

CEZARY KABALA

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska
50-357 Wrocław, ul. Grunwaldzka 53
cezary.kabala@up.wroc.pl

GLEBY KARKONOSZY – HISTORIA I STAN POZNANIA ORAZ PRZYSZŁE WYZWANIA BADAWCZE

SOILS OF THE KARKONOSZE MOUNTAINS - HISTORY, CURRENT STATE
OF KNOWLEDGE AND FUTURE RESEARCH CHALLENGES

Abstrakt

Karkonosze są modelowym obszarem występowania pionowej strefowości pokrywy glebowej uwarunkowanej klimatycznie i morfologicznie. Przyszłe badania powinny skupić się na reakcjach gleb i ekosystemów górskich na globalne zmiany klimatyczne oraz lokalne oddziaływania antropogeniczne.

Abstract

The Karkonosze Mountains are model area of the soil zonality occurrence, conditioned by climate and morphology. Future research should be focused on the reactions of mountain soils and ecosystems on global climate changes and local anthropogenic influences.

Słowa kluczowe: strefowość gleb, bielice, gleby brunatne, monitoring gleb, wiązanie węgla

Key words: soil zonality, Podzols, Cambisols, soil monitoring, carbon sequestration

Funkcje gleb w środowisku przyrodniczym

Choć gleby są powszechnie występującymi wytworami przyrody, wielu obserwatorów górskiej przyrody nie przywiązuje wagi do roli gleb w otaczającym środowisku. Tymczasem gleba istotnie wpływa na funkcjonowanie większości ekosystemów lądowych, zarówno tych naturalnych, jak i tych zmienionych oraz użytkowanych przez człowieka. Na ogół na pierwszym miejscu wymienia się produkcyjną funkcję, w której akcentuje się glebę jako fizyczne podłoże dla uprawy roślin konsumpcyjnych, paszowych i przemysłowych, albo dla plantacji leśnych. Gleba zawiera pewną rezerwę składników pokarmowych (mineralnych i organicznych), które wykorzystywane są przez rośliny, a także posiada zdolności magazynowania wody niezbędnej dla wszystkich organizmów. Nie mniej istotne są hydrologiczne funkcje gleb, szczególnie na obszarach górskich, gdzie zdolności retencyjne gleb regulują przepływ wody w rzekach, mogą zapobiegać powodziom i tworzyć rezerwuary wód pitnych. W glebach górskich następuje transformacja czystej wody opadowej w wodę gruntową bogatą w rozpuszczone minerały. Gleby spełniają też funkcję sanitarną, która polega na zatrzymywaniu i czasowym wiązaniu zanieczyszczeń (na przykład metali

ciężkich) w postaci niedostępnej dla roślin, albo hamowaniu (buforowaniu) niekorzystnych dla środowiska reakcji chemicznych – na przykład zakwaszenia. Funkcję taką gleba może wypełniać dzięki dużym zdolnościom sorpcyjnym i buforowym minerałów ilastych oraz substancji humusowych (próchnicznych). Gleby górskie są na ogół zasobne w materię organiczną, toteż ich zdolności sorpcyjne są duże. Wreszcie w ostatnich latach coraz bardziej podkreślane są przyrodnicze funkcje gleb. Gleba jest bowiem siedliskiem mikro- i makroorganizmów, które z jednej strony korzystają z zasobności gleby, ale z drugiej strony są motorem wszystkich procesów biochemicznych, na przykład wietrzenia skał i minerałów, procesów rozkładu materii organicznej, procesów obiegu węgla, azotu, siarki, fosforu itp. Gleba stale podlega transformacji, a wraz z nią zmienia się ekosystem, którego jest podłożem. Gleba jest więc podstawą i siedliskiem bioróżnorodności. Gleba, w której procesy przeobrażenia przebiegają w sposób naturalny, jest tak samo cennym obiektem przyrodniczym, jak populacja rzadkiego gatunku storczyka – i tak samo zasługuje na ochronę. Mówiąc o zrównoważonym rozwoju gospodarki rolniczej lub leśnej trzeba w pierwszej kolejności eliminować te czynniki, które najsilniej ingerują w naturalne procesy glebowe lub powodują osłabienie regulacyjnych właściwości gleb.

Z racji niedostępności, wyższe partie Karkonoszy długo opierały się ekspansji człowieka, jednak nasilające się od przynajmniej XVIII wieku intensywne użytkowanie lasów na stokach i rolnicze (pasterskie) zagospodarowanie wierzchowin odcisnęły swoje piętno na górskich ekosystemach, w tym na ich glebach. Powstanie Karkonoskiego Parku Narodowego zahamowało gospodarczą ekspansję człowieka w Karkonoszach, i współcześnie sprzyja ochronie oraz badaniom nad funkcjonowaniem gleb w ekosystemach oraz przyrodniczo najbardziej uzasadnionymi kierunkami i metodami czynnej ochrony. W dotychczasowej historii gleboznawczej eksploracji Karkonoszy można wyodrębnić kilka okresów, kiedy intensywność prowadzonych badań wyraźnie wzmagala się dzięki takim impulsom jak powstanie Karkonoskiego Parku Narodowego, klęska ekologiczna lasów sudeckich, czy zainicjowanie nowoczesnego programu monitoringu środowiska leśnego.

Pionierskie badania gleb Karkonoszy

Ekspansja osadnictwa i rolnictwa w coraz wyższe partie Karkonoszy oraz intensyfikacja gospodarki leśnej wzmogły już od końca XVIII wieku zainteresowanie warunkami naturalnymi wpływającymi na dobór roślin oraz ich wzrost i plonowanie. Już w przewodniku HOSERA (1807) znaleźć można trafne uwagi na temat lokalnej strefowości rolnictwa i gospodarki leśnej warunkowanej przez klimat, ukształtowanie terenu oraz jakość gleb. Związki między rodzajem skał macierzystych a właściwościami i produktywnością gleb gór Niemiec, w tym Karkonoszy, obszernie analizuje BEHLEN (1835). Z kolei we florystycznej monografii okolic Jeleniej Góry (ELSNER 1837) podane są zwięzłe charakterystyki siedlisk występowania opisywanych gatunków roślin, co dostarcza orientacji na temat różnorodności warunków glebowych Kotliny Jeleniogórskiej i Karkonoszy. Pochodzące z XIX wieku charakterystyki gleb

Karkonoszy koncentrują się na głębokości i kamienistości gleb, a także ich zwięzłości oraz wilgotności, to jest na cechach decydujących o produktywności i możliwości podejmowania uprawy określonych gatunków zbóż, roślin okopowych, albo zakładania plantacyjnych upraw świerka lub sosny.

Pierwsze profesjonalne opisy morfologii gleb Karkonoszy pojawiają się w pracach geologów i geomorfologów niemieckich na przełomie drugiej i trzeciej dekady dwudziestego wieku. Dotyczą one najwyższych pięter wysokościowych, gdzie starano się rozwikłać wątpliwości dotyczące genezy i wieku gruzowych pokryw stokowych oraz gruntów strukturalnych. GELLERT & SCHÜLLER (1930) opisują typową warstwową budowę gleb występujących powyżej górnej granicy lasu, wyróżniając w profilu glebowym (od powierzchni) warstwę torfiastą, poziom wybielony oraz strefę wzbogacenia w tlenki żelaza („Ortstein”) zalegającą na zwietrzelinie granitowej. Jednak dopiero DÜCKER (1937) jednoznacznie identyfikuje proces glebowy jako bielcowanie („typische Podsolierung”) i opisy morfologii uzupełnia wynikami analiz ilościowych. Odnosząc się do genezy frakcji pyłowej, w którą wzbogacone są gleby Karkonoszy, DÜCKER (1937) jednoznacznie opowiada się za jej lokalnym i wietrzeniowym pochodzeniem, choć dostrzega pewne podobieństwo do pyłu lessowego.

Dyskusja na temat genezy gruntów strukturalnych w subalpejskiej strefie Karkonoszy odżyła po 1945 roku za sprawą między innymi WALCZAKA (1948), który uznał je za stale aktywne w obecnych warunkach klimatycznych. Obserwacje innych geomorfologów, podsumowane między innymi przez JAHNA (1966), potwierdziły stałą aktywność niektórych zjawisk morfologicznych, w tym ruchów stokowych, ale też dostarczyły argumentów na rzecz plejstocénskiego, a nie holocénskiego wieku gruntów strukturalnych. Z kolei za sprawą MACKI (1952) odnowiony został spór o pochodzenie frakcji pyłowej w glebach Karkonoszy. W swoich opracowaniach florystycznych i fitosocjologicznych, Macko nie tylko przyjął pogląd na temat eolicznego pochodzenia pyłu, ale przytoczył własne argumenty na poparcie tej tezy, co wywołało ostrą replikę JAHNA (1966), jednoznacznie opowiadającego się za wietrzeniową genezą frakcji pyłowej w glebach Karkonoszy. Obydwaj autorzy zgodni są jednak co do specyficznego wpływu frakcji pyłowej (której zawartość sięgać może 40% części ziemistych) na właściwości zwietrzelin i gleb, w szczególności na ich przepuszczalność wodną i podatność na krioturbację.

Powojenne badania i eksplorację torfowisk Karkonoszy i Gór Izerskich zapoczątkował TOLPA (1949). Choć jego prace miały na celu przede wszystkim określenie areału, miąższości i przydatności użytkowej torfowisk górskich, poczynił fundamentalne spostrzeżenia dotyczące różnorodności gatunków torfów, stopnia ich rozkładu, a także klimatyczno-hydrologicznych warunków funkcjonowania torfowisk.

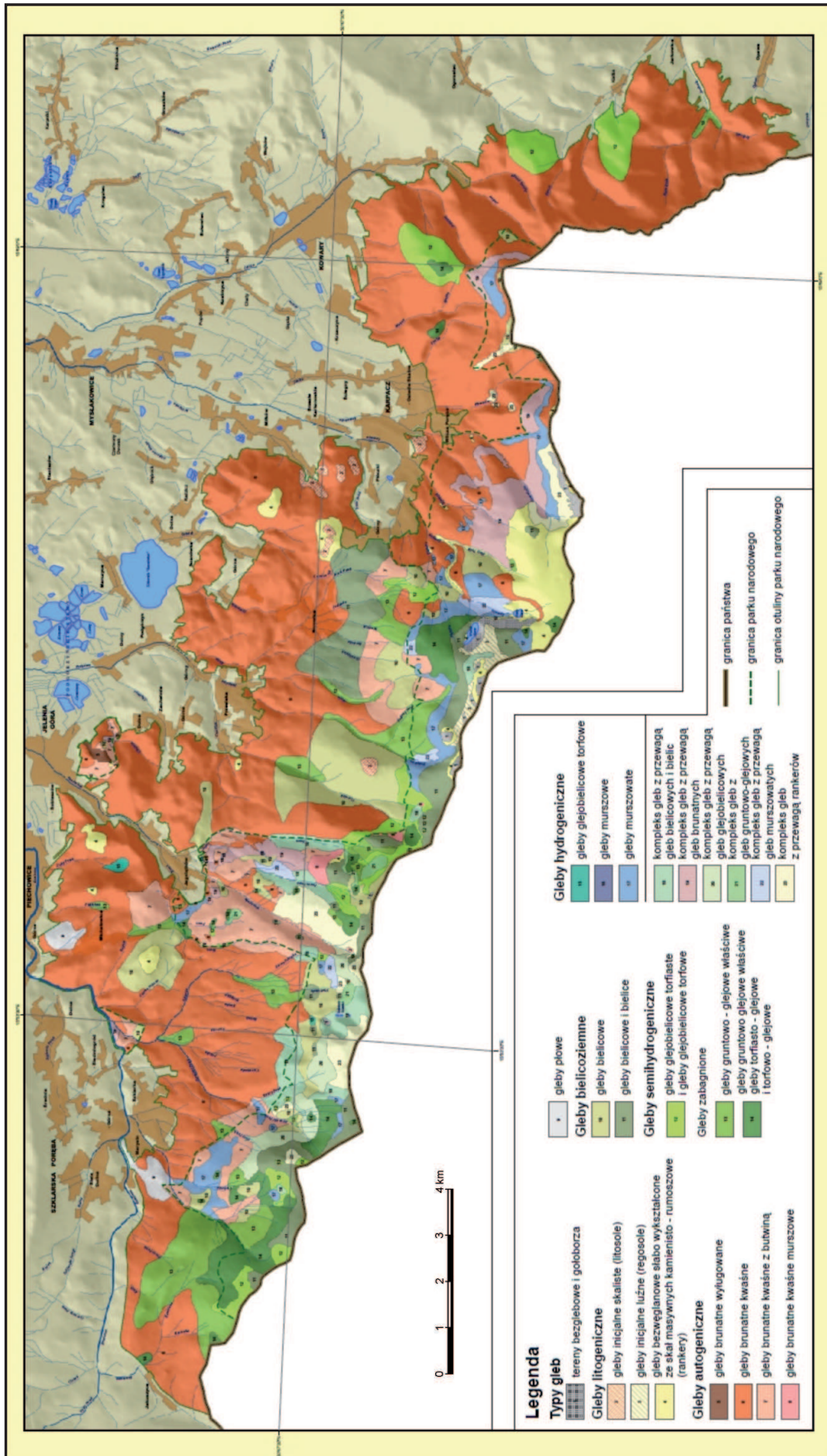
Stopniowo odradzająca się w Sudetach gospodarka leśna była motorem pionierskich prac glebowo-siedliskowych mających na celu racjonalne planowanie odnowień oraz zalesień na opuszczonych gruntach porolnych, a także intensyfikację produkcji drewna na potrzeby odbudowującego się państwa. BERNADZKI (1958) i ZOLL (1958) charakteryzują ogólnie gleby jako w przewodze gliniaste, bezwęglanowe i silnie kwaśne. Zwracają uwagę na gromadzenie się butwiny oraz silne zbielcowanie gleb położo-

nych powyżej 1100 m n.p.m. a także dominację tzw. gleb skrytobelicowych lub słabo zbelicowanych w strefie 600-1100 m n.p.m. Dominację gleb bielicowych uważają za cechę niekorzystną, gdyż wiążą ją z wyjątkowo płytkim korzeniem się świerka, co uwrażliwia drzewa na działanie silnych wiatrów.

Ogólnopolskie badania gleboznawczo-klasyfikacyjne zapoczątkowane w połowie lat 50-tych XX wieku (TOMASZEWSKI i in. 1963) praktycznie ominęły wyższe partie Karkonoszy, gdyż obejmowały jedynie użytki rolne, które w wysokogórskiej części Karkonoszy zajmują minimalny areał. Gleby brunatne niższej strefy wysokościonej Karkonoszy objęte zostały monograficznym opracowaniem BORKOWSKIEGO (1966) dotyczącym morfologii, właściwości, rozprzestrzenienia i wartości użytkowej gleb brunatnych Sudetów, uważanych przez Borkowskiego za dominujący typ gleb w całym paśmie górskim. Obszar Karkonoszy reprezentowały w tej monografii gleby brunatne kwaśne wytworzone ze zwietrzelin granitów. Zdaniem autora, górna granica uprawy gleb brunatnych sięgająca 800 m n.p.m., uwarunkowana zarówno warunkami klimatycznymi, jak i właściwościami gleb ma tendencję do obniżania się, co podyktowane jest malejącą opłacalnością uprawy w warunkach górskich. Pierwsze interesujące spostrzeżenia dotyczące morfologii i właściwości fizykochemicznych gleb najwyższych partii Karkonoszy, w tym szczególnie subalpejskich bielic, zgromadzone zostały w latach 50-tych w trakcie opracowywania Mapy Gleb Polski w skali 1:300000, lecz publikacji doczekały się dopiero na początku lat siedemdziesiątych (KUŹNICKI i in. 1973).

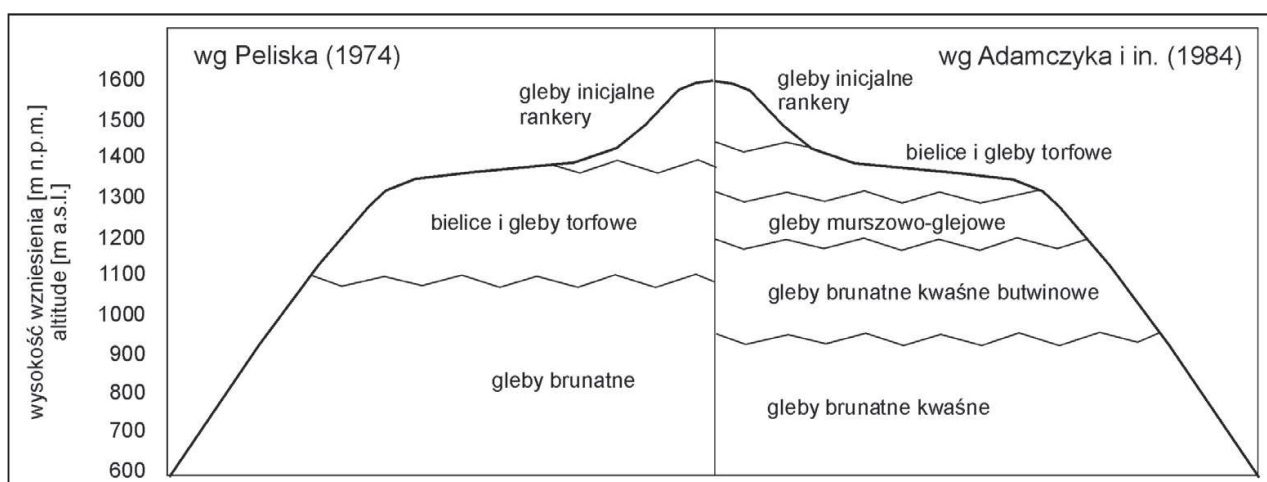
Badania gleboznawcze po powstaniu Karkonoskiego Parku Narodowego

Impulsem, który niewątpliwie zogniskował zainteresowania gleboznawców w tej części Sudetów było powstanie Karkonoskiego Parku Narodowego w 1959 roku. Naturalnie w pierwszej kolejności przystąpiono do inwentaryzacji pokrywy glebowej na całym obszarze objętym ochroną. Zadanie to powierzono grupie gleboznawców krakowskich i wrocławskich pod kierunkiem Tomasza Komornickiego i Bolesława Adamczyka. Poszczególne arkusze mapy w skali 1:10000 redagowali: B. Adamczyk, J. Borkowski, T. Komornicki i L. Szerszeń. Mapa ta jest do dziś podstawowym źródłem wiedzy o przestrzennym zróżnicowaniu pokrywy glebowej na obszarze całego KPN i bazą dla ustalenia siedlisk leśnych na potrzeby zarządzania drzewostanami. Prace gleboznawczo-kartograficzne ujawniły różnorodność typów i podtypów gleb ukształtowanych pod wpływem czynników geomorfologicznych, klimatycznych, wodnych i biologicznych na pozornie mało zróżnicowanym podłożu geologicznym. Ujawniono przy tym potrzebę uzupełnienia systematyki gleb Polski, gdyż cały szereg zidentyfikowanych profili nie posiadał odpowiedniego przyporządkowania w obowiązującej klasyfikacji. Niestety elaborat opisowy przez długie lata pozostawał w maszynopisie. Mapa gleb w bardzo uproszczonej formie oraz pierwszy systematyczny przegląd jednostek typologicznych gleb



Ryc. 1. Przeglądowa mapa gleb Karkonoszy (źródło: Karkonoski Park Narodowy).
 Fig. 1. General soil map of the Karkonosze Mountains (source: Karkonosze Mountains National Park).

opublikowane zostały dopiero w 1985 roku w monografii Karkonoszy pod redakcją A. JAHNA (ADAMCZYK i in. 1985). Następne wydania mapy również nie wykroczyły poza skalę *de facto* przeglądową (SKIBA i in. 2000; BORKOWSKI i in. 2005). Obecnie dane dotyczące pokrywy glebowej funkcjonują jako jedna z warstw informacyjnych w systemie informacji geograficznej (GIS) Karkonoskiego Parku Narodowego, co umożliwi generowanie mapy glebowej w dowolnej skali (Ryc. 1), a także map wieloelementowych (JAŁA 2008). Uwzględniając dużą zmienność przestrzenną, wyróżniono na obszarze Karkonoszy wyraźne strefy pionowe (Ryc. 2): strefę dominacji gleb brunatnych kwaśnych do ok. 950 m n.p.m. (Ryc. 3a), kompleks gleb brunatnych kwaśnych i brunatnych butwinowych w strefie 900-1200 m n.p.m. (Ryc. 3b), strefę zbielicowanych gleb murszowych i murszowo-glejowych na stokach w strefie 1100-1300 m n.p.m. (Ryc. 4), zwarty zasięg gleb bielcowych na wierzchołkach i płaskich stokach w strefie 1300-1450 m n.p.m. (Ryc. 5), kompleks gleb inicjalnych kamienisto-rumoszowych na stromych zboczach w pasie 1100-1400 m n.p.m. (Ryc. 6), oraz tereny bezglebowe na stromych stokach Śnieżki – powyżej 1400 m n.p.m. (ADAMCZYK i in. 1984). Pionowe strefy glebowe w północnej części Karkonoszy generalnie pokrywają się z pasmami glebowymi wyznaczonymi mniej więcej w tym samym czasie przez PELIŠKA w południowej (czeskiej) części Karkonoszy. PELIŠEK (1974) wyróżnił obszar gleb hydromorficznych (niezwiązanych z określoną strefą wysokościową), pasmo gleb brunatnych w zakresie wysokościowym od 600-800 do 1100-1200 m n.p.m., pasmo górskich bielców i gleb torfowych w strefie od 1100-1200 do 1400-1500 m n.p.m. oraz pasmo gleb inicjalnych i skał – od 1400 do 1600 m n.p.m. PELIŠEK (1974) opisuje ponadto 3 typy powierzchniowych form kriogenicznych, opowiadając się za możliwością współczesnego tworzenia się przynajmniej niektórych ze struktur uważanych za „peryglacjalne” (np. pagórków thufurowych).



Ryc. 2. Porównanie pionowych stref glebowych w Karkonoszach według PELIŠKA (1974) i ADAMCZYKA i in. (1984).

Fig. 2. Comparison of vertical soil zones in the Karkonosze Mountains according to PELIŠEK (1974) and ADAMCZYK et al (1984).



Ryc. 3. Gleby brunatne kwaśne: (a) typowe, Karpacz Górny, (b) butwinowe, Hala Złotówka (fot. C. Kabała).
Fig. 3. Cambisols (Dystric): (a) Haplic, Karpacz Górny, (b) Folic/Histic, Hala Złotówka meadow (photo C. Kabała).



Ryc. 4. Górnoreglowe (stagno-)bielice murszowate: (a) rejon Strzechy Akademickiej,
(b) rejon Polany B. Czecha (fot. C. Kabała).

Fig. 4. Histic Podzols in the upper zone of spruce forest: (a) neighbourhood of Strzecha Akademicka,
(b) neighbourhood of B. Czech meadow (photo C. Kabała).



Ryc. 5. Subalpejskie (stagno-)bielice torfiaste: (a) Równia pod Śnieżką, (b) Mumlawski Wierch (fot. C. Kabała).

Fig. 5. Subalpine Stagnic Histic Podzols: (a) Równia pod Śnieżką planation surface, (b) Mumlawski Wierch Mt. (photo C. Kabała).



Ryc. 6. Gleba inicjalna próchniczna, Chojnik (fot. C. Kabała).

Fig. 6. Lithic Leptosol (Humic), Chojnik Mt. (photo C. Kabała).

Do badań gleb we wschodnich Karkonoszach włączone zostało na początku lat 60-tych Studenckie Koło Naukowe Gleboznawców Wyższej Szkoły Rolniczej we Wrocławiu, czego efektem była pierwsza wydana drukiem charakterystyka kateny stokowej obrazującej pionową strefowość gleb na linii Karpacz – Śnieżka (LICZJAR i in. 1966). Według autorów, aż do wysokości 1250 m n.p.m. dominują gleby brunatne kwaśne i wylugowane, w strefie 1250-1400 m n.p.m. - gleby biellicowe i pseudobiellicowe, a powyżej 1400 m n.p.m. – przeważają gleby inicjalne rumoszowe i skaliste. Autorzy zauważają, że układ pięter glebowych we wschodnich Karkonoszach jest nieco inny niż w pasmach górskich Polski południowo-wschodniej. Ponadto, ogólnie strefowy układ pokrywy glebowej jest w wielu miejscach zaburzony przez lokalne czynniki morfologiczne lub hydrologiczne. Właściwości chemiczne oraz cechy mikromorfologiczne gleb w poszczególnych strefach wysokościowych były następnie szerzej analizowane przez Kowalińskiego, Drozda i Licznarową (KOWALIŃSKI 1969; KOWALIŃSKI i in. 1967; KOWALIŃSKI & LICZJAR 1972).

„Odkrycie” Karkonoszy przez wrocławski ośrodek gleboznawczy zaowocowało w krótkim czasie rozpoczęciem badań gleboznawczych wykorzystujących nowatorskie w owym czasie metody analityczne – rentgenostrukturalne, mikromorfologiczne oraz sekwencyjnej ekstrakcji chemicznej, rozwijane pod kierunkiem Stanisława Kowalińskiego, kierownika Katedry Gleboznawstwa WSR we Wrocławiu.

Zagadnieniami wietrzenia minerałów pierwotnych i produktami wietrzenia, w tym głównie minerałami ilastymi decydującymi o najistotniejszych właściwościach zwietrzelin i gleb zajął się Bogda (KOWALIŃSKI i in. 1967; BOGDA & KOWALIŃSKI 1972; BOGDA 1981), a później również Chodak i Szerszeń (BOGDA i in. 1998; SZERSZEŃ 1974). Ustalono, że spośród minerałów pierwotnych budujących skały granitowe Karkonoszy, plagioklasy wietrzeją głównie w kierunku illitu, a w mniejszym stopniu kaolinitu i smektytów, natomiast wietrzenie skaleni potasowych skutkuje wytworzeniem przede wszystkim illitu. Zdecydowanie bardziej zróżnicowane są produkty wietrzenia biotyту: w pierwszej kolejności są to minerały z szeregu hydrobiotyt-wermikulit, którym towarzyszą chlo-ryty i pobocznie illit oraz kaolinit. Występowanie i proporcje wymienionych minerałów we frakcji koloidalnej gleb Karkonoszy uwarunkowane jest zarówno rodzajem skały macierzystej, jak też lokalnymi czynnikami środowiskowymi, w tym głównie reżimem klimatyczno-wodnym. BOGDA (1981) wyróżnił dwie grupy gleb różniące się składem mineralogicznym frakcji ilastej. Pierwszą grupę tworzą gleby z przewagą minerałów mieszanopakietowych illit-montmoryllonit, którym towarzyszą kaolinit, montmoryllonit i hydrobiotyt. Drugą odmianę stanowią gleby ze zdecydowaną przewagą illitu, któremu towarzyszy montomoryllonit lub wermikulit, i w znacznie mniejszej ilości – kaolinit. Wydaje się, że w Karkonoszach znacznie częściej występują gleby należące do pierwszej grupy, w których frakcja ilasta zdominowana jest przez minerały mieszanopakietowe, z różnymi proporcjami składnika illitowego i smektytowego.

Pierwszorzędną rolę w glebach górskich odgrywają również związki próchniczne, jednak dynamika procesów humifikacji i produkty tego procesu, jak i ich stabilność w warunkach górskich były bardzo słabo poznane. Zagadnieniami tymi zajęli się

Kowaliński, S.E. Licznar, M. Licznar i Drozd (DROZD 1973; DROZD i in. 1993; KOWALIŃSKI 1969; KOWALIŃSKI & LICZNAR 1972; KOWALIŃSKI i in. 1973), a następnie również SZERSZEŃ (1974) i LASKOWSKI (1978) stosując zespół metod mikromorfologicznych i sekwencyjnej ekstrakcji chemicznej. Badania metodami mikromorfologicznymi umożliwiły charakterystykę form i morfologicznego stopnia rozkładu szczątków organicznych w poszczególnych poziomach genetycznych najważniejszych typów gleb Karkonoszy. Wyniki prowadzonych prac pozwoliły udokumentować wyraźne różnice między typami próchnic nadkładowych wytworzonych pod różnymi zbiorowiskami roślinnymi oraz w odmiennych warunkach klimatycznych. Efektem tych prac było również zdefiniowanie morfologii agregatów i połączeń organiczno-mineralnych w mineralnych poziomach genetycznych, co było poważnym wkładem w definicje typów i podtypów gleb wyróżnianych w Systematyce Gleb Polski. Z kolei wyniki badań prowadzonych metodami ekstrakcji chemicznej umożliwiły ilościową charakterystykę związków humusowych w najważniejszych typach gleb, z której wysnuto wnioski na temat intensywności procesów humufikacji, rozpuszczalności i stabilności związków humusowych. Ustalono, że w poziomach mineralnych większości gleb Karkonoszy dominują łatwiej rozpuszczalne połączenia próchniczne, co z pewnością jest wynikiem zarówno ubogości granitu w składniki alkaliczne (szczególnie wapń), jak i specyficznych warunków bioklimatycznych, oraz sprzyja (w poziomach powierzchniowych) lub jest efektem (w poziomach B) procesów bielnicowania. Udział tzw. węgla niehydrolizującego, który (w dużym uproszczeniu) jest wskaźnikiem stabilności połączeń humusowych jest wyraźnie większy w glebach zadarnionych w porównaniu z glebami leśnymi, a także w glebach brunatnych (w porównaniu z bielcowymi), szczególnie w środkowej i dolnej części ich profilu.

Badania gleboznawcze w obliczu klęskowego zamierania lasów

Rozległe gradacje szkodników pierwotnych i wtórnych, szczególnie wskaźnicy modrzewianeczki oraz kornika drukarza, które w latach 80-tych XX wieku spowodowały klęskowe zamieranie drzewostanów świerkowych w Górach Izerskich, Karkonoszach i innych pasmach Sudetów skierowały zainteresowania badaczy na poszukiwanie właściwych przyczyn i mechanizmów klęski ekologicznej.

BORKOWSKI i in. (1993), a także KOCOWICZ (1998a, 1998b) przypominali, że gleby wyższych partii Karkonoszy – podobnie jak sąsiednich Gór Izerskich (KABAŁA 1995) - mają specyficzne właściwości chemiczne, w tym silnie kwaśny odczyn w całym profilu, wysoką zawartość glinu ruchomego – toksycznego dla siewek drzew, oraz niską zawartość składników pokarmowych, przede wszystkim fosforu. Właściwości tych gleb nie sprzyjają plantacyjnym uprawom świerka, szczególnie ekotypów nie dostosowanych do warunków lokalnych. BORKOWSKI i in. (1993) zauważają równocześnie, że na przestrzeni ostatnich 30 lat nie nastąpiło istotne obniżenie pH gleb, czego spodziewano się wobec ogromnej emisji związków kwaśnych w opadach atmosferycznych.

Wśród rozlicznych przyczyn klęski ekologicznej wymieniało zanieczyszczenia dopływające z większych odległości (transgraniczne), emitowane głównie przez elektro-

wnie spalające węgiel brunatny w obrębie tzw. Czarnego Trójkąta na pograniczu Polski, Czech i Niemiec, a także zanieczyszczenia ze źródeł lokalnych, to jest z przemysłowych rejonów Wałbrzycha i Jeleniej Góry. W celu charakterystyki stopnia przeobrażenia środowiska Karkonoszy, a także w celu wyjaśnienia mechanizmów zmian w środowisku podlegającym nasilonej antropopresji rozpoczęto w 1992 roku interdyscyplinarny program badawczy koordynowany przez Zofię Fischer z Instytutu Ekologii PAN. Badania gleb realizowano w 90 punktach pomiarowych skoncentrowanych na pięciu „obszarach węzłowych”, reprezentujących najważniejsze typy zbiorowisk roślinnych i zdegradowanych w różnym stopniu. Już we wstępnej fazie badań potwierdzono silnie kwaśny odczyn gleb ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ powierzchniowych poziomów organicznych w zakresie 3,5-4,0, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ poziomów mineralnych w zakresie 3,5-4,5) i brak prostego związku między kwasowością gleby a stopniem degradacji drzewostanów (SKIBA & DREWNIK 1993; SKIBA 1995). Brak istotnych różnic pH w porównaniu z wynikami badań prowadzonych w latach 1960-1965 autorzy tłumaczą dużymi zdolnościami buforowymi powierzchniowych poziomów organicznych. Stwierdzono, że kwasowość gleb wiąże się raczej do typu gleby, charakteru i miąższości powierzchniowych poziomów organicznych, a także stopnia rozkładu materii organicznej (DROZD i in. 1998; SKIBA 1995).

Antropogeniczne wpływy na jakość środowiska Karkonoszy potwierdzone zostały ponad wszelką wątpliwość dzięki analizie zawartości metali ciężkich (BORKOWSKI i in. 1995; DROZD i in. 1995; SKIBA 1995; SKIBA i in. 1995). Szczególnie wysoką akumulację ołowiu (do 362 mg/kg s.m.) i kadmu (do 5 mg/kg s.m.) stwierdzono w próchnicach nadkładowych zdegradowanych ekosystemów leśnych regla górnego. Zawartość innych pierwiastków, w tym cynku, niklu i miedzi, również była lokalnie podwyższona, ale nie osiągała tak wysokich wskaźników względnego nagromadzenia jak ołów i kadm. Zdaniem DROZDA i in. (1996, 1998) wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych emitowanych w ostatnich dekadach przejawia się w większym nagromadzeniu tych metali w podpoziomach Of niż w silniej rozłożonych podpoziomach Oh, teoretycznie posiadających większe zdolności wiązania metali. Szczególną rolę materii organicznej w sorpcji metali ciężkich eksponuje też SKIBA i in. (1994, 1995) podkreślając, że gleby torfowe i butwinowe zawierają na ogół więcej metali, niezależnie od lokalizacji punktu badawczego (charakteryzowanej przez wysokość nad poziom morza i morfologię terenu). Analiza przestrzennego zróżnicowania metali w powierzchniowych poziomach gleb (0-5 cm) wykazała, że relatywnie najwyższe koncentracje pierwiastków występują w glebach zachodniej części Karkonoszy (Mumławski Wierch) oraz w glebach wyżej położonych – na stokach Śnieżki i Łabskiego Szczytu, co dowodzi wpływu bariery górskiej (SKIBA 1994; SKIBA i in. 1995). Prowadzone w następnych latach badania nad rozpuszczalnością i mobilnością pierwiastków śladowych (metodą ekstrakcji sekwencyjnej) w glebach Karkonoszy i Gór Izerskich potwierdziły szczególnie wysokie, antropogeniczne nagromadzenie ołowiu, cynku i miedzi w podpoziomach Of próchnic nadkładowych oraz relatywnie dużą rozpuszczalność cynku i ołowiu, warunkowaną silnie kwaśnym odczynem materii organicznej w tych podpoziomach (DRADRACH 2002; KABALA i in. 1998a, 1998b; KABALA & SZERSZEŃ 1997, 2002). Oznak zanieczyszczenia z reguły nie obserwowano w poziomach mineralnych gleb, gdzie o zawartości metali decydował udział tzw. frakcji rezydualnej, najbardziej zależ-

nej od skały macierzystej. Jedynie w przypadku ołowiu można mówić o podwyższonej koncentracji w środkowej części profilu glebowego, to jest w iluwialnych poziomach Bh, dokąd ołów jest wmywany w kompleksach ze związkami humusowymi. KARCZEWSKA i in. (2004) podjęli próbę oceny wpływu lokalnych czynników antropogenicznych na zanieczyszczenie gleb metalami na przykładzie Szosy Jakuszyckiej, będącej najbardziej ruchliwą arterią komunikacyjną w bezpośrednim sąsiedztwie KPN. Stwierdzono, że mimo dużego natężenia ruchu, zanieczyszczenie ektopróchnic i powierzchniowych poziomów mineralnych jest zdecydowanie mniejsze niż w wyższych partiach sąsiedniego Mumławskiego Wierchu. Wyniki tych prac pośrednio potwierdziły znaczenie transgranicznego transportu zanieczyszczeń ze źródeł przemysłowych i energetycznych w kształtowaniu jakości środowiska Karkonoszy.

W badaniach gleb obszarów objętych klęską ekologiczną, szczególną uwagę zwrócono na transformację materii organicznej oraz jakościowy i ilościowy skład związków humusowych. Podyktowane to było zarówno przeobrażeniami zbiorowisk leśnych, a więc zmianami rodzaju i ilości dopływającej biomasy, ale także obawami o zahamowanie naturalnych procesów humifikacji i mineralizacji w warunkach silnego zakwaszenia i zanieczyszczenia środowiska, sygnalizowanymi m.in. przez PIETRA i in. (1992). Z badań Drozda i współpracowników (DRADRACH i in. 1998; DROZD 1995; DROZD i in. 1998; LICZNAR i in. 1998, 2002) wynika, że skutki zmian środowiskowych widoczne są przede wszystkim w warstwie ektohumusowej, szczególnie w podpoziomach Oh. W początkowej fazie badań stwierdzono, że w ektopróchnicy zdegradowanych drzewostanów świerkowych i zarośli kosówkowych zaznacza się intensywniejszy proces mineralizacji, prowadzący do obniżenia ogólnej zawartości węgla organicznego i azotu, a także do zmniejszenia ilości węgla w kwasach huminowych i fulwowych. Jednak intensywna sukcesja traw (m.in. kostrzewy niskiej) hamuje niekorzystne przeobrażenia materii organicznej. Pod zbiorowiskami trawiastymi w obrębie obumarłej kosówki stwierdzono wzrost wartości proporcji węgla kwasów huminowych do fulwowych, co oznacza wyższy stopień kondensacji związków humusowych, a więc większą stabilność materii organicznej w ektopróchnicy. Jednocześnie, w poziomach iluwialnych Bh gleb bielcowych pod zbiorowiskami zdominowanymi przez *Nardus stricta* i *Calluna vulgaris* odnotowano znacznie większy udział frakcji fulwowej (bardziej mobilnej) w porównaniu z glebami pod *Calamagrostis villosa* i *Festuca supina*, co wskazuje, że wnioskowanie na temat kierunków transformacji materii organicznej oraz ewentualnych skutków zanieczyszczenia środowiska powinno także uwzględniać lokalną (mikro-)zmienną fitosocjologiczną (LICZNAR i in. 2008; LICZNAR & MASTALSKA-CETERA 2008; MASTALSKA-CETERA 2004).

Badania gleb w programie monitoringu środowiska leśnego KPN

Jednym z wniosków wypływających z wcześniejszych badań na obszarach klęski ekologicznej była potrzeba ustanowienia stałej sieci obserwacji jakości środowiska. Podstawowym uzasadnieniem dla podjęcia regularnych badań monitoringowych są ogromne zmiany zachodzące współcześnie w ekosystemach Karkonoszy (RAJ & ZIENTARSKI 2008). Wskutek odnowień naturalnych lub sztucznych zmienia się nie tylko szata roślinna

na obszarach pokłeskowych, ale i warstwa ściółki i ektopróchnicy, co wpływa na morfologię i właściwości fizykochemiczne gleb, a także na dynamikę obiegu składników pokarmowych i toksycznych. Monitoring właściwości gleb leśnych KPN na 630 tzw. powierzchniach kołowych precyzyjnie zlokalizowanych w regularnej siatce 200x300 m rozpoczęto w roku 2004 od opracowania metodyki poboru próbek, uwzględniającej zmienność siedlisk i gleb (KARCZEWSKA i in. 2006, 2007). Minimalizacja wpływu zmienności w obrębie powierzchni badawczej ma kluczowe znaczenie dla powtarzalności i porównywalności wyników obserwacji, toteż ustalono, że reprezentatywna próba średnia do analiz laboratoryjnych powinna składać się z przynajmniej 5 próbek pierwotnych, a przy dużym zróżnicowaniu mikroreliefu – z co najmniej 10 próbek pierwotnych (Ryc. 7). Dla prawidłowej oceny dynamiki zmian chemizmu gleb pobierano osobne próby z trzech poziomów: ektopróchnicy (z całej objętości), z warstwy 0-10 i 10-20 cm (Ryc. 8), w których oznaczono uziarnienie, odczyn i kwasowość wymienną, pojemność sorpcyjną, zawartość materii organicznej, przyswajalnych form potasu, magnezu i fosforu, a także całkowitą zawartość ołowiu, cynku i miedzi oraz, w wybranych próbkach, kadmu, rtęci i siarki. Rzecz jasna, pierwsza seria badań przeprowadzona w latach 2005-2009 miała charakter inwentaryzacyjny, gdyż dopiero powtórzenie prac, planowane w odstępach 10-15 letnich będzie miało walor rzeczywistych badań monitoringowych. Opublikowane dotychczas materiały dotyczą odczynu gleb, materii organicznej i pierwiastków śladowych (KARCZEWSKA i in. 2006; SZOPKA i in. 2005, 2007, 2010; WAROSZEWSKI i in. 2009). Potwierdzono statystycznie, że koncentracja metali ciężkich w ektopróchnicach, szczególnie ołowiu, ogólnie rośnie z wysokością nad poziom morza i jest wyższa w zachodniej niż we wschodniej części Karkonoszy. Jednak wstępne zastosowanie metod geostatystycznych uwypukliło trudno uchwytną matematycznie rolę lokalnych wzniesień (barier orograficznych) lub przełęczy (jako kanałów uprzywilejowanego przemieszczania się mas powietrza) w przestrzennym rozkładzie zanieczyszczenia gleb (Ryc. 9). Wyniki badań potwierdzają ponadto, że podwyższona zawartość metali ciężkich nie mogła być przyczyną zamierania drzewostanów, gdyż współcześnie nie hamuje odnowień naturalnych na obszarach pokłeskowych.



Ryc. 7. Studenci Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w trakcie pobierania próbek gleb na powierzchniach stałego monitoringu środowiska leśnego KPN (fot. C. Kabała).

Fig. 7. Students of Wrocław University of Environmental and Life Sciences during collection of soil samples on permanent sites of forest monitoring (photo C. Kabała).



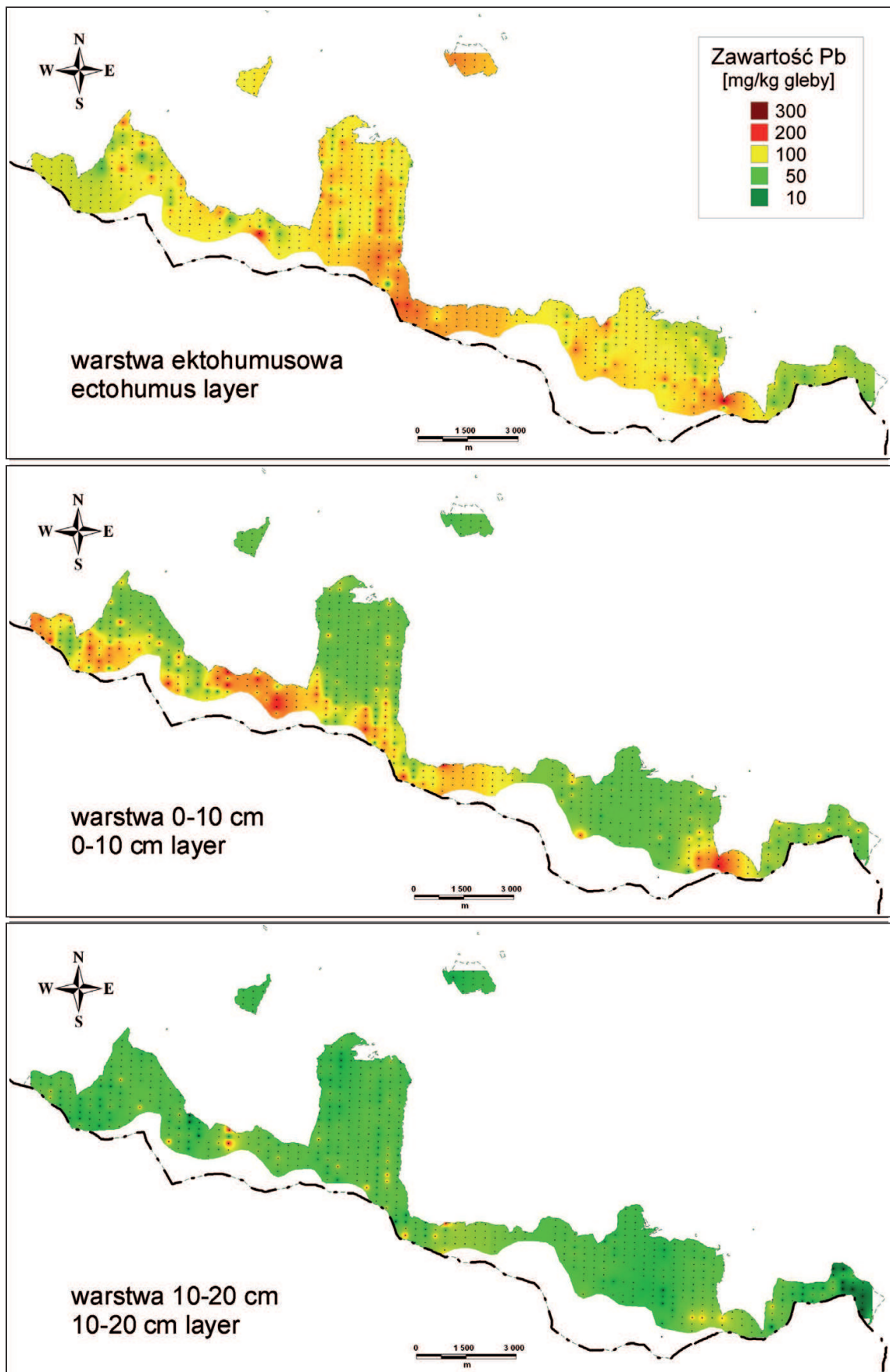
Ryc. 8. „Mikromonolity” gleb Karkonoszy w próbnikach żłobkowych stosowanych w monitoringu środowiska leśnego KPN (fot. C. Kabała).

Fig. 8. Soil „micromonoliths” within gouge augers used at forest monitoring in the Karkonosze Mountains National Park (photo C. Kabała).

Najnowsze studia nad genezą, właściwościami i systematyką gleb Karkonoszy

Zagadnienia genezy gleb i kierunków współczesnych procesów glebotwórczych przewijają się od początku gleboznawczej eksploracji Karkonoszy, lecz nadal niewystarczająco rozpoznana jest rola niektórych czynników środowiskowych w powstawaniu gleb lub ich wpływ na przestrzenną różnorodność pokrywy glebowej i siedlisk leśnych. Wobec braku wystarczającej dokumentacji naukowej, albo wskutek niedostatków Systematyki Gleb Polski (1989) oraz Klasyfikacji Gleb Leśnych (2001) nadal nie wszystkie występujące w Karkonoszach gleby mają jednoznacznie ustaloną pozycję systematyczną, jak choćby głębokie gleby „suffozyjne” (Ryc. 10), bielice stagnoglejowe, gleby brunatne butwinowe, a nawet niektóre (piaszczyste) gleby brunatne kwaśne (KABAŁA 2001, 2004; MARZEC & KABAŁA 2008; SKIBA 1993). Badania nad genezą i właściwościami gleb Karkonoszy potrzebne są więc nie tylko dla pełnej charakterystyki środowiska tego obszaru, ale i doskonalenia uniwersalnej wiedzy o glebach Polski. Nie ulega również wątpliwości, że poligenetyczny lub przejściowy charakter niektórych gleb stwarza wyzwania dla międzynarodowej klasyfikacji gleb (IUSS 2006).

Nadal regularnie podejmowane są w Karkonoszach badania nad produktami wietrzenia minerałów w glebach. Według WEBERA i in. (1998) w subalpejskich bielicach na obszarach klęski ekologicznej nie obserwuje się przyspieszenia tempa wietrzenia minerałów pierwotnych. Zdaniem autorów, natężenie wietrzenia chemicznego pozostaje minimalne, a przeważają procesy dezintegracji fizycznej. Również KABAŁA (2005) zgłosił wątpliwości co do faktycznej natury minerałów uznawanych za (wtórny) illit, podczas gdy przynajmniej część tej frakcji to pierwotne miki, rozdrobione mechanicznie do wielkości frakcji koloidalnej. W ostatnich latach potwierdzono też występowanie wermikulitu we frakcji ilastej wysokogórskich bielic karkonoskich (KABAŁA 2005, 2008). Tworzenie się wermikulitu jest interpretowane jako skutek specyficznych warunków glebowych nie sprzyjających powstawaniu minerałów smektytowych, w tym silnie kwaśnego odczynu, wysokiego stężenia jonów glinu, a równocześnie niedostatku jonów magnezu. KABAŁA (2008) sygnalizuje ponadto, że niektóre różnice jakościowego i ilościowego składu frakcji ilastej w profilach bielic Karkonoszy nie muszą wynikać wyłącznie ze współczesnych



Ryc. 9. Zawartość ołowiu w glebach ekosystemów leśnych KPN – na podstawie wyników monitoringu gleb.

Fig.9. Lead concentration in soils of forest ecosystems in the KNP – based on results of soil monitoring.



Ryc. 10. Subalpejskie bielice „suffozyjne”: (a) Kowarski Grzbiet, (b) Kopa (fot. C. Kabała).

Fig. 10. Subalpine „suffosion” Hyperskeletal Podzols:
(a) Kowarski Grzbiet ridge, (b) Kopa Mt. (photo C. Kabała).

procesów glebotwórczych, ale mogą być „odziedziczonym” efektem litologiczno-petrograficznego zróżnicowania pokryw stokowych.

Morfologii oraz właściwości niektórych gleb Karkonoszy nie sposób wyjaśnić bez nawiązania do litologicznego warstwowania pokryw stokowych, ukształtowanych w plejstocenie i holocenie, w określonych warunkach klimatycznych. Wstępne badania potwierdziły słuszność tej koncepcji przynajmniej w odniesieniu do subalpejskich i górnoreglowych gleb bielicowych (KABAŁA i in. 2004, 2008; KOWALKOWSKI & DEGÓRSKI 2005). Podkreślić należy, że koncepcja „glebopokryw” nie stoi w sprzeczności ze współczesnym bielicowym kierunkiem rozwoju tych gleb (KABAŁA 2006).

Bieżące potrzeby i perspektywiczne wyzwania badawcze

Dalekosiężne planowanie jakichkolwiek badań jest obarczone ryzykiem, gdyż nie sposób przewidzieć wyzwań, które – jak w przeszłości klęska ekologiczna sudeckich lasów – mogą niespodziewanie wyznaczyć nowe zadania. Jednak patrząc na bieżące potrzeby i niedostatki w aktualnej wiedzy, a także wsłuchując się w dyskusje międzynarodowych gremiów naukowych, można wskazać szereg krótko- i długofalowych problemów badawczych istotnych dla Karkonoszy. Z reguły są to zagadnienia interdyscy-

scyplinarne, wymagające współpracy gleboznawców i geomorfologów, klimatologów, biologów lub leśników.

Wśród zadań bieżących, na pierwszym miejscu należy wymienić potrzebę aktualizacji mapy gleb Karkonoskiego Parku Narodowego oraz lepszej jej integracji z mapami innych komponentów środowiska w ramach istniejącego w parku numerycznego systemu informacji przestrzennej. Nie umniejszając walorów mapy stworzonej pod kierunkiem T. Komornickiego w latach 60-tych XX wieku trzeba uwzględnić ogromny postęp, jaki dokonał się w ciągu następnych czterech dekad, nie tylko w dziedzinie wiedzy o glebach, ale i zbiorowiskach roślinnych oraz siedliskach leśnych, geomorfologii. Należy ponadto uwzględnić faktyczne przeobrażenia pokrywy glebowej, które zaszły wskutek m.in. przesuszenia, erozji oraz zamierania drzewostanów i zmian szaty roślinnej. Aktualizacja i integracja mapy gleb i siedlisk ma istotne znaczenie dla właściwego zarządzania zasobami parku i prawidłowego planowania zabiegów ochronnych.

Z pewnością powinny być kontynuowane wielowątkowe studia nad genezą gleb Karkonoszy. Rozrastająca się wiedza na temat zmienności warunków środowiskowych i szaty roślinnej oraz aktywności procesów stokowych w plejstocenie i holocenie rzuca nowe światło na zagadnienia formowania pokryw stokowych i przebieg procesów glebotwórczych. Związki między budową pokryw stokowych a morfologią i właściwościami gleb górskich, analizowane obecnie w wielu ośrodkach naukowych (m.in. DIETZE & KLEBER 2010; LORZ i in. 2010), mają nie tylko znaczenie teoretyczne, ale ułatwiają poznanie dróg krążenia wody, materii organicznej oraz makro- i mikroskładników, a więc zrozumienie funkcjonowania ekosystemów w ujęciu lokalnym i krajobrazowym (kateny stokowej).

Wśród „misyjnych” zadań Karkonoskiego Parku Narodowego należy wymienić kontynuowanie monitoringu środowiska leśnego, w tym gleb, a być może również rozszerzenie istniejącej sieci stałych powierzchni monitoringowych na subalpejską strefę Karkonoszy. Obszar parku narodowego jest idealnym miejscem dla prowadzenia niezakłóconych długoterminowych obserwacji zmian w środowisku na powierzchniach badawczych posiadających precyzyjnie rejestrowaną historię użytkowania (lub braku ingerencji człowieka). Badania za pomocą niezmiennych metodyki i w stałych punktach pozwolą znaleźć odpowiedzi na szereg pytań stawianych dziś przez gleboznawców i ekologów, w tym m.in.: czy poziom zanieczyszczenia środowiska Karkonoszy ustabilizował się, w jakim kierunku przebudowywać drzewostany świerkowe, jakie będą skutki przebudowy (lub naturalnych odnowień) dla chemizmu i przyszłej żyzności gleb, w tym dla zasobów węgla organicznego w glebach i całych ekosystemach itd. Problem tempa sekwestracji węgla z CO₂ w postaci naturalnej materii organicznej i jej zasobów w ekosystemach jest obecnie jednym z zagadnień częściej podejmowanych przez zespoły zajmujące się badaniami środowiskowymi (m.in. BARITZ i in. 2010; DJUKIC i in. 2010).

Nie ulega wątpliwości, że w Karkonoszach celowe byłoby zainicjowanie znacznie szerszych i interdyscyplinarnych badań nad wpływem współczesnych zmian klimatu na dynamikę ekosystemów górskich. Badania te – w uzupełnieniu do badań monitoringowych – mogłyby w sposób eksperymentalny wyjaśnić niektóre obserwowane dziś zjawiska

i określić ich kierunki i tempo w przyszłości, a także dalekosiężne skutki dla parku narodowego. Jednym z ważniejszych lokalnych problemów wydaje się być zagrożenie odwodnieniem i mineralizacją subalpejskich i górnoreglowych torfowisk oraz płytkich stokowych pokryw torfiastych. Pionierskie badania nad wpływem zmian klimatycznych na ekosystemy górskie, nawiązujące do podobnych prac w strefie arktycznej i subarktycznej, prowadzone od niedawna w Alpach i innych pasmach górskich Europy pokazują (HAGEDORN i in. 2010), że jednoznaczna ocena przeobrażeń nie jest możliwa, gdyż wywołują one zarówno negatywne, jak i pozytywne efekty środowiskowe. Uruchomienie podobnego programu w Karkonoszach, obok funkcjonującego już programu monitoringu środowiska oraz wysoko rozwiniętego systemu zarządzania informacjami o środowisku (GIS) utrwaliłyby pozycję Karkonoskiego Parku Narodowego jako lidera wśród wzorcowych obszarów badań środowiska naturalnego – nie tylko glebowego – w Polsce i Europie.

Literatura

- ADAMCZYK B., BARAN S., BORKOWSKI J., KOMORNICKI T., KOWALIŃSKI S., SZERSZEŃ L. & TOKAJ J. 1985: Gleby. W: JAHN A. (red.), Karkonosze polskie. Wyd. PAN Zakł. Narod. im. Ossolińskich, Wrocław: 77-86.
- BARITZ R., SEUFERT G., MONTANARELLA L. & RANST E. 2010: Carbon concentration and stocks in forest soils of Europe. *Forest Ecol. Manag.* 260: 262-277.
- BEHLEN S. 1835: Über den Einfluss der Gebirgs- und Bodenarten auf den Feld- und Waldbau. *Allgem. Forst- und Jagdzeitung*, 18-20, Sauerlaender, Frankfurt am Main.
- BERNADZKI E. 1958: Charakterystyka siedlisk leśnych w Sudetach. *Sylvan*, 102: 50-62.
- BOGDA A. 1981: Skład mineralny i niektóre właściwości gleb brunatnych wytworzonych z granitoidów sudeckich. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rozprawy*, 26: ss. 98.
- BOGDA A., CHODAK T. & SZERSZEŃ L. 1998a: Skład i właściwości gleb wytworzonych z granitu Karkonoszy. *Geoekol. Probl. Karkonoszy, Acarus, Poznań*: 179-184.
- BOGDA A. & KOWALIŃSKI S. 1972: Micromorphology of the weathering products of some soil-forming igneous rocks of the Sudetes. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 123: 519-529.
- BORKOWSKI J. 1966: Gleby brunatne Sudetów. *Probl. Zagosp. Ziem Górskich* 12: 29-93
- BORKOWSKI J., BRALEWSKI D., PARADOWSKI A. & SZMIT T. 1993: Skład i właściwości gleb Karkonoskiego Parku Narodowego. *Geoekol. Probl. Karkonoszy, Wyd. UW, Wrocław*: 125-130.
- BORKOWSKI J., DIETRICH A., KOCOWICZ A. & SZERSZEŃ L. 1993: Zawartość metali ciężkich w glebach i roślinności Karkonoskiego Parku Narodowego. *Geoekol. Probl. Karkonoszy, Wyd. UW, Wrocław*: 131-136.
- BORKOWSKI J., SZERSZEŃ L. & KOCOWICZ A. 2005: Gleby Karkonoszy W: MIERZEJEWSKI M. P. (red.), Karkonosze. *Przyroda nieożywiona i człowiek. Wyd. UW, Wrocław*: 353-379.
- DIETZE M. & KLEBER A. 2010: Characterisation and prediction of thickness and material properties of periglacial cover beds, Tharandter Wald, Germany. *Geoderma* 156: 356.
- DJUKIC I., ZEHETNER F., TATZBER M. & GERZABEK M. 2010: Soil organic matter stocks and characteristics along an Alpine elevation gradient. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173: 30-38.
- DRADRACH A., DROZD J. & LICZNAR M. 1998: Charakterystyka próchnicy nadkładowej ekosystemów koso-drzewiny w różnym stopniu degradacji na terenie Karkonoskiego Parku Narodowego. *Geoekol. Probl. Karkonoszy, Acarus, Poznań*: 199-202.
- DRADRACH A. 2002: Zawartość i formy metali ciężkich w glebach Karkonoszy w rejonie występowania kłęski ekologicznej. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 445, 84: 47-63.

- DROZD J. 1973: Związki próchniczne niektórych gleb na tle ich fizykochemicznych właściwości. *Rocz. Gleb.* 24: 3-55.
- DROZD J. 1995: Charakterystyka próchnicy nadkładowej w różnie zdegradowanych ekosystemach leśnych Karkonoszy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418: 347-352.
- DROZD J., LICZNAK M., WEBER J., LICZNAK S. E., JAMROZ E., DRADRACH A., MASTALSKA-CETERA B. & ZAWERBNY T. 1998: Degradacja gleb w niszczonej ekosystemach Karkonoszy i możliwości jej zapobiegania. PTSH, Wrocław: ss. 125.
- DROZD J., LICZNAK S.E. & LICZNAK M. 1993: Formy próchnicy w pionowych strefach klimatyczno-glebowych Karkonoszy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 411: 149-156.
- DROZD J., LICZNAK M. & WEBER J. 1996: The content of heavy metals in the actohumus horizons of soils of degraded forest ecosystems in Karkonosze Mountains. *Pol. J. Soil. Sci.* 29, 1: 33-38.
- DÜCKER A. 1937: Über Strukturböden im Riesengebirge. Ein Beitrag zum Bodenfrost- und Lößproblem. *Zeitschr. der Deutschen Geolog. Gesellsch.* 89: 113-129.
- ELSNER M. 1837: Flora von Hirschberg und dem angrenzenden Riesengebirge. Aderholz, Breslau, ss. 210.
- GELLERT J. F. & SCHÜLLER A. 1930: Eiszeitböden im Riesengebirge. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 81: 444-449.
- HAGEDORN F., MULDER J. & JANDL R. 2010: Mountain soils under a changing climate and land-use. *Biogeochemistry* 97: 1-5.
- HOSER J. K. E. 1807: Das Riesengebirge in einer Statistisch-Topographischen und Pittoresken Übersicht. Verlag Joseph Geistinger, Wien, Baden, Triest, ss. 142.
- IUSS. 2006: World Reference Base for Soil Resources 2006. 2nd edition, World Soil Resources Reports 103, FAO, Rome: ss. 122.
- JAHN A. 1963: Gleby strukturalne Czarnego Grzbietu i problem utworów pylastych w Karkonoszach. *Acta Univ. Wratislav.* 9: 55-65.
- JALA Z. 2008: Zastosowanie systemu informacji geograficznej (GIS) w zarządzaniu Karkonoskim Parkiem Narodowym. Pracownia GIS KPN, Jelenia Góra: ss. 48.
- KABALA C. 1995: Glin wymienny i odczyn gleb Gór Izerskich na obszarze kłęski ekologicznej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418: 361-368.
- KABALA C. 2001: Porównanie pojedynczej i sekwencyjnej ekstrakcji żelaza w glebach bielcowych Sudetów. *Rocz. Gleb.* 52: 191-197.
- KABALA C. 2004: Problemy genezy niektórych gleb bielcowych subalpejskiego piętra Karkonoszy. *Opera Corcontica* 41, 1: 48-54.
- KABALA C. 2005: Geneza, właściwości i występowanie gleb bielcowych w zróżnicowanych warunkach geologicznych Dolnego Śląska. *Zesz. Nauk. AR Wrocław* 519: ss. 169.
- KABALA C. 2006: Diagnostic spodic horizons in Podzols of the Sudety Mountains. *Pol. J. Soil Sci.* 39, 2: 175-183.
- KABALA C. 2007: Horizontal diversity of clay fraction in profiles of Podzols in the Sudety Mountains. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 520: 835-844.
- KABALA C., BOGACZ A., WAROSZEWSKI J. & OCHYRA S. 2008: Wpływ pokryw stokowych na morfologię i właściwości bielci subalpejskiego piętra Karkonoszy. *Rocz. Gleb.* 49, 1: 90-99.
- KABALA C., KARCZEWSKA A. & SZERSZEŃ L. 1998a: Formy pierwiastków śladowych w glebach leśnych Sudetów Zachodnich. *Geoekol. probl. Karkonoszy. Acarus, Poznań*: 213-216.
- KABALA C., SZERSZEŃ L. & BARTOSZEWSKA K. 1998b: Zawartość Pb, Zn i Cu w glebach Gór Izerskich i Rudaw Janowickich jako tło dla Karkonoskiego Parku Narodowego. *Geoekol. probl. Karkonoszy. Acarus, Poznań*: 207-212.
- KABALA C. & SZERSZEŃ L. 1997: Formy żelaza i pierwiastków śladowych w silnie kwaśnych glebach bielcowych Gór Izerskich. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 456: 381-386.

- KABAŁA C. & SZERSZEŃ L. 2002: Profile distribution of lead, zinc and copper in Dystric Cambisols developed from granite and gneiss of the Sudetes Mountains, Poland. *Water Air Soil Pollution*, 138: 307-317.
- KARCZEWSKA A., BOGACZ A., KABAŁA C., SZOPKA K. & DUSZYŃSKA D. 2006: Methodology of soil monitoring in a forested zone of the Karkonosze National Park with reference to the diversity of soil properties. *Pol. J. Soil Sci.* 39, 2: 117-129.
- KARCZEWSKA A., KABAŁA C., LIZUREK S. & ZAJĄC S. 2004: Zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi w sąsiedztwie Szosy Jakuszyckiej na obrzeżach Karkonoskiego Parku Narodowego. *Opera Corcontica*, 41, 1: 60-65.
- KARCZEWSKA A., SZOPKA K., BOGACZ A., KABAŁA C. & DUSZYŃSKA D. 2007: Rozważania nad metodyką monitoringu gleb strefy leśnej Karkonoskiego Parku Narodowego (KPN) – w świetle zróżnicowania właściwości tych gleb. *Opera Corcontica*, 44, 1: 95-107.
- KARCZEWSKA A., SZOPKA K., KABAŁA C. & BOGACZ A. 2006: Zinc and lead in forest soils of Karkonosze National Park – data for assessment of environmental pollution and soil monitoring. *Pol. J. Environ. St.* 15, 2a: 336-342.
- Klasyfikacja gleb leśnych Polski 2000: CILP, Warszawa: ss. 123.
- KOCOWICZ A. 1998: Zawartość fosforu w glebach Karkonoskiego Parku Narodowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 464: 231-239.
- KOCOWICZ A. 1998a: Stan zakwaszenia gleb na tle wysokości ich występowania i sposobu użytkowania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 456: 299-304.
- KOWALIŃSKI S., BOGDA A. & CHODAK T. 1967: Wstępne badania mikromorfologiczne produktów wietrzenia biotytu w niektórych glebach wytworzonych z granitu karkonoskiego. *Zesz. Nauk. WSR*, Wrocław 66, 21: 19-30.
- KOWALIŃSKI S. 1969: Interdependence between micromorphological and chemical properties in some zonal soils of the Karkonosze Mountains (Poland). *Geoderma* 3: 89-115.
- KOWALIŃSKI S., DROZD J. & KRĘŻEL K. 1967: Profilowe rozmieszczenie ruchomych form SiO_2 , Al_2O_3 i Fe_2O_3 w niektórych glebach Karkonoszy. *Zesz. Nauk. WSR*, Wrocław 66, 21: 19-30.
- KOWALIŃSKI S., DROZD J. & LICZJAR S. 1973: Mikromorfologiczna i chemiczna charakterystyka związków próchnicznych w niektórych glebach Karkonoszy. *Rocz. Gleb.* 24: 145-157.
- KOWALIŃSKI S. & LICZJAR S. 1972: Właściwości mikromorfologiczne niektórych gleb północnego stoku Karkonoszy. *Rocz. Gleb.* 23: 29-50.
- KOWALKOWSKI A. & DEGÓRSKI M. 2005: Biogeomorfologiczna odrębność górskich strukturalnych gleb rdzawych bielcowych. *Probl. Zagosp. Ziem Górskich* 52: 7-15.
- KUŹNICKI F., BIAŁOUSZ S., SKŁODOWSKI P. & ŻAKOWSKA H. 1973: Typologia i charakterystyka gleb górskich obszaru Sudetów. *Rocz. Gleb.* 24, 2: 27-84
- LASKOWSKI S. 1978: Skład frakcyjny połączeń próchnicznych niektórych kategorii gleb górskich Sudetów. *Rocz. Gleb.* 24: 57-101.
- LICZJAR M., BORKOWSKA W., JASKÓLSKI M., ŁYPACZ J., POREMBA I., PRATOVA I., RABIKOWSKA B., ROBACZEWSKI J., SERAFIN S. & URBAN J. 1966: Badania pionowych stref klimatyczno-glebowych w Karkonoskim Parku Narodowym. *Zesz. Nauk. WSR we Wrocławiu*, 67: 133-139.
- LICZJAR S. E., LICZJAR M., ŁABAZ B. & DROZD J. 2002: Transformation of soil organic matter in the degraded ecosystems 'Pinetum mughi sudeticum' in the region of the Karkonosze National Park. *Polish J. Soil Sci.* 35, 1: 31-38.
- LICZJAR S. E., ŁABAZ B. & LICZJAR M., 2000: Właściwości fizykochemiczne i skład frakcyjny związków próchnicznych w różnie degradowanych ekosystemach kosodrzewiny. *Opera Corcontica* 37: 486-491.
- LICZJAR S. E. & MASTALSKA-CETERA B. 2008: Organic matter characteristics of the Bh Podzol horizon formed under various subalpine plant communities in the Karkonosze Mountains. *Polish J Soil Sci.* 41: 13-21.
- LICZJAR S. E., MASTALSKA-CETERA B. & LICZJAR M. 1998: Wpływ zbiorowisk roślinnych kosodrzewiny i kostrzewy niskiej na właściwości i skład frakcyjny związków próchnicznych bielci Karkonoskiego Parku Narodowego. *Geoekol. probl. Karkonoszy. Acarus*, Poznań: 217-223.

- LORZ C., FRUEHAUF M., MAILANENDER R. & PHILIPS J. 2010: Lithologic discontinuities in cover beds influencing soil evolution and soil properties. Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly 2010, Vienna, 12: 6368-6370.
- MARZEC M. & KABAŁA C. 2008: Gleby rdzawe i brunatne kwaśne wytworzone ze zwietrzelin granitów w Sudetach – morfologia, właściwości i systematyka. *Rocz. Gleb.* 59, 3/4: 206-214.
- MASTALSKA-CETERA B. 2004: Charakterystyka związków próchnicznych biellic Karkonoszy pod różnymi zespołami roślinności piętra subalpejskiego. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 487, *Rolnictwo* 85: 109-130.
- PELIŠEK J. 1974: Půdy Krkonosskeho narodniho parku. *Opera Corcontica* 11: 7-35.
- PIETR S., STANKIEWICZ M., LUBCZYŃSKA J. & WĘGRZYN T. 1993: Aktywność mikroflory glebowej wybranych ekosystemów Karkonoszy. *Probl. ekol. wysokogórskiej części Karkonoszy*. IE PAN, Dziekanów Leśny: 103-109.
- RAJ A. & ZIENTARSKI J. 2008: Monitoring ekosystemów leśnych w Karkonoskim Parku Narodowym. W: MAZUR A., RAJ A. & KNAPIK R. (red.), *Monitoring ekosystemów leśnych w KPN*. KPN, Jelenia Góra: 9-16.
- SKIBA S. 1995: Ocena wpływu imisji przemysłowych na gleby Karkonoszy. *Probl. ekol. wysokogórskiej części Karkonoszy*, IE PAN, Dziekanów Leśny: 97-111.
- SKIBA S. & DREWNIK M. 1993: Gleby zdegradowanych ekosystemów wybranych rejonów Karkonoszy. *Karkonoskie Badania Ekolog.*, IE PAN, Dziekanów Leśny: 93-102.
- SKIBA S., DREWNIK M., KACPRZAK A., SZMUC R. & KOŁODZIEJCZYK M. 2000: Soil maps of mountain national parks in Poland. W: KABAŁA C., MARCINEK J. & CHODAK T. (red.), *Comparison of Polish and German soil classification systems for soil cartography of the mountain and sub-mountain areas*. PTG, GSSS, Wrocław: 93-100.
- SKIBA S., DREWNIK M. & SZMUC R. 1995: Zawartość metali ciężkich w powierzchniowych poziomach gleb Karkonoszy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418: 351-360.
- SZERSZEŃ L. 1974: Wpływ czynników bioklimatycznych na procesy zachodzące w glebach Sudetów i Spitsbergenu. *Rocz. Gleb.* 25: 53-99.
- Systematyka gleb Polski. 1989: *Roczniki Gleboznawcze*, 40, 3/4: 1-155.
- SZOPKA K., KARCZEWSKA A., KABAŁA C., BOGACZ A. & JEZIERSKI A. 2007: Zróżnicowanie zawartości ołowiu w glebach Karkonoskiego Parku Narodowego w rejonie Jagniątkowa. *Ochrona Środow. Zas. Nat.* 31: 28-32.
- SZOPKA K., KARCZEWSKA A., KABAŁA C., BOGACZ A., JEZIERSKI P. & ŚLIPKO M. 2010: Rtęć w poziomach powierzchniowych gleb leśnych wschodniej i zachodniej części Karkonoszy W: FALKOWSKA L. (red.), *Rtęć w środowisku*. *Fund. Rozw. Uniw. Gdańskiego*, Gdańsk: 135-143.
- SZOPKA K., KARCZEWSKA A., KABAŁA C. & DUSZYŃSKA D. 2005: Lokalna zmienność zawartości ołowiu, miedzi i cynku w glebach leśnych KPN – na podstawie wybranych punktów stałego monitoringu ekosystemów leśnych. W: GWOREK B. (red.), *Obieg pierwiastków w przyrodzie*. IOŚ, Warszawa: 17-21.
- TOLPA S. 1949: Torfowiska Karkonoszy i Gór Izerskich, *Rocz. Nauk Rolniczych* 1: 4-52.
- TOMASZEWSKI J., BORKOWSKI J. & SZERSZEŃ L. 1963: Pokrywa glebowa Kotliny Jeleniogórskiej. *Probl. Zagosp. Ziem Górskich* 5: 3-33.
- WAROSZEWSKI J., KABAŁA C. & SZOPKA K. 2009: Trace elements in soils of upper zone of spruce forest on Szrenica Mount and the Kowarski Grzbiet Range in the Karkonosze Mountains. *J. Elementology* 14, 4: 805-814.
- WEBER J., GARCIA-GONZALES T. & DRADRACH A. 1998: Skład mineralogiczny biellic wytworzonych z granitów w karkonoskim piętrze subalpejskim w rejonie występowania kłęski ekologicznej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 464: 251-259.
- ZOLL T. 1958: Podstawowe zagadnienia zagospodarowania lasów górskich w Sudetach. *Sylwan* 102: 9-33.



Polski Potok (fot. A. Raj)