Karkonoski Park Narodowy

Karkonosze – skały i krajobraz

Piotr Migoń

Karkonoski Park Narodowy
Jelenia Góra 2012

„Karkonosze – skały i krajobraz”

© Karkonoski Park Narodowy, ul. Chałubińskiego 23, 58-570 Jelenia Góra

Tekst: Piotr Migoń

Ilustracje: opracowanie Piotr Migoń
(ryc. 6 według P. Aleksandrowskiego, ryc. 32 według S. Mazura i P. Aleksandrowskiego, ryc. 80 według M. Gontarka i A. Paczosa)

Fotografie: Piotr Migoń (1, 4, 7-18, 20-22, 27, 30-31, 33-50, 52-59, 64-76, 78-79, 81-86, 90-93, 95-103, 105-108, 110-115, 117),
Roksana Knapik (19, 23-24, 26, 28-29, 51, 61-62, 87-88, 94, 104, 109, 116)

Fotografia na 1. stronie okładki: Szrenica i Kocioł Łabski widziane znad Śnieżnych Kotłów (fot. Piotr Migoń)

Fotografia na 4. stronie okładki: Kocioł Małego Stawu, z tyłu Równia pod Śnieżką i Śnieżka (fot. Piotr Migoń)

Skład i druk: „Dimograf”, Bielsko-Biała

ISBN: 978-83-935532-4-2

**Publikacja
dofinansowana ze środków
Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej
we Wrocławiu**

Wstęp

Karkonosze są pod wieloma względami górami wyjątkowymi. Bogactwo przyrody zadecydowało, że w 1959 roku ich najcenniejsze partie zostały objęte najwyższą w Polsce formą ochrony przyrody i stały się parkiem narodowym. Cztery lata później, w 1963 r., park narodowy powstał również w ich południowej części, po stronie czeskiej. O randze Karkonoszy świadczy także ich włączenie w 1992 r. w światową sieć obszarów chronionych Człowiek i Biosfera, której patronuje UNESCO i ustanowienie na obszarze polskich i czeskich Karkonoszy Bilateralnego Rezerwatu Biosfery. Karkonoskie torfowiska znajdują się z kolei na liście obszarów podmokłych o randze światowej, chronionych na mocy konwencji ramsarskiej.

Unikatowe środowisko Karkonoszy jest tworzone przez przyrodę żywą – rośliny i ich zespoły, świat zwierzęcy, ekosystemy oraz elementy przyrody nieożywionej, pozostające ze sobą w ścisłych relacjach i wzajemnie się warunkujące. Do tych drugich należą skały i ich rodowód, ukształtowanie powierzchni terenu, warunki pogodowe i klimatyczne, gleby, wody podziemne i powierzchniowe. Wbrew pozorom, nie są one „nieożywione", ale same podlegały i nadal podlegają różnorodnym zmianom, zachodzącym w różnych skalach czasowych. Pogoda jest najbardziej zmiennym z tych elementów środowiska, czego doświadczy każdy dłużej przebywający w Karkonoszach. Na zmiany pogody, a przede wszystkim na różnice w wysokości opadów deszczowych i śnieżnych, reagują górskie potoki, które w pewnych okresach niemal wysychają, a w innych wzbierają, przynosząc dotkliwe w skutkach powodzie. Wolniej zmieniają się cechy pokryw glebowych i ukształtowanie powierzchni terenu. Na tym tle skały budujące Karkonosze, powstałe przed setkami milionów lat, mogą się wydawać niezmienne. W rzeczywistości jest w nich zapisana burzliwa historia dziejów Ziemi i dramatyczne wydarzenia z odległej przeszłości.

Właśnie skalne bogactwo Karkonoszy i zróżnicowanie rzeźby terenu są przedmiotem tej książki. Są one przedmiotem badań geologów i geografów od wielu dziesiątek lat. Wyjaśnili już oni wiele tajemnic z przeszłości karkonoskiego krajobrazu, co nie oznacza jednak, że o skałach i pochodzeniu rzeźby wiemy już wszystko. Co roku pojawiają się nowe odkrycia, interpretacje i naukowe publikacje. Jedno wszak nie ulega wątpliwości – o wyjątkowości karkonoskiej przyrody w znacznej mierze stanowi geologiczna przeszłość oraz niedawne i współczesne procesy rzeźbotwórcze.

Na zakończenie rozważań wstępnych wyjaśnijmy jeszcze znaczenie dwóch terminów. Jeden z nich jest bardziej, a drugi mniej znany. Odnoszą się one do dziedzin nauki, których przedmiotem zainteresowania są zagadnienia omawiane w tej książce. **Geologia** – to nauka o budowie i historii Ziemi, a w szczególności jej zewnętrznej powłoki, zwanej skorupą ziemską. Głównym przedmiotem zainteresowania geologów są skały oraz procesy, które doprowadziły do ich powstania i powodo-

wały ich późniejsze przeobrażenia. Z kolei problematyką powstawania i przekształcania rzeźby terenu, zarówno przez procesy naturalne jak i pod wpływem działalności człowieka, zajmuje się **geomorfologia**. Jest ona nauką stojącą na pograniczu geologii i geografii, co jest związane z wielością czynników wpływających na rozwój rzeźby. Podziwiany przez nas krajobraz jest bowiem swoistą wypadkową procesów geologicznych, zachodzących w głębi Ziemi, obecności skał o różnych właściwościach, jak i oddziaływania zjawisk pogodowych, czynników klimatycznych, roślinności, a w ostatnich stuleciach na coraz większą skalę także działań człowieka.

Karkonosze na tle Europy

Pod względem geograficznym Karkonosze są częścią Sudetów – dużego masywu górskiego na pograniczu polsko-czeskim, sięgającego w zachodniej części na terytorium Niemiec. Sudety są specyficznym górotworem, w niewielkim stopniu przypominającym Karpaty. Zamiast długich, rozgałęziających się grzbietów i równie długich, równoległych do nich obniżeń dolinnych, w Sudetach spotkamy przede wszystkim odosobnione masywy rozdzielone śródgórskimi kotlinami. W wielu miejscach granice tych masywów są bardzo wyraźne i mają postać progów o prostym przebiegu, stanowiących granicę między płaskim dnem kotliny a silnie rozczłonkowanym obszarem górzystym. Przykładem takiego masywu są między innymi Karkonosze. Gdy spojrzymy na nie od północy, kontrast między wyrównanym dnem Kotliny Jeleniogórskiej a Pogórzem Karkonoskim jest uderzający (ryc. 1). W przyczyny ukształtowania tak osobliwego krajobrazu chwilowo jeszcze nie będziemy wnikać; zostaną one wyjaśnione w dalszej części książki.

Ryc. 1. Karkonosze od północy. Na pierwszym planie płaskie dno Kotliny Jeleniogórskiej, dalej wzniesienia Pogórza Karkonoskiego z Chojnikiem, linię horyzontu zamykają Śnieżka i Czarny Grzbiet

Ryc. 2. Karkonosze na tle ukształtowania powierzchni terenu Masywu Czeskiego

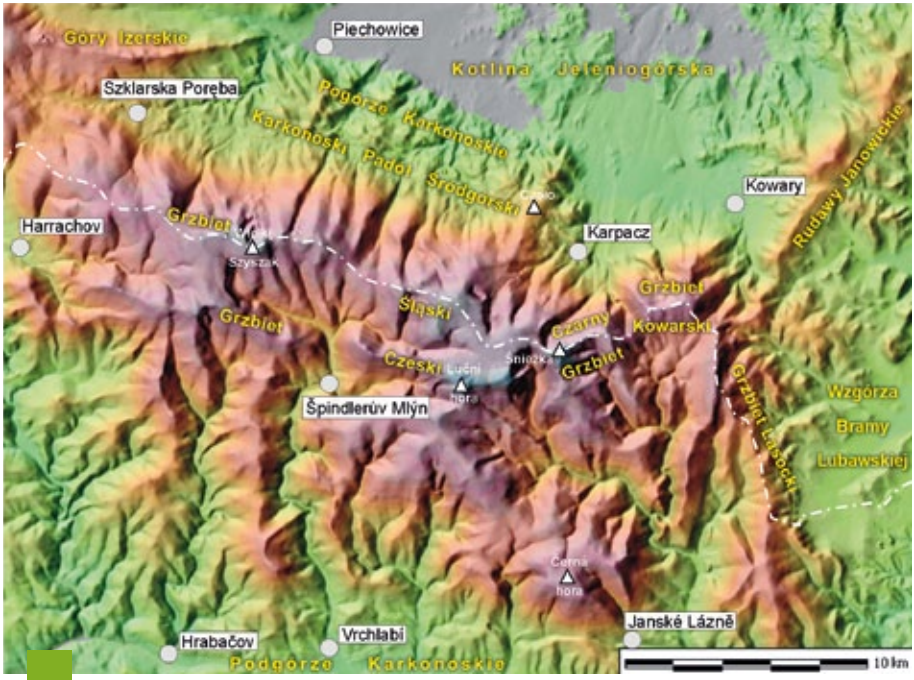
Sudety jako całość tworzą północno-wschodnie ramy dużej jednostki geograficznej zwanej **Masywem Czeskim**, będąc przy tym jej najwyższą częścią. W granicach tej jednostki znajduje się zdecydowana większość terytorium Republiki Czeskiej i całe historyczne Czechy, a także fragmenty Austrii, Niemiec i Polski. Ukształtowanie powierzchni Masywu Czeskiego jest dość nietypowe. Obrzeża tworzą pasma górskie i wysoko podniesione wyżyny – oprócz Sudetów są to Szumawa po stronie południowo-zachodniej (najwyższy szczyt Grosser Arber – 1457 m), Rudawy po stronie północno-zachodniej (Klinovec – 1244 m) i niższa Wyżyna Czesko-Morawska po stronie południowo-wschodniej (Javořice – 837 m). Środek tworzy rozległa wyżyna, a wzdłuż doliny Łaby rozciąga się nisko położona Nizina Połabska, gdzie wysokość spada poniżej 200 m n.p.m. (ryc. 2). Tak więc, najwyższy szczyt Karkonoszy – Śnieżka (1603 m) – jest nie tylko najwyższy w Sudetach, ale w całym Masywie Czeskim.

Masyw Czeski jest z kolei częścią **Średniogórza Europejskiego**. W ten sposób określa się masywy, pasma górskie i wyżyny położone na północ od łańcucha alpejskiego, od Francji na zachodzie po Polskę na wschodzie. W pasie tym wyróżniają się masywy Wogezów we Francji, Schwarzwaldu w południowo-zachodnich Niemczech, Ardeny na pograniczu Belgii i Niemiec, góry Harz w środkowej części Niemiec i Las Turyński w ich części wschodniej. Pod względem geologicznym, geomorfologicznym i krajobrazowym mają one sporo wspólnego z Sudetami, w tym z Karkonoszami, ale żaden z nich nie sięga wyżej niż Śnieżka w Karkonoszach. Krótko mówiąc, w szerokiej strefie rozciągającej się między Alpami na południu i Górami Skandynawskimi na północy Karkonosze są najwyżej wzniesionym masywem górskim. Ma to swoje konsekwencje w klimacie tych gór, osobliwościach przyrody żywej, ale także – jak się przekonamy dalej – w rzeźbie terenu.

Karkonosze i ich podział geograficzny

Zanim przystąpimy do omawiania geologicznej przeszłości i rzeźby Karkonoszy, powinniśmy zapoznać się z mniejszymi jednostkami geograficznymi wyróżnianymi w ich obrębie (ryc. 3). Do nich będziemy się często odwoływać w dalszej części książki.

Przede wszystkim należy mieć świadomość, że polska część Karkonoszy to mniej niż 1/3 całej zajmowanej przez nie powierzchni. Granica państwowa polsko-czeska wiedzie wprawdzie grzbietem wododziałowym, ale ten jest położony wybitnie asymetrycznie w stosunku do całego masywu, znacznie bliżej jego północnej niż południowej granicy. Główny, graniczny grzbiet Karkonoszy jest dzielony na cztery odcinki. Najdłuższym z nich jest **Grzbiet Śląski**, rozpoczynający się na Przełęczy Szklarskiej na zachodzie i sięgający po podnóża Śnieżki na wschodzie. Nie wszędzie przypomina on jednak grzbiet. Zarówno w jego wschodniej, jak i zachodniej części znaczną powierzchnię zajmują wierzchowinowe zrównania, miejscami uderzająco płaskie. Mniej więcej w połowie długości Grzbietu Śląskiego znajduje się dość znaczne obniżenie Przełęczy Karkonoskiej (1178 m), dzielące go na dwie części. W zachodniej wznosi się drugi pod względem wysokości szczyt polskich Karkonoszy – Wielki Szyszak



Ryc. 3. Podział Karkonoszy na tle modelu wysokościowego

Ryc. 4. Obniżenie Karkonoskiego Padołu Śródgórskiego i Pogórze Karkonoskie widziane ze stoków Grabowca

(1509 m). Przedłużeniem Grzbietu Śląskiego ku wschodowi jest krótki **Czarny Grzbiet**. Rozpoczyna się on piramidą najwyższej w całym masywie Śnieżki (1603 m), a w jego wschodniej części wyróżnia się kulminacja Czarnej Kopy (1410 m). Dalej na wschód znajduje się **Grzbiet Kowarski** (Skalny Stół – 1281 m), kończący się na Przełęczy Okraj. Tu główny grzbiet gwałtownie zmienia kierunek i biegnie dalej w kierunku południowym, początkowo jako graniczny, dalej w całości na terytorium Czech. Jego północny, polski fragment jest nazywany **Grzbietem Lasockim** (Łysocina – 1188 m), czeski nosi nazwę Rýchory. Równolegle do Grzbietu Śląskiego i na południe od niego biegnie **Grzbiet Czeski**, położony w całości poza granicami Polski. W jego wschodniej części znajdują się drugi i trzeci pod względem wysokości szczyty karkonoskie – Luční hora (1555 m) i Studniční hora (1554 m). Dwa najwyższe karkonoskie grzbiety są rozdzielone dolinami Mumlavy na zachodzie, Łaby w części środkowej i Białej Łaby w części wschodniej.

Ku północy Grzbiet Śląski opada długim, wyrównanym i dość monotonnym krajobrazowo stokiem, w obrębie którego większe urozmaicenie wprowadzają tylko kotły polodowcowe, podcinające wierzchowinę karkonoską. U podstawy tego stoku rozciąga się równoleżnikowe obniżenie, nazwane **Karkonoskim Padołem Śródgórskim** (ryc. 4). Jego najniższe fragmenty leżą na wysokości około 600 m n.p.m., a więc około 800 m niżej w stosunku do wierzchowiny głównego grzbietu. W Karkonoskim Padole Śródgórskim rozłożyły się urokliwe miejscowości: Przesieka, Borowice i Jagniątków. Częścią Padołu jest także obniżenie Szklarskiej Poręby. Na północ od strefy padołu znajduje się **Pogórze Karkonoskie** – pagórkowaty obszar złożony z wielu oddzielnych wzniesień, rozdzielonych niewielkimi zrównaniami lub głębokimi dolinami.

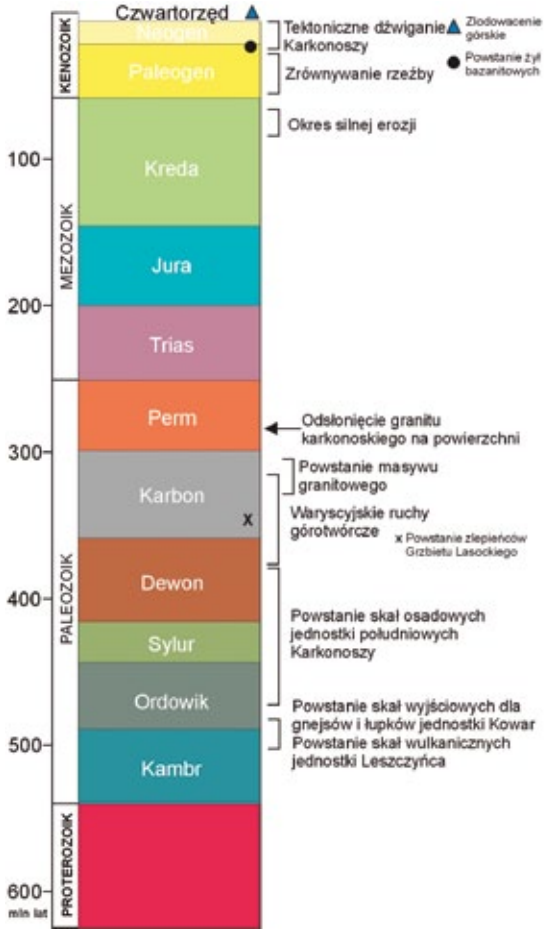
Najwyższym szczytem na Pogórzu jest Czoło (869 m), a dalej Grabowiec (784 m), Grzybowiec (751 m) i Szerzawa (706 m), ale najbardziej znanym wśród tych wzniesień jest niewątpliwie Chojnik (627 m), przyciągający rzesze turystów ruinami średniowiecznego zamku. U podnóża Czarnego Grzbietu i Kowarskiego Grzbietu brak podobnego piętra pogórza. Tu wierzchowina Karkonoszy opada bezpośrednio do położonego prawie 1000 m niżej dna Kotliny Jeleniogórskiej. Z kolei Grzbiet Lasocki stopniowo obniża się ku wschodowi i przechodzi we Wzgórza Bramy Lubawskiej, które jednak formalnie nie są już traktowane jako część Karkonoszy.

Znacznie bardziej złożony jest podział geograficzny czeskich Karkonoszy na południe od Grzbietu Czeskiego, jako że bardziej urozmaicona jest ich rzeźba. Występują tu liczne grzbiety o przebiegu północ–południe lub północny zachód–południowy wschód, pomiędzy którymi znajdują się głęboko wcięte doliny rzeczne Łaby, Upy, Izery i ich dopływów. Przewyższenia są tu znaczne, a najwyższe szczyty południowych Karkonoszy przekraczają 1200 m n.p.m. (Liščí hora – 1363 m, Černá hora – 1299 m). Południowa granica Karkonoszy biegnie mniej więcej wzdłuż linii łączącej miejscowości Hrabačov – Vrchlabí – Janské Lázně – Mladé Buky, na południe od której rozciąga się już znacznie niższe, faliste Podgórze Karkonoskie.

Najbardziej problematyczne jest wyznaczenie zachodniej granicy Karkonoszy, a jej zwykle wskazywany przebieg jest bardziej wynikiem umowy wśród geografów niż odzwierciedla nagłą zmianę warunków środowiska przyrodniczego. Dotyczy to zwłaszcza strony czeskiej. Po polskiej stronie jako granicę między Karkonoszami a Górami Izerskimi traktuje się dolinę Kamiennej, dlatego zabudowania Szklarskiej Poręby Średniej i Szklarskiej Poręby Dolnej leżą, w myśl podziałów geograficznych, już w Górach Izerskich.

Skalne tworzywo Karkonoszy

Budowa geologiczna Karkonoszy jest bardzo urozmaicona. W ich obrębie występują różne rodzaje skał, mające różne pochodzenie i różny wiek. Znajdziemy tu skały należące do wszystkich trzech głównych typów: **magmowe**, czyli powstałe przez zastygnięcie gorącej płynnej magmy w głębi skorupy ziemskiej bądź wulkanicznej lawy na powierzchni, **osadowe**, czyli powstałe przez stopniowy przyrost osadów znoszonych przez rzeki do obniżeń terenu, opadających na dno morskie, powstałych ze szczątków roślinnych i zwierzęcych lub przez wytrącanie się soli mineralnych wskutek silnego parowania oraz **metamorficzne**, powstałe z wcześniej istniejących skał, na ogół w głębi skorupy ziemskiej, gdzie do zmian dochodzi wskutek działania wysokich ciśnień i temperatur. Najstarsze z nich sięgają swoim wiekiem przełomu proterozoiku i kambru, a więc okresu wcześniejszego niż 500 milionów lat. Główny udział w budowie polskiej części Karkonoszy mają granity sprzed ponad 300 milionów lat. Najmłodsze skały lite – bazalty Małego Śnieżnego Kotła – pochodzą sprzed około 25 milionów lat (ryc. 5). Trzeba w tym miejscu zaznaczyć, że złożoność budowy geologicznej jest znacznie większa w czeskiej części Karkonoszy, gdzie głównym budulcem są różnorodne skały metamorficzne. Po stronie polskiej skały należące do tej grupy zajmują tylko kilkanaście procent powierzchni. Jeszcze mniejszy udział w budowie Karkonoszy mają skały osadowe



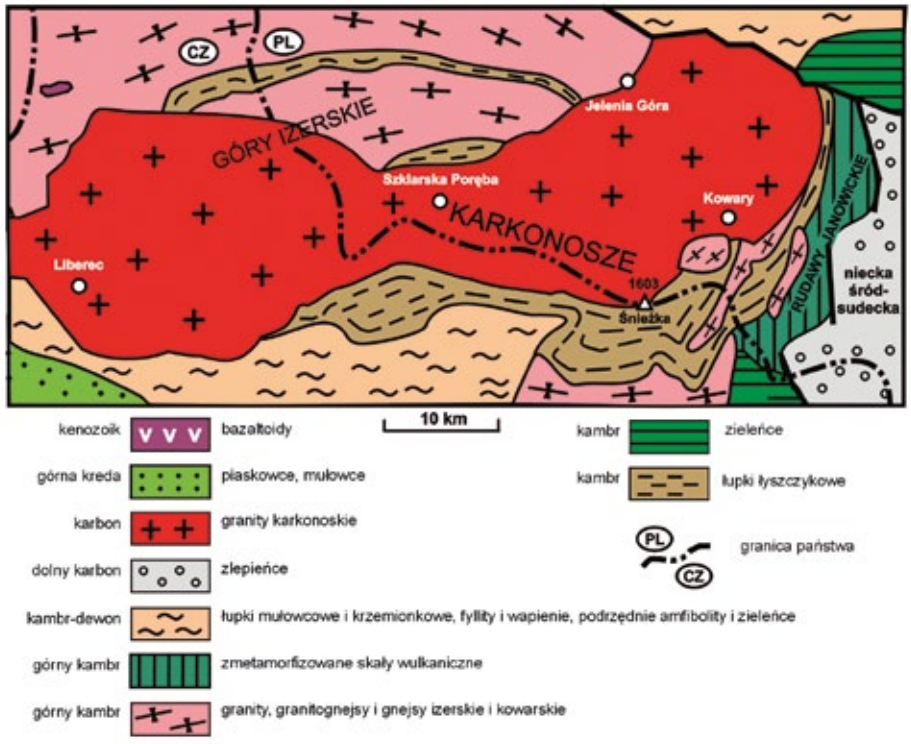
Ryc. 5. Podział dziejów Ziemi i umiejscowienie najważniejszych wydarzeń z geologicznej przeszłości Karkonoszy.

Rycina 6 przedstawia rozmieszczenie różnych rodzajów skał w Karkonoszach i na obszarach bezpośrednio do nich przylegających. Widać na niej, że **masyw granitowy**, przez geologów określanych jako **pluton karkonoski**, ma kształt zbliżony w planie do wielkiej, przewróconej cyfry „8". Jego długość z zachodu na wschód to około 70 km, szerokość zaś wynosi od 8 do około 20 km. W granicach Polski znajduje się wschodnia część tego wielkiego masywu, który obejmuje swoim zasięgiem nie tylko Karkonosze, ale także fragment Gór Izerskich w okolicach Jakuszyc i Hali Izerskiej, Kotlinę Jeleniogórską, zachodni skłon pasma Rudaw Janowickich i sięga do podnóża Gór Kaczawskich. Granica masywu granitowego we wschodniej części Karkonoszy przebiega północnymi stokami Śnieżki i Czarnego Grzbietu, a następnie

podnóżem Kowarskiego Grzbietu, sięgając niewielkim klinem w górę doliny Jedlicy na południe od Kowar. Warto zauważyć, że w czeskich Karkonoszach obszar występowania granitu jest natomiast niewielki. Zachodni fragment masywu granitowego znajduje się w granicach Czech, budując wierzchowinę czeskiej części Gór Izerskich.

Na północ, wschód i południe od masywu granitowego występują skały należące do rodziny skał metamorficznych, czyli przeobrażonych. Są one starsze od granitu, a część ich metamorfozy dokonała się właśnie pod wpływem gorącej magmy granitowej. W polskich Karkonoszach skały te występują tylko w części wschodniej: na Śnieżce, Czarnym Grzbiecie, Kowarskim Grzbiecie i w Grzbiecie Lasockim. Dominują wśród nich gnejsy i różnego rodzaju skały łupkowe (łupki łyszczykowe, fyllity), a wzdłuż granicy z granitem biegnie wąski pas hornfelsów. Takie same rodzaje skał pojawiają się na północ od masywu granitowego, w Górach Izerskich powyżej Szklarskiej Poręby.

Skały osadowe w polskich Karkonoszach pojawiają się tylko u podnóża Grzbietu Lasockiego, na granicy ze śródgórskim obniżeniem Bramy Lubawskiej. Nieco więcej jest ich w części czeskiej, w okolicach Trutnova, ale i tam stanowią one podrzędny składnik budowy geologicznej Karkonoszy.



Ryc. 6. Budowa geologiczna Karkonoszy i obszarów przyległych (wg P. Aleksandrowskiego, zmodyfikowane przez autora)

Granit

Granit jest skałą magmową głębinową, co oznacza, że jest on produktem krystalizacji gorącej magmy, a proces ten odbywa się nie na powierzchni terenu (jak ma to miejsce w przypadku skał wulkanicznych), ale głęboko w skorupie ziemskiej. Zastyganie magmy może zachodzić na głębokości kilku kilometrów, ale może też dokonać się ponad 20 km pod powierzchnią. Granit karkonoski zastygał prawdopodobnie około 8–10 km pod powierzchnią.

Granit nie jest skałą jednorodną i w każdym miejscu identyczną. Występuje on w licznych odmianach, a o jego zróżnicowaniu decyduje skład chemiczny i proporcje między poszczególnymi pierwiastkami i związkami chemicznymi, co z kolei warunkuje skład mineralogiczny – a więc udział poszczególnych minerałów skałotwórczych. Inną cechą różnicującą granit jest wielkość kryształów. Proporcje ilościowe między poszczególnymi związkami chemicznymi mogą być określone jedynie w specjalistycznych laboratoriach. W terenie natomiast, przyglądając się granitowym skałkom i głazom leżącym na stokach i w korytach rzecznych, najłatwiej jest zwrócić uwagę na obecność i wielkość minerałów. Te właśnie elementy, widoczne gołym okiem, stały się podstawą wyróżnienia w Karkonoszach kilku głównych odmian granitu.

Głównymi minerałami skałotwórczymi granitu są kwarc, skaleń potasowy, skaleń wapniowo-sodowy czyli plagioklaz, oraz blaszkowate łyszczyki, czyli mika. Wśród tych ostatnich wyróżniamy łyszczyk jasny, zwany muskowitem, oraz ciemny, określany jako biotyt. Cechą szczególną granitu karkonoskiego jest praktycznie brak muskowitu, natomiast pozostałe minerały skałotwórcze mogą występować w różnych proporcjach.

Największą powierzchnię zajmuje granit określany jako **porfirowaty**. Nazwa ta oznacza, że tworzące go minerały mają różną wielkość. Uwagę zwracają przede wszystkim duże kryształy skalenia potasowego, których długość może nawet przekraczać 10 cm, na ogół jednak wynosi 1-4 cm (ryc. 7). Mają one z reguły różową barwę i tabliczkowaty pokrój, widoczna jest w nich także sieć drobnych pęknięć, wzdłuż których minerały łupią się na mniejsze fragmenty. Obok skaleni potasowych występują mniejsze skalenie sodowo-wapniowe (plagioklazy), o białawej lub kremowej barwie. Dla granitu karkonoskiego charakterystyczne są białe obwódki plagioklazowe na kryształach skaleni

Ryc. 7. Granit odmiany porfirowatej, z dużymi kryształami skaleni potasowych

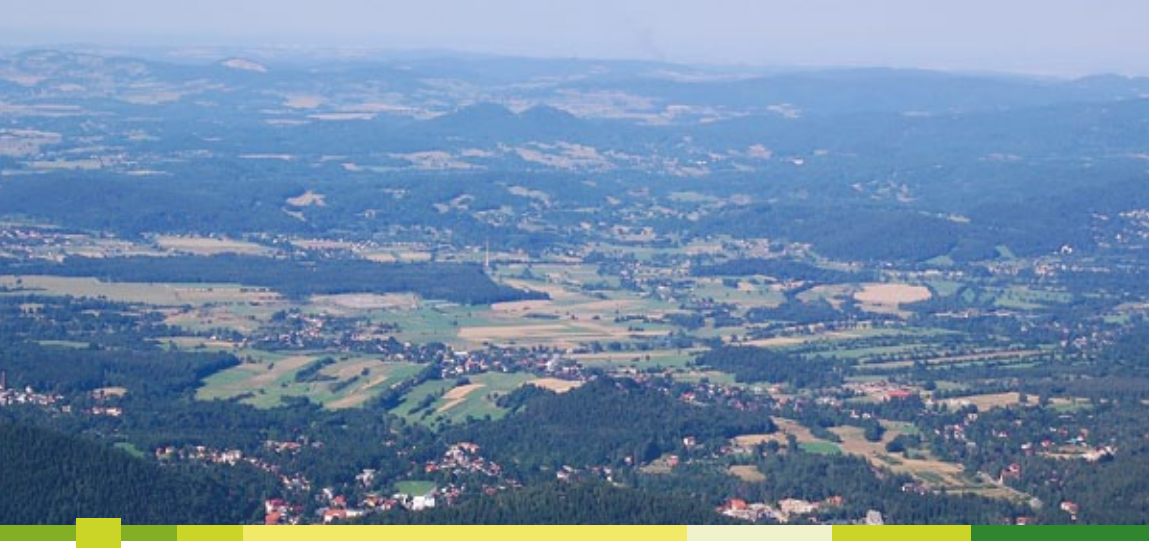
Ryc. 8. Granit odmiany równoziarnistej

potasowych. Pozostałe minerały nie przekraczają kilku milimetrów długości i tworzą tło skalne. Granit porfirowaty dominuje w Kotlinie Jeleniogórskiej, jest powszechny na Pogórzu Karkonoskim i w dolnych partiach stoku Grzbietu Śląskiego, aczkolwiek w wyższych położeniach skalenie potasowe nie osiągają już tak imponujących rozmiarów. Duże skalenie potasowe w granicie karkonoskim to nie tylko mineralogiczna ciekawostka. Dla geologa są cennym źródłem informacji o procesie posadowienia granitowej magmy i jej zastygania. Systematyczne pomiary pokazały, że ułożenie dużych skaleni wykazuje w miarę regularne uporządkowanie, a wydłużenie ich dłuższych osi wskazuje kierunek płynięcia magmy. Wykrystalizowane skalenie przyjmowały bowiem taką pozycję w półpłynnej jeszcze masie, aby stawiany opór był jak najmniejszy.

Drugą odmianą jest granit **równoziarnisty**, występujący przede wszystkim na głównym grzbiecie Karkonoszy. Nazwa ta, choć stosowana powszechnie, jest jednak pewnym uproszczeniem, ponieważ niemal wszędzie zdarzają się nieco większe kryształy skaleni, niemniej nie osiągają one takich rozmiarów jak w granicie porfirowatym (ryc. 8). W porównaniu z granitem porfirowatym odmiana równoziarnista cechuje się nieco wyższą zawartością krzemionki i związków potasu. Ma to istotne konsekwencje dla przebiegu procesów wietrzenia granitu, gdyż podwyższony udział krzemionki zwiększa odporność skały na działanie zewnętrznych czynników niszczących. Granit równoziarnisty występuje też lokalnie na Pogórzu Karkonoskim i w Kotlinie Jeleniogórskiej, budując między innymi najwyższe partie takich wzniesień jak Grodna nad Sosnówką, Brzeźnik nad Kowarami i Bucznik koło Karpnik.

Trzecią odmianą wyróżnianą w masywie karkonoskim jest granit **aplitowy** (aplogranit), występujący jednak głównie poza Karkonoszami, w Kotlinie Jeleniogórskiej i w Rudawach Janowickich. Wyróżnia się on wyraźnie jaśniejszą barwą i dużymi po-

Ryc. 9. Jasne granity aplitowe na Sokoliku



Ryc. 10. Wśród pagórkowatego dna Kotliny Jeleniogórskiej wyróżniają się bliźniacze Góry Sokole zbudowane z granitu aplitowego

wierzchniami zajmowanymi przez drobnoziarniste tło złożone z kwarcu i skaleni, w którym okazjonalnie pojawiają się większe kryształy tych minerałów (ryc. 9). Najbardziej znanym miejscem występowania tej odmiany granitu są Góry Sokole we wschodniej części Kotliny Jeleniogórskiej, doskonale widoczne z wielu miejsc w Karkonoszach (ryc. 10).

Omawiając odmiany granitów karkonoskich nie sposób nie wspomnieć o tzw. **szlirach**. Szliry to ciemne smugi na powierzchni skały, utworzone przez nagromadzenie drobnych blaszek biotytu. Mają one zróżnicowaną szerokość, od mniej niż 1 cm do kilku centymetrów i mogą występować pojedynczo lub w zespołach, ciągnąc się na długości nawet wielu metrów (ryc. 11). Istnieje kilka poglądów na genezę szlirów. Najczęściej wskazuje się na fakt, że biotyt krystalizuje dość wcześnie i jako cięższy od otaczającej go płynnej magmy powoli opada niżej. Szliry są więc przejawem różnicowania się granitu w trakcie krystalizacji. Z kolei spotykane w różnych miejscach sfałdowanie szlirów jest dowodem płynięcia magmy. Szliry najłatwiej znaleźć w granitach porfirowatych. W granicie natknąć się można również na bochenkowate enklawy o ciemnej barwie i zwykle ostro zarysowanym kontakcie z główną masą granitową. Są to resztki magmy o bardziej zasadowym składzie, z dominacją związków żelaza i magnezu, która uległa krystalizacji zanim jeszcze temperatura obniżyła się na tyle, aby mogło dojść do powstania granitu.

Ryc. 11. Szliry biotytowe na skałce Pielgrzymy

SPĘKANIA W GRANICIE

Jeszcze jedna cecha granitu, obok zróżnicowanego składu mineralogicznego, zwraca uwagę, gdy obserwujemy naturalne lub sztuczne odsłonięcia tych skał. Jest nią obecność mniej lub bardziej regularnego układu spękań, które tną zwarty masyw skalny na mniejsze bryły (ryc. 12). Spękania są obecne w każdej skale bez względu na jej pochodzenie, ale w granicie są one wyjątkowo uporządkowane.

Ryc. 12. Regularny cios granitu – grupa skalna Szwedzkie Skały w dolinie Myi

Na ogół wyróżnić można trzy główne zespoły spękań: dwa pionowe i jeden zbliżony do poziomego. Zespoły spękań pionowych są prostopadłe do siebie, dlatego wraz ze spękaniami zorientowanymi poziomo dzielą one skałę na kanciaste bryły różnej wielkości, pokroju sześciennego lub prostopadłościennego. Gęstość spękań jest nierównomierna, co także można łatwo zauważyć na karkonoskich skałkach (ryc. 13). Obok fragmentów masywnych, ze spękaniami co 1–2 m, a nawet rzadziej, występują partie gęsto spękane, gdzie sąsiednie płaszczyzny pęknięć są od siebie oddalone zaledwie o 10–20 cm. Te trzy główne zespoły tworzą jeden wspólny system, zwany **ciosem**, dlatego w użyciu jest również określenie „spękania ciosowe".

Nad pochodzeniem spękań ciosowych zastanawiano się już ponad 100 lat temu. Próbę ich uporządkowania i wyjaśnienia genezy podjął w latach 20. XX wieku wybitny niemiecki geolog

Ryc. 13. Na Borówczanych Skałach można obserwować, jak orientacja i gęstość spękań wpływają na wygląd skałek

Ryc. 14. Cios pokładowy na skałkach Skalnej Bramy nad Szklarską Porębą

i zasłużony badacz granitu karkonoskiego – Hans Cloos. W jego opinii kierunek spękań pionowych jest ogólnie zgodny z kierunkiem wydłużenia masywu granitowego lub prostopadły do niego, stąd nazwał je odpowiednio podłużnymi i poprzecznymi. Wprowadził też odpowiednie symbole literowe: „S" dla spękań podłużnych i „Q" dla spękań poprzecznych. Dla spękań poziomych zaproponował symbol „L", od *Lager* – leżący.

Geneza systemu spękań w granicie jest złożona. Część z nich powstaje równocześnie z tworzeniem się skały granitowej. Granitowa magma zastyga w temperaturze 600-700°C, a skała dalej wychładzając się zmniejsza swoją objętość. Ponieważ nie zmienia się przy tym gęstość, to muszą pojawić się pęknięcia. Część z nich to „zwykłe" przerwanie ciągłości masywu skalnego, widoczne w postaci śladu na odsłoniętej powierzchni, inne otwierały się na kilka centymetrów stwarzając przestrzeń, w którą wnikały resztki magmy, zastygające później w formie długich, ale cienkich żył. Na podobnej zasadzie powstają spękania w innych skałach magmowych, które podlegają gwałtownemu ochładzaniu. Należą do nich bazalty, także występujące w Karkonoszach. Dla systemów spękań będących konsekwencją znacznych zmian w temperaturze skały stosowany jest termin **cios termiczny**. Inne spękania powstają wskutek naprężeń wywołanych stałymi przemieszczeniami skorupy ziemskiej w poziomie i pionie. Pamiętajmy, że skały w najwyższych partiach skorupy ziemskiej zachowują się jak ciała sztywne i wykazują bardzo niewielką elastyczność. Dlatego długotrwałe naciski w nieunikniony sposób zaowocują pęknięciami. W granitach rozładowanie tych naprężeń może nastąpić wzdłuż już istniejących powierzchni ciosu termicznego, ale mogą też powstać nowe powierzchnie nieciągłości. Dlatego oglądając skałki karkonoskie nie zawsze zobaczymy tylko trzy główne zespoły spękań. Bywa, że jest ich więcej.

Oprócz spękań ciosowych w granicie występują też inne ich rodzaje. Na wielu skałkach są widoczne spękania o przebiegu zbliżonym do poziomego, ale występujące znacznie gęściej, co 15–30 cm (ryc. 14). Ściana skalna przypomina wówczas zestaw ułożonych na sobie plastrów lub materacy,

a spękania takie są nazywane ciosem „plasterkowym" lub „materacowym". Kluczem do wyjaśnienia genezy tych osobliwych spękań jest ich relacja do sąsiadującej powierzchni stoku. Otóż niemal bez wyjątku kąt nachylenia powierzchni tych spękań jest zgodny z nachyleniem stoku. Gdy skałka wyrasta z płaskiego terenu, wówczas spękania są ułożone poziomo (np. na Czeskich Kamieniach), natomiast gdy skałka znajduje się na stoku, wtedy są one nachylone pod pewnym kątem, nawet do 20–30°. Takie relacje wskazują, że spękania te są pochodzenia **odciążeniowego** i tworzyły się wraz z postępującym niszczeniem masywu granitowego. Należy bowiem pamiętać, że granit powstaje na znacznej głębokości w skorupie ziemskiej i pozostaje pod wielkim ciężarem wyżej leżących skał. Ich stopniowe niszczenie sprawia, że siła nacisku na granit jest coraz mniejsza, aż w końcu maleje do zera. Naturalną reakcją wcześniej „ściśniętych" skał, będących równocześnie materiałem sztywnym, jest pękanie w kierunku, w którym maleje obciążenie, a więc ku powierzchni terenu. Pozostaje jednakże zagadką, dlaczego systemy spękań odciążeniowych tworzą się tylko w pewnych miejscach. Prawdopodobnie wynika to z gęstości spękań pierwotnych. Tam, gdzie jest ona duża, zmniejszające się naprężenia są rozładowywane wzdłuż istniejących powierzchni nieciągłości i nowe zespoły pęknięć nie powstają. Spękania związane z odciążeniem łatwo dostrzec w kamieniołomach, gdzie na płytszych poziomach eksploatacyjnych zagęszczenie widocznych spękań jest niemal zawsze większe niż na poziomach głębszych.

Obecność spękań ma kolosalne znaczenie dla wielu innych procesów i zjawisk, zachodzących w granicie karkonoskim. Po pierwsze, powierzchnie spękań są naturalnymi drogami krążenia wód

Ryc. 15. Baszty Borówczanych Skał są zbudowane z masywnego granitu, podczas gdy fragmenty gęściej spękane uległy szybszemu zwietrzeniu i tworzą obniżenia w skalnym murze

podziemnych, zasilanych bezpośrednio przez opady atmosferyczne i z topniejącej pokrywy śnieżnej. Łatwo się o tym przekonać, obserwując zawilgocenia powierzchni skałek właśnie wzdłuż spękań, wzdłuż których w porze zimowej tworzą się lodowe kurtyny. Po drugie, spękania – właśnie z racji łatwego dostępu dla wody – są miejscami najbardziej narażonymi na destrukcyjne oddziaływanie procesów wietrzenia, dlatego gęściej spękane partie granitu podlegają niszczeniu szybciej i łatwiej (ryc. 15). Nie jest przypadkiem, że zdecydowana większość karkonoskich skałek to formy masywne, zwarte, z siatką spękań znacznie oddalonych od siebie. Po trzecie, sposób rozpadu granitu na mniejsze fragmenty jest w dużej mierze uzależniony od charakteru spękań. Wielkość i kształt bloków tworzących imponujące rumowiska skalne w najwyższych partiach Karkonoszy, na Wielkim Szyszaku, Śmielcu czy Szrenicy, odzwierciedla geometryczne cechy systemu pęknięć w granitowym podłożu.

SKAŁY ŻYŁOWE

Obserwując granity budujące karkonoskie skałki łatwo dostrzeżemy, że są one poprzecinane żyłami innych skał, o różnej grubości i różnym kierunku (ryc. 16). Część z nich ma zaledwie 1–2 cm grubości, inne mają grubość do kilku metrów i wielokilometrową rozciągłość. Powstanie tych żył jest także związane z krystalizacją magmy, ale dochodziło do niej już po utworzeniu się głównego ciała granitowego. Jak już powiedzieliśmy, granit podlegał powolnemu stygnięciu, a w trakcie tego procesu tworzyły się w nim pęknięcia. W te nowo powstałe szczeliny wciskały się resztki magmy o różnym składzie, która następnie szybko zastygała, dając początek **skałom żyłowym**.

Ryc. 16. Żyły aplitu na skałkach Przesieckiej Góry

Ryc. 17. Żyły aplitowe przecinające granit porfirowaty na stokach Chojnika

Najpowszechniej występują żyły drobnoziarnistego **aplitu**, zbudowane z kwarcu, skaleni i niewielkich tylko ilości biotytu, dlatego ich barwa jest jasna. Z aplitami spotkamy się przede wszystkim na Pogórzu Karkonoskim, między innymi na Chojniku (ryc. 17), na Rudziankach, na Rozpadlisku w Podgórzynie, na Przesieckiej Górze czy na skałkach w Przełomie Kamiennej w Szklarskiej Porębie. Miejscami aplity są spękane w regularny, kwadratowy wzór (ryc. 18). We wschodniej części Karkonoszy występuje zespół pionowych **żył mikrogranitowych** o kierunku południe–północ, rozpoczynający się na stokach Grzbietu Śląskiego i kontynuujący się na Pogórzu Karkonoskim i dalej w dnie Kotliny Jeleniogórskiej. Jak nazwa wskazuje, mają one skład zbliżony do właściwego granitu, natomiast wyróżniają się żyłową formą występowania. Miejscami ich grubość sięga kilkunastu metrów. Z mikrogranitów są między innymi zbudowane skałki na zachodnich stokach Grabowca na Pogórzu Karkonoskim, nad Sosnówką (ryc. 19). Lokalnie są obecne **żyły lamprofirowe**, nie zawierające kwarcu i dlatego posiadają one ciemnoszarą barwę.

W późniejszym okresie, tzw. etapie pomagmowym, w powstałe podczas stygnięcia granitu pęknięcia wnikały gorące roztwory określane jako hydrotermalne. Miały one temperaturę od kilkudziesięciu do około 400°C. Z nich wytrącała się krzemionka, tworząc powszechne w Karkonoszach **żyły kwarcowe**. Niekiedy zawierają one dobrze wykształcone, regularne kryształy kwarcu, będące od dawna przedmiotem zainteresowań zbieraczy minerałów. Są wśród nich odmiany przezroczyste, czyli kryształy górskie oraz fioletowe i purpurowe, czyli ametysty. Te ostatnie w największej obfitości można znaleźć w okolicach Szklarskiej Poręby. Żyły kwarcowe z ametystem przecinają także starsze od granitu skały

Ryc. 18. Regularne spękania żyły aplitowej na Szachownicy w dolinie Kaczej.

Ryc. 19. Skałki pod Grabowcem są zbudowane z mikrogranitu (fot. R. Knapik)

metamorficzne. Znane są na przykład ze stoków Kowarskiego Grzbietu powyżej Karpacza – Wilczej Poręby.

Pod wieloma względami najbardziej interesujące są żyły pegmatytowe. **Pegmatyty** występują zresztą nie tylko w formie żył, ale także gniazd i soczewek różnej, nawet kilkumetrowej wielkości. Od pozostałych żył odróżnia je wielkość kryształów. Pegmatyty są skałami gruboziarnistymi, w których pojedyncze, często zrośnięte ze sobą kwarce i skalenie osiągają długość kilkunastu centymetrów. Powstały w końcowym stadium krystalizacji magmy, ze stopu bogatego w składniki lotne (gazowe) i wodę. W przeszłości gniazda pegmatytowe były eksploatowane na potrzeby przemysłu szklarskiego i ceramicznego, dlatego po części z nich pozostały tylko sztuczne wyrobiska w postaci jam lub płytkich sztolni. Przykładami z polskich Karkonoszy są Czerwona Jama nad Kamienną w Szklarskiej Porębie (ryc. 20) i Czerwona Jaskinia na Rudziankach na Pogórzu Karkonoskim. Pegmatyty tworzyły się także w skałach osłony masywu granitowego, a jednym z bardziej znanych miejsc ich występowania, także w przeszłości podlegającym eksploatacji, są Krucze Skały w Karpaczu – Wilczej Porębie. Do dziś zresztą pegmatyty są przedmiotem zainteresowania profesjonalnych mineralogów i kolekcjonerów–amatorów, gdyż w ich obrębie można znaleźć różne cenne, a przy tym rzadkie minerały.

Ryc. 20. Grubokrystaliczny pegmatyt w Czerwonej Jaskini w Szklarskiej Porębie

SKAŁY METAMORFICZNE

Skały metamorficzne na obszarze pomiędzy Śnieżką a Przełęczą Okraj są reprezentowane głównie przez gnejsy i łupki łyszczykowe. **Gnejsy**, zwane kowarskimi, wyróżniają się obecnością dużych różowych oczek skalenia potasowego, na ogół wydłużonych, otoczonych na przemian występującymi warstewkami kwarcowo-skaleniowymi i zbudowanymi z łyszczyków (ryc. 21, 22). Grubość tych pierwszych wynosi przeciętnie 1-2 cm, tych drugich jest znacznie mniejsza. Gnejsy spotkamy na stokach Czarnego Grzbietu, na wschodnich stokach Wołowej Góry i w dolinie Jedlicy. Skałą wyjściową, z której powstały, były granity porfirowate z przełomu kambru i ordowiku. Miejscami odkształcenie pierwotnej struktury było

Ryc. 21. Gnejs w odmianie oczkowej

Ryc. 22. Gnejs w odmianie warstewkowej

bardzo niewielkie i z wyglądu skała wciąż bardziej przypomina granit niż gnejs. Takie skały nazywane są granitognejsami i występują u podnóża Kowarskiego Grzbietu, między innymi w Karpaczu – Wilczej Porębie, gdzie tworzą efektowne baszty Kruczych Skał.

Łupki łyszczykowe współwystępują z gnejsami i są prawdopodobnie pozostałością okrywy skał granitowych. Zbudowane są one z naprzemiennych warstewek kwarcowych i łyszczykowych, znacznie cieńszych niż w gnejsach, nie przekraczających kilku milimetrów grubości i często zafałdowanych (ryc. 23). Strefa występowania łupków łyszczykowych po polskiej stronie ciągnie się od Czarnego Grzbietu przez Sowią Przełęcz po Czoło w Grzbiecie Kowarskim, obejmuje także niemal w całości Sowią Dolinę. Miejscami w łupkach można spotkać granaty, których długość może dochodzić do 15 mm. Miejsca szczególnie częstego ich występowania, na zboczach Sowiej Doliny i pod Skalnym Stołem, były w przeszłości świadkami ożywionej działalności górniczej. W obrębie serii gnejsowo-łupkowej znajdują się także drobne wystąpienia innych skał: amfibolitów, kwarcytów, wapieni krystalicznych i łupków grafitowych. Kompleks gnejsowo-łupkowy występujący we wschodniej części polskich Karkonoszy jest odpowiednikiem kompleksu gnejsowego Gór Izerskich i tzw. grupy Velkej Úpy w Karkonoszach czeskich. W literaturze geologicznej jest on określany jako jednostka Gór Izerskich – Kowar.

Nieco inny zestaw skał metamorficznych występuje w skrajnie wschodniej części Karkonoszy – w Grzbiecie Lasockim. Dominującą pozycję zajmują **fyllity**, skały podobne wyglądem do łupków łyszczykowych, ale pozbawione lśniących blaszek łyszczyków (ryc. 24). Materiałem wyjściowym były drobnoziarniste skały osadowe środowiska morskiego, mułowcowo-ilaste, wieku ordowicko-sylurskiego. Podrzędnie występują **amfibolity** i **zieleńce**, czyli zmetamorfizowane podmorskie skały wulkaniczne o składzie bazaltu. Poza tym spotkać można niewielkie wystąpienia kwarcytów, łupków chlorytowych, krzemionkowo-grafitowych i wapieni krystalicznych. Te ostatnie były eksploatowane w niewielkich łomach, a śladem wypalania wapna w tym obszarze są pozostałości wapienników w dolinie Srebrnika koło Jarkowic. Większe po-

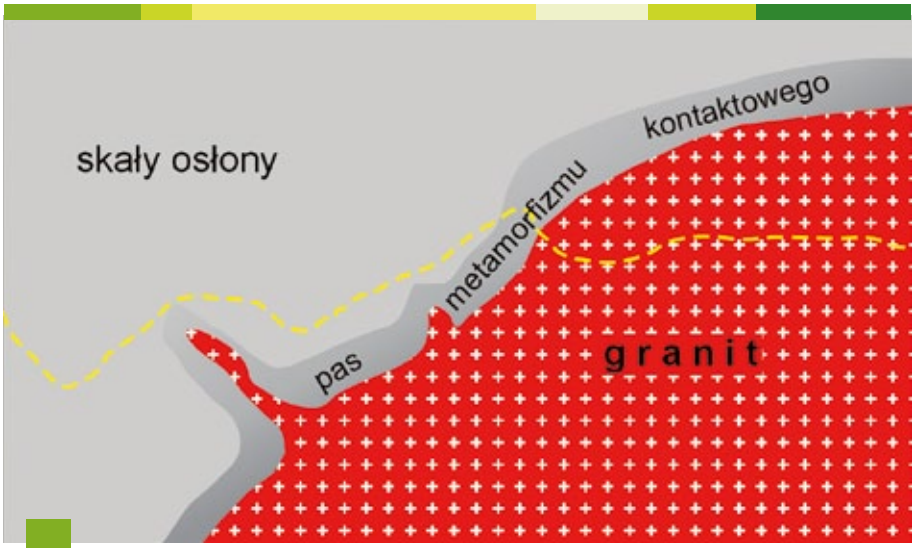
Ryc. 23. Sfałdowane łupki łyszczykowe (fot. R. Knapik)

Ryc. 24. Skałka fyllitowa w Horní Albeřicach (fot. R. Knapik)

wierzchniowo wychodnie wapieni krystalicznych znajdują się po czeskiej stronie Grzbietu Lasockiego, wokół miejscowości Horní Albeřice. Ten kompleks skalny, z przewagą fyllitów, jest określany w literaturze jako jednostka południowych Karkonoszy. Gnejsy, które także występują w Grzbiecie Lasockim, pomiędzy dolinami Białej Wody i Złotnej (rejon Białych Skał), należą do odrębnej jednostki geologicznej zwanej jednostką Leszczyńca, o zupełnie innej historii niż gnejsy kowarskie. W jej skład wchodzą także amfibolity i zieleńce, a na Białych Skałach jest odsłonięty kontakt tych dwóch wielkich jednostek tektonicznych. Strefa występowania jednostki Leszczyńca kontynuuje się na północ od Grzbietu Lasockiego, w Rudawach Janowickich.

Różnice pomiędzy opisanymi kompleksami skał metamorficznych są nie tylko konsekwencją obecności innych skał wyjściowych, ale także rezultatem odmiennych historii metamorfizmu. Pierwotne skały jednostki Gór Izerskich – Kowar ulegały przeobrażeniu w warunkach wyższej temperatury, ale niższego ciśnienia, niż skały jednostki południowych Karkonoszy. Na podstawie zawartości minerałów wskaźnikowych ocenia się, że gnejsy i łupki łyszczykowe powstały w temperaturze około 500-600°C, podczas gdy fyllity Grzbietu Lasockiego i skały im towarzyszące tworzyły się w zakresie temperatur 300-500°C, ale w warunkach wyższego ciśnienia. Inaczej mówiąc, środowiska powstawania głównych zespołów skał metamorficznych były odmienne od siebie, zarówno pod względem miejsca w skorupie ziemskiej, jak i położenia geograficznego. Ich dzisiejsze sąsiedztwo jest wynikiem późniejszych procesów tektonicznych, o czym będzie mowa w kolejnym rozdziale.

Wyżej scharakteryzowane zespoły skał metamorficznych są wynikiem tzw. metamorfizmu regionalnego, co oznacza, że procesy przeobrażenia skał zachodziły równocześnie na dużych przestrzeniach. W Karkonoszach mamy także do czynienia z metamorfizmem innego typu – **kontaktowym**, który miał znacznie mniejszy zasięg i objął starsze skały tylko na kontakcie z gorącą granitową magmą (ryc. 25). Jego produktem są



Ryc. 25. Schemat ukazujący położenie pasa metamorfizmu kontaktowego wzdłuż granic masywu granitowego. Przerywana żółta linia symbolizuje współczesną powierzchnię terenu

Ryc. 26. Hornfels powstał przez przeobrażenie łupków łyszczykowych (fot. R. Knapik)

skały określane jako **hornfelsy**. Powstały one z przeobrażenia łupków łyszczykowych w warunkach wysokiej temperatury (>600°C) i cechują się zatarciem wcześniejszej, łupkowej oddzielności oraz występowaniem – obok zrekrystalizowanego kwarcu – minerałów normalnie niespotykanych w łupkach: andaluzytu i kordierytu (ryc. 26). Pas występowania hornfelsów przy kontakcie z granitem jest bardzo wąski i nie przekracza 400 m szerokości. W polskiej części Karkonoszy hornfelsy budują wierzchołek i stoki Śnieżki, a następnie ciągną się w poprzek zbocza doliny Łomniczki. Po stronie czeskiej zbudowane są z nich między innymi Studniční hora, Luční hora i Kozí hřbety (ryc. 27). W większym oddaleniu od granicy masywu granitowego łupkowa tekstura starszych

Ryc. 27. Druga pod względem wysokości w Karkonoszach Luční hora jest zbudowana z hornfelsów

Ryc. 28. Bazanity Małego Śnieżnego Kotła (fot. R. Knapik)

skał zachowała się, natomiast pojawia się już w nich andaluzyt. Z metamorfizmem kontaktowanym są także związane **skarny**. Są to skały powstałe wskutek przeobrażenia pierwotnych skał wapiennych, zawierające liczne interesujące minerały o składzie krzemianowo-wapniowym, takie jak epidot, diopsyd, wollastonit i granat. W Karkonoszach występują one w okolicach Kowar.

SKAŁY WULKANICZNE

Zjawiska wulkaniczne w Karkonoszach nigdy nie przybrały takiego natężenia, jak w obszarach sąsiednich: w dzisiejszych Górach Kamiennych w Sudetach Środkowych lub na Pogórzu Izerskim i w Górach Łużyckich bardziej na zachód. Niemniej występują w nich skały, które są świadectwem, że i Karkonosze mają wulkaniczną kartę w swojej geologicznie niedawnej historii. Skały te to **bazalty**, powstałe przez zastygnięcie lawy o składzie obojętnym do zasadowego. Proces stygnięcia dokonywał się na powierzchni terenu lub płytko poniżej niej. W przeciwieństwie do magmy będącej źródłem granitu, lawa bazaltowa ma znacznie mniejszą zawartość krzemionki, a powstały z niej bazalt praktycznie nie zawiera kwarcu. Dlatego wykazuje on ciemną, prawie czarną barwę, zwłaszcza gdy jest obserwowany w stanie świeżym. Wietrzenie dopiero sprawia, że tworzy się na nim zewnętrzna, szarawa obwódka (ryc. 28).

Najbardziej znanym miejscem występowania bazaltu w Karkonoszach, a ściślej mówiąc – skały o zbliżonym do bazaltu składzie i określanej jako **bazanit**, jest zachodnia ściana Małego Śnieżnego Kotła. Przez wiele lat opisywane ono było jako „dwie równoległe do siebie żyły bazaltowe o śred-

nicy około 1 metra". W rzeczywistości mamy do czynienia z jednym większym ciałem bazaltowym o szerokości około 30 m, od którego odchodzi kilka ślepo kończących się ramion (ryc. 29). Wychodnie bazanitu znajdują się poza szlakiem turystycznym i nie są dostępne do bezpośredniej obserwacji, ale przy ścieżce w dnie kotła bez trudu można dostrzec ich luźne odłamki, pochodzące z kruszących się ścian skalnych. Bazanit Małego Śnieżnego Kotła ma wiek około 26 milionów lat, pochodzi więc ze schyłku paleogenu.

Oprócz Małego Śnieżnego Kotła w Karkonoszach znajduje się jeszcze kilka innych miejsc, w których stwierdzono obecność bazaltów, między innymi w dolinie Jodłówki nad Borowicami i na Rudziankach koło Zachełmia. Nigdzie jednak wychodnie tych skał nie osiągają większych rozmiarów i jest bardzo wątpliwe, czy bazaltowa lawa w ogóle osiągnęła ówczesną powierzchnię terenu. Wydaje się zatem, że dymiących wulkanów nigdy w Karkonoszach nie było.

SKAŁY OSADOWE

W celu obejrzenia w polskich Karkonoszach zwięzłych skał osadowych należy udać się w Grzbiet Lasocki, a konkretnie do Jarkowic i dolnej części doliny Srebrnika. Na jej zboczach, zarówno tuż przy potoku, jak i wyżej na grzbiecie występują skały zwane **zlepieńcami**. Są one zbudowane z dużych okruchów skalnych, o długości kilku do kilkunastu centymetrów, a miejscami nawet dużych głazów przekraczających 0,5 m długości (ryc. 30). Zwięzłość zapewnia zlepieńcom spoiwo złożone z okruchów o znacznie mniejszych rozmiarach – o wielkości piasku (około 0,5-1 mm),

Ryc. 29. Bazanity w Małym Śnieżnym Kotle budują skalne żebro między dwoma żlebami (fot. R. Knapik)

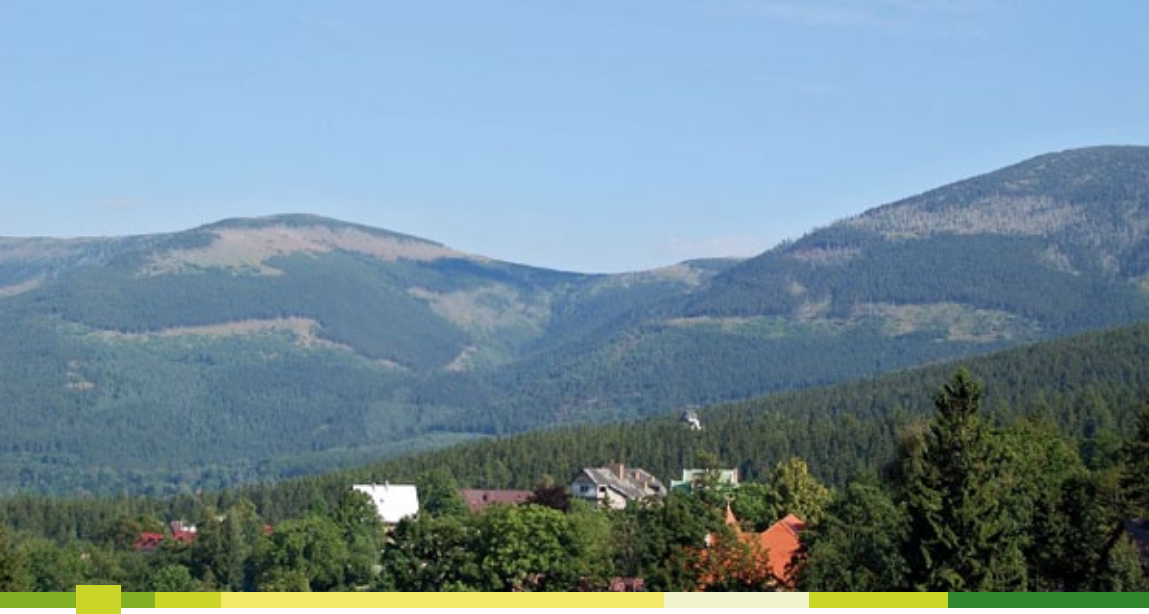
Ryc. 30. Zlepieńce w dolinie Białego Strumienia w Grzbiecie Lasockim

pyłu, czy nawet iłu. Otoczaki wchodzące w skład karkonoskich zlepieńców pochodzą z rozpadu różnorodnych starszych skał, głównie gnejsów, amfibolitów, łupków łyszczykowych i kwarcytów.

Zlepieńce występujące w Karkonoszach stanowią skrajnie zachodnią część dużego obszaru występowania skał tego typu, kontynuującego się w kierunku wschodnim w stronę Lubawki i Kamiennej Góry. W geologii regionalnej jest on określany jako niecka śródsudecka, rozciągająca się daleko w kierunku wschodnim, aż po okolice Nowej Rudy. W okresie, gdy powstawały zlepieńce Lasockiego Grzbietu, niecka miała charakter dużego zapadliska śródgórskiego, do które bystre przedgórskie rzeki znosiły sporych rozmiarów otoczaki.

Geologiczna historia Karkonoszy

Wiedza geologiczna nie ogranicza się do opisu skał i tworzących je minerałów, określenia ich wieku i pochodzenia. Dogłębna znajomość skał i ich cech stanowi dopiero punkt wyjścia do odtworzenia całej geologicznej historii obszaru, następstwa zjawisk i procesów, ich uwarunkowań i skutków. W przypadku Karkonoszy historia ta jest wyjątkowo długa i złożona, a przy tym wciąż nie do końca przez nas poznana. Badania geologiczne można porównać do układania gigantycznych puzzli, podczas którego próbujemy dopasować do siebie pojedyncze fragmenty obrazu. Po pewnym czasie zaczynamy mieć wyobrażenie, jak będzie wyglądał układany obraz w całości, niemniej wciąż nie znamy go we wszystkich szczegółach i próbujemy odnaleźć brakujące fragmenty. W podobnej sytuacji jesteśmy odtwarza-



Ryc. 31. Wschodnia część polskich Karkonoszy jest zbudowana ze skał metamorficznych

jąc geologiczną przeszłość Karkonoszy. Sporo już wiemy dzięki prowadzonym od ponad 200 lat badaniom, ale od uzyskania kompletnego obrazu przeszłości jeszcze nas nieco dzieli.

Liczącą około pół miliona lat geologiczną historię Karkonoszy można najogólniej podzielić na trzy okresy. Pierwszy obejmuje czas przed powstaniem masywu granitowego, gdy tworzyły się skały metamorficzne występujące obecnie we wschodnich i południowych Karkonoszach. Okres drugi to wtargnięcie magmy z głębszych partii skorupy ziemskiej i jej zastygnięcie jako pluton karkonoski. Wraz z tym wydarzeniem ukształtowały się zasadnicze rysy budowy geologicznej Karkonoszy. Okres trzeci obejmuje przedział czasu od powstania granitu do dzisiaj, gdy geologiczna struktura Karkonoszy była z jednej strony niszczona przez procesy zewnętrzne, z drugiej podlegała odmładzaniu przez procesy tektoniczne.

ZANIM POWSTAŁ GRANIT KARKONOSKI

Najwcześniejsze dzieje Karkonoszy są zapisane w skałach metamorficznych, które w Polsce odsłaniają się na wschód od Śnieżki (ryc. 31). Wiemy już, że skały te są mocno zróżnicowane, więc zapewne i geologiczna historia okaże się bardzo złożona. Omawiając dzieje poszczególnych grup skalnych należy także mieć świadomość, że miały one „dwa życia". Okres od czasu ich powstania do przejścia metamorfozy i przybrania dzisiejszej postaci liczy sobie dziesiątki, a nawet ponad 100 milionów lat. I tak, wiek najstarszych skał karkonoskich – gnejsów i łupków łyszczykowych Czarnego Grzbietu i Grzbietu Kowarskiego – jest oceniany na około 500 milionów lat, a więc powstawały one na przełomie kambru i ordowiku – dwóch pierwszych okresów ery paleozoicznej. Wiek ten odnosi się jednak do skał wyjściowych: granitów, z których później powstały gnejsy i skał ich osłony, zmienionych w łupki łyszczykowe. Podobny wiek mają zapewne wapienie i skały wulkaniczne, wchodzące w skład jednostki Gór Izerskich – Kowar. Przeobrażenie tych pierwotnych skał nastąpiło znacznie później, na przełomie dewonu i karbonu, około 360–350 milionów lat temu.

Także sprzed około 500 milionów lat pochodzą skały wchodzące w skład jednostki Leszczyńca,

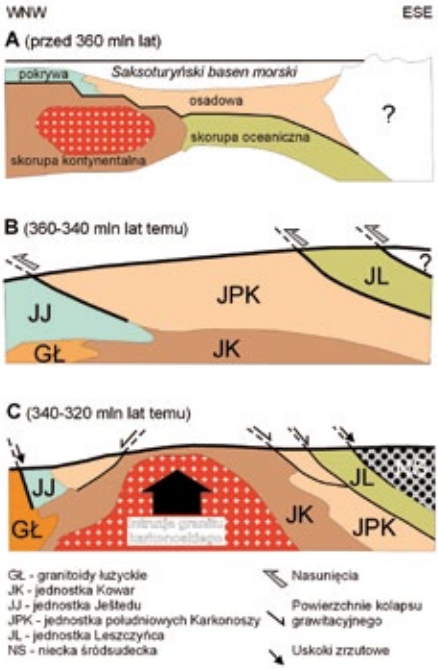
natomiast są one całkowicie odmienne pod względem genezy. Zieleńce i amfibolity są wynikiem przeobrażenia śródoceanicznych law bazaltowych, które wylewały się na dno oceaniczne ze strefy ryftowej, czyli głębokiego pęknięcia w skorupie ziemskiej.

Nieco młodsze są skały jednostki południowych Karkonoszy. Powstawały one we wczesnych okresach ery paleozoicznej, prawdopodobnie od ordowiku do dewonu. Reprezentują też inne środowisko powstawania. Było nim dno oceaniczne, na którym odkładały się osady krzemionkowe i węglanowe, które późniejszy metamorfizm zamienił w fyllity i wapienie krystaliczne. Dochodziło też do podmorskich wylewów lawy, później zmienionej w zieleńce i amfibolity. Metamorfizm w jednostce południowych Karkonoszy zachodził w niższej temperaturze niż miało to miejsce w przypadku gnejsów kowarskich i łupków łyszczykowych. Jeszcze inne warunki temperatury i ciśnienia charakteryzowały przeobrażenia skał wchodzących w skład wspomnianej jednostki Leszczyńca. Jak wytłumaczyć tak odmienne geologiczne historie skał położonych obok siebie? Wytłumaczenie może być w pierwszej chwili zaskakujące – opisane kompleksy skalne wcale nie tworzyły się w pobliżu siebie. Wręcz przeciwnie, miejsca ich powstania były od siebie znacznie oddalone, nawet o tysiące kilometrów. Trzeba sobie bowiem uświadomić, że górotwór sudecki powstał dopiero na przełomie dewonu i karbonu, w okresie 360-330 milionów lat temu. Dopiero wtedy przemieszczające się fragmenty płyt litosferycznych zbliżyły się do siebie i w procesie kolizji pra-kontynentów stworzyły strukturę, którą dzisiaj określamy mianem geologicznych Sudetów.

Co zatem możemy o powiedzieć o tych wcześniejszych etapach rozwoju geologicznego Karkonoszy i jak są one rekonstruowane przez geologów? Odpowiadając na to pytanie nie możemy ograniczać się do Karkonoszy, ale musimy na nie spojrzeć w szerszym regionalnym kontekście – całych Sudetów, a nawet całej środkowej Europy, czy wręcz ówczesnego globu. Dzisiejsza geologiczna struktura Sudetów jest interpretowana jako mozaika złożona z odrębnych fragmentów skorupy ziemskiej, określanych jako **terrany**. Jest ich przynajmniej pięć. Terrany te oddzieliły się w starszym paleozoiku od wielkiego pra-kontynentu Gondwany i przemieszczały się w procesie zwanym dryfem kontynentów. Jednym z takich terranów była jednostka saksoturyńska, obejmująca zachodnią część masywu czeskiego. Jej częścią były pradawne masywy granitowe sprzed około 500 milionów lat – późniejsze granitognejsy i gnejsy kowarskie. Na ówczesnym globie znajdowały się one w pobliżu bieguna południowego! W tym samym czasie, ale w innym miejscu powstawały bazalty późniejszej jednostki Leszczyńca – wówczas budujące śródoceaniczną strefę ryftową, jedną z wielu, wzdłuż których rozpadał się pra-kontynent Gondwany. Rozpad ten oznaczał równocześnie powstanie nowego oceanu, nazwanego Oceanem Rei. Na jego dnie nieustannie powstawały skały osadowe i w mniejszym zakresie także wulkaniczne, wśród nich te, które dzisiaj występują we wschodnich i południowych Karkonoszach. Trwający ponad 100 milionów lat ruch wielkich płyt litosfery i dryf oderwanych od Gondwany terranów przybliżył je do siebie pod koniec dewonu. W trakcie zbliżania się terranów do siebie skały pochodzenia oceanicznego zostały zdeformowane (sfałdowane), zmetamorfizowane i odkłute od podłoża, a następnie nasunięte w formie kilku płaszczowin na terran saksoturyński. Równocześnie jednak zbliżyły się do siebie dwa wielkie pra-kontynenty: Gondwana i Euramerykа, a to oznaczało zamknięcie dawnego oceanu i ruchy górotwórcze na wielką skalę. Określamy je jako **orogenezę waryscyjską** lub hercyńską. Objęła ona znaczne obszaru Ziemi. W Europie pas objęty tymi ruchami górotwórczymi ciągnie się od zachodniej części Półwyspu Iberyjskiego przez

zachodnią i środkową Francję (Masyw Centralny), środkowe Niemcy i Czechy. W tym czasie nie istniał jeszcze Ocean Atlantycki, a strefa kolizji kontynuowała się we wschodniej części Ameryki Północnej, tam gdzie dzisiaj rozciąga się łańcuch Appalachów. W kierunku wschodnim jej przedłużeniem był łańcuch Uralu.

W trakcie waryscyjskich ruchów górotwórczych powstała wielopiętrowa struktura Karkonoszy. Na gnejsy i łupki łyszczykowe jednostki Gór Izerskich – Kowar zostały nasunięte skały tworzące jednostkę południowych Karkonoszy, a jeszcze wyżej znalazły się skały jednostki Leszczyńca (ryc. 32). Na nich zalegały prawdopodobnie kolejne kompleksy skalne, ale zostały one zniszczone przez późniejsze procesy geologiczne. Powstała potężna struktura o tak znacznej grubości, że zaczęła się ona zapadać pod swoim własnym ciężarem, a wcześniej spiętrzone jednostki geologiczne zaczęły się z siebie zsuwać. Proces ten jest nazywany kolapsem grawitacyjnym. Na wschód od tych dawnych gór powstało wielkie śródgórskie zapadlisko niecki śródsudeckiej, do której ówczesne rzeki znosiły wielkie masy otoczaków i żwirów. Śladem tych procesów są zlepieńce koło Jarkowic, ale stanowią one tylko nieznaczną część grubej sekwencji osadów dolnego karbonu, której całkowita miąższość sięga 6 km! W końcowej fazie niszczenia waryscyjskiego górotworu doszło do wtargnięcia magmy z głębszych partii skorupy ziemskiej i rozpoczął się nowy okres w dziejach Karkonoszy.



Ryc. 32. Schemat budowy Karkonoszy (za Mazurem i Aleksandrowskim (2001) i Aleksandrowskim (2011), zmodyfikowane przez autora)

OD MAGMY DO GRANITU

Pojawienie się w wyższych partiach skorupy ziemskiej gorącej magmy, która zastygając dała początek granitom karkonoskim, miało miejsce w okresie 330-310 milionów lat temu. Na taki wiek wskazują badania tempa rozpadu izotopów promieniotwórczych zawartych w minerałach tworzących granit. Dzięki wspomnianym badaniom potwierdzono też, że granit porfirowaty jest starszy od równoziarnistego, co podejrzewano już wcześniej na podstawie obserwacji wnikania żył i pni granitu równoziarnistego w odmiany porfirowate (ryc. 33). Jak więc widać, **intruzja** – bo takim terminem określa się przemieszczanie i zastyganie magmy – była długotrwała i wieloetapowa. Powstanie granitowego plutonu karkonoskiego nie było jednorazowym „aktem stworzenia", ale złożonym procesem, w trakcie którego z głębszych partii skorupy ziemskiej przedostawały się kolejne porcje magmy, wnikając w już zastygły granit. Główna masa granitu powstała w pierwszym okresie tworzenia się masywu, w późniejszych fazach magma docierała przeważnie w postaci wąskich pni i kominów. Te młodsze, mniejsze porcje magmy, otoczone wychłodzonym

Ryc. 33. Na skałce Piec w Rudawach Janowickich jest dobrze widoczny kontakt między starszym granitem porfirowatym (wyżej) i młodszym granitem równoziarnistym (niżej)

już granitem, zastygały szybciej i zabrakło czasu do powstania dużych kryształów, typowych dla granitu porfirowatego. Jeszcze później w powstające wskutek stygnięcia spękania zaczęły wnikać resztkowe roztwory magmy, zawierające już tylko składniki kwaśne, krystalizujące dopiero w niskich temperaturach, a także gorące roztwory hydrotermalne. Dały one początek żyłom aplitu, mikrogranitu, soczewom pegmatytu i żyłom kwarcowym. Głębokość, na której zastygała granitowa magma, mierzona względem ówczesnej powierzchni terenu, jest szacowana na 8–10 km.

Powstanie potężnego masywu granitowego nie mogło nie wywrzeć wpływu na starsze skały, w obrębie których dokonała się intruzja. Najbardziej czytelną oznaką tych zmian była kolejna faza przeobrażenia, tym razem typu kontaktowego. Wzdłuż granicy z magmą granitową łupki łyszczykowe zostały zmienione w hornfelsy i powstało tzw. pasmo kontaktowe o szerokości kilkuset metrów, otaczające masyw granitowy (ryc. 34). W gnejsach zmiany te są mniej oczywiste dla oka i ujawniają się dopiero w szczegółowych badaniach mineralogicznych. Rozerwana została także struktura spiętrzonych płaszczowin waryscyjskich, które znalazły się po przeciwnych stronach masywu granitowego: w południowych i wschodnich Karkonoszach oraz w północnej części Gór Izer-

Ryc. 34. Zbudowana z hornfelsów Śnieżka jest częścią pasma kontaktowego

Ryc. 35. Piaskowce Czeskiego Raju są geologicznym świadectwem niszczenia pra-Karkonoszy w okresie kredowym

skich, przy czym w Górach Izerskich mamy do czynienia tylko ze skałami należącymi do jednostki Gór Izerskich – Kowar – gnejsami i łupkami łyszczykowymi.

OD POWSTANIA GRANITU DO CZASÓW DZISIEJSZYCH

Późniejsza geologiczna historia Karkonoszy, mimo że bliższa współczesności, wcale nie jest lepiej poznana i jest w niej wciąż wiele luk do wypełnienia. Dzieje się tak z bardzo prostego powodu. Z kolejnych okresów geologicznych, za wyjątkiem kilku niewielkich wychodni bazanitów, nie ma w Karkonoszach skał, których cechy mogłyby nam powiedzieć, co działo się z tym obszarem. Odtwarzając dzieje Ziemi posiłkujemy się głównie informacjami o naturze skał osadowych w sąsiedztwie, jako że powstawały one poprzez niszczenie pra-Karkonoszy. Wykorzystujemy też mocno specjalistyczne dane o zmianach temperatury granitu w czasie, zapisanych w strukturze tworzących go minerałów. Pozwalają one nam ocenić w przybliżeniu, w jakim tempie była obniżana dawna powierzchnia terenu. Trzecim źródłem informacji są cechy rzeźby terenu, a zwłaszcza obecność form wskazujących na tektoniczne dźwiganie lub obniżanie.

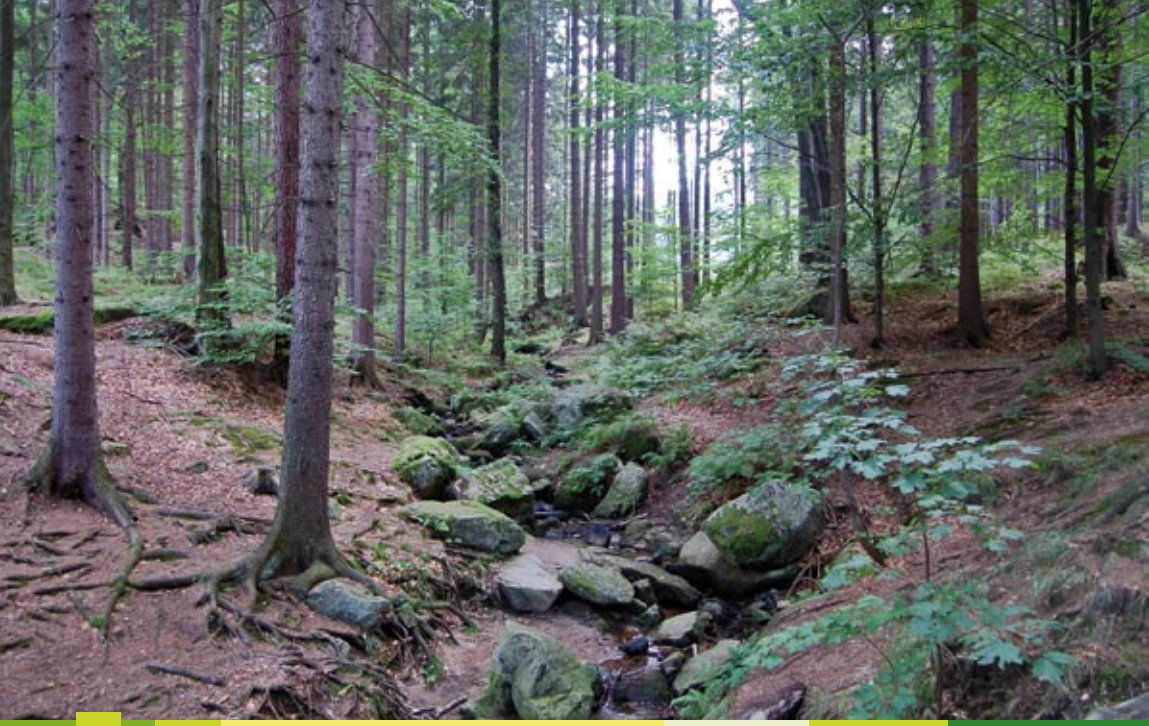
Z obserwacji w sąsiadującej z Karkonoszami niecce śródsudeckiej wiemy, że pierwsze otoczaki granitu karkonoskiego pojawiają się w zlepieńcach dolnego permu, sprzed około 280 milionów lat. Oznacza to, że potrzeba było około 30-50 milionów lat, aby erozja usunęła wielokilometrowy nadkład skał i wydobyła granit na światło dzienne. W geologicznej skali czasu był to proces dość szybki, choć nie tak szybki, jak niszczenie waryscyjskiego górotworu w okresie poprzedza-

jącym wtargnięcie magmy. Później tempo erozji uległo wyraźnemu spowolnieniu, a przez większość ery mezozoicznej w miejscu dzisiejszych Karkonoszy rozciągał się obszar co najwyżej pagórkowaty, a okresami nawet równinny. Ponowne ożywienie erozji miało miejsce w późnej kredzie, kiedy to w krótkim czasie usunięta została warstwa skał o grubości około 1 km. To w tym właśnie okresie powstały grube warstwy piaskowców przyszłych Gór Stołowych i Czeskiego Raju (ryc. 35). Na przełomie kredy i paleogenu w środkowej Europie miały miejsce ruchy tektoniczne zwane laramijskimi i niewykluczone, że w miejscu Karkonoszy na krótki geologicznie czas znów pojawiły się góry, które jednak szybko zostały zniszczone przez erozję. Paleogen to długi okres względnego spokoju, kiedy w warunkach ciepłego, na ogół wilgotnego klimatu masyw granitowy ulegał zrównywaniu. Pod koniec paleogenu, a może nieco później, w miocenie, na obszarze dzisiejszych Karkonoszy wytworzyła się rozległa zrównana powierzchnia, której relikty – jak się dowiemy z dalszych rozdziałów – przetrwały do czasów współczesnych. Na przełomie paleogenu i miocenu pojawiły się już jednak zwiastuny kolejnego okresu wzmożonych ruchów tektonicznych. Były nimi zjawiska wulkaniczne i intruzje żył bazanitu w płytkie partie skorupy ziemskiej. Kilkanaście milionów lat temu, w reakcji na ruchy górotwórcze w łańcuchu alpejskim, rozpoczęło się nierównomierne dźwiganie terenu dzisiejszych Sudetów. Wówczas uaktywniły się uskoki po północnej i południowej stronie masywu i Karkonosze jako potężny zrąb tektoniczny zostały podniesione na wysokość ponad 1000 m w stosunku do przyległych obniżeń Kotliny Jeleniogórskiej, Bramy Lubawskiej i Podgórza Karkonoskiego. Powolne dźwiganie Karkonoszy trwa zresztą po dzień dzisiejszy, a okazjonalne słabe trzęsienia ziemi są dowodem, że górotwór wciąż pracuje.

Jak wykorzystywano karkonoskie skały

Pozyskiwanie surowców mineralnych w polskich Karkonoszach ma długą historię, sięgającą przynajmniej średniowiecza, ale tylko we wschodniej części masywu, w okolicach Kowar, było ono prowadzone na dużą skalę. Działo się tak, ponieważ intruzje granitowe są na ogół ubogie w koncentracje minerałów o wartości złożowej i masyw karkonoski nie jest w tym względzie wyjątkiem. Odmiennie przedstawia się sytuacja w czeskiej części Karkonoszy, gdzie ślady dawnego górnictwa są bardzo liczne, ale pamiętać trzeba, że tam występują głównie skały metamorficzne, bogate w złoża rudne różnego rodzaju i to z nimi jest związana górnicza przeszłość regionu.

Prawdopodobnie najwcześniej zaczęto poszukiwać w Karkonoszach **złota**. Według miejscowego przekazu pierwsze poszukiwania prowadzili już Celtowie ponad 2 tysiące lat temu. Złoto występuje w dwóch formach: jako złoto rodzime w żyłach przecinających skalny górotwór oraz w postaci rozproszonej, w osadach naniesionych przez rzeki, czyli aluwiach. Złoża aluwialne są wtórne w stosunku do występowania złota rodzimego, a ich powstanie jest poprzedzone wietrzeniem skał, transportem po stoku do koryta rzecznego, a następnie złożeniem cięższych drobin złota w miejscu, gdzie strumień wody traci siłę nośną. Złota poszukiwano między innymi w Sowiej Dolinie i w osadach rzecznych znajdujących się na



Ryc. 36. W żwirowiskach w dolinie Choińca prowadzono w średniowieczu poszukiwania złota

jej wylocie, na terenie dzisiejszej Wilczej Poręby, a także w dolinie Choińca pod Chojnikiem (ryc. 36), w dolinie Podgórnej w Przesiece i w dolinie Kamiennej w Szklarskiej Porębie. Niektóre nazwy własne, takie jak Płóczki czy Złoty Potok, wskazują na podejmowane niegdyś próby poszukiwań. Występowanie złota rodzimego jest związane głównie z żyłami kwarcowymi, przecinającymi zarówno masyw granitowy, jak i jego metamorficzną osłonę.

Najsilniejsze tradycje górnicze posiadają Kowary, które już w 1513 r. uzyskały status miasta górniczego, a wydobycie prowadzone było zapewne już dużo wcześniej. Przedmiotem poszukiwań i eksploatacji były tu głównie **rudy żelaza**, którym towarzyszyły podwyższone koncentracje innych minerałów, między innymi pirytu, chalkopirytu, arsenopirytu i srebra. Mineralizacja była związana z skałami metamorficznej osłony granitu, dlatego obszar wydobycia znajdował się nie tyle w samych Kowarach, co w położonych bardziej na południu Kowarach Górnych (kopalnia „Wolność") i Podgórzu (kopalnie „Podgórze" i „Liczyrzepa"). Po II wojnie światowej kontynuowano pozyskiwanie rud żelaza, ale ciężar zainteresowania przeniósł się na towarzyszące im **rudy uranu**, wydobywane na potrzeby radzieckiego przemysłu zbrojeniowego w latach 1948-1951. W tym czasie poszukiwaniami rud uranu objęto zresztą i pozostałe partie Karkonoszy, między innymi Budniki u stóp Kowarskiego Grzbietu, gdzie do dziś można oglądać pozostałości prac górniczych (ryc. 37), a nawet okolice Jagniątkowa. Później jeszcze przez pewien czas ponownie wydobywano rudy żelaza, ale w początkach lat 60. XX wieku kopalnie ostatecznie zamknięto, a większość podziemnych wyrobisk została zalana.

W latach 70. XX w. jedna z dawnych sztolni kopalni „Podgórze", położona w górnej części

Ryc. 37. Trwałym śladem poszukiwań górniczych w Budnikach są hałdy materiału płonnego

doliny Jedlicy i mająca oznaczenie 19a została zaadaptowana na potrzeby lecznictwa sanatoryjnego. Stwierdzono w niej podwyższoną koncentracją gazu szlachetnego radonu i urządzono inhalatorium radonowe, które było zarządzane przez uzdrowisko w Cieplicach. Pod koniec lat 80. inhalatorium ostatecznie zamknięto, natomiast po kilku latach podjęto próbę udostępnienia części dawnych wyrobisk do ruchu turystycznego. Podziemną trasę turystyczną urządzono najpierw w zespole wyrobisk sztolni nr 9 dawnej kopalni „Liczyrzepa", w dolinie Jeleniej Strugi (ryc. 38). Po zamknięciu kopalni był on wykorzystywany jako obiekt szkoleniowy dla studentów górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Dzisiaj, na trasie o długości 1200 m wiodącej przez labirynt korytarzy można obejrzeć różne rodzaje wyrobisk kopalnianych, zbiory skał i minerałów oraz zapoznać się z historią miejscowego górnictwa od czasów Walonów po lata niemal współczesne. W 2010 r. została otwarta druga trasa turystyczna, w sztolniach nr 19 i 19a. Jej długość wynosi 1600 m, a jedną z atrakcji jest zwiedzanie pozostałości dawnego inhalatorium.

Wydobycie surowców skalnych na potrzeby budownictwa nigdy nie osiągnęło w Karkonoszach większych rozmiarów, dlatego próżno szukać tu dużych kamieniołomów. Granit pozyskiwano w okolicach Michałowic, na tzw. Złotym Widoku

Ryc. 38. W sztolni dawnej kopalni w Kowarach Podgórzu urządzono trasę turystyczną i inhalatorium

Ryc. 39. Zarastający kamieniołom granitu w Michałowicach

Ryc. 40. Zwietrzałe granity były do niedawna eksploatowane w żwirowni w Krzaczynie

(ryc. 39) i na grzbiecie Ostrosza koło Sobieszowa. W Karpaczu – Wilczej Porębie znajdują się stare kamieniołomy granitognejsów i hornfelsów, koło Jarkowic w Grzbiecie Lasockim wydobywano wapienie krystaliczne na potrzeby miejscowych wapienników. Na potrzeby przemysłu ceramicznego eksploatowano gniazda i żyły pegmatytowe, dostarczające skalenia.

Oprócz skał litych pozyskiwano także rozluźniony, zwietrzały granit – tzw. kaszę granitową, którą wykorzystywano przede wszystkim do budowy dróg. Zastępowała ona piasek i żwir, których naturalnych złóż w Karkonoszach nie ma. Wzdłuż leśnych dróg przecinających stoki karkonoskie często natknąć się można na zarośnięte, płytkie wyrobiska. Zobaczyć je można nawet w najwyższych partiach Karkonoszy, przy drodze grzbietowej na Równi pod Śnieżką i pomiędzy Szrenicą a Łabskim Szczytem. Największym z tych wyrobisk, jeszcze niedawno czynnym, była żwirownia w Krzaczynie u podnóża Kowarskiego Grzbietu (ryc. 40).

Wietrzenie granitu

Wszystkie skały, niezależnie od genezy, wystawione na działanie czynników atmosferycznych podlegają niszczącemu procesowi określanemu jako **wietrzenie**. Wskutek wietrzenia skały zmieniają swój skład i właściwości fizyczne, co objawia się nam zmianą barwy, utratą zwięzłości, pojawieniem się szczelin i ubytków na powierzchni. Czynnikiem sprawczym tych zmian jest głównie przedostająca się w głąb górotworu woda opadowa, wnikająca w spękania skalne i krążąca wzdłuż nich. Oddziałuje ona niszcząco na skałę, prowadząc do jej stopniowego rozpadu i przeobrażeń składu chemicznego wskutek częściowego lub całkowitego rozpuszczania niektórych związków chemicznych (minerałów) tworzących skałę.

W rzeczywistości wietrzenie to wiele różnych procesów i mechanizmów, za sprawą których twarde skały, takie jak granit czy gnejs, rozpadają się na gruz, piasek, a nawet są rozdrabniane do mikroskopijnych ziarenek iłu. W trakcie niektórych z tych procesów nie dochodzi do żadnych zmian w składzie mineralogicznym skały, a jedynie do jej rozdrobnienia na mniejsze fragmenty. Ten rodzaj wietrzenia jest określany jako **wietrzenie fizyczne** i może być spowodowany cyklicznymi zmianami temperatury skały, zamarzaniem wody w szczelinach i porach, wytrącaniem się kryształów soli z krążących wewnątrz skały roztworów, czy wzrostem korzeni drzew wzdłuż naturalnych pęknięć.

Inne procesy wietrzeniowe prowadzą do usunięcia ze skały pewnych związków chemicznych, w wyniku czego kosztem minerałów pierwotnych powstają różnorodne minerały wtórne. Mówimy wówczas o **wietrzeniu chemicznym**, które – szczegółowo rzecz ujmując – także obejmuje wiele różnych reakcji chemicznych. Najpowszechniejszy w polskich Karkonoszach granit składa się z różnych minerałów o różnej budowie wewnętrznej i różnej zawartości poszczególnych pierwiastków. Przykładowo, kwarc będący podstawowym budulcem granitu to pod względem chemicznym dwutlenek krzemu (SiO_2), czyli krzemionka. Skalenie mają o wiele bardziej złożoną budowę i są glinokrzemianami potasu, sodu i wapnia. Z kolei ciemny łyszczyk – biotyt, zawiera znaczącą ilość żelaza. Ponieważ skład poszczególnych minerałów jest różny, dlatego odmiennie reagują one na działanie wody krążącej w skale. Pewne minerały, jak na przykład skaleń wapniowy i biotyt, są mniej odporne i ulegają rozkładowi w pierwszej kolejności,

inne – jak skaleń potasowy, a przede wszystkim kwarc – są znacznie bardziej trwałe.

Proces wietrzenia ma ogromne znaczenie w ewolucji rzeźby powierzchni ziemi. Rozluźnienie i rozdrobnienie skały poprzedza dalsze procesy rzeźbotwórcze, zachodzące pod wpływem siły grawitacji, wody, wiatru czy lodu. Obecność wietrzenia jest praktycznie warunkiem koniecznym, aby te dalsze procesy mogły w ogóle zaistnieć. W Karkonoszach spotykamy się z efektami przeróżnych procesów wietrzeniowych, a najbardziej interesujące i wyraźne są one w granitowej części masywu. Należy podkreślić, że część z tych procesów zachodzi współcześnie, podczas gdy inne działały w różnych okresach geologicznej przeszłości Karkonoszy i obecnie są już nieaktywne, lecz pozostawiły po sobie świadectwo w postaci form rzeźby terenu powstałych za ich sprawą.

ZWIETRZELINY ZIARNISTE

Wędrując karkonoskimi ścieżkami, zwłaszcza w zaludnionym pasie Pogórza Karkonoskiego, często napotykamy wyrobiska i wykopy, w których jest odsłonięte granitowe podłoże. Przyglądając się bliżej odsłoniętej skale zobaczymy, że granit jest rozluźniony i kruchy. Nawet przy lekkim uderzeniu rozpada się on na mniejsze agregaty, a niekiedy jesteśmy w stanie rozdzielić go na poszczególne składniki mineralne używając wyłącznie rąk. Dostrzeżemy także, że różni się on kolorem od twardego, masywnego granitu budującego karkonoskie skałki. Ten ostatni jest ogólnie szary, natomiast rozpadający się granit z wyrobisk jest najczęściej brunatny (ryc. 41). Zwietrzałą, ale wciąż pozostającą w miejscu skałę nazywamy **zwietrzeliną**, a szczególny rodzaj zwietrzelin występujący w granitach karkonoskich – **zwietrzeliną ziarnistą**. Można też spotkać się z nieformalnym określeniem „kasza granitowa".

Zwietrzeliny ziarniste granitu karkonoskiego posiadają liczne cechy charakterystyczne. Przede wszystkim dobrze zachowują one strukturę skały pierwotnej, stąd mylne wrażenie, że mamy do czynienia ze świeżym granitem. W obrębie zwie-

Ryc. 41. W odsłonięciu w Karpaczu Górnym dobrze widać nierównomierny postęp wietrzenia granitu

Ryc. 42. Brunatna barwa zwietrzeliny granitu jest związana z obecnością związków żelaza

trzeliny widoczne są powierzchnie spękań, często jeszcze dodatkowo podkreślone rdzawobrunatnymi wytrąceniami związków żelaza (ryc. 42). Rozkruszony materiał skalny składa się głównie z okruchów o wielkości odpowiadającej ziarnom piasku (0,1-2,0 mm) i żwiru (powyżej 2 mm), mniejsze okruchy pyłu, a zwłaszcza iłu są rzadkością. Zmiany mineralogiczne w skale są niewielkie. Kwarc i skalenie potasowe zachowują się w stanie niezmienionym, co najwyżej są dodatkowo spękane. Bardziej zmienione są plagioklazy i biotyt, wokół których narastają brunatne obwódki żelaziste. Ich obecność wskazuje, że rozpoczął się już proces usuwania żelaza z ich struktury wewnętrznej, a część uwolnionego żelaza wytrąca się w przestrzeniach pomiędzy poszczególnymi ziarnami mineralnymi. W trakcie szczegółowych analiz mineralogicznych wykazano jednak, że udział ilościowy minerałów wtórnych w zwietrzelinach ziarnistych nie przekracza 10%. Głównym minerałem wtórnym jest smektyt, a więc produkt mało zaawansowanych zmian wietrzeniowych. Jedynie w nielicznych odsłonięciach i w śladowych ilościach stwierdzono występowanie kaolinitu, czyli minerału typowego dla długo trwających procesów wietrzeniowych, zachodzących w ogólnie ciepłym i wilgotnym klimacie. Karkonoskie zwietrzeliny ziarniste są zatem produktem głównie wietrzenia fizycznego.

Grubość zwietrzelin ziarnistych w Karkonoszach jest zróżnicowana. W najgłębszych wyrobiskach, na przykład koło dawnej stacji kolejowej Kowary

Ryc. 43. Obecności silnie zwietrzałego granitu zawdzięcza swoje powstanie lej źródliskowy Białego Jaru. Rozluźnienie skały sprawia też, że współczesne procesy erozji działają tu z dużą intensywnością

Ryc. 44. Głęboka kieszeń zwietrzałego granitu odsłonięta na ścianie Małego Śnieżnego Kotła sąsiaduje z masywnym, niezwietrzałym granitem

Średnie, nad Krzaczyną (ryc. 40) lub przy strzelnicy sportowej w Karpaczu, widoczna jest warstwa zwietrzała o grubości około 10 m. Ponieważ przejście w masywną skałę podłoża nie jest widoczne, można sądzić, że jej rzeczywista grubość dochodzi do 15 m. Częściej jednak spotykamy się z grubościami rzędu 3-5 m. Istnieje ogólna zależność między nachyleniem powierzchni a grubością zwietrzelin, która maleje wraz ze zwiększającym się spadkiem terenu. Także wraz ze wzrostem wysokości bezwzględnej grubość pokryw zwietrzelinowych zmniejsza się, dlatego w górnych partiach stoków karkonoskich jest ona już stosunkowo niewielka. Są jednak wyjątki od tej reguły. Jednym z nich jest Biały Jar, gdzie grubość warstwy rozluźnionego granitu wynosi przynajmniej 10 m (ryc. 43). Podobną „kieszeń" obserwujemy na południowej ścianie Małego Śnieżnego Kotła (ryc. 44). Przyczyna leży zapewne w pierwotnym znacznym spękaniu skały na liniach uskoków, co bardzo ułatwiło wodzie dostęp do wnętrza masywu skalnego. Zwietrzelina ziarnista występuje nawet na Równi pod Śnieżką, co można zaobserwować w starych wyrobiskach przy szlaku grzbietowym przed Śląskim Domem. W przeszłości pozyskiwano ją do budowy drogi prowadzącej grzbietem Karkonoszy.

Wiek zwietrzelin ziarnistych nie został jednoznacznie określony. Zachowana struktura skały, ograniczone zmiany składu mineralogicznego, śladowe ilości kaolinitu i ogólnie niewielka grubość, przynajmniej w porównaniu ze starymi zwietrzelinami granitowymi na Przedgórzu Sudeckim (gdzie grubości rzędu 30-50 m nie są niczym niezwykłym) wskazują, że w kategoriach czasu geologicznego są one raczej młode. Nie wydaje się, aby były one starsze niż pliocen (5,5 mln lat), a pokrywy o grubości 2-3 m powstały zapewne w plejstocenie, w ostatnich 2 milionach lat. Pro-

ces tworzenia się zwietrzelin ziarnistych jest zresztą stale aktywny.

WIETRZENIE SELEKTYWNE

Wiele odsłonięć zwietrzelin ziarnistych ujawnia jeszcze jedną znaczącą cechę, a mianowicie niejednakowy stopień rozluźnienia granitu w różnych miejscach. Często obok siebie występują partie znacznie zwietrzałe, których pokruszenie dłonią nie sprawia trudności, oraz partie wyraźnie twardsze, dotknięte wietrzeniem w nieznacznym zakresie. Granica między nimi bywa bardzo ostra. Te mniej zwietrzałe fragmenty przybierają różne kształty: od pojedynczych brył po duże zwarte skupiska. Zróżnicowanie efektów wietrzenia jest także widoczne, gdy porówna się stan zachowania granitu i przecinających go żył aplitowych. Te drugie są zwykle tylko nieznacznie spękane i w przeciwieństwie do granitu rozpadają się na kanciaste bloczki (ryc. 45).

Miejscem, w którym efekty selektywnego wietrzenia granitu są najłatwiejsze do obserwacji, jest duże sztuczne odsłonięcie koło Miłkowa, u podnóża wschodnich Karkonoszy, położone przy szosie łączącej Jelenią Górę z Karpaczem. Mimo częściowego zniszczenia wskutek wybierania materiału jest ono wciąż znakomitą ilustracją interesującego nas procesu. Uwagę zwracają przede wszystkim duże, nieco zaokrąglone bryły twardego granitu tkwiące na różnych głębokościach w ziarnistej zwietrzelinie. Mają one zróżnicowane rozmiary, od 30-40 cm do ponad 1 m długości (ryc. 46). Niektóre znajdują się tuż obok siebie, inne występują w izolacji i są ze wszystkich stron otoczone rozluźnionym granitem. W jednym miejscu bryły zalegają jedna na drugiej, tworząc skupisko o wysokości około 5 m. W dalszych rozdziałach tej książki zostanie pokazane, że właśnie selektywność wietrzenia jest odpowiedzialna za powstanie jednego z najbardziej charakterystycznych elementów karkonoskiego krajobrazu, a mianowicie skałek.

Ryc. 45. Tempo wietrzenia granitu porfirowatego jest dużo szybsze niż aplitu

Ryc. 46. Trzony bryłowe tkwiące w zwietrzelinie są najlepszym dowodem selektywności wietrzenia granitu

Przyczyny selektywności wietrzenia tkwią w znacznym zróżnicowaniu samego granitu. Gęstość spękań, wielkość minerałów, skład chemiczny i mineralogiczny – wszystkie te cechy różnicują się znacząco, stąd odmienna jest podatność na wietrzenie różnych partii granitu. Fragmenty masywne, rzadko spękane, bogate w kwarc, ulegają niszczącym wpływom wietrzenia znacznie

Ryc. 47. Góry Sokole zawdzięczają swoją obecność większej odporności granitu aplitowego na wietrzenie

Ryc. 48. Grupa kociołków wietrzeniowych na Zamczysku w dolinie Myi

wolniej niż partie gęsto spękane, zawierające dużo niezbyt odpornego biotytu i skaleni wapniowych. Dlatego pozostają one w zwietrzałej masie na podobieństwo rodzynków w cieście.

Na selektywność wietrzenia można spojrzeć też w szerszej skali. Granit drobnoziarnisty jest na ogół bardziej wytrzymały niż gruboziarniste odmiany porfirowate. Jest znaczące, że w obszarach jego występowania grubość pokryw zwietrzelinowych jest bardzo mała, na ogół nie przekraczając 2 m. Przyglądając się szczegółowej mapie geologicznej Karkonoszy i sąsiadującej z nimi Kotliny Jeleniogórskiej dostrzeglibyśmy, że w miejscach występowania odmian drobnoziarnistych znajdują się wzniesienia, natomiast otaczające je obniżenia są podścielone granitem gruboziarnistym. W Karkonoszach przykładami takich litologicznie uwarunkowanych wzniesień są Szrenica i Łabski Szczyt. Kolejnych przykładów dostarcza sąsiadująca z Karkonoszami od północy Kotlina Jeleniogórska. Wybijające się w ich krajobrazie Góry Sokole z Krzyżną Górą (654 m) i Sokolikiem (642 m) są zbudowane z wytrzymałego granitu aplitowego i wznoszą się niemal 200 m ponad obniżenie Karpnik, gdzie występuje granit porfirowaty (ryc. 47).

MIKROFORMY

Procesy wietrzeniowe są również odpowiedzialne za powstanie osobliwych form obecnych na odsłoniętych powierzchniach granitowych, zwłaszcza na skałkach.

Niewątpliwie najbardziej intrygującymi wśród nich są owalne lub koliste, na ogół zamknięte zagłębienia na poziomych, płaskich powierzchniach, określane jako **kociołki wietrzeniowe** (ryc. 48). Już w połowie XIX wieku zwrócono uwagę na ich wyjątkowo regularny kształt, w którym dopatrywano się śladów ludzkiej ręki. Ich powstanie wiązano z pradawnymi kultami pogańskimi. Miały one być specjalnie wykuwane, aby służyć jako misy ofiarne do składania krwawych ofiar zwierzęcych, a może i ludzkich. W celu uwiarygodnienia tej hipotezy wskazywano na obecność form rynnowych, biorących początek w kociołkach, a służących jakoby do odprowadzania krwi ofiar. W późniejszym okresie, pod koniec XIX w., lansowana była hipoteza o lodowcowym pochodzeniu kociołków. W owym czasie wiedziano już, że w Karkonoszach występowały lodowce górskie, ale toczono naukowe dyskusje odnośnie ich zasięgu. W kręgach naukowych znany był także odkryty w 1872 roku w szwajcarskiej Lucernie „ogród lodowcowy", gdzie spod piasków i żwirów naniesionych przez lodowce odsłonięto kilkanaście regularnych, głębokich kotłów, wypełnionych częściowo otoczakami. Ich powstanie powiązano ze żłobiącą działalnością wód krążących w lodowcu i spadających lodowymi studniami na skalne podłoże. W taki sam sposób usiłowano tłumaczyć powstanie kociołków na skałkach Karkonoszy i Kotliny Jeleniogórskiej, twierdząc równocześnie, że jęzory karkonoskich lodowców schodziły z gór i wypełniały całą położoną u ich stóp kotlinę. Wkrótce później wybitny niemiecki geograf Joseph Partsch udowodnił jednak, że lodowce północnego stoku Karkonoszy nie miały więcej niż 2-3 km długości i do Kotliny Jeleniogórskiej nigdy nie docierały.

Obecnie nie ma już wątpliwości, że kociołki powstają w wyniku selektywnego wietrzenia powierzchni skalnych, a w ich rozwoju ważną rolę odgrywa wypełniająca je woda (ryc. 49). Jej oddziaływanie na skałę jest wielorakie. Najważniejsze są zapewne procesy biochemiczne, towarzyszące rozkładowi dostających się do kociołka części roślin: liści, gałązek, igieł. Powstające wówczas kwasy huminowe działają na skałę wybitnie destrukcyjnie. W okresie zimowym do niszczenia ścian kociołka i jego rozrostu przyczynia się wielokrotne zamarzanie i rozmarzanie wody

Ryc. 49. Wypełniony wodą i resztkami roślinności kociołek na Zbójeckich Skałach a masywie Chojnika

Ryc. 50. Kociołki wietrzeniowe na Kotliskach

Ryc. 51. Waloński Kamień w Przesiece (fot. R. Knapik)

Ryc. 52. Największy z karkonoskich kociołków wietrzeniowych na Drewniaku koło Michałowic

wnikającej w szczelinki. W kociołkach o suchym wnętrzu rozpad skały zachodzi pod wpływem działania porostów, a także wskutek zmian temperatury wskutek nagrzewania i wychładzania powierzchni. A jak tworzą się inicjalne zagłębienia, które następnie rozrastają się wskutek operowania wyżej wymienionych mechanizmów? Nie jest to całkowicie wyjaśnione, ale najprawdopodobniej powstają one w miejscach, gdzie dochodziło do złuszczeń zewnętrznej powierzchni skały lub też tam, gdzie skała granitowa zawierała więcej łatwo wietrzejących minerałów i przez to była mniej odporna.

Kociołki w Karkonoszach występują w wielu miejscach, indywidualnie i w większych skupiskach. Jedno z największych, liczące ponad 20 form częściowo połączonych ze sobą, znajduje się w Jagniątkowie, na skałce Kotliska (ryc. 50). Inne warte zapamiętania miejsca to Zbójeckie Skały pod Chojni-

kiem, Pielgrzymy i Paciorki. Osobliwym przykładem jest Waloński Kamień w Przesiece (ryc. 51). Kociołki zobaczyć można na pionowej powierzchni bloku, który zsunął się ze szczytu niskiej skałki. Największy kociołek wietrzeniowy w polskiej części Karkonoszy znajduje się na Drewniaku koło Michałowic. Ma on 1,6 m średnicy i 1,1 m głębokości (ryc. 52). Zdecydowana większość kociołków nie przekracza jednak 0,7 m średnicy i 0,3 m głębokości.

W przeciwieństwie do kociołków, **żłobki** występują na pionowych ścianach skalnych. Mają postać rynien o różnej długości, wydłużonych zgodnie z linią największego spadku. Ich szerokość wynosi najczęściej 15-30 cm, a głębokość 10-20 cm. Powyżej części z nich, na płaskich powierzchniach szczytowych, znajdują się kociołki wietrzeniowe, z których epizodycznie może przelewać się woda. Uważnie obserwując żłobki dostrzeżemy, że ich dna są na ogół wilgotne, porośnięte przez porosty, a nawet mchy, co wskazuje, że stanowią one drogi spływu wody opadowej. Zmiany wilgotności skały i niszczące oddziaływanie roślinności są odpowiedzialne za powiększanie się żłobków. Formy te są jednak znacznie rzadsze niż kociołki. Ich przykłady można obserwować między innymi na Pielgrzymach (ryc. 53) i urwiskach skalnych poniżej ruin zamku Chojnik.

Warto wspomnieć o jeszcze jednym, osobliwym wymodelowaniu powierzchni granitowych bloków skalnych. To **sieci spękań poligonalnych**, tworzone

Ryc. 53. Żłobki na Pielgrzymach

Ryc. 54. Osobliwe poligonalne spękania granitu na Przesieckiej Górze

przez wieloboki różnej wielkości i kształtu (ryc. 54). Spękania te nie mają nic wspólnego z ciosem i pojawiają się wyłącznie w najbardziej zewnętrznej części skalnego bloku, zanikając na głębokości kilku centymetrów. Ich powstanie nie jest w pełni wyjaśnione, ale nawiązując do wyników badań prowadzonych w innych obszarach granitowych świata można sądzić, że są one wynikiem zmian objętościowych: przemiennego pęcznienia i kurczenia się warstwy zewnętrznej wskutek zmian wilgotności. Wyjątkowym obiektem jest Szachownica w dolinie Kaczej między Podgórzynem a Borowicami. Jest to niewielki luźny blok granitu z żyłą aplitu, spękanego w regularną kwadratową siatkę (ryc. 18). Niegdyś obok leżała druga część bloku, zawierająca „negatyw" szachownicowego wzoru. Niestety, w niewyjaśnionych okolicznościach zniknęła.

Powierzchnie zrównania i góry wyspowe

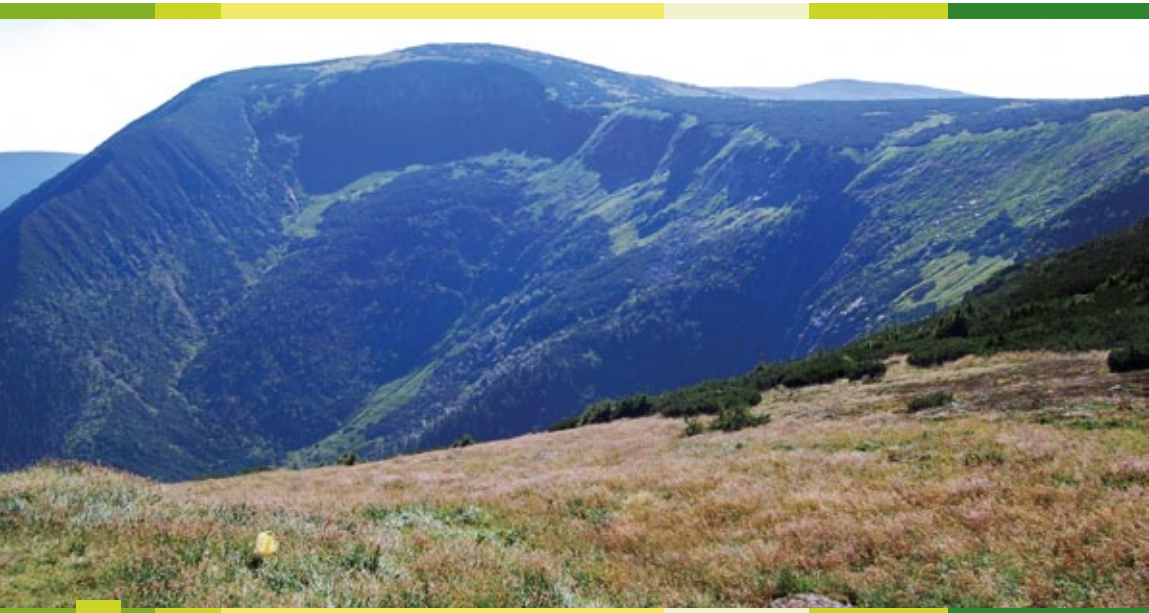
Wyjątkową cechą karkonoskiego krajobrazu jest obecność rozległych, wyrównanych wierzchowin. Karkonosze oglądane z daleka już wyglądają nietypowo jak na swoją znaczną wysokość, gdyż zamiast postrzępionej grani widzimy wyrównaną linię grzbietową z nielicznymi tylko bardziej wyrazistymi wierzchołkami (ryc. 55). Wrażenie potęguje się, gdy znajdziemy się w najwyższych partiach Karkonoszy. W ich wschodniej części, pomiędzy Śnieżką na wschodzie, Smogornią na

Ryc. 55. Wyrównana wierzchowina Karkonoszy widziana z Krzyżnej Góry

zachodzie i Luční horą na południu, na wysokości 1400-1450 m n.p.m. rozciąga się niemal idealnie równa powierzchnia, gdzie nachylenia terenu rzadko przekraczają 5°. Poszczególnym fragmentom tego zrównania nadano osobne nazwy własne: Równia pod Śnieżką, Bílá louka i Čertová louka, choć granice między nimi są jedynie umowne (ryc. 56). Charakterystyczną cechą tego

Ryc. 56. Rozległa powierzchnia Równi pod Śnieżką

Ryc. 57. Zrównania wierzchowinowe zachodnich Karkonoszy



Ryc. 58. Równię pod Śnieżką podcina od wschodu głęboki kocioł polodowcowy Úpská jáma

zrównania jest obecność torfowisk, które jednocześnie należą do najcenniejszych składników środowiska przyrodniczego Karkonoszy, o randze międzynarodowej. Na zrównaniach wschodnich Karkonoszy największym z nich jest torfowisko Úpy, położone w większości po stronie czeskiej, a grubość warstwy torfu dochodzi w nim do kilku metrów. Doskonałe warunki dla rozwoju torfowisk stworzyła z jednej strony rzeźba terenu – płaski teren znacznie utrudnia odpływ wody, a granit jest skałą słabo przepuszczalną, z drugiej – warunki klimatyczne. Wysokie opady i duża objętość wody magazynowana w zimie w pokrywie śnieżnej także przyczyniły się do dużego rozprzestrzenienia torfowisk.

Z podobnymi zrównaniami spotkamy się w zachodniej części Karkonoszy. Pomiędzy Łabskim Szczytem na północy i Kotelem na południu, na wysokości 1300-1450 m n.p.m., rozciąga się prawie równa powierzchnia, z płytkim zaklęśnięciem terenu w środku, także zajętym przez torfowiska. Niemal cały ten teren jest położony po czeskiej stronie Karkonoszy, dlatego też nie posiada polskiej nazwy (czeskie nazwy poszczególnych fragmentów tego zrównania to Labská louka, Mumlavská louka, Pančavská louka, Hančová louka i Harrachová louka), ale jest znakomicie widoczny ze szlaku prowadzącego ze Szrenicy nad Śnieżne Kotły (ryc. 57). W północnej części tego zrównania znajdują się źródła Łaby, będące popularnym celem górskich wędrówek.

W południowych Karkonoszach, zbudowanych ze skał metamorficznych, wierzchowinowe zrównania nie są już tak okazałe i rozległe. Największe z nich wieńczy wierzchołek Černej hory nad Jańskimi Łaźniami i podobnie jak ma to miejsce pod Śnieżką i Łabskim Szczytem, jego spora część jest zajęta przez wysokogórskie torfowisko. W polskiej części nie-granitowych Karkonoszy tak rozległych zrównań nie ma, ale warto zwrócić na uwagę na wyrównanie linii grzbietowych Czarnego Grzbietu i Kowarskiego Grzbietu. Na prawie dwukilometrowym odcinku szlaku łączącego Czoło ze Skalnym Stołem różnica wysokości wynosi zaledwie 20 m.

Jak doszło do powstania wyrównanej rzeźby na takiej wysokości i kiedy się to dokonało? Tak sformułowane pytanie jest właściwie źle postawione, o czym łatwo się przekonać patrząc na zrównanie Równi pod Śnieżką ze Śnieżki lub spod Luční hory (ryc. 58). Widzimy bowiem, że płaską wierzchowinę podcinają skaliste ściany kotłów polodowcowych, z których stale sypią się odłamki skalne i schodzą gruntowo-śnieżne lawiny. Od zachodu z kolei wcinają się w nią ostrymi wciosowymi dolinami Biała Łaba i jej dopływ – Stříbrná bystřina. Podobnie jest w części zachodniej Karkonoszy, gdzie duży kocioł polodowcowy w zamknięciu doliny Łaby podcina zrównanie wierzchowinowe. Obserwacje te prowadzą nas do wniosku, że w obecnych warunkach zasięg zrównanych powierzchni stopniowo się zmniejsza wskutek cofania ścian kotłów polodowcowych i erozji potoków. W jakich warunkach może zatem dojść do powstania zrównań? Przede wszystkim, na dużo niższej wysokości nad poziom morza, gdzie erozyjna działalność rzek jest nieznaczna i praktycznie ograniczona do erozji bocznej, czyli poszerzania doliny. W przeciwnym razie, czyli przy większej wysokości, rzeki wcinają się w głąb (nazywamy ten proces erozją wgłębną), za erozją postępuje przemieszczanie zwietrzeliny ze stoków pod wpływem siły ciężkości i nie ma możliwości zrównywania terenu. Stąd już blisko do ważnej konkluzji – zrównania dzisiaj obecne w najwyższych partiach Karkonoszy musiały powstać, gdy Karkonosze jako góry jeszcze nie istniały! Inaczej mówiąc, na grzbiecie Karkonoszy oglądamy pozostałości (relikty) dawnej rzeźby terenu, która istniała w tym miejscu zanim siły wewnętrzne drzemiące w skorupie ziemskiej zaczęły „wypychać" masyw karkonoski w górę.

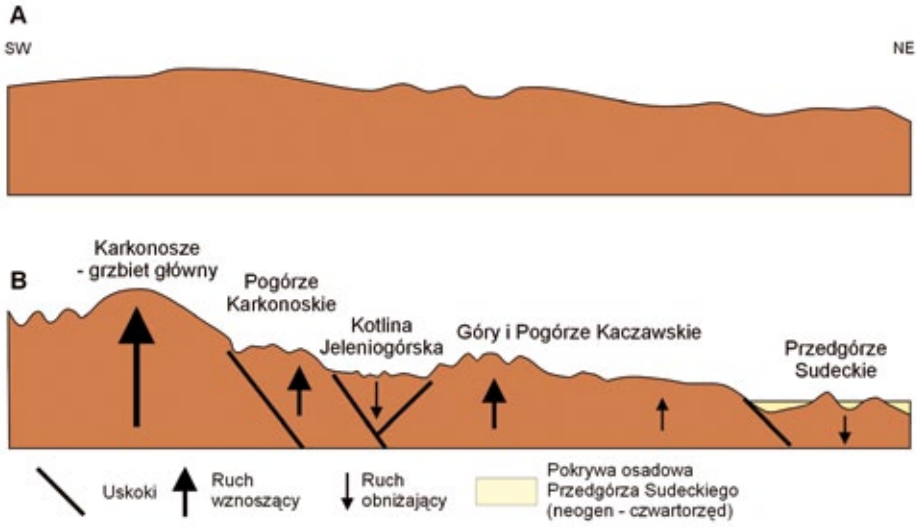
Ryc. 59. Łabski Szczyt

Odpowiedź na drugie pytanie – kiedy powstały zrównania – ściśle łączy się zatem z pytaniem o wiek tektonicznego wydźwignięcia Karkonoszy. Wiemy już z wcześniejszych rozdziałów, że na to pytanie nauka nie znalazła jeszcze jednoznacznej, w pełni zadowalającej odpowiedzi. Skrupulatne gromadzenie i łączenie ze sobą różnych obserwacji, nie tylko z Karkonoszy, ale całych Sudetów i ich przedpola, pozwoliło jednak na odtworzenie i umiejscowienie na skali czasu geologicznego głównych etapów rozwoju rzeźby tej części Masywu Czeskiego. Sądzimy zatem, że dźwiganie Karkonoszy rozpoczęło się co najwyżej kilkanaście milionów lat temu, w epoce zwanej miocenem, i uległo przyspieszeniu podczas kilku ostatnich milionów lat. Wierzchowinowe zrównania Karkonoszy są więc reliktem krajobrazu, który istniał na terenie dzisiejszych zachodnich Sudetów przed ponad 15 milionami lat.

Podejmowano różne próby odtworzenia wyglądu ówczesnej rzeźby i warunków, w jakich się ona tworzyła. Z danych o klimacie dawnych okresów geologicznych wiemy, że w paleogenie (zobacz ryc. 5) i miocenie był on cieplejszy i na ogół bardziej wilgotny. To wtedy w zabagnionych dolinach dużych, leniwie płynących rzek rosły bujne podzwrotnikowe lasy, z których później powstały złoża węgla brunatnego. Był to również czas intensywnego wietrzenia chemicznego i szybkiego rozkładu twardych skał do piaszczysto-ilastej zwietrzeliny. Takie warunki, a więc mała wysokość bezwzględna, ciepły i wilgotny klimat oraz duża intensywność wietrzenia, są optymalne dla powstawania zrównań. Nie należy jednak zapominać o ważnym czynniku, którym jest zróżnicowana odporność skalnego podłoża. Proces wietrzenia nie przebiega z jednakową intensywnością w każdym miejscu. W skałach twardszych bądź chemicznie bardziej trwałych zachodzi ono wolniej i tam obniżanie powierzchni jest wolniejsze. Uważa się więc, że ówczesna rzeźba przypominała dzisiejsze afrykańskie czy południowoamerykańskie sawanny – z rozległych zrównanych powierzchni wyrastały punktowo lub grupowo skaliste wzniesienia zbudowane ze skał odporniejszych, nazywane górami wyspowymi. Odnieśmy to teraz do wierzchowiny karkonoskiej. W jej miejscu rozciągało się wówczas

rozległe zrównanie z wystającymi ponad nią górami wyspowymi zbudowanymi z odporniejszych rodzajów skał: hornfelsową pra-Śnieżką, aplitowym pra-Wielkim Szyszakiem i pra-Łabskim Szczytem z granitu drobnoziarnistego (ryc. 59). Ku północy liczba wzniesień wnoszących się nad powierzchnię zrównania rosła – to dzisiejsze dno Kotliny Jeleniogórskiej, gdzie bogactwo typów granitu, obecność skał żyłowych oraz znaczne zróżnicowanie stylu i gęstości spękań umożliwiło powstanie dużo bardziej urozmaiconego krajobrazu. Ruchy tektoniczne w najmłodszej geologicznej przeszłości doprowadziły do bardzo nierównomiernego wydźwignięcia tej starej powierzchni terenu. W Karkonoszach znalazła się ona na wysokości ponad 1200 m n.p.m. i zaczęła być szybko niszczona przez erozję, w Kotlinie Jeleniogórskiej jest położona na wysokości 300-400 m n.p.m. i zachowała się w stanie mało zmienionym, natomiast na Przedgórzu Sudeckim została ona wręcz obniżona i częściowo przykryta młodszymi osadami rzecznymi i lodowcowymi (ryc. 60). Występuje tam w pozycji kopalnej, a w dzisiejszym krajobrazie widzimy tylko dawne góry wyspowe, których najdoskonalszym przykładem jest Ślęża.

Wysoko położone zrównania nie występują wyłącznie w Karkonoszach. Podobnie wygląda wiele innych masywów Średniogórza Europejskiego, gdyż wszystkie one miały podobną, wspólną historię rozwoju rzeźby terenu. Po okresie długotrwałego zrównywania rzeźby w starszym i środkowym kenozoiku przyszedł czas zróżnicowanych ruchów tektonicznych i wydźwignięcia tych reliktowych krajobrazów na różne wysokości. O wyjątkowości Karkonoszy stanowi fakt najwyższego położenia tych zrównań w pasie Średniogórza, a ich występowanie powyżej górnej granicy lasu sprawia, że można je podziwiać w całej okazałości.



Ryc. 60. Schemat ukazujący rozczłonkowanie dawnej powierzchni terenu wzdłuż uskoków i jej nierównomierne podniesienie bądź obniżenie

Jak powstały karkonoskie skałki

Skałki należą do najbardziej charakterystycznych elementów karkonoskiego krajobrazu. Występują głównie w granitowej części masywu, niezależnie od wysokości bezwzględnej. Spotykamy je zarówno na Pogórzu Karkonoskim, na spłaszczeniach w obrębie północnego stoku Grzbietu Śląskiego, jak i na wierzchołkach niektórych karkonoskich szczytów (ryc. 61). Łącznie większych grup skalnych stwierdzono w Karkonoszach ponad 100, a najwyższe z nich osiągają 25-30 m wysokości. Te najbardziej okazałe, z daleka widoczne, o nierzadko fantazyjnych kształtach doczekały się własnych nazw, nawiązujących do ich wyglądu lub związanych z nimi ludowych podań. Wymieńmy chociażby Końskie Łby, Twarożnik, Słonecznik czy Pielgrzymy. Występowanie skałek granitowych nie ogranicza się zresztą do Karkonoszy. Powszechne są one także w obszarach przyległych: w Kotlinie Jeleniogórskiej, w zachodniej części Rudaw Janowickich i w Górach Izerskich, wszędzie tam, dokąd sięga intruzja granitowa.

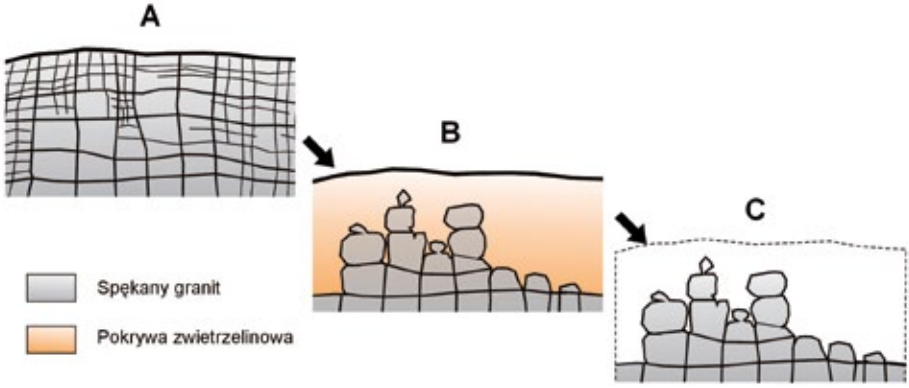
We wschodniej części Karkonoszy, zbudowanej ze skał metamorficznych, skałek jest wyraźnie mniej i nie są one już tak efektowne. Największe z nich to granitognejsowe Krucze Skały w Karpaczu Wilczej Porębie, wznoszące się nad dnem potoku Płomnica w postaci wyniosłych baszt o wysokości ponad 20 m. Mniejsze formy spotkać można na zboczach Sowiej Doliny (ryc. 62), na Wołowej Górze, w dolinie Maliny i Jedlicy nad Kowarami.

Ryc. 61. Wierzchołkowa grupa skalna na Śląskich Kamieniach (fot. R. Knapik)

Ryc. 62. Jedna z wielu łupkowych skałek na zboczach Sowiej Doliny (fot. R. Knapik)

Powstanie skałek intrygowało badaczy karkonoskich od dawna. Niewątpliwy był związek tych form ze sposobem spękania granitu, na co dobitnie zwrócił uwagę już Georg Berg, autor pierwszych szczegółowych map geologicznych Karkonoszy. W 1927 r. pisał on: „(...) kto zna krajobraz granitowy, ten wie, że tworzenie się skałek nawet w najmniejszych szczegółach zostało uwarunkowane prostopadłościenną oddzielnością spowodowaną przez system trzech wzajemnie prostopadłych szczelin, które przy rozpoczętym wietrzeniu powoduje rozpad skały na bloki" (tłum. J. Czerwiński). W zależności od przebiegu i gęstości spękań, skałki przybierają różne kształty. Część z nich to dość regularne, zwarte baszty i mury skalne o kanciastym pokroju, nierzadko o długości kilkudziesięciu metrów. W innych przypadkach ze zwartego cokołu wyrastają zwężające się ku górze wieże i iglice. Na zboczach głęboko wciętych dolin, np. w dolinie Szklarki poniżej wodospadu, przeważają z kolei długie ściany o wysokości do 15-20 m oraz wysunięte ze zboczy baszty. Jeszcze inne skałki to raczej bezładne nagromadzenia spiętrzonych na sobie bloków, powszechne zwłaszcza na Pogórzu Karkonoskim, a także w przyległej Kotlinie Jeleniogórskiej. Takie rumowiskowe skałki osiągają do 3-5 m wysokości.

Stwierdzenie, że kształt skałek naśladuje cechy systemu spękań nie daje jeszcze odpowiedzi na pytanie o genezę tych charakterystycznych dla Karkonoszy form rzeźby. W tym celu musimy wrócić do naszych wcześniejszych rozważań nad wietrzeniem, a zwłaszcza nad selektywnością wietrzenia. Wiemy już, że wietrzenie granitu i tworzenie zwietrzeliny nie przebiega we wszystkich miejscach w ten sam sposób i w identycznym tempie. Jest to związane ze zróżnicowaną gęstością spękań, ale także różnicami w zawar-



Ryc. 63. Schemat przedstawia, jak powstała większość karkonoskich skałek

tości minerałów łatwiej ulegających rozkładowi: plagioklazów i biotytu (ryc. 63A). Konsekwencją jest niejednakowa grubość zwietrzeliny – obok siebie występują miejsca, gdzie granit jest rozłożony do głębokości nawet 10-15 m oraz takie, gdzie jest on nienaruszony przez wietrzenie (ryc. 63B). Można powiedzieć, że jest to etap przygotowawczy do powstania skałki – tkwi ona jeszcze zagrzebana w zwietrzelinie, ale jest już praktycznie gotowa do ukazania się na powierzchni. Eksploatacja zwietrzelin granitowych w Miłkowie ujawniła istnienie właśnie takiej formy. Aby doszło do odsłonięcia skałki, potrzebna jest jednak istotna zmiana w środowisku przyrodniczym. Tworzenie zwietrzeliny musi być zatrzymane lub znacznie spowolnione, a równocześnie znacznie wydajniej muszą zacząć działać procesy erozji. Wtedy dochodzi do wypreparowania skałki (ryc. 63C). Badacze rzeźby granitowej Karkonoszy sądzą, że głównym okresem wyodrębniania się skałek był plejstocen (tzw. epoka lodowa). W ówczesnych warunkach surowego zimnego klimatu przyrost ziarnistej zwietrzeliny zachodził powoli, a brak roślinności i okresowe rozmarzanie gruntu sprzyjały przemieszczeniom zwietrzeliny w dół stoku pod wpływem siły ciężkości. Część skałek jest jednak zapewne jeszcze starsza, a ożywienie erozji było skutkiem wydźwignięcia zrębów Karkonoszy, Gór Izerskich i Rudaw Janowickich w neogenie, o czym była mowa we wcześniejszych rozdziałach. Jest wreszcie bardzo prawdopodobne, że najwyższe skałki – te przekraczające 20 m wysokości – były odsłaniane wieloetapowo. Przykładowo, na Pielgrzymach dobrze widać, że górne partie skałek są znacznie bardziej dotknięte przez wietrzenie i dawno już straciły swój pierwotny kanciasty pokrój. W partiach dolnych granitowy masyw jest znacznie bardziej zwarty (ryc. 64).

Poniżej zamieszczono krótkie opisy dwudziestu bardziej znanych karkonoskich skałek, położonych przy szlakach turystycznych, bądź dobrze z nich widocznych.

- **Krucze Skały** w Szklarskiej Porębie – to zespół baszt i urwisk z granitu porfirowatego na zboczu doliny Kamiennej powyżej Szklarskiej Po-

Ryc. 64. Pielgrzymy

ręby. Ku rzece opadają one ścianami o wysokości 20–25 m i są rozdzielone na kilka mniejszych grup skalnych, oddzielonych głębokimi rozpadlinami. Kanciaste kształty skałek nawiązują do głównych kierunków spękań. Na skałkach powszechnie występują kociołki wietrzeniowe, zarówno typu zamkniętego, jak i półotwartego, w położeniu przykrawędziowym, o długości do 1 m. Część z nich jest wypełniona wodą. Na ścianach skałek są także obecne nieregularne rynny i żłobki, niekiedy biorące początek z wyżej leżących kociołków. U podnóża skałek znajduje się duże rumowisko oderwanych fragmentów skały, tworzące głazowy próg w korycie Kamiennej.

- **Końskie Łby** – to charakterystyczna, widoczna ze Szklarskiej Poręby sporych rozmiarów grupa skałek granitowych na północnych stokach Szrenicy, w pobliżu górnej stacji wyciągu krzesełkowego. Wysokość sięga 10 m. Nazwa pochodzi oczywiście od kształtu skałek, nawiązującego do zapadających ku północy powierzchni ciosu pokładowego.

- **Trzy Świnki** – trzy oddzielne zamczyska skalne są położone na południowych stokach Szrenicy, przy czerwonym szlaku turystycznym, który przechodzi między nimi (ryc. 65). Osiągają 8 m wysokości. Granit jest gęsto poprzecinany żyłami aplitu, które są miejscami spękane w regularną kostkę przypominającą wyglądem szachownicę.

- **Kukułcze Skały** – duża grupa skalna na wysokości 1100 m n.p.m., przy drodze ze Szklarskiej Poręby do schroniska „Pod Łabskim Szczytem".

Ryc. 65. Jedna ze skałek tworzących grupę Trzy Świnki, przy szlaku ze Szrenicy nad Śnieżne Kotły

Ryc. 66. Kukułcze Skały

Składa się z dwóch masywnych baszt o wysokości kilkunastu metrów, pomiędzy którymi w rozpadlinie skalnej stoi wąski, lecz wysoki blok (ryc. 66). Jeszcze niedawno miał on cechy chybotka i mógł być wprawiony w ruch. Poniżej, w górnoreglowym borze znajdują się kolejne, nieco niższe skałki, schodzące pasem do dna doliny Szrenickiego Potoku.

- **Borówczane Skały** – jedna z większych grup skalnych w Karkonoszach, wyrastająca ze spłaszczenia stokowego na wysokości 1040-1050 m n.p.m. na północ od schroniska „Pod Łabskim Szczytem" i dobrze z niego widoczna. Ma postać skalnego zamczyska, złożonego z kilku osobnych murów i baszt o wysokości do 15 m. Doskonale ilustrują one zależność kształtu skałki od cech systemu spękań (ryc. 67). Na górnych powierzchniach granitowych baszt występują liczne kociołki wietrzeniowe. Borówczane Skały leżą w oddaleniu od

Ryc. 67. Fragment Borówczanych Skał

Ryc. 68. Osobliwy kształt Twarożnika

Ryc. 69. Paciorki to grupa kilkunastu skałek na spłaszczeniu stokowym nad doliną Wrzosówki

znakowanych szlaków, ale poza granicami Karkonoskiego Parku Narodowego, więc dostęp do nich jest swobodny, aczkolwiek dość uciążliwy ze względu na powalone drzewa.

- **Twarożnik** – odosobniona, kilkumetrowej wysokości skałka na stokach Sokolika, na południe od Szrenicy, przy głównym szlaku grzbietowym (ryc. 68). Wyróżnia się osobliwym kształtem, przypominając spłaszczone bochny ułożone jeden na drugim, bądź gomółki sera. To ostatnie skojarzenie dało początek nazwie.

- **Paciorki** – duże zgrupowanie skałek na północ od Śmielca, przy Koralowej Ścieżce prowadzącej z Jagniątkowa na główny grzbiet Karkonoszy, na wysokości 1050-1070 m n.p.m. Kilkanaście skałek jest rozrzuconych w obrębie spłaszczenia stokowego, pomiędzy nimi leżą duże głazy i bloki granitu (ryc. 69). Kształt

Ryc. 70. Chybotek

skałek ogólnie nawiązuje do przebiegu spękań, ale długotrwałe wietrzenie przekształciło wyższe części form skałkowych w zaokrąglone, luźno ze sobą związane bloki.

- **Czeskie i Śląskie Kamienie** – wierzchołki obu szczytów o tych nazwach, wyrastających z głównego grzbietu Karkonoszy wieńczą grupy granitowych skałek o wysokości 8-12 m (ryc. 61). Na skałkach na Śląskich Kamieniach uwagę zwracają gęsto rozmieszczone powierzchnie ciosu pokładowego, określane mianem pseudowarstwowania. Skałki położone znacznie powyżej górnej granicy lasu są doskonałymi punktami widokowymi.

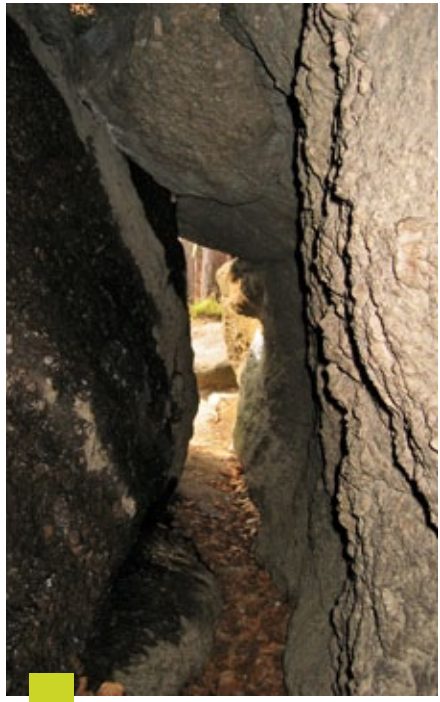
- **Bażynowe Skały** – duże zgrupowanie skałek w osi Hutniczego Grzbietu, niedaleko Przełęczy Karkonoskiej, ciągnie się na długości blisko 2 km. Najwyższe skałki mają do 10 m wysokości, licznie występują na nich kociołki wietrzeniowe. Dostępna jest tylko dolna część ciągu skałkowego, poniżej granicy Karkonoskiego Parku Narodowego.

- **Chybotek** – skałka ta, formalnie rzecz traktując, nie leży w Karkonoszach, ale w Górach Izerskich. Jej wyjątkowa natura z jednej strony, a bliskie sąsiedztwo Karkonoszy z drugiej, uzasadniają jednak krótkie omówienie. Chybotek ma około 3,5 m wysokości i składa się z przysadzistego cokołu, na którym spoczywa duży, wielokątny blok granitu o długości około 3 m i grubości około 1,7 m (ryc. 70). Nazwa skałki odzwierciedla możliwość wprawienia górnego bloku w ruch wahadłowy. Jego kształt sprawia, że całkowita powierzchnia kontaktu bloku z podłożem jest wielokrotnie mniejsza niż jego obrys (rzut), środek ciężkości znajduje się w górnej części bloku, a rozkład sił zwią-

zanych z ciężarem jego poszczególnych części jest doskonale zrównoważony. Fenomen chybotków polega na tym, że ten delikatnie zbalansowany układ jest też bardzo łatwo wytrącić z równowagi. Można to uczynić przez wejście (nie polecane!) na wysunięty skraj górnego bloku i zwiększenie jego ciężaru, przechodzenie z jednego skraju bloku na przeciwległy, lub poruszenie skrajnej, wiszącej części przez wypychanie jej rękami do góry lub ściągnięcie w dół – w zależności od pozycji normalnie zajmowanej przez blok. Zdjęcie przyłożonej siły sprawia, że ruchomy blok wraca do swojego wcześniejszego położenia.

- **Drewniak** – na grzbiecie o tej nazwie, w zachodniej części Pogórza Karkonoskiego koło Michałowic, znajdują się liczne skałki. Są godne uwagi nie tyle ze względu na wysokość, co różnorodność kształtów, obecność niewielkich jaskiń szczelinowych i różnorodnych form wietrzeniowych. Tu znajduje się największy znany kociołek wietrzeniowy w Karkonoszach, o średnicy ponad 1,5 m i głębokości ponad 1 m (ryc. 52).

- **Zbójeckie Skały** – najokazalsza z grup skalnych na północnych stokach Chojnika na Pogórzu Karkonoskim. Są doskonałym miejscem do oglądania kociołków wietrzeniowych różnego typu: suchych, wypełnionych zwietrzeliną i utrzymujących wodę. Ściany skałek są przecięte różnokierunkowymi żyłami aplitu o różnej grubości. Pod najwyższą częścią skałki znajduje się obszerna pieczara powstała wskutek szybszego wietrzenia wzdłuż powierzchni spękania – Zbójecka Grota, a po stronie północnej jedna z większych osobliwości Pogórza – naturalna jaskinia szczelinowa, znana jako Dziurawy Kamień. Powstała wskutek przesunięcia mas skalnych, gdy doszło do otwarcia pionowego pęknięcia na długości prawie 20 m (ryc. 71).



Ryc. 71. Szczelinowa jaskinia Dziurawy Kamień w Zbójeckich Skałach

- **Kotliska** – skałka znajduje się w Jagniątkowie, na zboczu doliny Wrzosówki. Wyróżnia się obecnością jednego z najlepiej wykształconych zespołów kociołków wietrzeniowych w regionie (ryc. 50). Łącznie jest ich ponad 20. Największe zagłębienie o kształcie nieregularnego kotliska ma wymiary 150 x 130 cm, przy głębokości 30 cm; większość kociołków nie przekracza jednak 1 m średnicy. Na uwagę zasługuje półotwarty kociołek w położeniu przykrawędziowym, po zachodniej stronie skałki. Jego wymiary poziome wynoszą 60 x 60 cm, natomiast głębokość sięga 125 cm. Niektóre kociołki ze połączone ze sobą rynnami i żłobkami odprowadzającymi nadmiar wody.

- **skałki na Przesieckiej Górze** – na stokach wzniesienia o tej nazwie, opadających do doli-

Ryc. 72. Fragment Szwedzkich Skał

Ryc. 73. Samotny Słup

ny Czerwienia, powyżej zabudowań Przesieki na Pogórzu Karkonoskim, znajduje się duży zespół form skałkowych o różnorodnych kształtach: od ścian przez ambony, mury, baszty do niskich garbów na wierzchowinie. Rozmieszczenie i kształt skałek są zdeterminowane układem prostopadłych do siebie spękań pionowych, a najwyższe baszty skalne osiągają 10 m wysokości. Tworzywem jest gruboziarnisty granit w odmianie porfirowatej. Skałki Przesieckiej Góry obfitują w przejawy selektywnego wietrzenia. Spotkać tu można wypreparowane żyły i gniazda aplitowe, żyły kwarcowe, nisze i okapy podskalne, niewielkie komory i tunele sklepione blokami odpadłymi ze stoku wyżej, a także rzadkie w Karkonoszach wzory powierzchniowych spękań poligonalnych (ryc. 54).

- **Szwedzkie Skały** – to zespół imponujących form skalnych położony w górnej części doliny Myi, która w tym miejscu głęboko wcina się w powierzchnię stokową. Kilka granitowych murów wyrasta ze stoku na podobieństwo gigantycznych żeber i opada do koryta urwiskami o wysokości do 30 m. Skałki mają regularny kanciasty pokrój, wprost nawiązujący do układu spękań ciosowych w granicie (ryc. 72). Na powierzchni skałek można obejrzeć liczne żyły aplitowe i zafałdowane szliry biotytowe.

- **Słup** – odosobniona skałka w górnej części doliny Myi, nieco powyżej Szwedzkich Skał, najłatwiej osiągalna z Karpacza Górnego lub Borowic. Ma postać prostej, kanciastej kolumny o wysokości 7 m, wznoszącej się ze skalnego cokołu (ryc. 73). Niestety, z upływem czasu coraz bardziej niknie wśród wzrastającego boru świerkowego.

- **Słonecznik** – jest jedną z najbardziej znanych skałek karkonoskich, widoczną z niemal całej Kotliny Jeleniogórskiej. Wznosi się jako samotny mur skalny o wysokości 12 m na północnym stoku Smogorni, niedaleko jej wierzchołka, na

Ryc. 74. Słonecznik – jedna z najbardziej charakterystycznych granitowych skałek Karkonoszy

wysokości 1423 m n.p.m. Skałka ma kanciasty pokrój, niemniej w górnej części bloki są już nieco zaokrąglone, a skrajny północny filar przypomina postać ludzką (ryc. 74). Ten kształt zainspirował ludowe podania o zamienionym w skałę diable, który pragnął zasypać kamieniami Kotlinę Jeleniogórską. Nazwa skałki ma jednak inne pochodzenie i nawiązuje do roli, jaką skałka pełniła dla mieszkańców miejscowości na Pogórzu Karkonoskim. Słońce stojące nad skałką oznaczało południe.

- **Pielgrzymy** – trzy osobne skałki, oddalone od siebie o kilkadziesiąt metrów, wyrastające ze spłaszczenia stokowego na północ od Grzbietu Śląskiego, na wysokości 1200 m n.p.m. (ryc. 75). Są wydłużone na podobieństwo murów: wąskie, ale długie na ponad 100 m. Pod względem wysokości należą do najwyższych skałek w całym masywie granitowym, osiągając 25 m. Pielgrzymy są znane z osobliwego reliefu powierzchni skalnych. Licznie występują owalne kociołki wietrzeniowe, niektóre całkiem spore i stale wypełnione wodą, ściany skałek są pocięte pionowymi żłobkami i rynnami, spotkać można też zagadkowe nisze i kawerny wnikające w boczne ściany skałek. Występują tu także dobrze widoczne szliry biotytowe i duże skalenie potasowe. Skałki leżą przy szlaku turystycznym z Polany na Słonecznik.

- **Kotki** – niska (5 m wys.), ale bardzo regularna w kształcie granitowa skałka w północnej części stokowego zrównania Polany, powyżej Karpacza. Jej kanciasty pokrój doskonale nawiązuje do kierunków spękań ciosowych, a na szczególną uwagę zasługują równoległe do siebie, poziome spękania pokładowe (ryc. 76). Skałka jest dobrze widoczna z zielonego szlaku z Polany do Pielgrzymów.

Ryc. 75. Fragment Pielgrzymów

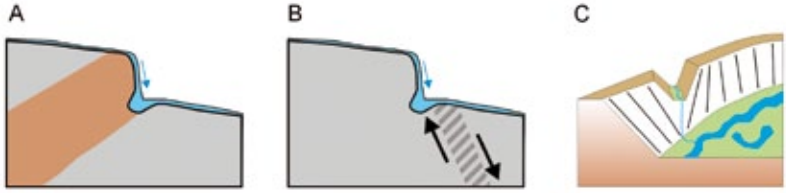
Ryc. 76. Kotki na Polanie nad Karpaczem

- **Krucze Skały** w Karpaczu – Wilczej Porębie są jedyną wśród omówionych grup skalnych, która nie jest zbudowana z granitu. Jej tworzywem są znacznie starsze granitognejsy, należące do metamorficznej osłony plutonu karkonoskiego. Wznoszą się wysokimi filarami nad korytem Płomnicy, osiągającymi łącznie do 25 m wysokości. Osobliwością Kruczych Skał są sztuczne groty, pozostałe po eksploatacji pegmatytów, zawierających liczne rzadkie, a cenne minerały, m.in. szafiry. U podnóża skałek prowadzono w średniowieczu poszukiwania złota.

Doliny rzeczne i wodospady

Doliny karkonoskich potoków kryją w sobie wiele geologicznych i geomorfologicznych atrakcji i ciekawostek. Do najbardziej efektownych form rzeźby występujących w dolinach, stąd też chętnie odwiedzanych przez turystów, należą wodospady i kaskady, ale oprócz nich na uwagę zasługują odcinki skalnych koryt, kotły wirowe i głazowiska. W niższych partiach Karkonoszy wygląd koryt rzecznych został dość znacznie zmieniony przez człowieka i są one w większości uregulowane i obudowane, ale wyżej na stokach można wciąż zobaczyć, jak wygląda naturalne koryto górskiego potoku.

Północne stoki Karkonoszy są odwadniane przez dwa systemy rzeczne: Kamiennej w części zachodniej i Łomnicy w części wschodniej. Obie te rzeki są lewostronnymi dopływami Bobru, do



Ryc. 77. Przyczyny powstawania wodospadów: A – na wychodniach skał o większej odporności na erozję, B – na progach tektonicznych, C – przy ujściu dopływu do rzeki głównej

którego uchodzą w Kotlinie Jeleniogórskiej. Dopływami Kamiennej są między innymi Kamieńczyk, Szklarka, Wrzosówka i Podgórna (ta ostatnia wpada najpierw do Wrzosówki), do których z kolei uchodzą mniejsze potoki i strumienie. Głównymi dopływami Łomnicy są Łomniczka i Jedlica, odwadniająca Kowarski Grzbiet. Źródła tych potoków znajdują się na wierzchowinie Karkonoszy lub wysoko na stokach. Wschodnia część polskich Karkonoszy, czyli Grzbiet Lasocki jest odwadniana przez Złotną i jej dopływy, która także należy do zlewni Bobru, ale uchodzi do niego w Bramie Lubawskiej. Potoki po polskiej stronie Karkonoszy są krótkie, ale mają duży spadek podłużny, znacznie przekraczający w górnych odcinkach 100 promili.

Znacznie bardziej rozbudowana jest sieć rzeczna po stronie czeskiej. W Karkonoszach bierze swój początek główna rzeka Czech, czyli Łaba, której źródła znajdują się na wierzchowinie w zachodniej części masywu, niedaleko Łabskiego Szczytu, a także jeden z jej głównych dopływów – Úpa, odwadniająca część wschodnią. Z kolei Mumlava i Jizerka to dopływy innej dużej czeskiej rzeki – Izery, której źródła znajdują się w sąsiadujących z Karkonoszami Górach Izerskich.

Po polskiej stronie gór znajdują się trzy duże i kilka mniejszych wodospadów. Warto wyjaśnić, że w geomorfologii **wodospad** to próg w korycie rzecznym, przez który przelewa się woda i spada swobodnie w dół. Przyczyny powstawania wodospadów są różne (ryc. 77). Część z nich tworzy się w miejscach, gdzie koryto rzeczne przecina granicę występowania dwóch typów skał: twardszej wyżej i miękkiej niżej. Wówczas erozja skały miękkiej jest znacznie szybsza, koryto pogłębia się, a na kontakcie dwóch skał rośnie próg. Inna grupa wodospadów ma genezę tektoniczną i powstaje w miejscach, gdzie doszło do pionowego przemieszczenia dwóch fragmentów powierzchni ziemi względem siebie. Pierwotna pozycja wodospadu jest wtedy zgodna z przebiegiem uskoku tektonicznego. Wodospady mogą też tworzyć się przy zbiegu dwóch dolin, na dopływie niosącym mniejszą objętość wody. Dzieje się tak, ponieważ zdolność rzeki do erozji i pogłębiania koryta jest ściśle powiązana z przepływem – rzeki zasobniejsze w wodę erodują szybciej. Może więc dojść do sytuacji, w której dopływ nie nadąża z pogłębianiem swojej doliny i nie jest w stanie dotrzymać tempa erozji w korycie rzeki głównej. Wodospady są też powszechne w dolinach niegdyś zlodowaconych.

Najwyższy wodospad polskich Karkonoszy – **Wodospad Kamieńczyka** (27 m wys.) powyżej Szklarskiej Poręby – jest przykładem wodospadu o założeniach tektonicznych. Składa się on z trzech stopni (ryc. 78). Najwyższy ma około 6 m wysokości. Wody Kamieńczyka spadają z niego jed-

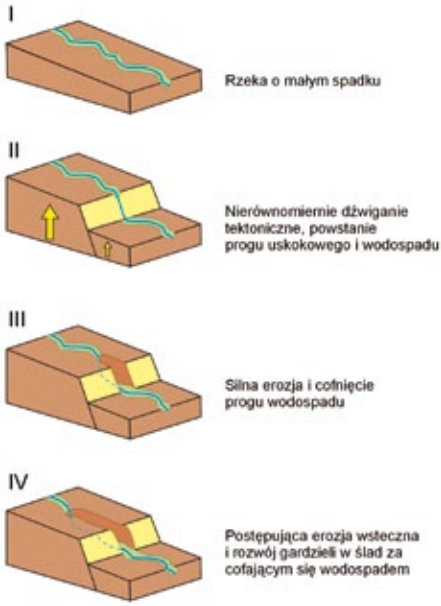
Ryc. 78. Wodospad Kamieńczyka

Ryc. 79. Gardziel Kamieńczyka poniżej wodospadu w porze zimowej

nym, dość zwartym strumieniem. Niżej woda spływa szerszą kurtyną po licznych drobnych półkach i progach skalnych. Ścianki skalne środkowego stopnia kończą się na wyraźnej żyle kwarcowej, poprzecznej do biegu potoku. Niegdyś eksploatowano z niej ametyst, czego pozostałością jest ukryta za dolną kaskadą Złota Jama. Poniżej znajduje się kilkumetrowej wysokości stopień dolny, który część wód Kamieńczyka pokonuje wolnym spadem w powietrzu, wprost do przegłębienia koryta u stóp wodospadu. Ten obszerny basen jest on wymodelowany w postaci kotła o średnicy około 5 m i głębokości kilku metrów, częściowo wypełnionego rumowiskiem głazów i otoczaków granitowych. Największe z nich osiągają 1 m długości.

Z wodospadem jest stowarzyszona forma jeszcze bardziej intrygująca, a mianowicie długa na około 100 m **gardziel** znajdująca się poniżej (ryc. 79). Dno doliny jest tu praktycznie tożsame z wyciętym w granitowym podłożu korytem Kamieńczyka. Wyżej wznoszą się pionowe ściany skalne o wysokości 20-30 m, opadające bezpośrednio do strumienia, który zresztą ginie pod rumowiskiem wielkich bloków oderwanych od ścian skalnych. Prostoliniowy przebieg gardzieli z południowego zachodu na północny wschód jest zgodny z orientacją jednego z głównych systemów spękań tnących ten fragment granitowego masywu karkonoskiego. Z kolei wyraźne rozszerzenie tuż przed wodospadem, połączone ze zmianą kierunku płynięcia potoku na prostopadły (z SE na NW), jest uwarunkowane obecnością zagęszczonych spękań o kierunku właśnie z południowego wschodu na północny zachód. Widzimy więc, że wpływ spękań na rzeźbę terenu ujawnia się w różny sposób i że ukierunkowują one rozwój zarówno form wypukłych, jak i wklęsłych.

Sąsiedztwo gardzieli i wodospadu nie jest przypadkowe. Są one elementami rzeźby ściśle powiązanymi ze sobą pod względem genezy. W jaki sposób? Położenie każdego progu wodospadu zmienia się w czasie. Wydawać by się mogło, że znajduje się on stale w tym samym miejscu, ale w rzeczywistości przesuwa się w górę strumienia.



Ryc. 80. Schemat rozwoju gardzieli w strefie uskokowej (za: Gontarek M., Paczos A., 2005. Ścieżka przyrodnicza na Szrenicę. Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra)

Dzieje się to między innymi za sprawą procesu określanego jako eworsja, czyli przez żłobienie i pogłębianie dna koryta wskutek ruchu wirowego wody i poruszanych przez nią odłamków skalnych. Proces ten jest najbardziej wydajny bezpośrednio pod progiem skalnym – tam, gdzie z wielką energią spada wodna kaskada. Z upływem czasu **kocioł eworsyjny** powiększa się i podcina próg, który traci stateczność i dochodzi do obrywu. W wyniku dużych obrywów krawędź wodospadu może jednorazowo cofnąć się o kilka metrów. Świadectwem długotrwałego cofania progu pozostaje gardziel, znajdująca się bezpośrednio poniżej niego.

Powyższe rozważania prowadzą nas do wniosku, że inicjalny wodospad Kamieńczyka znajdował się tam, gdzie rozpoczyna się gardziel, około 150 m poniżej swojego dzisiejszego położenia, na wysokości mniej więcej 800 m n.p.m. W tej strefie dość wyraźnie zwiększa się nachylenie stoku. Poniżej jest on dość łagodny, z licznymi spłaszczeniami, a spadki terenu sporadycznie tylko przekraczają 15°. Wyżej natomiast nachylenie znacząco rośnie, do 25-30°. Granica tych dwóch obszarów przebiega z północnego zachodu na południowy wschód, równolegle do północnego progu Karkonoszy i nie pokrywa się z granicą występowania różnych odmian granitu. Wszystko to przemawia za tym, że mamy do czynienia z rzeźbą uwarunkowaną tektonicznie, a strefa wzrostu nachylenia stoku nawiązuje do przebiegu uskoku. Fragment Karkonoszy położony na południe od niego, czyli skrzydło południowe, został w niedawnej przeszłości geologicznej podniesiony. Na linii uskoku powstał wówczas wodospad, który od tego czasu zaczął cofać się w górę potoku (ryc. 80).

Ryc. 81. Wodospad Szklarki

Inne pochodzenie ma drugi pod względem wysokości wodospad polskich Karkonoszy – na **Szklarce** w Szklarskiej Porębie. Jest on wyraźnie niższy (ma 13 m wys.), a wody potoku spadają z progu do kotła eworsyjnego jednym stopniem (ryc. 81). Poniżej wodospadu nie ma tak efektownej gardzieli, jak w przypadku Kamieńczyka, natomiast Szklarka płynie krętą głęboką doliną,

Ryc. 82. Granitowe baszty skalne przy ujściu Szklarki do Kamiennej

z licznymi granitowymi basztami na zboczach (ryc. 82). Po około 300 m uchodzi ona do Kamiennej – rzeki dłuższej i bardziej zasobnej w wodę. Wodospad Szklarki jest zatem przykładem progu powstałego u zbiegu dwóch rzek o różnych przepływach, który przemieszczając się następnie w górę koryta osiągnął swoje dzisiejsze położenie.

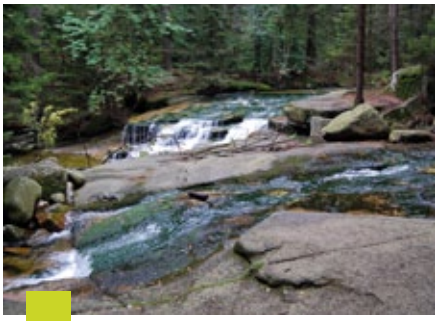
Trzecim dużym wodospadem jest **Wodospad Podgórnej** w Przesiece. Ma 10 m wysokości, jest dwustopniowy i położony wśród mieszanego lasu regla dolnego, szczególnie urokliwie prezentując się jesienią (ryc. 83). Jego pochodzenie jest złożone. Leży on w strefie przemieszczeń tektonicznych Karkonoskiego Padołu Śródgórskiego, co na pewno miało wpływ na przebieg erozji wgłębnej potoków, ale jego dokładna lokalizacja wydaje się mieć uzasadnienie w obecności skał o różnej odporności. Na ścianie skalnej nad wodospadem jest dobrze widoczna gruba żyła odpornego aplitu i to ona zapewne była przyczyną zróżnicowanego tempa erozyjnego pogłębiania koryta i w efekcie powstania progu wodospadu. Kształt progu wodospadu dobrze nawiązuje do przebiegu spękań ciosowych. Niedaleko od Wodospadu Podgórnej znajduje się mało znana, a dość efektowna **Kaskada** na potoku Myja. Ma ona 4 m wysokości, a rzeźba progu nawiązuje wprost do pionowej strefy spękań (ryc. 84).

Poza wodospadami częste w korytach potoków karkonoskich są 2-3 metrowej wysokości kaskady, często występujące gromadnie, tworząc długie odcinki skalnego koryta (ryc. 85). Spotkamy je między innymi na Podgórnej, Czerwieniu, Jodłówce i Wrzosówce, ale największe ich nagromadzenie występuje w tzw. Przełomie Kamiennej, czyli pomiędzy Szklarską Porębą Górną a Piechowicami. Z kaskadami i skalnymi płytami w korycie są genetycznie powiązane kotły eworsyjne. Największy z nich – Czarna Topiel – ma około 20 m średnicy i 3 m głębokości. Mniejsze formy tego typu są znane

Ryc. 83. Wodospad Podgórnej

Ryc. 84. Kaskada na Myi

z koryta Kamiennej w Hucie, powyżej dawnej huty szkła „Józefina", a także z Karpacza, gdzie w korycie Łomnicy znajduje się kocioł eworsyjny o nazwie Studzienka. Jest on pionową studnią o głębokości blisko 2 m i średnicy 70 x 80 cm. We wschodnich Karkonoszach, zbudowanych ze skał metamorficznych, skalne progi w korytach są dużo niższe i nie tak efektowne, a potoki płyną głównie wśród naniesionych przez siebie głazowisk.



Ryc. 85. Nad Szklarką

Nie sposób nie wspomnieć, że sporo wodospadów spotkamy w czeskich Karkonoszach. W kotle polodowcowym zamykającym dolinę Łaby znajduje się najwyższy wodospad karkonoski – Pančavy, o wysokości około 140 m. Potok jest jednak mało zasobny w wodę, dlatego wodospad mimo znacznej wysokości nie jest szczególnie efektowny. Niewiele niższy jest górny wodospad w kotle Úpskiej jámy (prawie 130 m). Znacznie większe wrażenie wywierają wodospady Mumlavy powyżej Harrachova, zwłaszcza wiosną, gdy rzeka niesie dużo wody z topniejącej pokrywy śnieżnej. Wiele wodospadów znajduje się w południowej części Karkonoszy, zbudowanej ze skał metamorficznych. Badacze czescy podkreślają też wyjątkowe nagromadzenie form eworsyjnych różnej wielkości w korytach potoków karkonoskich.

Jakkolwiek wodospady, kaskady i skalne płyty, po których ześlizgują się wody potoków to miejsca najbardziej efektowne, jest ich w polskich Karkonoszach niewiele. Potoki płyną głównie wśród głazowisk, łach tworzonych przez granitowe otoczaki i żwirowisk (ryc. 86). Są odcinki, na przykład w dolinie Wrzosówki, gdzie potok całkowicie ginie pod grubą warstwą głazów wyścielającą dno doliny. Niekiedy wielkość takich głazów budzi zdumienie i rodzi się pytanie, jak niewielkie potoki były w stanie przenieść tak potężne skalne bloki. Otóż nie zawsze bloki i głazy zostały przeniesione przez rzekę. Przyczyn obecności wielkich głazów w dnach dolin musimy doszukiwać się w historii kształtowania rzeźby Karkonoszy. Jak dowiemy się z kolejnego rozdziału, w niektórych dolinach karkonoskich rozwinęły się w plejstocenie lodowce górskie, które wytapiając się pozostawiły po sobie blokowo-głazowy materiał skalny zwany moreną. I tak Łomniczka, Łomnica i Wrzosówka w górnych biegach płyną w obrębie głazowisk morenowych, stopniowo przemywając je i wypłukując drobniejszy materiał. W tych samych okresach panowania zimnego klimatu, ale poza zasięgiem lodowców, warunki środowiskowe bardzo sprzyjały przemieszczaniu produktów wietrzenia skał w dół stoku, o czym bliżej też dowiemy się z kolejnych rozdziałów. Do koryt rzecznych dostawał się więc ze stoku materiał zwietrzelinowy, którego potok nie był w stanie uprzątnąć. Po trzecie, nie możemy

Ryc. 86. Głazowisko w korycie Kamiennej pod Kruczymi Skałami

zapominać o selektywności wietrzenia granitu i wyodrębniania podczas tego procesu niezwietrzałych brył – tak zwanych trzonów bryłowych. Część obłych głazów w korytach, zwłaszcza drobnych strumieni na Pogórzu Karkonoskim, to nic innego jak dawne trzony bryłowe, które widzimy dzięki wypłukaniu przez wodę drobnej zwietrzeliny.

Na tle skalnych bądź głazowych koryt karkonoskich potoków rysuje się pewien ewenement. Jest nim koryto Łomnicy koło ośrodka edukacyjnego Karkonoskiego Parku Narodowego w Domku Myśliwskim. Jego wygląd zaskakuje, gdyż w niemal wysokogórskiej scenerii stajemy nad potokiem leniwie płynącym szerokimi zakolami, wśród okresowo podmokłych łąk i torfowisk (ryc. 87). Sceneria rodem z północnej Polski, a nie z Sudetów. Pochodzenie tak osobliwego odcinka jest znów związane z lodowcową przeszłością Karkonoszy. Łomnica przepływa przez obszar, który zajmowało jeziorko śródmorenowe, później spłycone, całkowicie wypełnione osadami i zamienione w torfowisko. Ale o lodowcach w Karkonoszach dowiemy się już z następnego rozdziału.

Ryc. 87. Meandrująca Łomnica poniżej Małego Stawu (fot. R. Knapik)

Zlodowacenie Karkonoszy

Dramatyczne zmiany w krajobrazie Karkonoszy wprowadziła epoka określana jako **plejstocen**, czy też – w popularniejszym ujęciu – „epoka lodowa". Naukowcy odtwarzający historię klimatu na Ziemi stwierdzili, że już kilkanaście milionów lat temu zaczął się on stopniowo ochładzać. Na półkuli północnej to ochłodzenie przybrało wyraźniejszy charakter około 2,5 miliona lat temu i w podziale dziejów Ziemi wtedy rozpoczyna się nowy okres – **czwartorzęd**. Jego najbardziej osobliwą cechą były rytmiczne zmiany klimatu, od umiarkowanego, zbliżonego do panującego obecnie, do chłodnego, czy nawet zimnego. Te wahania nasiliły się w ciągu ostatniego miliona lat i w cyklu trwającym mniej więcej 100 tysięcy lat pojawiały się okresy bardzo zimne, sprzyjające rozwojowi wielkich czasz lodowych na północy Europy i lodowców w obszarach górskich, rozdzielone okresami klimatu chłodnego, ale już bez lodowców i wreszcie krótkotrwałymi okresami względnego ocieplenia. Wycinki czasu, gdy tworzyły się pokrywy lodowe to glacjały, a interwały je rozdzielające to interglacjały. Mówimy więc o cyklach glacjalno-interglacjalnych. Ostatni glacjał i równocześnie cały plejstocen skończyły się przed około 10 tysiącami lat i od tej pory żyjemy w okresie ocieplenia klimatu zwanego **holocenem**. Tak

naprawdę jednak, holocen jest niczym innym jak kolejnym interglacjałem, po którym przyjdzie kolejne zlodowacenie, choć coraz większa liczba naukowców twierdzi, że zmiany klimatu spowodowane działalnością człowieka mogą ten naturalny rytm zmian przyrody poważnie zakłócić.

W zimnych okresach plejstocenu na północy Europy, w Skandynawii, tworzyły się wielkie pokrywy lodowe, które rozrastając się obejmowały swoim zasięgiem terytorium północnej i środkowej Polski, a w najdalszym zasięgu sięgnęły nawet po Sudety. Około 450 tys. lat temu, podczas okresu glacjalnego zwanego dawniej zlodowaceniem południowopolskim, a obecnie zlodowaceniem San 2, najdalsze jęzory lądolodu dotarły nawet do Kotliny Jeleniogórskiej i pod Karkonosze, zatrzymując się mniej więcej na linii Cieplice – Czarne – Łomnica – Janowice Wielkie. W samych Karkonoszach tworzyły się natomiast i zanikały lokalne lodowce, po których pozostały spektakularne elementy krajobrazu: kotły polodowcowe, górskie jeziora, przekształcone doliny rzeczne i potężne głazowiska.

Nie wiemy dokładnie, jak wiele razy w najwyższych partiach Karkonoszy dochodziło do powstania lodowców górskich. Formy obecnie oglądane pochodzą głównie z najmłodszego okresu zimnego, który rozpoczął się około 115 tys. lat temu i zakończył – jak już wspomniano – 10 tys. lat temu. W kilku dolinach występują głazowiska, które są prawdopodobnie starsze i pochodzą z poprzedniego zlodowacenia. Problem z określeniem dokładnej liczby okresów lodowcowych wynika z prostego faktu. Jeśli lodowce w okresie bliższym współczesności miały większy zasięg niż wcześniejsze, to osady przez nie naniesione przykryły moreny starszych zlodowaceń, skutecznie ukrywając je przed naszym wzrokiem.

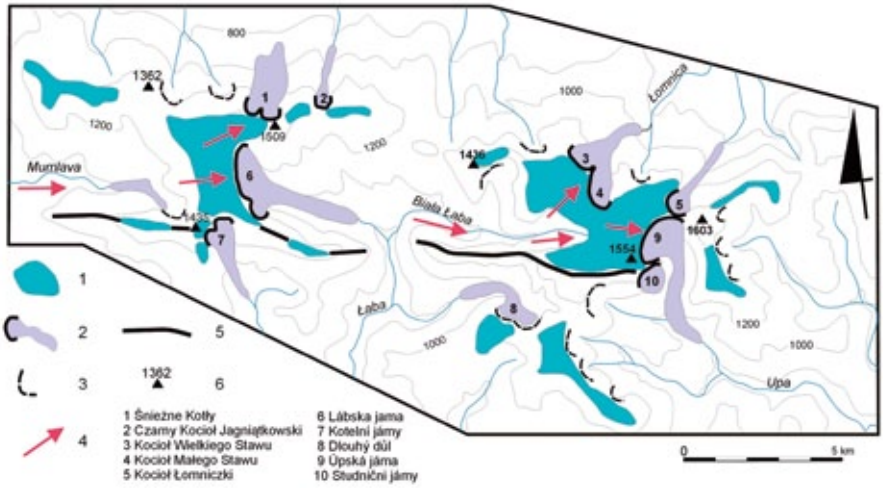
Zanim zaczniemy przyglądać się śladom pozostawionym przez karkonoskie lodowce, warto się jeszcze zastanowić, dlaczego w ogóle w Karkonoszach mogły one powstać. W Sudetach bowiem Karkonosze są jedynym masywem górskim, gdzie konsekwencje zlodowacenia są tak dobrze widoczne w rzeźbie terenu. Kilka niedużych lodowców istniało w Wysokim Jesioniku w Sudetach Wschodnich, jedna problematyczna forma została opisana z cze-

Ryc. 88. Zimą na górnej krawędzi Kotła Małego Stawu tworzą się potężne nawisy śnieżne, zasilające lawiny schodzące na dno kotła (fot. R. Knapik)

skich Gór Izerskich, zaś w pozostałych pasmach tworzących Sudety nie było ich wcale, a w każdym razie nie pozostawiły one po sobie żadnych śladów. Aby w górach powstał lodowiec, muszą zostać spełnione dwa warunki. Pierwszy z nich jest nazywany klimatycznym i sprowadza się do tego, że w zimie musi w danym miejscu spaść więcej śniegu, niż może stopnieć w lecie. Dzięki temu pokrywa śnieżna nie zanika w lecie (jak ma to miejsce obecnie), z każdym rokiem śniegu jest coraz więcej, aż wreszcie pod własnym ciężarem i ciśnieniem zaczyna on przekształcać się w firn, a następnie w lód lodowcowy. Lód ten wykazuje pewne właściwości plastyczne i może się przemieszczać zgodnie ze spadkiem terenu, stąd potoczne określenie, że lodowce „płyną". Karkonosze w plejstocenie były wystarczająco wysokie, aby powyższy warunek został spełniony. Ocenia się, że dolna granica piętra ze stałą pokrywą śnieżną – tak zwana linia śnieżna – przebiegała na wysokości około 1200 m n.p.m.

Warunek klimatyczny jest konieczny, ale nie wystarczający. Musi być jeszcze spełniony warunek orograficzny, czyli związany z ukształtowaniem terenu. Wyobraźmy sobie wysoki szczyt górski, o bardzo stromych stokach. Przy dużych nachyleniach nigdy nie dojdzie tam do powstania pokrywy śnieżnej o wystarczającej grubości, gdyż już wcześniej zacznie się ona zsuwać w postaci lawin. Karkonosze miały jednak zupełnie inną rzeźbę, odbiegającą od typowej rzeźby wysokogórskiej. Na rozległe wierzchowinowe zrównania spadało dużo śniegu, a wiejące z sektora zachodniego wiatry przewiewały go w górne odcinki dolin i do nisz źródliskowych. W takich osłoniętych miejscach pokrywa śnieżna mogła przyrastać bez przeszkód, osiągając grubość pozwalającą na przeobrażenie w lód lodowcowy. Efekty przewiewania śniegu z wierzchowiny można zaobserwować także dzisiaj. W okresie zimowym na górnych krawędziach kotłów tworzą się przepiękne, ale i groźne nawisy śnieżno-lodowe (ryc. 88).

Konieczność wypełnienia obu wskazanych warunków sprawiła, że w Karkonoszach lodowce tworzyły się przede wszystkim po północnej i wschodniej stronie wierzchowinowych powierzchni zrównania (ryc. 89). Po stronie polskiej mamy sześć



Ryc. 89. Rozmieszczenie lodowców w Karkonoszach w plejstocenie

Ryc. 90. Posmak gór wysokich w Śnieżnych Kotłach

wyraźnych zespołów form polodowcowych, po trzy w zachodniej i wschodniej części Karkonoszy.

Najdalej na zachodzie, między Łabskim Szczytem a Wielkim Szyszakiem, znajdują się bliźniacze **Śnieżne Kotły** – wyjątkowa enklawa prawdziwie wysokogórskiego krajobrazu w górach średnich (ryc. 90). Zachodni Mały Śnieżny Kocioł jest może nieco mniej efektowny – ściany skalne nie przekraczają 100 m wysokości i przechodzą niżej w usypiska porośnięte traworoślami i ziołoroślami (ryc. 91), ale głębszy. Dno kotła jest położone

Ryc. 91. Mały Śnieżny Kocioł

Ryc. 92. Ściany skalne i usypiska w Wielkim Śnieżnym Kotle

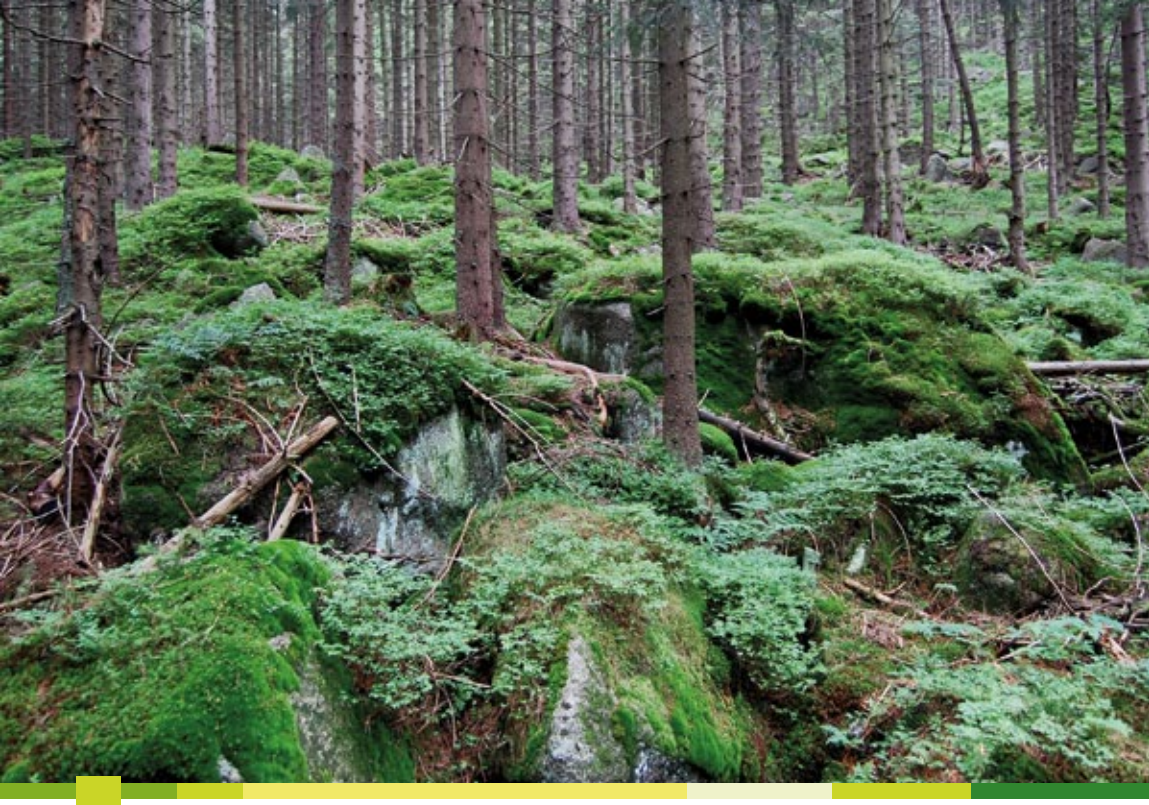
na wysokości około 1175 m n.p.m. Skalista Grzęda oddziela Mały Śnieżny Kocioł od Wielkiego Śnieżnego Kotła, w którym poprzecinane żlebami i rynnami ściany skalne dochodzą do 180 m wysokości (ryc. 92). Także i one przechodzą w rozległe stożki usypiskowe, tu nieco mniej porośnięte, które stopniowo zasypują płaskie dno kotła. Od północy jest ono zamknięte wyraźnym wałem o wysokości około 15 m, doskonale widocznym z platform widokowych na górnej krawędzi kotła (ryc. 93). Oba kotły to miejsca, gdzie w plejstocenie gromadził się śnieg i ulegał przekształceniu

Ryc. 93. Wyraźny wał morenowy zamyka dno polodowcowego Wielkiego Śnieżnego Kotła

Ryc. 94. Czarny Kocioł Jagniątkowski (fot. R. Knapik)

w lód lodowcowy. W glacjologii (nauce o lodowcach) nazywa się je **polami firnowymi**. Z pól firnowych biorą początek jęzory lodowcowe, spływające w dół stoku. Ponieważ w tym przypadku znajdowały się one bardzo blisko siebie, to rozpoczynające się w nich jęzory niżej łączyły się i tworzyły jeden szeroki jęzor („łapę"), rozlewający się po północnym stoku Karkonoszy.

Pola firnowe i górne odcinki dolin zlodowaconych są miejscem intensywnej erozji podłoża przez znajdujący się pod ciśnieniem lód i wody podlodowcowe. Od podłoża są odrywane bloki, głazy i małe okruchy, dalej przenoszone w plastycznej lodowej masie. Tworzą one mineralną część jęzora lodowcowego, zwaną **moreną**. Ten sam termin jest stosowany do określenia form rzeźby zbudowanych z tych fragmentów podłoża, powstałych wskutek wytopienia lodu i pozostawienia skalnego materiału. Zwykle wyraźny wał morenowy tworzy się przy czole lodowca, stąd jest nazywany **moreną czołową**, a jego obecność pomaga wyznaczyć strefę, do której lodowiec sięgnął. W przypadku lodowca Śnieżnych Kotłów znajdowała się ona na wysokości około 950-1000 m n.p.m., czyli długość lodowca sięgała 2 km. Przez te moreny, obecnie skryte przez bór górnoreglowy odradzający się po klęsce ekologicznej lat 80. XX w. poprowadzono czerwony szlak turystyczny. Od wschodniej strony zasięg lodowca Śnieżnych Kotłów wyznacza współczesna dolina Niedźwiady, a miejscami można tam dopatrzeć się wyraźniejszych moren bocznych. Zanik lodowca następował stopniowo i był przedzielany okresami stabilizacji, kiedy tworzyły się kolejne wały moren czołowych. Dobrze widoczny z góry jest wał na wysokości 1100-1150 m n.p.m. – tzw. Gawry – zamykający półkoliście oba kotły, aczkolwiek przerwany sporym obniżeniem



Ryc. 95. Głazowiska morenowe w dolinie Wrzosówki

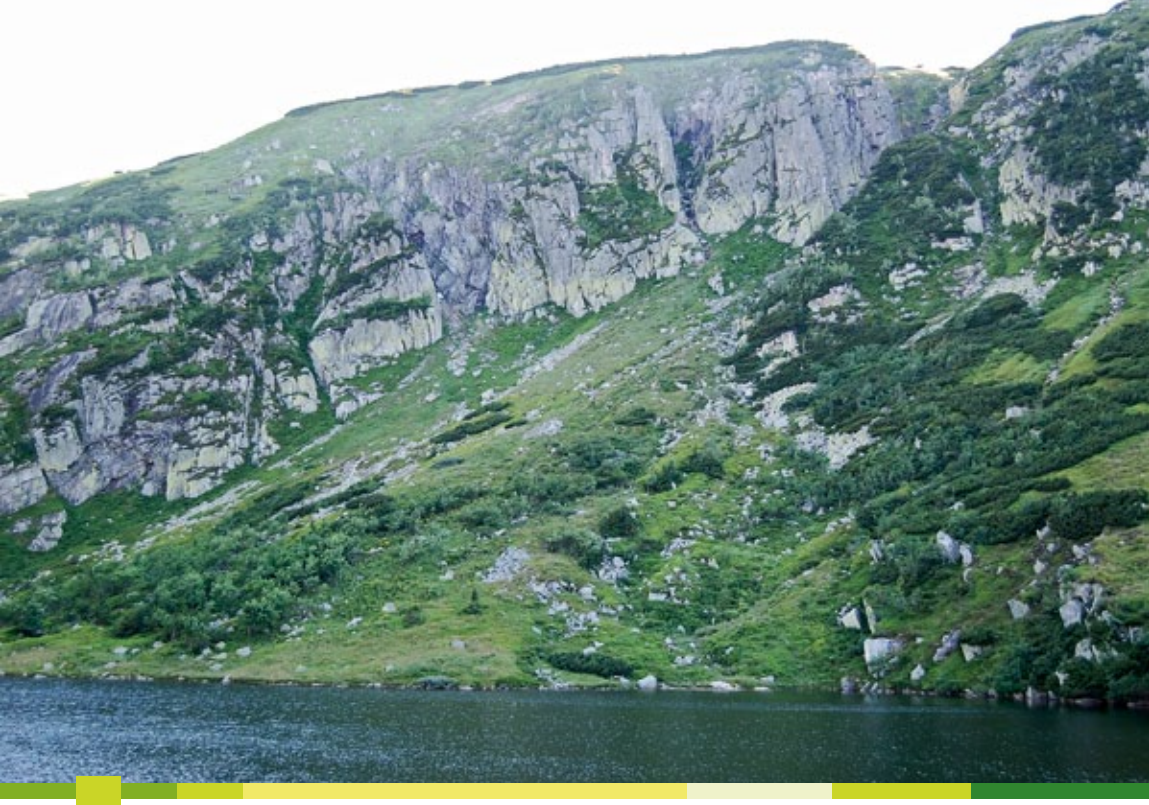
w środku. Niewykluczone, że jest to dawna brama lodowcowa, czyli miejsce wypływu wód z czoła lodowca. Po wewnętrznej stronie tego wału, w obniżeniach powierzchni moreny znajdują się urokliwe Śnieżne Stawki, a nieco wyżej okresowo wysychająca Młaka. Najmłodszy wał morenowy, powstały już w okresie ostatecznego zaniku lodowca, zamyka dno Wielkiego Śnieżnego Kotła.

Trzeci lodowiec wypełniał górny odcinek dzisiejszej doliny Wrzosówki, a w miejscu dawnego pola firnowego znajduje się **Czarny Kocioł Jagniątkowski**. Jest on mniej efektowny od Śnieżnych Kotłów. Rozcięte szerokimi żlebami ściany skalne mają do 80 m wysokości i występują głównie po południowej stronie kotła (ryc. 94). Usypiska są w przewadze zarośnięte, a rzeźba dna kotła silnie zatarta przez późniejsze spływy gruzowe. Jęzor lodowcowy, w przeciwieństwie do lodowca Śnieżnych Kotłów, był znacznie węższy i mocno ukierunkowany przez dość głęboko wciętą dolinę Wrzosówki. Z czarnego szlaku turystycznego biegnącego wzdłuż doliny są dobrze widoczne głazowiska morenowe, a na wysokościach 950-980 m n.p.m. i 1050-1100 m n.p.m. znajdują się częściowo rozmyte strefy czołowo-morenowe zbudowane z wielkich bloków, dochodzących nawet do 4-5 m długości (ryc. 95).

We wschodniej części polskich Karkonoszy mamy niemal lustrzane odbicie sytuacji z części zachodniej. Północno-wschodnie stoki Smogorni są podcinane przez sąsiadujące ze sobą kotły polodowcowe Wielkiego Stawu na północy i Małego Stawu na południu. Zasilane przez dawne pola firnowe jęzory łączyły się niżej w jeden wspólny jęzor lodowcowy, wypełniający dolinę Łomnicy. **Kocioł Wielkiego Stawu** wyróżnia się na tle po-

Ryc. 96. Kocioł Wielkiego Stawu

Ryc. 97. Kocioł Małego Stawu zamknięty wałami morenowymi



Ryc. 98. Ściany skalne Kotła Małego Stawu

zostałych kotłów karkonoskich obecnością jeziora, którego misa jest wyżłobiona w twardej skale podłoża, będąc wprost rezultatem erozji lodowcowej (ryc. 96). Wielki Staw ma powierzchnię 8,3 hektara i maksymalną głębokość 24,4 m, a zamknięty jest ogładzonym skalnym ryglem, częściowo przysypanym głazowiskiem morenowym, przez który przełamuje się wypływający z jeziora Biały Potok. Ściany kotła są stosunkowo połogie i nie ma tu wysokich skalnych urwisk, typowych dla innych kotłów karkonoskich. **Kocioł Małego Stawu** jest większy i głębszy, nie posiada jednak klasycznie wyżłobionej skalnej misy. Wypełniający część dna kotła Mały Staw jest jeziorem śródmorenowym, powstałym w obniżeniu moreny dennej (ryc. 97). Dlatego ma mniej regularny kształt i jest znacznie płytszy od Wielkiego Stawu. Jego głębokość wynosi 7,3 m, a po północnej stronie opiera się o wał morenowy. Po zachodniej stronie Małego Stawu wznoszą się skalne urwiska dochodzące do 100 m wysokości, po południowej zbocza kotła są łagodniej nachylone (ryc. 98).

W trakcie największego rozrostu lodowiec doliny Łomnicy osiągał długość ponad 3 km, docierając do wysokości 870-900 m n.p.m., w rejonie połączenia Łomnicy i Złotego Potoku. Wyraźne wały moren czołowych z nieco młodszej fazy zlodowacenia można oglądać z żółtego szlaku prowadzącego z Karpacza do schroniska „Strzecha Akademicka", na wysokości wzniesienia Turek. Przez rozległe głazowiska morenowe prowadzi także droga jezdna na Śnieżkę i szlak niebieski z Polany do schroniska „Samotnia". W trakcie szczegółowych badań wyróżniono w pozornym chaosie bloków, wałów i obniżeń pasy moren recesyjnych (wyznaczających etapy zaniku lo-

Ryc. 99. Zachodnie zbocza Kotła Łomniczki

Ryc. 100. W Łabskim Kotle płat śniegu zalega do wczesnego lata

dowca) i bocznych, wskazujących na bardzo złożoną historię zlodowacenia doliny Łomnicy.

Obrazu zlodowacenia północnych stoków Karkonoszy dopełnia lodowiec, który wypełniał dolinę Łomniczki. Pole firnowe znajdowało się w **Kotle Łomniczki**, pomiędzy Kopą na północy i Śnieżką na południu (ryc. 99), skąd jęzor lodowcowy spływał w kierunku północno-wschodnim. Na zboczach doliny są widoczne wały moren bocznych, a rozmyte moreny czołowe występują w strefie wysokościowej 850-900 m n.p.m., w odległości około 2 km od górnej krawędzi kotła. Wśród kotłów polodowcowych po polskiej stronie Kocioł Łomniczki ma najmniej wyrazistą rzeźbę. Skalne ściany występują sporadycznie, brak też płaskiego dna typowego dla kotłów, dlatego w przeszłości fakt zlodowacenia doliny Łomniczki był poddawany w wątpliwość. Niemniej, obecność wałów morenowych jest jednoznacznym dowodem pobytu lodowca, a zatarcie płaskiego dna jest efektem intensywnych procesów stokowych już po zaniku lodowca, które będą omawiane w kolejnych rozdziałach.

Na północnych stokach Karkonoszy znajduje się jeszcze kilka misowatych obniżeń, w których nawet obecnie płaty śniegu zalegają do późnej wiosny czy wczesnego lata. Należą do nich Kocioł Szrenicki, Kocioł Łabski (ryc. 100), Kocioł Smogorni i Biały Jar (ryc. 43). Podejrzewano, że w plejstocenie także te zagłębienia mogły zasilać niewielkie lodowce. Brak jednak na to niezbitych dowodów w postaci form morenowych i wydaje się, że mogły tu co najwyżej zalegać płaty wieloletnich śniegów, jednak o zbyt małej grubości, aby doszło do przeobrażenia w lód lodowcowy.

W celu uzyskania kompletnego obrazu zlodowacenia Karkonoszy w plejstocenie warto jeszcze wspomnieć o lodowcach po południowej stronie Grzbietu Śląskiego. Według czeskich geomorfologów było ich przynajmniej kilkanaście, ale tylko kilka z nich pozostawiło naprawdę wyraźne formy (ryc. 89). Do nich zalicza się lodowiec doliny Úpy, który brał początek z potężnego kotła Úpskiej jámy podcinającego od wschodu Równię pod Śnieżką i osiągał długość około 5 km. Niewiele krótszy był lodowiec doliny Łaby w zachodnich Karkonoszach. W południowe stoki Kotela, też w zachodnich Karkonoszach, są wcięte bliźniacze Kotelní jámy, z których wypływał lodowiec o długości niecałych 2 km. W kilku innych dolinach brak wyraźnych kotłów polodowcowych ze skalnymi ścianami, ale obecność głazowisk w niższych partiach dolin wskazuje, że lodowce musiały w nich istnieć.

Dawne i współczesne środowisko peryglacjalne

W zimnych okresach plejstocenu tylko niewielka część Karkonoszy znalazła się pod lodem, a do tego lodowce stale zmieniały swój zasięg, od czasu do czasu zanikając całkowicie. Co się w tym czasie działo w miejscach wolnych od lodu? Surowe warunki klimatyczne sprawiały, że wierzchowiny i stoki karkonoskie nabrały cech środowiska tundrowego, takiego jakie obecnie występuje na płaskowyżach północnej Skandynawii, na północnym Uralu czy na Spitsbergenie. W takim środowisku, z ubogą i rozproszoną roślinnością, mroźnymi zimami i krótkotrwałym, ale

Ryc. 101. Rumowisko hornfelsowe na stokach Śnieżki

ciepłym latem, działają bardzo specyficzne procesy rzeźbotwórcze. Są one niekiedy określane jako **procesy peryglacjalne** (czyli „wokół-lodowcowe"), a ich siłą napędową jest głównie cykliczne zamarzanie i odmarzanie wody, gruntu i skalnego podłoża. Tundra na ogół rozwija się na **wieloletniej zmarzlinie**, czyli trwale przemarzniętym gruncie, która może osiągać kilkaset metrów głębokości, a nawet więcej. Z punktu widzenia geomorfologa ważniejsze jest jednak to, co się dzieje ze zmarzliną latem. Wówczas pod wpływem wyższych temperatur jej wierzchnia warstwa odmarza, a na powierzchni terenu i tuż pod nią pojawia się mnóstwo wody. Wraz z nadejściem zimy warstwa ta powtórnie zamarza. Nazywana jest ona **warstwą aktywną** i ma grubość, w zależności od rodzaju gruntu, od 40-50 cm do 2-3 m.

W Karkonoszach dziedzictwo środowiska peryglacjalnego plejstocenu jest powszechne. Jakkolwiek główne rysy ukształtowania terenu są efektem zrównywania terenu, selektywnego wietrzenia, ruchów tektonicznych i erozji rzecznej, to o dzisiejszym wyglądzie karkonoskich szczytów, wierzchowin i stoków w znacznej mierze decydują właśnie formy przetrwałe z czasów, gdy Karkonosze były niegościnną tundrą.

Najbardziej widocznym świadectwem tamtych warunków są rozległe **rumowiska** ostrokrawędzistych głazów i bloków skalnych, okrywające karkonoskie szczyty i grzbiety. Tworzą je bezładnie ułożone odłamki miejscowej skały, o długości od kilku centymetrów do nawet kilku metrów. Są one szczególnie dobrze rozwinięte na skałach metamorficznych wzdłuż kontaktu z granitem, między innymi na Czarnym Grzbiecie i na Śnieżce (ryc. 101), ale występują również w obrębie samego granitu, głównie w jego drobno- i średnioziarnistej odmianie, na przykład na Małym Szyszaku, Śmielcu, Wielkim Szyszaku, Łabskim Szczycie i Szrenicy (ryc. 102). Bywa, że są one okre-

Ryc. 102. Granitowe pole blokowe na Wielkim Szyszaku

Ryc. 103. Szlak turystyczny nad Śnieżne Kotły przecina strefę potężnych rumowisk granitowych Łabskiego Szczytu

ślane jako gołoborza, ale nie jest to poprawne, gdyż występują już powyżej górnej granicy lasu. „Gołoborze" to zresztą świętokrzyski regionalizm i raczej nie powinien być używany w odniesieniu do innych obszarów. Powstanie rumowisk jest efektem wydajnego **wietrzenia mrozowego**, czyli rozpadu skał pod wpływem zmian objętości zamarzającej wody krążącej w szczelinach skalnych.

Na stokach o nachyleniu przynajmniej kilkunastu stopni rumowiska podlegały przemieszczeniom w dół, zgodnie z kierunkiem działania siły ciężkości. Ruch ten dokonywał się w warunkach scementowania kamienistej pokrywy lodem i był bardzo powolny, a jego rezultatem są formy lobów, jęzorów, zwróconych w dół stoku półkolistych wałów i nieregularnych obniżeń. Ich obecność rozpoznano między innymi na północnych stokach Łabskiego Szczytu (ryc. 103) i na Czarnym Grzbiecie. Z powolnym pełzaniem kamienisto-lodowej pokrywy są też związane osobliwe formy **lodowców gruzowych**, czyli nagromadzeń materiału skalnego niegdyś spojonego lodem w proporcji zbliżonej do 1:1. Lodowce gruzowe są typowym składnikiem środowiska peryglacjalnego w klimacie mroźnym i suchym, gdzie niedostatek opadów śnieżnych utrudnia tworzenie się klasycznych lodowców. W Karkonoszach nie były one szerzej rozprzestrzenione, ale kilka form tego typu udokumentowano podczas szczegółowych badań geomorfologicznych, między innymi między Małym Śnieżnym Kotłem a Kotłem Łabskim, powyżej zielonego szlaku Ścieżki nad Reglami.

Z rumowiskami skalnymi na karkonoskiej wierzchowinie są związane pola **gruntów wzorzystych** (strukturalnych). Przybierają one postać kamienistych wieńców i pierścieni, w których krąg większych odłamków skalnych otacza centralną ziemistą wysepkę (ryc. 104). Występują one w kilku

Ryc. 104. Wieńce kamieniste na Czarnym Grzbiecie (fot. R. Knapik)

miejscach, m.in. na Czarnym Grzbiecie, na Równi pod Śnieżką, na stokach Luční hory i Wielkiego Szyszaka. W zależności od rodzaju skał podłoża wieńce różnią się wielkością: w skałach łupkowych są mniejsze, do 1 m średnicy, w rozpadających się na większe głazy granitach średnica pierścieni dochodzi do 2-3 m. Powstanie wieńców jest efektem sortowania mrozowego, czyli segregowania okruchów skalnych według wielkości podczas wielokrotnych zmian objętości gruntu, wynikających z zamarzania i rozmarzania zawartej w nim wody.

Innym dziedzictwem dawnego środowiska peryglacjalnego są fragmenty stoków o dość regularnym, schodkowym profilu podłużnym. Najlepsze przykłady takiego ukształtowania terenu znajdziemy na stokach Luční hory (ryc. 105) i Studniční hory, a więc po stronie czeskiej, ale są one obecne także na Smogorni i Wielkim Szyszaku. Efekt „schodów" wynika z naprzemiennego występowania skalistych stopni o wysokości do 10 m i rozdzielających je szerokich spłaszczeń. Te pierwsze są nazywane **klifami mrozowymi** i są rezultatem intensywnego wietrzenia wychodni skalnych, dlatego zwykle ich dolne partie giną pod rumowiskiem. Spłaszczenia to **terasy krioplanacyjne**.

W niższych partiach Karkonoszy, w piętrze leśnym, ślady procesów mrozowych w postaci form dostrzec trudniej. Powszechnie występują natomiast związane ze środowiskiem peryglacjalnym utwory pokrywowe, choć rzadko kiedy turysta przemierzający karkonoskie szlaki zwraca na nie jakąkolwiek uwagę. Możemy je zobaczyć w dziesiątkach odsłonięć na zboczach zagłębionych dróg leśnych. Występują w nich piaszczysto-gliniaste osady, miejscami z większymi głazami i blokami skalnymi. Grubość tych pokryw waha się od 0,5 m do nawet 3-4 m w dolnych czę-

Ryc. 105. Terasy krioplanacyjne Luční hory

Ryc. 106. U stóp Kowarskiego Grzbietu na zwietrzelinie granitowej zalega gruba warstwa gliny, powstała wskutek procesu soliflukcji w plejstocenie

ściach stoku (ryc. 106). W ich kształtowaniu kluczową rolę odegrał proces określany jako **soliflukcja**, czyli dosłownie „płynięcie gleby". Był on możliwy w sezonie letnim, gdy grunt był przesycony wodą pochodzącą z odmarzającej w lecie warstwy aktywnej, a także z opadów deszczu. W niektórych odsłonięciach pokrywy stokowe wykazują wyraźne zróżnicowanie w profilu pionowym, co zapewne odzwierciedla zmienność środowiska u schyłku plejstocenu i występowanie okresów o bardziej i mniej surowym klimacie. Wydajność plejstoceńskiej soliflukcji była znacząca, a całkowita wielkość przemieszczeń na stokach karkonoskich sięgała 1 km. Najdobitniej świadczą o tym liczne odłamki gnejsów i łupków na granitowym podłożu w okolicach Kowar, daleko od granic wychodni skał metamorficznych.

Jakkolwiek zdecydowana większość opisanych wyżej form jest efektem procesów zachodzących w plejstocenie, to niektóre są kształtowane nadal, gdyż środowisko najwyższych partii Karkonoszy nawet dzisiaj wykazuje wiele cech wspólnych z tundrą dalekiej północy. Zimowe przemarzanie i wiosenne odmarzanie gruntu sprawia, że stale aktywne jest sortowanie mrozowe, tworzą się pagórki torfowe z lodowym jądrem – tzw. palsa i kopce darniowe, także z okresowo przemarzającym wnętrzem, w fachowej literaturze określane jako tufury.

Niespokojne stoki – spływy gruzowe i inne ruchy masowe

Prawdą jest, że wiele form rzeźby terenu występujących w Karkonoszach powstało w mniej lub bardziej odległej przeszłości, nawet kilkanaście milionów lat temu. Należy także sobie uświadomić, że wiele procesów rzeźbotwórczych zachodzi powoli, w tempie niedostrzegalnym w skali ludzkiego życia. Jednorazowa wizyta w Karkonoszach może więc doprowadzić do całkowicie mylnego uogólnienia, że w tych górach „nic się nie dzieje" i że są one zastygłym pomnikiem działania sił geologicznych działających w czasach minionych. O tym, jak błędny byłby to pogląd, przekonują nas powtarzające się co pewien czas zdarzenia wyjątkowe, gdy w krótkim czasie dochodzi do poważnych przekształceń rzeźby terenu i przemieszczania dużych ilości materiału skalno-zwietrzelinowego. W Karkonoszach najczęstszymi zdarzeniami tego typu są spływy gruzowe i gruzowo-błotne.

Spływy gruzowe to nagłe i szybkie przemieszczenia przesyconego wodą gruntu w dół silnie nachylonego stoku, gdzie udział wody w zwietrzelinie jest tak duży, że zaczyna ona przeobrażać się w błotnistą masę, zdolną do samoistnego płynięcia. Spływy gruzowe dokonują się wzdłuż pewnych szlaków, często wykorzystujących zaklęśnięcia powierzchni stokowej. Uruchamiane są podczas opadów o bardzo dużym natężeniu, rzędu 20 mm na godzinę i więcej, kiedy grunt nie jest już w stanie wchłonąć więcej wody. Procesy takie wymagają zatem spełnienia dwóch warunków: obecności zwietrzeliny, która może przejść w stan półpłynny oraz opadów o znacznej wydajności. Spływy gruzowe są typowe dla gór wysokich i obszarów powyżej górnej granicy lasu, gdzie całość opadu od razu dociera do powierzchni gruntu. W Karkonoszach najwięcej spływów odnotowano na zboczach kotłów polo-

Ryc. 107. Szlaki spływów gruzowych na stożkach usypiskowych w Wielkim Śnieżnym Kotle

dowcowych, gdzie są inicjowane w żlebach rozcinających ściany kotłów, ale powstają one także na stromych zboczach dolin.

W polskiej części Karkonoszy spływy gruzowe występują w każdym z kotłów polodowcowych, ale najwięcej szlaków spływowych stwierdzono w Kotle Łomniczki i w Wielkim Śnieżnym Kotle (ryc. 107). W każdym z tych miejsc jest ich ponad 20. Kilkanaście szlaków rozpoznano w Kotle Małego Stawu, 10 w Kotle Wielkiego Stawu, w pozostałych miejscach są one raczej sporadyczne. Najdłuższe spływy odnotowano w Czarnym Kotle Jagniątkowskim – ich szlaki dochodzą do 500 m długości. Wywoływane były one ulewnymi opadami. Podczas gigantycznych opadów pod koniec lipca 1897 r. (w pobliskich Górach Izerskich odnotowano wówczas niepobity do dzisiaj dzienny rekord opadowy dla Sudetów – prawie 350 mm w ciągu doby!) w całych Karkonoszach zeszło 40 spływów gruzowych. W pierwszych dniach września 1994 r., podczas krótkotrwałego „oberwania chmury" we wschodnich Karkonoszach, zostało uruchomionych w Kotle Łomniczki 5 spływów, z których najdłuższe miały ponad 400 m długości i sięgnęły dna kotła. Kolejne zdarzenia miały miejsce podczas pamiętnego lipca 1997 r., a ostatni duży spływ powstał 7 sierpnia 2006 r. w Wielkim Śnieżnym Kotle (ryc. 108), gdy dobowa suma opadów osiągnęła w tej części Karkonoszy prawie 200 mm.

W przeszłości spływy gruzowe w Karkonoszach miały nawet tragiczne konsekwencje. Jeden ze spływów na zboczach doliny Úpy w lipcu 1897 r. zniszczył dwa domy znajdujące się wysoko w dolinie, powodując śmierć 7 osób. Ostatni z odnotowanych spływów, w lipcu 2009 r. na stokach Śnieżki, uszkodził drogę jezdną na szczyt, która była przez pewien czas nieprzejezdna.

Ślad po świeżym spływie gruzowym łatwo rozpoznać po obecności wydłużonego w dół stoku

Ryc. 108. Spływ gruzowy z sierpnia 2008 r. w Wielkim Śnieżnym Kotle

Ryc. 109. Rynna i wały boczne spływu gruzowego w Kotle Łomniczki (fot. R. Knapik)

Ryc. 110. Miejsce świeżego ześlizgu bloków granitowych w Wielkim Śnieżnym Kotle

pasa pozbawionego roślinności, która została zniszczona w trakcie ruchu zwietrzeliny. W górnej części stoku może dojść do całkowitego zdarcia pokrywy zwietrzelinowej i wówczas widoczne są obnażone płyty skalne. Niżej tworzy się charakterystyczny zespół form, z centralną rynną i wałami bocznymi, zbudowanymi z dużych głazów odrzuconych na bok (ryc. 109). Szlak spływu może kończyć się wyraźnym spiętrzeniem głazowego materiału lub też stopniowo tracić na wyrazistości, aż do całkowitego zaniku. Wkrótce po zdarzeniu rozpoczyna się ponowne wkraczanie roślinności na obnażone podłoże, ale zespół form rynna – wały boczne jest dość trwały i pozwala na rozpoznanie także dawnych spływów, nie odnotowanych w kronikach. Ogółem w polskich Karkonoszach rozpoznano ponad 80 szlaków spływów różnego wieku i o różnej wyrazistości, w czeskich Karkonoszach – trzykrotnie więcej.

Inne katastrofalne **ruchy masowe** – bo taką nazwą określa się wszystkie przemieszczenia skał i zwietrzeliny w dół stoku pod wpływem siły ciężkości – występują w Karkonoszach rzadko. Sporadycznie dochodzi do powstania osuwisk, czyli przemieszczeń dużych pakietów gruntu po wyraźnych powierzchniach poślizgu. Z reguły są one płytkie i mają nieduży zasięg, co bardzo odróżnia Karkonosze i w ogóle Sudety od Karpat, gdzie osuwiska są niemal codziennością. Przyczyn trzeba doszukiwać się w odmiennej budowie geologicznej. Obecność skał krystalicznych, a więc granitów, gnejsów i łupków łyszczykowych osuwiskom w naszych warunkach klimatycznych nie sprzyja. W kotłach polodowcowych zdarzają się obrywy i ześlizgi bloków świeżego granitu (ryc. 110), ale są one bardzo rzadkie. Większe znaczenie ma stopniowe odpadanie fragmentów skały ze ścian i nadbudowa stożków usypiskowych znajdujących się poniżej. Nie sposób wreszcie zapomnieć o **lawinach**. Większość lawin w Karkonoszach to lawiny śnieżne, które nie powodują zmian w rzeźbie stoku, ale występują także lawiny śnieżno-gruntowe, gdy dochodzi do przemieszczenia także fragmentów pokrywy glebowej. Pojedyncza lawina nie jest stanie usunąć zbyt dużo materiału, ale efektem wielu lawin w dłuższym okresie – a pamiętajmy, że lawiny zwykle schodzą w tych samych miejscach – może być już znaczące obniżenie powierzchni stokowej.

Rzeźbotwórcza rola wiatru i wody

Współczesne kształtowanie krajobrazu Karkonoszy nie dokonuje się tylko i wyłącznie poprzez nagłe spływy gruzowe i obrywy. Odbywa się ono nieustannie i jest sumą wielu drobnych, niekiedy wręcz niezauważalnych zdarzeń oraz procesów zachodzących w tempie, które oszacować można dopiero w wyniku długoletnich pomiarów.

Zalesione stoki karkonoskie tylko z pozoru są całkowicie nieruchome. W wielu miejscach można dostrzec ich specyficzne ukształtowanie – zamiast wyrównanej powierzchni występują miskowate zagłębienia o głębokości do 1-1,5 m, a pomiędzy nimi wznoszą się kopczyki o podobnej wysokości. Taki pagórkowaty relief jest efektem wiatrowału. W Karkonoszach często pojawia się wiatr o bardzo dużej prędkości, zdolny do łamania i wywracania potężnych drzew tworzących zbiorowiska regla górnego i dolnego. Wywrócenie pojedynczego drzewa pozostawia po sobie jamę (wy-

Ryc. 111. Współczesne przekształcanie rzeźby stoku zalesionego jest związane głównie z silnym wiatrem zdolnym do przewracania drzew

Ryc. 112. Droga w dolinie Jodłówki pokazuje, jak znaczące mogą być efekty erozji wodnej na stoku

Ryc. 113. Kamienna w Jakuszycach ustawicznie podcina brzegi zakoli

krot), a wraz z systemem korzeniowym ulega oderwaniu od podłoża pewna część mineralnego gruntu (ryc. 111). Z czasem korzenie rozłożą się, a zawarty między nimi materiał osypie się, tworząc pagórek. Oczywiście po dłuższym czasie pagórek zostanie zniwelowany przez siły przyrody, a jama zasypana, ale szacuje się, że w naturalnych warunkach wymaga to przynajmniej jednego stulecia. Huraganowe wiatry występują jednak częściej, dlatego jamy i kopczyki są stałym elementem karkonoskiego krajobrazu.

Rzeźbiarzem krajobrazu jest także woda płynąca. W górach jej rola jest szczególnie znacząca, gdyż opady deszczowe są wyższe niż na nizinach, a wiosną dużo wody jest uwalnianej z topniejącego śniegu. Dodatkowo większe nachylenia terenu powodują, że energia płynącej wody jest wyższa niż w śródgórskich kotlinach czy na przedgórskich równinach. Skutki spływu wody po stoku są bardzo zróżnicowane, w zależności od pokrycia powierzchni roślinnością. Na stokach trawiastych, zadarnionych, z gęstym podszytem, są one nieznaczne, gdyż płynąca woda nie ma bezpośredniego kontaktu z gruntem. Zupełnie inaczej przedstawia się sytuacja tam, gdzie zwartość pokrywy roślinnej została naruszona, a więc na wiatrowałach, w rynnach spływów gruzowych, a także we wszystkich tych miejscach, gdzie brak roślinności jest skutkiem działań człowieka, czyli na hałdach górniczych, na drogach leśnych, szlakach zrywki drzewa i polach ornych. Wtedy burzliwie płynąca woda może działać erozyjnie na podłoże, odrywać cząstki gruntu i rzeźbić rynny erozyjne. W Karkonoszach można spotkać całkiem spektakularne efekty tego procesu. Przykładowo, w dolinie Jodłówki nad Borowicami szlak żółty do Karpacza prowadzi wzdłuż rynny głębokiej na blisko 2 m, powstałej ze zniszczenia drogi leśnej (ryc. 112).

Gdy podczas intensywnych lub długotrwałych opadów deszczowych znaczne ilości wody dotrą do koryt rzecznych, spokojne górskie potoki zamieniają się w rwące strumienie, które są w stanie przenosić nawet duże głazy. Głazowiska w potokach (ryc. 113) są więc tylko z pozoru

nieruchome. Większe wezbrania, a zwłaszcza duże powodzie uruchamiają rumowisko rzeczne, które może docierać aż do przedpola gór i dopiero tam zatrzymuje się, w miejscu wyraźnego zmniejszenia spadku rzeki. W naturalnym środowisku tworzą się w ten sposób **stożki napływowe** – formy typowe dla strefy przejściowej między górami a kotlinami czy nizinami. Współcześnie w Karkonoszach tworzenia stożków praktycznie nie obserwujemy, gdyż koryta potoków w strefie przedgórskiej nie mają już wiele wspólnego z naturalnymi. Zostały obudowane i uregulowane, a przylegające do nich tereny na różne sposoby zagospodarowane. Skutki transportu rumowiska mogą być groźne dla człowieka, jeśli nierozsądnie zlokalizował on zabudowania czy drogi tuż przy korycie rzecznym, o czym wielokrotnie boleśnie przekonywano się. Toczone głazy uderzając w brzegi niszczą je, a wraz z obrywami brzegu dochodzi do zawalania się wznoszonych nad nimi budowli. Największe zniszczenia powstały w Karkonoszach podczas powodzi w 1897 roku. Przenoszenie dużych głazów w korytach jest zatem z punktu widzenia człowieka niekorzystne i od dawna starał się on ten proces powstrzymywać. Przejawem tych starań było wybudowanie na potokach karkonoskich licznych zapór i zbiorników, które miały przechwytywać i gromadzić rumowisko rzeczne. Największa z tych zapór została wybudowana w Karpaczu na Łomnicy, pod Karpatką.

Paradoksalnie, najważniejszym ze współczesnych procesów rzeźbotwórczych jest ten, którego w ogóle nie widzimy. Gdy spojrzymy na wodę płynącą w potoku w okresie pomiędzy wezbraniami, to uznamy, że jest ona „czysta" i żaden materiał skalny nie jest przez nią przenoszony. To nieprawda. W rzeczywistości nieustannie odbywa się transport materiału rozpuszczonego, który powstaje wskutek wietrzenia chemicznego, czyli reakcji między związkami chemicznymi budującymi minerały i skały a wodami podziemnymi. Podczas tych reakcji część skały i zwietrzeliny przechodzi do roztworu i opuszcza Karkonosze w postaci rozpuszczonej. O naturze tego procesu dowiadujemy się prowadząc systematyczne analizy składu chemicznego wody. Proces ten nosi nazwę **denudacji chemicznej** i jakkolwiek niezauważalny gołym okiem, powoduje stałe niszczenie skał, a więc i obniżanie górskich stoków i wierzchowin.

Człowiek zmienia rzeźbę terenu

Prezentacja karkonoskiego krajobrazu byłaby niepełna, gdybyśmy nie uwzględnili jeszcze jednego czynnika zmieniającego rzeźbę terenu – człowieka z jego działaniami podejmowanymi w środowisku przyrodniczym. O niektórych pośrednich konsekwencjach zagospodarowywania gór, jak zwiększenie erozji wodnej, dowiedzieliśmy się już z poprzedniego rozdziału. W tym zostaną przedstawione wybrane formy rzeźby bezpośrednio stworzone przez ludzi – tak zwane **formy antropogeniczne**.

Na szczęście, Karkonosze nigdy nie stały się górniczym zagłębiem na taką skalę, jaka miała miejsce chociażby w pobliskim Wałbrzychu, ale i tu od wieków prowadzona była działalność poszukiwawcza i wydobywcza. Pozostały po niej podziemne wyrobiska, odkrywki powierzchniowe i hałdy materiału uznanego za nieprzydatny w dalszych procesach technologicznych. Ze sztolniami spotkamy się przede wszystkim we wschodnich Karkonoszach, gdzie działalność górnicza była najbardziej intensywna, przy czym większość z nich zo-

Ryc. 114. Konsekwencje upłynnienia hałdy pogórniczej w dolinie Jedlicy nad Kowarami

stała zalana, a wejścia do nich zasypane. Nieliczne, jak dowiedzieliśmy się z rozdziału o wykorzystaniu karkonoskich skał, zostały udostępnione do zwiedzania. Inne zostały zamknięte przed odwiedzającymi ze względu na ochronę zimujących w nich nietoperzy. W zachodniej części Pogórza Karkonoskiego znajduje się kilka krótkich podziemnych wyrobisk, w których pozyskiwano skaleń zawarty w pegmatytach. Należą do nich Czerwona Jama w Szklarskiej Porębie i Czerwona Jaskinia na Rudziankach. Dużych kamieniołomów było w Karkonoszach niewiele i żaden z nich nie jest już czynny. Największy znajduje się koło Michałowic na Pogórzu Karkonoskim.

Hałdy pogórnicze są coraz trudniejsze do rozpoznania, zwłaszcza w lecie, gdy podszyt i listowie skutecznie maskują szczegóły rzeźby terenu. Minęło już bowiem kilkadziesiąt, a nawet kilkaset lat od czasu, gdy prowadzono działalność górniczą. Dużych rozmiarów hałdy znajdują się w dolinie Jedlicy powyżej Kowar, mniejsze w Sowiej Dolinie nad Karpaczem i w Budnikach. Z hałdą w Kowarach, zlokalizowaną na przeciwko udostępnionych do zwiedzania sztolni 19 i 19a wiąże się interesująca historia. Intensywne opady deszczu w lecie 1977 r. spowodowały upłynnienie materiału zalegającego na hałdzie, który osunął się do koryta Jedlicy, a następnie jako gruzowo-błotna masa pokonał dystans kilkuset metrów, całkowicie niszcząc istniejące obudowane koryto rzeczne i zamieniając dno doliny w niesamowity, iście księżycowy krajobraz (ryc. 114).

Znacznie więcej form rzeźby związanych z działalnością górniczą znajdziemy w czeskich Karkonoszach. Na zachodnich stokach Grzbietu Lasockiego, wokół miejscowości Horní Albeřice, dzia-

Ryc. 115. Uregulowane koryto Wrzosówki w Jagniątkowie

łały kamieniołomy wapieni krystalicznych, w których dokonano zresztą interesujących odkryć jaskiń krasowych. Tę samą skałę pozyskiwano w dużych łomach koło miejscowości Lánov i Černý důl, a z historią wydobycia i przeróbki wapieni zapoznaje specjalna trasa edukacyjna. Koło miasta Žacléř u podnóża wschodnich Karkonoszy prowadzone było wydobycie węgla kamiennego, a w nieczynnej kopalni niedawno otwarto podziemną trasę turystyczną. Na dużą skalę prowadzono też poszukiwania złota, po których pozostały liczne rowy poszukiwacze, zapadliska i odsypy.

Z uwagi na surowy klimat uprawa roli nigdy nie osiągnęła w Karkonoszach znaczących rozmiarów, ale tam, gdzie była prowadzona (Pogórze Karkonoskie, podnóża Grzbietu Lasockiego), pozostały po niej specyficzne formy terenu – **terasy rolne**. Określa się w ten sposób rzeźbę stoku zmienioną w taki sposób, że odcinki o mniejszym nachyleniu są rozdzielone wyraźnymi stopniami, o wysokości nawet kilku metrów. Skarpy były na ogół ziemne i obsadzone drzewami, ale niekiedy były umacniane kamiennymi murkami. Tarasowanie stoku było celowym działaniem, które miało zapobiegać erozji gleby podczas opadów. Więcej form tego typu występuje w czeskich Karkonoszach, gdyż południowe stoki bardziej nadawały się do rolniczego wykorzystania. Zrównywanie stoków w terenie górskim było też koniecznością, gdy rozpoczynano budowę domów, bud pasterskich i schronisk, a te – jak łatwo się przekonać – są często w Karkonoszach bardzo okazałe. Przekształcanie powierzchni stoku towarzyszyło też budowie dróg leśnych. W celu wyrównania spadku i ułatwienia transportu tworzono nasypy i wykonywano przekopy, nawet kilkumetrowej głębokości. Lokalną osobliwością jest tunel drogowy koło Michałowic, przebity w granitowej ostrodze.

Przejawy rzeźbotwórczej działalności człowieka łatwo też dostrzec w korytach karkonoskich potoków. O ile w górnych odcinkach zachowały one w większości naturalny charakter, to niżej noszą wyraźne piętno antropogeniczne. Obudowane brzegi i kamienne stopnie w poprzek koryta są powszechnym widokiem (ryc. 115).

Oczywiście, na tle głównych rysów rzeźby Karkonoszy, ukształtowanych w trakcie wielu milionów lat ich geologicznej przeszłości, formy antropogeniczne mogą się wydawać mało znaczące, ale warto o nich pamiętać z dwóch względów. Po pierwsze, ich obecność znacząco zmienia przebieg naturalnych procesów rzeźbotwórczych, powstrzymując jedne, a zwiększając intensywność działania innych. Po drugie, są one świadectwem wielowiekowej obecności człowieka w górach i jego dążeń do optymalnego wykorzystania zasobów środowiska, często skłaniając do podziwu nad wytrwałością i pracowitością dawnych pokoleń – składają się więc na kulturowy krajobraz Karkonoszy.

Geopark Karkonosze

We wrześniu 2010 roku Karkonosze, w granicach Karkonoskiego Parku Narodowego wraz z otuliną, uzyskały status **Geoparku Krajowego**, a odpowiedni certyfikat został wręczony Dyrektorowi Karkonoskiego Parku Narodowego przez Podsekretarza Stanu w Ministerstwie Środowiska – Głównego Geologa Kraju.

Czym są geoparki i czemu służą? Najkrócej rzecz ujmując, są to obszary o wybitnych walorach dziedzictwa Ziemi, eksponujące to dziedzictwo na potrzeby rozwoju turystyki i odpowiednie do prowadzenia działalności edukacyjnej w zakresie nauk o Ziemi i związków dziedzictwa Ziemi z dziedzictwem kulturowym człowieka. Łączą zatem one dbałość o zachowanie cennych obiektów przyrody nieożywionej z ich promocją turystyczną, wpisaną w lokalną strategię rozwoju społeczno-gospodarczego. Pomysł szerszego niż wcześniej wykorzystania elementów dziedzictwa Ziemi dla rozwoju turystyki narodził się pod koniec lat 90. XX w., a w 1999 r. zyskał wsparcie UNESCO – Organizacji Narodów Zjednoczonych do spraw Oświaty, Nauki i Kultury. Zaczęła powstawać Światowa Sieć Geoparków, która w 2012 roku zrzeszała już blisko 100 geoparków z niemal wszystkich kontynentów. W jej ramach funkcjonuje sieć europejska (European Geopark Network – EGN), w skład której w październiku 2012 r. wchodziły 52 geoparki z 18 państw europejskich. Jest wśród nich transgraniczny niemiecko-polski geopark „Łuk Mużakowa", włączony do sieci w 2011 r.

Niezależnie od sieci światowej i europejskiej, w niektórych państwach rozpoczęto tworzenie geoparków krajowych, promujących dziedzictwo Ziemi na szczeblu regionalnym i lokalnym. Do tych państw należy także Polska, w której ustanowiono jak dotąd trzy geoparki, a prace nad powołaniem kolejnych trwają. Oprócz Karkonoszy status geoparku krajowego otrzymały Łuk Mużakowa i Góra Świętej Anny, w obu przypadkach w granicach pokrywających się z granicami parków krajobrazowych. Wśród projektowanych geoparków są między innymi Geopark Doliny Kamiennej w Górach Świętokrzyskich, Małopolski Przełom Wisły, Kamienny Las na Roztoczu, fragmenty Pojezierza Suwalskiego i Pojezierze Myśliborskie.

Jednym z głównych zadań stojących przed geoparkami jest promocja turystyki poznawczej ukie-

Ryc. 116. Pulpit informacyjny na ścieżce edukacyjnej z Karpacza na Kopę (fot. R. Knapik)

runkowanej na dziedzictwo Ziemi i edukacja w tym zakresie. Jakie możliwości w tym względzie oferują Karkonosze? Oferta geoturystyczna jest bogata, urozmaicona tak pod względem prezentowanych treści, sposobów zapoznawania się z nimi, jak i potencjalnych odbiorców.

Na terenie Karkonoszy udokumentowano ponad 100 geostanowisk, czyli miejsc o szczególnych walorach geologicznych, mineralogicznych, geomorfologicznych bądź związanych z dawną działalnością poszukiwawczą i górniczą. Większość z nich jest dostępna dla turystów, a najbardziej interesujące, w liczbie 50, zostały scharakteryzowane w wydanym w 2011 r. atlasie „Georóżnorodność i geoturystyczne atrakcje Karkonoskiego Parku Narodowego i otuliny". Przygotowano także mapę geoturystyczną Karkonoszy. W terenie wyznaczono dziewięć ścieżek edukacyjnych o różnej długości, łączących miejsca najpełniej ukazujące zróżnicowanie karkonoskiej przyrody nieożywionej. Część z nich jest opatrzona pulpitami i tablicami informacyjnymi, a ich dokładne opisy są zawarte w przewodnikach wydawanych przez Karkonoski Park Narodowy. Różne aspekty dziejów Ziemi ukazuje ekspozycja w Karkonoskim Centrum Edukacji Ekologicznej w Szklarskiej Porębie, a nowy ośrodek edukacyjny Karkonoskiego Parku Narodowego w Karpaczu – Wilczej Porębie jest dedykowany głównie tematyce dziedzictwa Ziemi. W sezonie letnim organizowane są wycieczki geologiczne prowadzone przez pracowników Parku, można także zamówić zajęcia dydaktyczne dla grup szkolnych.

Ryc. 117. Fragment ekspozycji w Karkonoskim Centrum Edukacji Ekologicznej Karkonoskiego Parku Narodowego w Szklarskiej Porębie

Literatura uzupełniająca

Aleksandrowski P., 2011. *Historia i stan obecny badań geologicznych w Karkonoszach*. [w:] Knapik R., Przewoźnik L., Raj A. (red.), *50 lat badań naukowych w Karkonoskim Parku Narodowym*, Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra, s. 29-60.

Borkowska M., 1966. *Petrografia granitu Karkonoszy*. Geol. Sudetica 2: 7-119.

Czerwiński J., 1985. *Główne rysy rzeźby i rozwój geomorfologiczny*. [w:] A. Jahn (red.), *Karkonosze polskie*, Ossolineum Wrocław, s. 53-76.

Czerwiński J., 1991. *Powodzie w rejonie Karkonoszy od XV w. do czasów współczesnych*. Acta Univ. Wratisl. 1237, Prace Inst. Geogr. A6: 85-104.

Jahn A., 1962. *Geneza skałek granitowych*. Czas. Geogr. 33: 19-44.

Knapik R., 2008. *Przewodnik geoturystyczny po Karkonoskim Parku Narodowym*. Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra.

Knapik R., Migoń P., 2011. *Atlas. Georóżnorodność i geoturystyczne atrakcje Karkonoskiego Parku Narodowego i otuliny*. Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra.

Knapik R., Migoń P., Szuszkiewicz A., Aleksandrowski P., 2011. *Geopark Karkonosze – georóżnorodność i geoturystyka*. Przegląd Geologiczny, t. 59, nr 4, s. 311-322.

Knapik R., Rybski R., Szuszkiewicz A., 2011. *Minerały polskich Karkonoszy*. Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra.

Mazur S., 2005. *Geologia okrywy metamorficznej granitu Karkonoszy*. [w:] M. P. Mierzejewski (red.), *Karkonosze. Przyroda nieożywiona i człowiek*, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, s. 133-159.

Mierzejewski M.P., 1985. *Geologia granitowej części Karkonoszy*. [w:] A. Jahn (red.), Karkonosze polskie, Ossolineum Wrocław, s. 17-42.

Mierzejewski M.P., 2005. *Karkonosze – ewolucja masywu granitowego*. [w:] M. P. Mierzejewski (red.), *Karkonosze. Przyroda nieożywiona i człowiek*, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, s. 83-132.

Migoń P., 2005. *Karkonosze – rozwój rzeźby terenu*. [w:] M. P. Mierzejewski (red.), *Karkonosze. Przyroda nieożywiona i człowiek*, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, s. 323-351.

Migoń P., 2011, *Historia badań geomorfologicznych w Karkonoszach*. [w:] Knapik R., Przewoźnik L., Raj A. (red.), *50 lat badań naukowych w Karkonoskim Parku Narodowym*, Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra, s. 61-104.

Pilous V., 2001. *Krkonoše skal a kamení*. Správa KRNAP, Vrchlabí.

Przepaściste ściany Wielkiego Śnieżnego Kotła (fot. Piotr Migoń)

Spis treści

Wstęp . . . 3

Karkonosze na tle Europy . . . 4

Karkonosze i ich podział geograficzny . . . 6

Skalne tworzywo Karkonoszy . . . 8

Granit . . . 11

- Spękania w granicie . . . 13
- Skały żyłowe . . . 17
- Skały metamorficzne . . . 19
- Skały wulkaniczne . . . 23
- Skały osadowe . . . 24

Geologiczna historia Karkonoszy . . . 25

- Zanim powstał granit karkonoski . . . 26
- Od magmy do granitu . . . 28
- Od powstania granitu do czasów dzisiejszych . . . 30

Jak wykorzystywano karkonoskie skały . . . 31

Wietrzenie granitu . . . 35

- Zwietrzeliny ziarniste . . . 36
- Wietrzenie selektywne . . . 39
- Mikroformy . . . 41

Powierzchnie zrównania i góry wyspowe . . . 44

Jak powstały karkonoskie skałki . . . 50

Doliny rzeczne i wodospady . . . 61

Zlodowacenie Karkonoszy . . . 69

Dawne i współczesne środowisko peryglacjalne . . . 79

Niespokojne stoki – spływy gruzowe i inne ruchy masowe . . . 85

Rzeźbotwórcza rola wiatru i wody . . . 89

Człowiek zmienia rzeźbę terenu . . . 92

Geopark Karkonosze . . . 95

Literatura uzupełniająca . . . 98