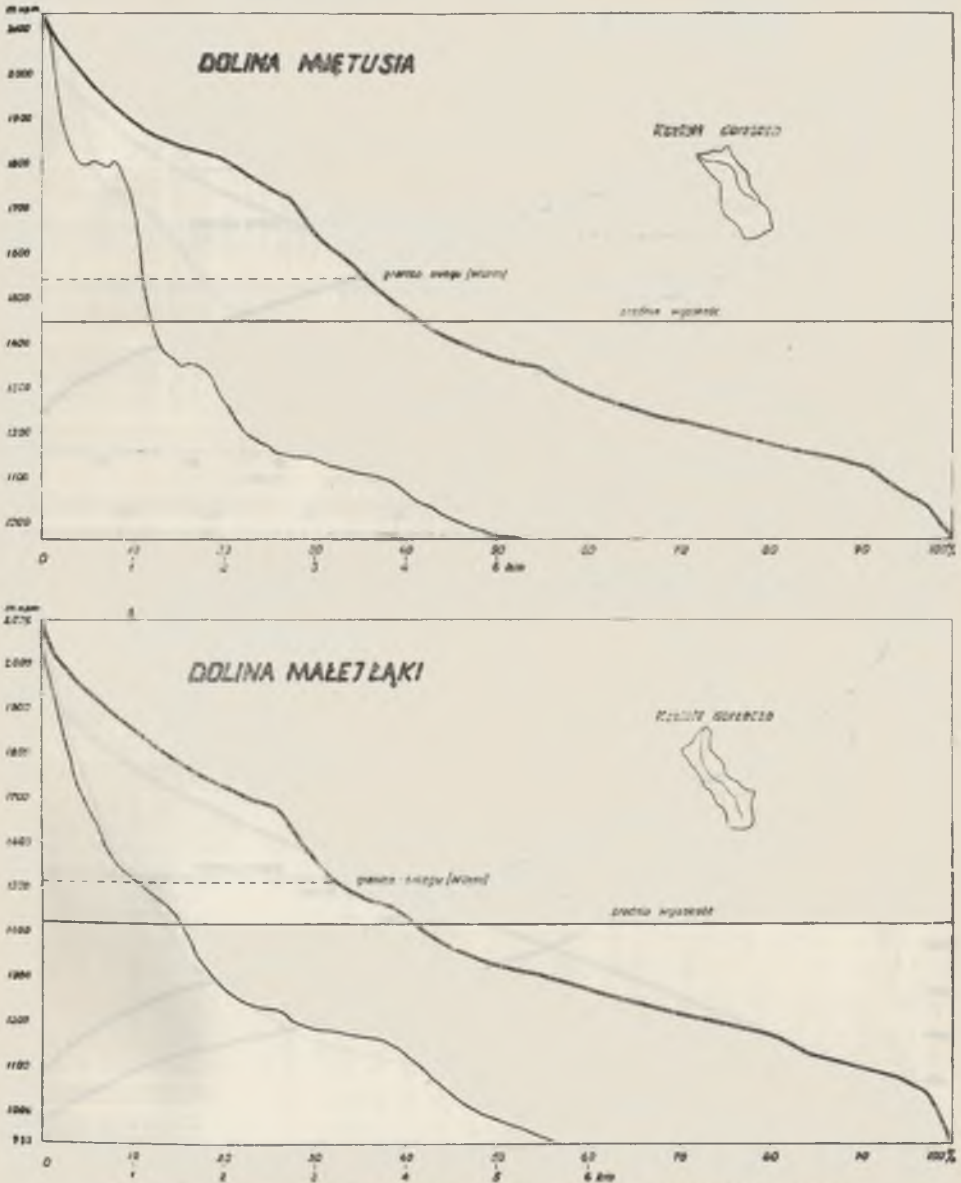
Podtyp a) — dolina Rybiego Potoku i Waksmundzka. Załamania niezbyt wyraźne. Spłaszczenia górnego odcinka krzywej odpowiadają w dolinie Rybiego Potoku górnym kotłom, takim jak Miękusowiecki, Galerie, Cubryńskie i dolina Za Mnichem, w dolinie Waksmundzkiej zaś — kotłom pod Krzyżnem i Zbójnickiej dolince. Próg znajduje się na wysokości 1800—1850 m. W dolinie Rybiego Potoku dolny próg krzywej odpowiada dolinie poniżej Morskiego Oka, a w dolinie Waksmundzkiej wklęsłe załamania wiąże się ze zmianą spadku w profilu podłużnym i rozszerzeniem dorzecza w obrębie strefy regłowej. Dolny próg wynika ze zwężenia dorzecza w odcinku ujściowym.

Podtyp b) — dolina Małej Łąki i Miętusia. Krzywe złożone z trzech odcinków wklęsłych, z tym że dolne załamania zaznaczone słabiej. W dolinie Miętusiej górny odcinek wklęsły odpowiada kotłowi Litworowemu i Mułowemu oraz spłaszczeniom Twardego Upłazu (środkowy — Świstówce i dolny — odcinkowi doliny między Wantulami i skrzyżowaniem pod Zawiesistą). Dolny próg dobrze koresponduje z zawieszeniem w stosunku do doliny



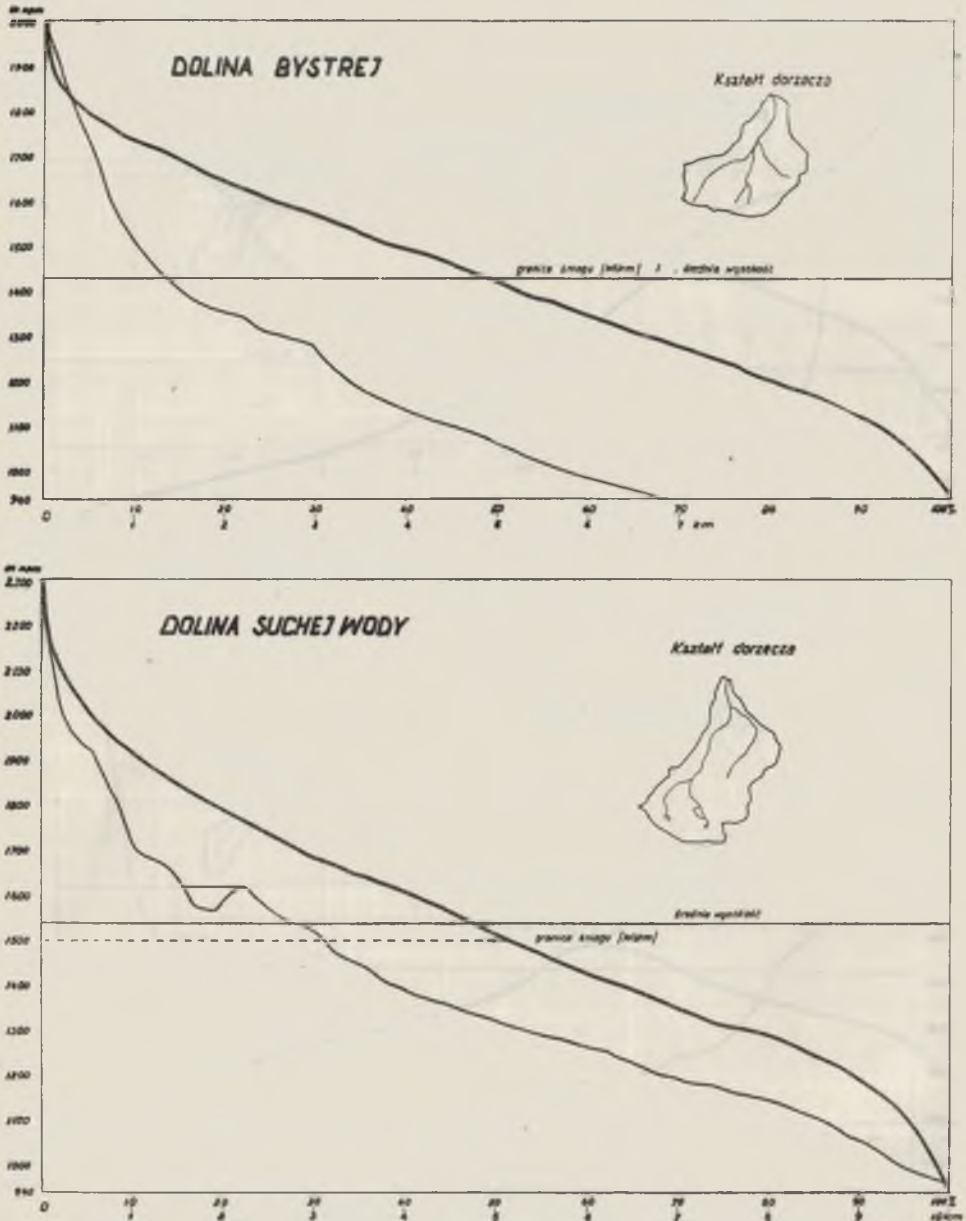
Ryc. 2. Krzywe hipsograficzne doliny Waksmundzkiej i Rybiego Potoku
 Courbes hypsographiques de la vallée Waksmundzka et Rybi Potok

Kościeliskiej. Dolina Małej Łąki ma spłaszczenia krzywej, odpowiadające Wielkiej Turni, obu Świstówkom i polanie Małej Łąki. W obydwu dolinach spłaszczenia na krzywych występują na wysokościach 1230 m, 1340 m i 1680—1720 m. Krzywe wykazują duże podobieństwo do profili podłużnych.



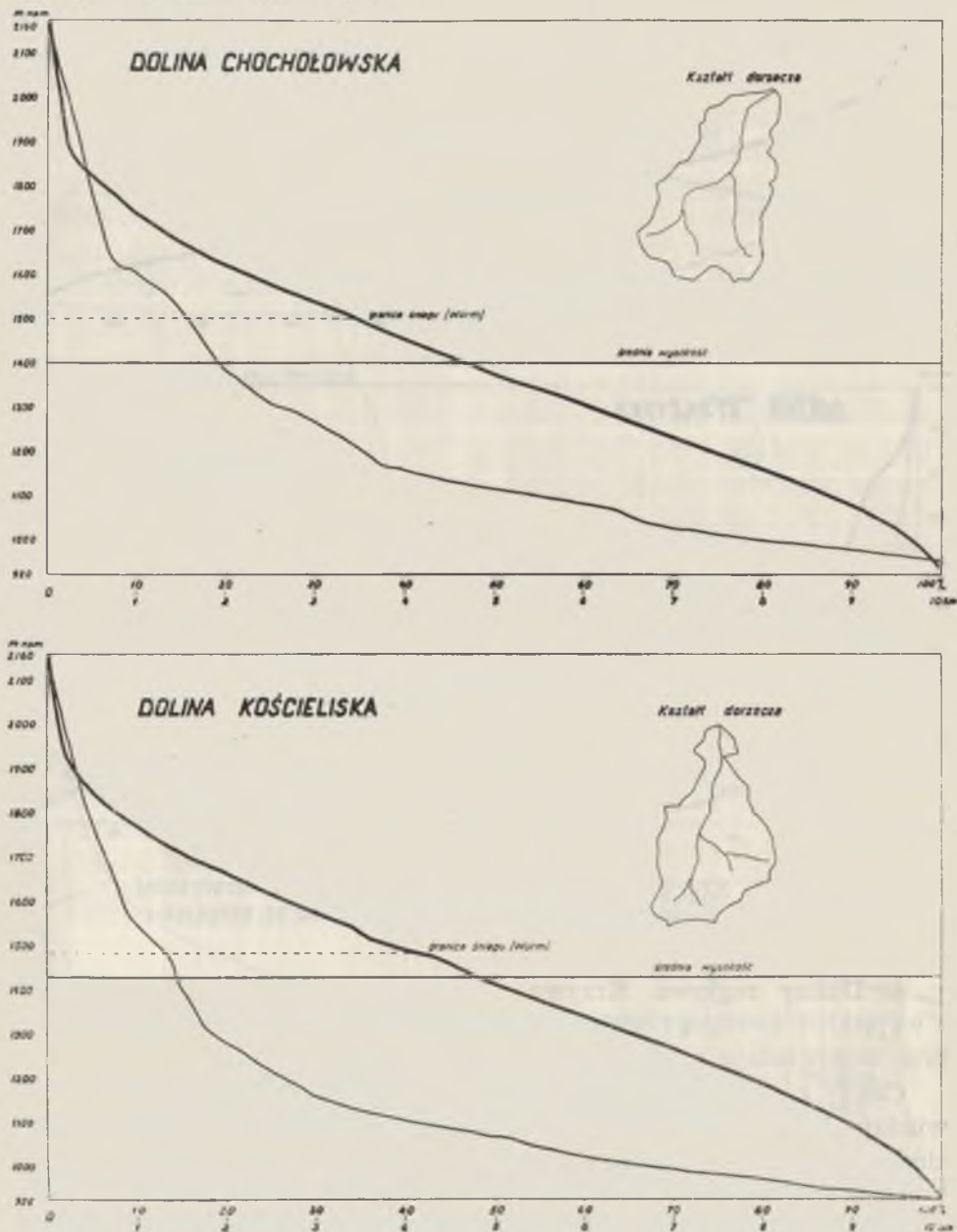
Ryc. 3. Krzywe hipsograficzne doliny Miętusiej i Małej Łąki
 Courbes hypsographiques de la vallée Miętusia et Mała Łąka

3. Dolina Suchej Wody, Bystrej, Kościeliska i Chochołowska. Krzywe bardzo wyrównane, nie nawiązujące zupełnie do profilu podłużnego doliny. Z wyjątkiem odcinka górnego wklęsłego i dolnego wypukłego (nie zajmujących łącznie nawet 10% długości wykresu) posiadają przebieg

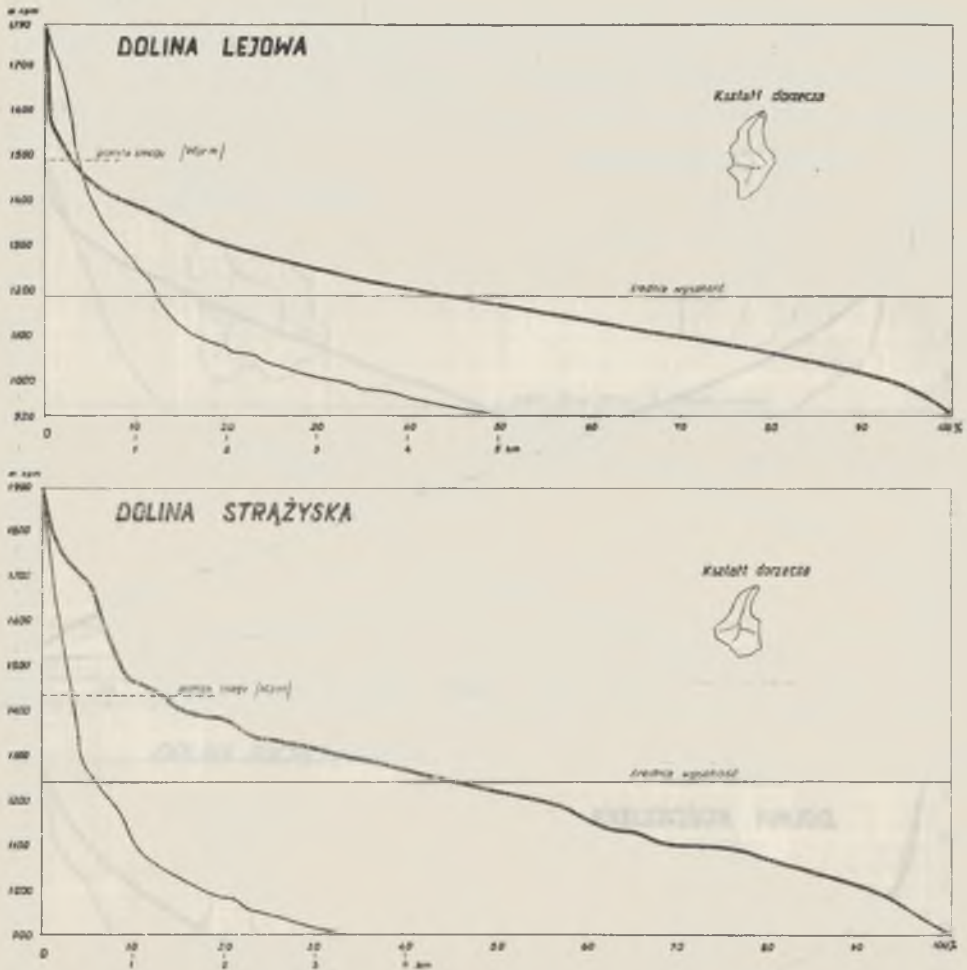


Ryc. 4. Krzywe hipsograficzne doliny Bystrej i Suchej Wody
Courbes hypsographiques de la vallée Bystra et Sucha Woda

prostoliniyjny. Dolne wypukłe odcinki krzywej wynikają ze zwięzania się dorzecza i nie posiadają odpowiednika w postaci zwiększenia spadku doliny w odcinku ujściowym.



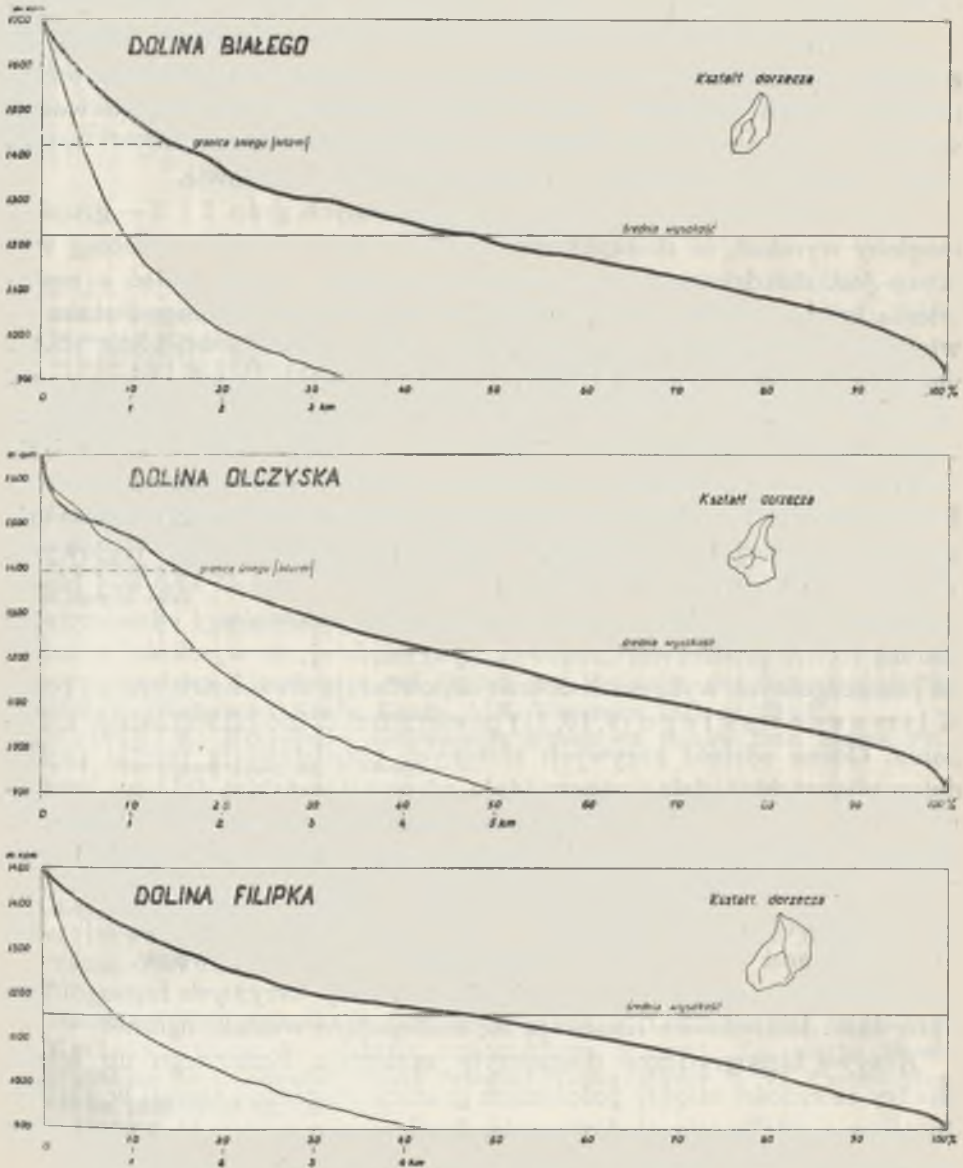
Ryc. 5. Krzywe hipsograficzne doliny Chochołowskiej i Kościeliskiej
Courbes hypsographiques de la vallée Chochołowska et Kościeliska



Ryc. 6. Krzywe hipsograficzne doliny Lejowej i Strażyskiej
 Courbes hypsographiques de la vallée Lejowa et Strażyska

4. Doliny reglowe. Krzywe o przebiegu jednostajnie nachylonym z wyjątkiem krótkiego odcinka górnego. Drobne nierówności krzywej dobrze odpowiadają załamaniom profilu podłużnego dolin.

Cztery z pięciu wyróżnionych powyżej grup dolin: 1, 2a, 2b i 4 odpowiadają dobrze podziałowi, jaki można by sporządzić na podstawie mapy zlodowacenia Tatr. Swoisty charakter posiada krzywa doliny Roztoki, która w plejstocenie wypełniona była ogromnym polem firnowym połączonym krótkim, grubym jęzorem z lodowcem Białki. Doliny Rybiego Potoku i Waksmundzka, należące do grupy 2a, wypełnione były lodowcami aż poza ujście. Doliny grupy 2b, Miętusia i Małej Łąki, posiadały



Ryc. 7. Krzywe hipsograficzne doliny Białego, Olczyńskiej i Filipka
 Courbes hypsographiques de la vallée Biały, Olczyńska et Filipka

łodowce stosunkowo niewielkie, a doliny grupy 4 były nie zlodowacone. Podział ten zawodzi w zastosowaniu do dolin należących do grupy trzeciej. Doliny te, w bardzo różnym stopniu zlodowacone w okresie plejstoceńskim, posiadają identyczne, wyrównane krzywe hipsograficzne, które

nie wykazują analogii z profilem podłużnym głównego potoku. Każda z nich jednak, w przeciwieństwie do dolin grup pozostałych, składa się z szeregu rozgałęzień o różnym położeniu w stosunku do jednostek tektonicznych i serii skalnych oraz o różnej genezie. Wynika stąd ważny wniosek metodyczny, że na podstawie krzywych hipsograficznych analizować można tylko dorzecza o prostym kształcie i budowie.

Z przeciwstawienia krzywych hipsograficznych grup 1 i 2 — grupie 4 mogłoby wynikać, że skomplikowany, silnie pozałamany przebieg wykresu jest dziedzictwem epoki lodowej. Jednak — jak widać z zestawienia krzywej doliny Małej Łąki z krzywą dorzecza Rybiego Potoku — wielkość i wyrazistość załamań nie jest prostą funkcją wielkości zlodowacenia. Dorzecza Bystrej i Suchej Wody posiadają daleko idące podobieństwa kształtu i zróżnicowania budowy geologicznej oraz mają identyczne krzywe hipsograficzne. Tymczasem dorzecze Suchej Wody było całkowicie pokryte potężnym lodowcem, podczas gdy w skład dorzecza Bystrej wchodziło kilka dolin pozbawionych lodowców. Drobne załamania przebiegu posiadają też krzywe nie zlodowadzonych dolin reglowych. Wszystko to upoważnia do przyjęcia wniosku, że kształt krzywej hipsograficznej nie może być wynikiem działalności lodowców, i odzwierciedla starszą rzeźbę przedczwartorzędową, tym bardziej, że wysokości załamań na poszczególnych wykresach dobrze odpowiadają zrekonstruowanej przez K l i m a s z e w s k i e g o (9, 10, 11) powierzchni dolno-plioceńskiego zrównania. Górne odcinki krzywych złożonych przedstawiają resztki rzeźby dolno-plioceńskiej, dolne odpowiadają górno-plioceńskim dolinom erozyjnym. Tam, gdzie resztki te dzięki odporności skał (granity Tatr Wysokich, wapienie i dolomity Miętusiej i Małej Łąki) ocalały przed erozją i znalazły się w plejstocenie powyżej granicy śniegu, mogły się rozwinąć lodowce (K l i m a s z e w s k i 8, 9, 10, 11). Z drugiej strony zgodne jest to z poglądami R o m e r a na działalność erozyjną lodowców.

Z przedstawionej powyżej próby interpretacji krzywych hipsograficznych dolin tatrzańskich nasuwają się następujące wnioski ogólne:

Krzywe hipsograficzne dostarczyły materiału liczbowego do ścisłej analizy zależności między położeniem granicy wiecznego śniegu w obrębie dorzecza a wielkością zlodowacenia. Stwierdzono zależność wprost proporcjonalną.

Stwierdzono zależność średniej wysokości i wskaźnika rozcięcia dorzecza od względnej odporności skał podłoża oraz elewacji i depresji tektonicznych.

Potwierdzono wnioski R o m e r a o słabym przekształceniu rzeźby przez lodowce i o erozyjnym charakterze zasadniczych rysów ukształtowania Tatr. Potwierdzono wyniki badań K l i m a s z e w s k i e g o o przedczwartorzędowym, dwucyklicznym pochodzeniu tej rzeźby.

Potwierdzono wnioski Klimaszewskiego o decydującym wpływie rzeźby starszej na wielkość zlodowacenia poszczególnych dolin.

W zastosowaniu do małych, nie złożonych dorzeczy, krzywe hipsograficzne stanowią cenny materiał uzupełniający badania terenowe i często mogą ułatwić wnioskowanie w zakresie morfogenezy.

LITERATURA

1. Bolkot H.: Krzywa hipsograficzna Ameryki Północnej i Południowej (La courbe hypsographique de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud). Polski Przegląd Kartograficzny, t. VI, Lwów—Warszawa 1933—1934, ss. 244—252.
2. Bryński K., Orlicz M.: Krzywa hipsograficzna Europy (La courbe hypsographique de l'Europe). Polski Przegląd Kartograficzny, t. VI, Lwów—Warszawa 1933—1934, ss. 61—73.
3. Chelińska M.: Przyczynki do orometrii wyżyny Kielecko-sandomierskiej. Przegląd Geograficzny, t. IV, Warszawa 1923, ss. 115—125.
4. Dorywalski M.: Matematyczno-statystyczne metody w geomorfologii. Przegląd Geograficzny, t. XXV, z. 2, Warszawa 1953, ss. 61—73.
5. Gadomski A.: Morfologia glacialna północnych stoków Wysokich Tatr. Cieszyn 1925.
6. Galon R.: Charakterystyka oraz podział niżowego krajobrazu polodowcowego na podstawie przebiegu krzywej hipsograficznej (Charakteristik u. Einteilung des diluvialen Flachlandes auf Grund des Verlaufes der hypsographischen Kurve). Wiadomości Służby Geogr., t. X, Warszawa 1936, ss. 69—82.
7. Halicki B.: Dyluwialne zlodowacenie północnych stoków Tatr. Spraw. PIG, t. V, Warszawa 1930, ss. 377—548.
8. Klimaszewski M.: Morfologia zamknięcia doliny Białej Wody w Tatrach. Ochrona Przyrody, t. XIX, Kraków 1950, ss. 37—53.
9. Klimaszewski M.: On the Influence of Pre-Glacial Relief on the Extension and Development of Glaciation and Deglaciation of Mountainous Regions. Przegląd Geograficzny, t. XXXII, Suppl., Warszawa 1960.
10. Klimaszewski M.: Guide Book of Excursion. From the Baltic to the Tatras, Part III, INQUA — Poland, Warszawa 1961.
11. Klimaszewski M.: Zarys rozwoju rzeźby Tatr Polskich. Tatrzański Park Narodowy, Wyd. PAN Zakład Ochrony Przyrody, nr 21, Kraków 1962, ss. 105—124.
12. Kmiciekiewicz E.: Krzywa hipsograficzna Australii (La courbe hypsographique de l'Australie). Polski Przegląd Kartograficzny, t. VI, Lwów—Warszawa 1933—1934, ss. 169—173.
13. Kotański Z.: Tektogeneza i rekonstrukcja paleogeografii pasma wierchowego w Tatrach. Acta Geol. Pol., vol. XI, nr 2, Warszawa 1961.
14. L'apparent A. de: Traité de géologie. Paris 1882, s. 62.
15. Malicki A.: Prace Eugeniusza Romera z zakresu kartometrii i morfometrii. Czas. Geogr., t. XXVI, Wrocław 1955, ss. 66—75.
16. Malicki A.: Deniwelacje globu ziemskiego (Dénivellations du globe terrestre). Prace Geogr. wydawane przez E. Romera, z. XVII, Lwów 1934.
17. de Martonne E.: Traité de géographie physique, t. I, Paris 1925, ss. 83—89.
18. Murray J.: On the Height of the Land and the Depth of the Ocean. Scott. Geogr. Mag., IV, 1888, s. 1.

19. Ochocka J.: Krajobraz Polski w świetle mapy wysokości względnych (*Carte des hauteurs relatives de la Pologne*). Prace Geogr. wydawane przez E. Romera, z. XII, Lwów 1931.
20. Orkiszówna E.: Krzywa hipsograficzna Afryki (*Courbe hypsographique de l'Afrique*). Polski Przegląd Kartograficzny, t. VI, Lwów—Warszawa 1933—1934, ss. 133—141.
21. Orlicz M.: Krzywa hipsograficzna Azji (*Courbe hypsographique de l'Asie*). Polski Przegląd Kartograficzny, t. VI, Lwów—Warszawa 1933—1934, ss. 100—108.
22. Orlicz M.: Krzywa hipsograficzna Antarktydy (*Courbe hypsographique de l'Antarctide*). Polski Przegląd Kartograficzny, t. VI, Lwów—Warszawa 1934, ss. 229—240.
23. Penck A.: *Morphologie der Erdoberfläche*. B. I, Stuttgart 1894, ss. 134—152.
24. Romer E.: Wybór prac. T. II. Próba morfometrycznej analizy grzbietów Karpat Wschodnich (*Essai d'une analyse morphométrique des crêtes des Carpates Orientales*). Warszawa 1961, ss. 19—31.
25. Romer E.: Wybór prac. T. II. Kilka uwag o genezie krajobrazu lodowcowego (*Quelques observations sur la genèse du paysage glaciaire*). Warszawa 1961, ss. 33—51.
26. Romer E.: *Mouvements épéirogéniques dans le haut bassin du Rhône et l'évolution du paysage glaciaire*. Bull. Soc. Vaudoise, XLVII, 1911, ss. 65—192.
27. Romer E.: O potędze wód i lodowców w Tatrach. T. II. Wierchy, Kraków 1924, ss. 166—183.
28. Romer E.: Pogląd na Tatry. Przewodnik Kongresowy II Zjazdu Słow. Geogr. i Etnogr. w Polsce, Kraków 1927, ss. 229—243.
29. Romer E.: Tatrzańska epoka lodowa (*The Ice Age of the Tatra Mts*). Spraw. PAU XXXIII, Kraków 1928, s. 17.
30. Romer E.: Najstarszy okres lodowy w Tatrach. Pam. II Zjazdu Słow. Geogr. i Etnogr., t. I, Kraków 1929, ss. 343—344.
31. Romer E.: Tatrzańska epoka lodowa. Prace Geogr. wydawane przez E. Romera, z. XI, Lwów 1929, ss. 2—186.
32. Romer E.: *The Ice Age in the Tatra Mts*. Mémoire Ac. Pol. Sc. et Lettres, Série A, vol. I, Kraków 1930, ss. 253.
33. Romer E.: Zarys moich poglądów na tatrzańską epokę lodową (*Essai de mes études sur l'époque glaciaire des Mts Tatra*). Czas. Geogr., t. VIII, Lwów 1930, ss. 114—140.
34. Romer E.: *Une nouvelle représentation graphique de l'hypsométrie (l'hypsographoïde d'après Fr. Uhorcak)*. C. R. du Congr. de Géogr., Paris 1931, t. I, Actes du Congr., Travaux de la sec. I, Paris 1931, ss. 238—340.
35. Romer E.: Wybór prac. T. II. Mapa jako dokument rzeźby powierzchni Ziemi (*La carte en tant que document de l'histoire morphologique de la surface terrestre*). Warszawa 1961, ss. 471—519.
36. Smoleński J.: W sprawie morfografii spadków (*Sur la morphographie des pentes*). Polski Przegląd Kartograficzny, t. VI, Lwów—Warszawa 1933—1934, ss. 161—169.
37. Strahler A. N.: *Hypsometric analysis of erosional topography*. Bull. Geol. Soc. Am., vol. XLIII, November 1952, ss. 1117—1141.
38. Świderski B.: *Geneza dolin tatrzańskich*. Przegl. Geogr., t. III, W-wa 1923.
39. Szaflarski J.: Ze studiów nad morfologią i dyluwium południowych stoków Tatr. Prace IG UJ, nr 19, Kraków 1937.

40. Teisseyre J.: Studium profilów podłużnych rzek wschodnio-karpaccich (Étude sur des profils longitudinaux des rivières des Karpates Orientales). Rocznik PTGeol. XIV, Kraków 1938, ss. 81—112.
41. Teisseyre H.: Powierzchnia szczytowa Karpat (La surface de faites des Karpates). Prace Geogr. wyd. przez E. Romera, z. X, Lwów 1928, ss. 67—102.
42. Z badań geologicznych w Tatrach, t. V, Biul. IG, nr 149, Warszawa 1959.
43. Zierhoffer A.: Prace geomorfologiczne E. Romera na tle współczesnego stanu geomorfologii [w:] E. Romer: Wybór prac. T. II. Warszawa 1961, ss. 7—15.

РЕЗЮМЕ

Настоящая работа касается вопросов, которыми занимался Е. Ромер, а именно: морфометрии и ледникового рельефа Татр. В своих работах Ромер подчеркивал значение морфометрического анализа карты для целей геоморфологии. В области исследований Татр был сторонником теории эрозионного бессилия ледников и сформирования главнейших черт рельефа Татр текущими водами. По инициативе А. Циргоффера, авторы сопоставили морфометрические данные с тезисами Ромера и современным состоянием знаний в областях геологии и геоморфологии Татр. С этой целью авторами проведены гипсографические кривые для всех главных долин Татр, а также для главнейших долин субатранской зоны в пределах польских Татр. В качестве основного материала принято фотограмметрическую карту Национального Парка Татр 1 : 20 000, изданную в 1934 г. Военным Географическим Институтом. Для составления кривых измерялись поверхности бассейнов при помощи планиметра. Измерения проводились по отдельным изолиниям с высотным интервалом 20 м. Для морфологического анализа использовано форму полученного чертежа, а также следующие данные, вытекающие с измерений кривой: 1. среднюю высоту бассейна реки, 2. процент поверхности заключенной между кривой и системой координат в отношении к площади прямоугольника, определенного крайними точками системы, 3. процент поверхности бассейна рек, находящегося в плейстоцене выше снеговой границы (по Климашевскому) и 4. процент поверхности выше изогипсы 1500 м. Морфологические данные сравнивались с картой оледенений Татр Климашевского.

Из сопоставления средней высоты бассейнов и показателя объема массы горной породы (табл. 1) вытекает интересное сходство с геологическим строением. Эти величины возрастают с запада на восток от депрессии Горичкова-Явор по элевацию Кошистой, а затем уменьшаются вдоль склона депрессии Широкой Явожинской.

Не менее хорошо выражена зависимость величины показателя от относительной устойчивости пород основания. Величины показа-

телей: процент поверхности бассейна, находящейся выше нижней снеговой границы и процент поверхности выше изогипсы 1500 м сходны с размерами плейстоценовых ледников в отдельных бассейнах. Это пропорциональная зависимость.

На основании формы гипсографической кривой долины Татр подразделено на четыре типа с двумя подтипами, а в основном на два: долины с простой формой кривой (долины: Сухой Воды, Быстрой, Косцелиской и Хохоловской а также долины лесной зоны) и долины, кривые которых более сложны (долины: Рыбьего потока, Ваксмундской, Ростоки, Малой Лонки и Ментусей). Исходя из факта, что к каждой группе принадлежат как сильно, так и слабо оледеневшие долины, авторы пришли к следующим заключениям.

Форма кривых не является обусловленной деятельностью ледников, но эрозионным действием текущей воды в дочетвертичное время.

Кривые со сложной формой характеризуют долины, которые образовались благодаря очередному последствию двух рельефообразующих циклов: нижне- и верхнеплиоценового. Размер ледников в долинах этого типа прямо зависит от остаточных форм более древнего рельефообразующего цикла, если найдутся выше снеговой границы (согласно мнению К л и м а ш е в с к о г о).

Общие результаты настоящей работы можно представить следующим образом: гипсографические кривые доставили числовой материал для точного анализа зависимости между поверхностью бассейна, находившейся в четвертичное время выше снеговой границы и размерами оледенения. Это пропорциональная зависимость.

Установлено зависимость средних высот и показателя расщепления от главных тектонических элементов и устойчивости пород. Были подтверждены выводы Р о м е р а о слабом влиянии ледников на основные черты рельефа Татр. Подтвердились также результаты исследований К л и м а ш е в с к о г о о дочетвертичном, двуциклическом происхождении этого рельефа.

Нашли также подтверждение заключения К л и м а ш е в с к о г о о решительном влиянии старшего рельефа на размер оледенения отдельных бассейнов.

Гипсографические кривые являются ценным, добавочным материалом, помогающим делать выводы и дополняют результаты полевых морфогенетических исследований.

Табл. 1. Средняя высота бассейнов и показатель объема массива.

Табл. 2. Нижняя снеговая линия во время Вюрма и %% поверхности бассейна выше снеговой линии и изогипсы 1500 м.

Рис. 1—14. Гипсографические кривые долин Татр.

R É S U M É

Cette élaboration fait suite aux travaux d'E. Romer relatifs à la morphométrie et le relief glaciaire des Tatra. Romer a souligné l'importance de l'analyse morphométrique de la carte dans les buts de la géomorphologie. Dans le domaine des recherches sur les Tatra il était partisan de la théorie du manque de force d'érosion des glaciers et de la formation des traits principaux du relief des Tatra par les eaux coulantes. De l'initiative d'A. Zierhoffer, pour comparer les données morphométriques avec les thèses de Romer et afin de les confronter avec l'état actuel de la géographie et de la géomorphologie des Tatra, les auteurs ont fait les courbes hypsographiques pour toutes les vallées principales des Tatra polonais et pour les vallées situées entre 1200 et 1500 m. C'était la Carte Photogramétrique du Parc National des Tatra (1 : 20 000), publiée par l'Institut Géographique Militaire, qui a servi de matériel de base. Les courbes ont été tracées par la planimétrie des surfaces des bassins particuliers dans les intervalles à tous les 20 m. À l'analyse morphologique on a mis à profit la forme du diagramme et les données suivantes résultant des mesurages de la courbe: a) hauteur moyenne du bassin, b) % de la surface contenue entre la courbe et le système de coordonnées par rapport à la surface du rectangle déterminé par les points extrêmes du système, c) % de la surface du bassin se trouvant dans le pléistocène au-dessus de la limite de la neige (selon Klimaszewski) et d) % de la surface au-dessus de la courbe du niveau 1500 m. Les données morphométriques ont été comparées avec la carte de la glaciation des Tatra faite par Klimaszewski.

De la comparaison de la hauteur moyenne des bassins et de l'indice du volume de la masse de roche (tabl. 1) résulte une concordance particulière avec la structure géologique. Ces valeurs augmentent de l'ouest à l'est de la dépression de Goryczkowa—Jawor à l'élévation de Koszysta; elles diminuent ensuite sur le versant de la dépression de Szeroka Jaworzyńska. La dépendance des valeurs des indices de la résistance relative des roches du substrat est aussi bien présentée (exception faite du bassin de Rybi Potok).

Les grandeurs des indices: % de la surface du bassin située au-dessus de la limite inférieure de la neige et % de la surface au-dessus de la courbe du niveau 1500 m s'accordent avec celle des glaciers pléistocènes dans les bassins particuliers. C'est une dépendance directement proportionnelle.

À base de la forme de la courbe hypsographique les vallées des Tatra ont été divisées en quatre types avec deux sous-types, et en général en deux: courbes à forme simple (vallées Sucha Woda, Bystra, Koście'iska

et Chochołowska, de même que les vallées situées entre 1200 et 1500 m) et courbes à forme complexe (vallées Rybi Potok, Waksmundzka, Roztoka, Mała Łąka et Miętusia). Du fait qu'à chaque groupe appartiennent les vallées aussi bien fortement que faiblement glaciées, on a tiré les conclusions suivantes:

La forme des courbes n'est pas conditionnée par l'activité des glaciers, mais par l'action érosive des eaux coulantes dans la période pré-pléistocène. Les courbes à forme complexe sont faites par la suite de deux cycles morphologiques: du pliocène inférieur et supérieur.

La grandeur des glaciers dans les vallées de ce type dépend tout simplement de celle des formes de vestige du cycle morphologique plus ancien si elles se trouvent au-dessus de la limite de la neige (conformément à l'opinion de Klimaszewski).

Les résultats généraux du travail peuvent être présentés comme suit:

Les courbes hypsographiques ont fourni le matériel pour l'analyse exacte de la dépendance entre la surface du bassin au-dessus de la limite de la neige dans le quaternaire, et la grandeur de la glaciation. Cette dépendance est directement proportionnelle. On a constaté la dépendance des hauteurs moyennes et de l'indice d'entaille des éléments tectoniques principaux et de la résistance des roches. On a confirmé: les conclusions de Romer sur une faible influence des glaciers sur les traits principaux du relief des Tatra; les résultats des recherches de Klimaszewski sur l'origine pré-quaternaire et bicyclique de ce relief; les conclusions de Klimaszewski sur l'influence décisive du relief plus ancien sur le degré de la glaciation des bassins particuliers.

Les courbes hypsographiques constituent un matériel supplémentaire très important, qui facilite la déduction et complète les résultats des recherches du domaine de la morphogénèse, faites dans le terrain.