

ELŻBIETA JAMROZ

WPLÝW ZRĘBU ZUPEŁNEGO NA WŁAŚCIWOŚCI ZWIĄZKÓW PRÓCHNICZNYCH BIELIC W REJONIE MASYWU ŚNIEŻNIKA

EFFECT OF CLEAR-CUTTING ON THE PROPERTIES OF HUMIC COMPOUNDS IN PODZOLS IN THE ŚNIEŻNIK MASSIF REGION

Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy
we Wrocławiu

Abstract: The effect of clear-cutting (stems only) on the humic substances of podzols was studied in a spruce forest of the Śnieżnik Massif – Eastern Sudety Mts. Samples from organic soil horizons were collected from the area after clear-cutting and from forest sites located at the same altitude. The concentration of total organic carbon was significantly lower after forest removal. The amount of total nitrogen was also significantly lower in podzols after the clear-cutting, in comparison to that in soil horizons under fresh spruce stands, what is linked with breaking the input of fresh organic matter into the soil. Solid-state ^{13}C nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy, as well as FTIR analysis were applied to study the structural chemistry of the extracted humic acids in the ectohumus horizons in the podzols. Increase of the inner oxidation and contribution of carboxyl C in the humic acids and decrease of O-alkyl-C have been observed after forest harvesting.

Słowa kluczowe: ektopróchnica, kwasy huminowe, gleby górskie, zręb zupełny, ^{13}C CPMAS NMR, widma FTIR.

Key words: ectohumus, humic acids, mountain soils, clear-cutting, ^{13}C CPMAS NMR, FTIR spectra.

WSTĘP

Rębnie zupełne stanowią bardzo silną ingerencję w funkcjonowanie ekosystemu leśnego. Istota rębni zupełnych polega na wycięciu jednym cięciem, tzw. zupełnym, wszystkich drzew drzewostanu dojrzałego, przeznaczonych do usunięcia w trakcie jego odnowienia [Jaszczak 1999]. Odslonięta powierzchnia jest zazwyczaj odnawiana sztucznie, rzadziej naturalnie, w ciągu jednego sezonu wegetacyjnego. Wady rębni zupełnych to niekorzystne warunki wzrostu dla gatunków wymagających w młodości osłony, zagrożenie powierzchni erozją wietrzną i wodną, zagrożenie wtórnym zabagnieniem na siedliskach podmokłych, przesuszenie wierzchnich warstw gleby, a także silna ekspansja roślinności zielnej. Takie działania indukują bardzo szerokie biogeochemiczne przemiany środowiska, od zmniejszenia miąższości poziomów organicznych na skutek braku dopływu materii organicznej pochodzącej z opadu (liści drzew) podlegającej procesom mineralizacji oraz humifikacji,

do zmian wilgotności oraz temperatury gleby, co wpływa na aktywność mikrobiologiczną oraz tempo rozkładu materii organicznej [Johnson i in. 1995; Ussiri, Johnson 2007]. Niewiele jest jednak w literaturze informacji na temat wpływu gospodarki zrębowej na właściwości glebowej materii organicznej.

W pracy przedstawiono charakterystykę związków próchnicznych poziomu epihumusowego bielicy występujących w rejonie Góry Stroma, w Masywie Śnieżnika na powierzchniach po zrębie zupełnym i pod drzewostanami.

MATERIAŁ I METODY

Badaniami objęto profile bielicy wytworzonych z gnejsów oraz łupków łuszczkowych zlokalizowanych na zboczu Góry Stroma, w Masywie Śnieżnika, w Sudetach Wschodnich, na wysokości 960–1115 m n.p.m. Odkrywki glebowe wykonano w siedliskach boru górskiego, na obszarach po zrębie zupełnym oraz dla porównania na stanowisku pod drzewostanem wykazującym objawy zasychania igieł oraz pod drzewostanem zdrowym. Zrąb zupełny monokultury świerkowej wykonano około 10 lat przed rozpoczęciem badań. Młode nasadzenia, na etapie pobierania próbek glebowych 9-letnie, składają się ze świerka, modrzewia oraz buka. Do analiz wytypowano następujące obiekty położone w odległości około 200 metrów od siebie:

Obiekt A – bielica wytworzona z gnejsów, typ próchnicy mor, siedlisko boru górskiego, odnowienie po zrębie zupełnym monokultury świerkowej,

Obiekt B – bielica wytworzona z gnejsów, typ próchnicy mor, siedlisko boru górskiego, drzewostan bez uszkodzeń.

Obiekt C – bielica wytworzona z gnejsów z przeławieniami łupków [Don i Opletal 1997], typ próchnicy mor, siedlisko boru górskiego, drzewostan z widocznymi uszkodzeniami aparatu asymilacyjnego, w postaci zasychających igieł w ok. 50%.

W poziomach ektopróchnicy określono pH – potencjometrycznie w 1 mol $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz w wodzie destylowanej, zawartość węgla organicznego – analizatorem CS-mat 5500 firmy Strohleim, całkowitą zawartość azotu – metodą Kjeldahla na analizatorze Buchi.

Skład frakcyjny związków próchnicznych oznaczono zmodyfikowaną metodą Tiurina [Dziadowiec i Gonet 1999] wydzielając frakcje:

Ia – substancje przechodzące do roztworu podczas dekalcytacji gleby 0,05 M H_2SO_4 , obejmujące głównie niskocząsteczkowe kwasy fulwowe;

I – połączenia próchniczne ekstrahowane drogą wielokrotnego traktowania gleby 0,1 mol $\text{NaOH} \cdot \text{dm}^{-3}$, po dekalcytacji, obejmujące formy połączeń próchnicy wolne, związane z wapniem oraz niekrzemianowymi formami R_2O_3 , rozdzielając frakcję na węgiel kwasów huminowych (CKH) oraz fulwowych (CKF);

C humin – węgiel niehydrolizujący, obejmujący tzw. poekstrakcyjną pozostałość, wyliczony z różnicy: $\text{C humin} = \text{C org.} - (\text{C frakcji Ia} + \text{C frakcji I})$.

Na podstawie uzyskanych wyników wyliczono indeksy transformacji materii organicznej, tj. C/N, CKH/CKF, a także indeks humifikacji IH wyliczony jako suma węgla frakcji Ia i I [Drozd i in. 1998].

Przeprowadzono analizę jakościową kwasów huminowych wyekstrahowanych z poziomów ektopróchnicy badanych bielicy metodą Schnitzera [Dziadowiec i Gonet 1999]. Oznaczono w nich skład elementarny na analizatorze 2400 CHNS vario EL III firmy

Elementar, a wyniki podano w procentach atomowych w przeliczeniu na masę bezpopielną. Widma w podczerwieni Fourier Transform Infrared (FTIR) oznaczono spektrometrem FTIR Bruker 66/s – preparaty przygotowano z 1 mg próbki kwasów huminowych zmieszanej z 400 mg KBr. W preparatach kwasów huminowych wykonano także oznaczenia widm ^{13}C NMR spektrometrem 300 MHz AMX Bruker NMR. Analizy jakościowe kwasów huminowych wykonano w laboratoriach Wydziału Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego.

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Analizowane siedliska różniły się pod względem zawartości węgla organicznego w poziomach próchnicy nadkładowej (tab. 1). Szczególnie wyraźnie zaznaczyły się te różnice w poziomach Oh biellic z obszaru po zrębie zupełnym ($126,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) oraz w siedlisku boru górskiego, gdzie nie stosowano zabiegu usunięcia drzew ($231,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$). W borze górskim, w którym obserwowano zniekształcenia aparatu asymilacyjnego, zawartość węgla organicznego była najniższa ($116,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), co spowodowane było – podobnie jak w siedlisku po zrębie – mniejszym dopływem materii organicznej w postaci świeżego opadu roślinnego. Podobne zróżnicowanie stwierdzono w przypadku azotu, jednak w tym przypadku poziom epihumusowy bielicy po zrębie charakteryzował się najniższą jego zawartością (tab. 1). Ishikawa i in. [2007] badając dynamikę azotu w poziomach próchnicy nadkładowych stwierdzili również wyraźne obniżanie się zawartości azotu na powierzchniach po zrębach. Wspomniani autorzy sugerują, iż może to być efektem szybszego tempa mineralizacji materii organicznej oraz zwiększonego pobierania tego składnika przez roślinność intensywnie regenerującą się po zabiegu zrębu zupełnego.

W składzie frakcyjnym próchnicy stwierdzono zróżnicowanie między obiektami na obszarze po zrębie oraz w borze górskim (tab. 2). W poziomie epihumusowym gleby po zrębie zupełnym obserwowano ponad dwukrotnie większy udział węgla frakcji niskocząsteczkowej (CKH/CKF = 0,5) w porównaniu z glebami ze stanowiska boru górskiego, gdzie nie przeprowadzono zabiegu usunięcia drzew (CKH/CKF=1,5). Wskazuje to na zmniejszenie udziału kwasów huminowych w środowisku, gdzie prawidłowy wzrost i rozwój drzewostanu ulega przerwaniu. Porównując wartości stosunku CKH/CKF w ektopróchnicy spod drzewostanu, gdzie obserwowano zasychanie igieł, z wartościami spod zdrowego drzewostanu, stwierdzono, że procesy degradacji, których przejawem są uszkodzenia igieł, również wpływają na obniżenie udziału węgla kwasów huminowych w składzie frak-

TABELA 1 Zawartość węgla, azotu oraz pH poziomów ektopróchnicy biellic z rejonu Masywu Śnieżnika

TABLE 1 Content of organic carbon, nitrogen and pH from the ectohumus horizons of the podzols from the Śnieżnik Massif

Obiekt* Object	Poziom genet. Soil horizon	Miąższość Thickness cm	pH _{KCl}	Corg. TOC	Nog. Ntot.
				g · kg ⁻¹	
A	Oh	4	2,7	126,4	3,9
B	Ol	2	2,7	448,6	17,6
	Of	5	2,5	457,4	15,2
	Oh	5	2,7	231,2	11,3
C	Olf	8	3,5	425,6	23,4
	Oh	3	2,7	116,6	10,5

*Objaśnienia: A – zręb zupełny, B – drzewostan bez uszkodzeń, C – drzewostan uszkodzony
 Explanations: A – clear-cutting, B – mountain coniferous forest without symptoms of degradation, C – mountain coniferous forest in dying process

TABELA 2 Skład frakcyjny, wartości C/N oraz indeksy transformacji próchnicy nadkładowej biel z rejonu Masywu Śnieżnika
TABLE 2 Fractional composition, C/N values and transformation indexes of humic substances from the ectohumus horizons of the podzols from the Śnieżnik Massif

Objekt Object	Poziom genet. Soil horizon	Corg.	Cfr. Ia	Cfr. I	CKH	CKF	CKH/ CKF	C _{humin}	IH	C/N
		%	% Corg. – % of TOC							
A	Oh	12,64	13,77	70,17	23,58	46,59	0,51	16,06	83,94	32
B	Ol	44,86	3,32	39,85	16,56	14,29	1,16	56,83	43,17	26
	Of	45,74	3,65	32,01	17,84	14,17	1,26	64,34	35,66	30
	Oh	23,12	5,49	44,77	26,86	17,91	1,50	49,74	50,26	21
C	Ol _f	42,56	1,8	37,31	20,3	17,01	1,19	60,89	39,11	18
	Oh	11,66	2,57	54,54	27,78	29,76	0,93	42,89	57,11	11

KH – kwasy huminowe, humic acids; KF – kwasy fulwowe, fulvic acids

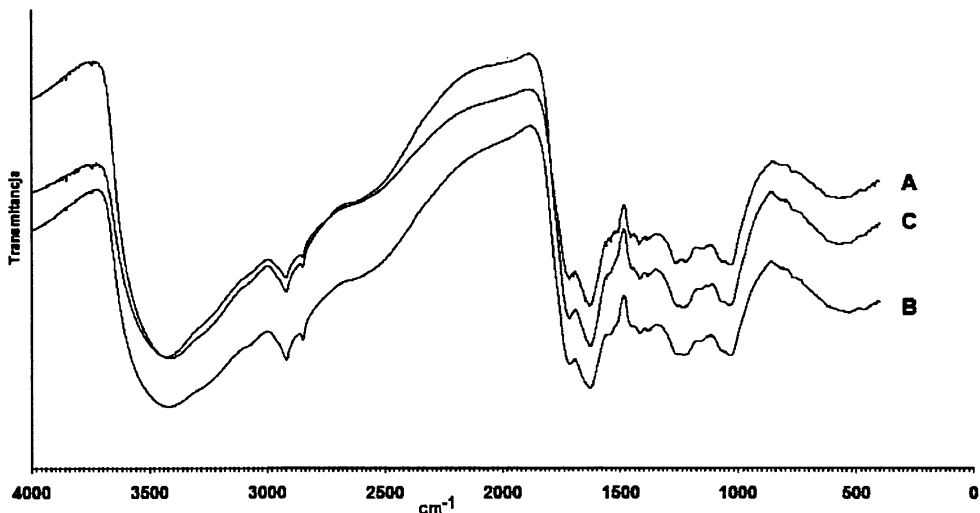
cyjnym próchnicy nadkładowej. Odzwierciedleniem zróżnicowania warunków, jakie panują w siedlisku po całkowitym usunięciu drzew jest także udział węgla niehydrolizującego wyraźnie niższy (16,06%) niż w glebach pod drzewostanem (42,89 i 49,74%). Najwyższy natomiast jest indeks humifikacji (IH) materii organicznej bielicy po zrębie, przy jednoczesnym pogorszeniu się tam warunków przebiegu procesów rozkładu, na co wskazują wartości C/N (tab. 2). Nieco odmienne wyniki uzyskano badając próchnicę gleby brunatnej w siedlisku boru mieszanego górskiego po zrębie zupełnym w Górach Białskich [Jamroz 2009], gdzie udział węgla niehydrolizującego był

na podobnym poziomie, natomiast w składzie frakcyjnym próchnicy dominowały kwasy huminowe, a intensywność procesów mineralizacji była znacznie wyższa. Potwierdza to istotny wpływ procesu glebotwórczego na kształtowanie się właściwości związków próchnicznych.

Jedną z najważniejszych właściwości kwasów huminowych jest ich skład elementarny. Cząsteczki kwasów huminowych poziomu epihumusowego bielicy z obszaru po zrębie charakteryzowały się niższą zawartością węgla i nieco wyższą azotu w porównaniu z kwasami huminowymi bielicy z siedlisk borowych z zachowanym drzewostanem (tab. 3). Uzyskane wyniki są zgodne z opisywanymi przez Ussiri i Johnsona [2007], którzy również stwierdzili obniżenie zawartości węgla oraz podwyższenie zawartości azotu w cząsteczkach kwasów huminowych w poziomie Oh bielicy po wykonaniu zrębu zupełnego.

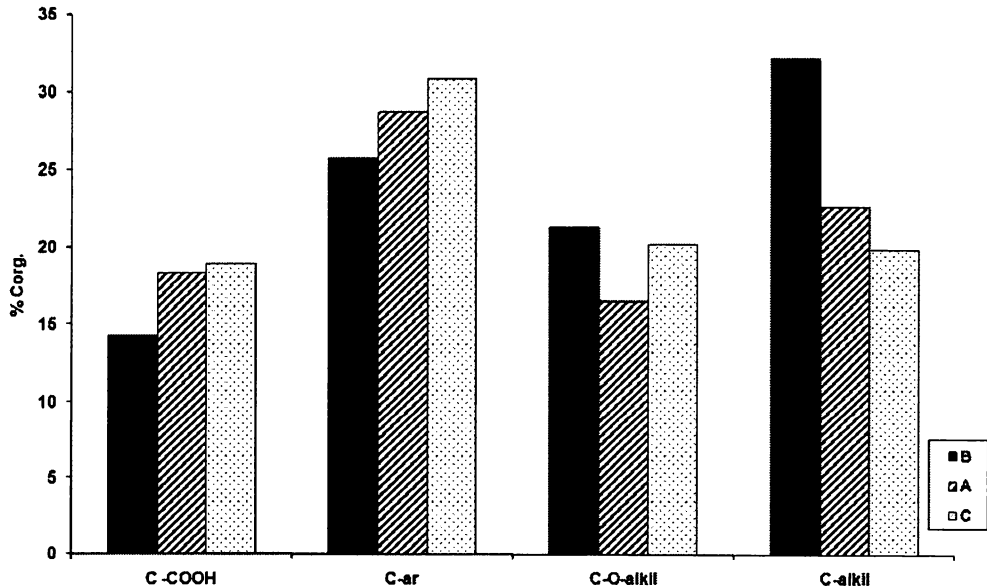
TABELA 3 Skład pierwiastkowy, wartości stosunków atomowych oraz stopnia utlenienia wewnętrznego (ω) kwasów huminowych bielicy z rejonu Masywu Śnieżnika
TABLE 3 Elemental composition, atomic ratios and degree of internal oxidation (ω) of humic acids in the region of Śnieżnik Massif

Objekt Object	Poziom genet. Soil horizon	Skład pierwiastkowy kwasów huminowych w % atomowych Elemental composition of humic acids in atomic %				
		C	H	N	O	
A	Oh	32,2	41,3	2,3	24,2	
B	Oh	34,8	41,7	2,0	21,5	
C	Oh	34,6	36,2	1,7	27,6	
Stosunki atomowe oraz stopień utlenienia wewnętrznego KH Atomic ratios and degree of internal oxidation						
		H/C	N/C	O/C	O/H	ω
A	Oh	1,283	0,071	0,752	0,586	0,435
B	Oh	1,198	0,057	0,618	0,516	0,210
C	Oh	1,045	0,048	0,796	0,762	0,692



RYSUNEK 1 Widma FTIR kwasów huminowych wyekstrahowanych z poziomu Oh bielicy z obszaru zrębu zupełnego A oraz spod drzewostanów B i C

FIGURE 1 FTIR spectra of humic acids isolated from Oh horizons from the area after clear-cutting A and from forest sites B and C



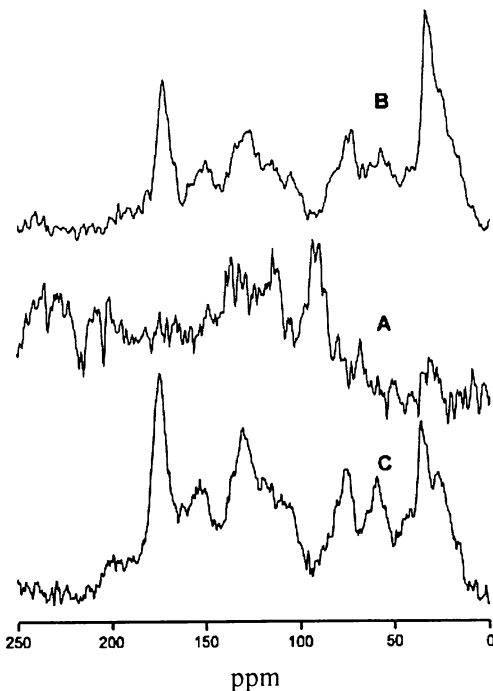
RYSUNEK 2. Rozkład węgla wybranych połączeń w cząsteczkach kwasów huminowych z poziomu Oh bielicy z obszaru zrębu zupełnego A oraz spod drzewostanów B i C

FIGURE 2. Distribution of carbon of some compounds in humic acids isolated from Oh horizons from the area after clear-cutting A and from forest sites under spruce stands B and C

Na podstawie wartości stosunków atomowych (tab. 3) stwierdzono, że kwasy huminowe poziomów epihumusowych bielicy z terenu po zrębie charakteryzowały się najniższym stopniem aromatyczności (najwyższa wartość stosunku H/C) w porównaniu z kwasami huminowymi gleb borów górskich z zachowanymi drzewostanami [Dębska 2004; Gonet 2007]. Wskaźniki stopnia utlenienia cząsteczek kwasów huminowych oraz wartość indeksu ω wskazują, iż kwasy huminowe bielicy z obszaru po zrębie pełnym charakteryzują się stopniem humifikacji wyższym niż gleby pod drzewostanem zdrowym, zaś niższym niż bielica pod drzewostanem uszkodzonym (tab. 3).

Widma w podczerwieni kwasów huminowych w bielicy z obszaru po zrębie wykazały większą intensywność pasm w zakresach $1200\text{--}1280\text{ cm}^{-1}$, $1420\text{--}1460\text{ cm}^{-1}$ oraz $1500\text{--}1520\text{ cm}^{-1}$ niż kwasów huminowych gleb z siedliska boru górskiego. Wyniki te wskazują, iż w strukturach kwasów huminowych pod wpływem zmian w środowisku, takich jak wycięcie drzewostanu, w drobinach kwasów huminowych następuje wzrost udziału grup karboksylowych oraz struktur aromatycznych o dużym stopniu kondensacji. Znajduje to także potwierdzenie w analizie procentowego udziału połączeń węgla wyliczonego na podstawie wyników analizy ^{13}C NMR (rys. 2 i 3). Przebieg widm kwasów huminowych z gleby obszaru po zrębie zbliżony jest do przebiegu widm z gleby boru górskiego z uszkodzonym drzewostanem. Wskazywać to może na fakt, iż całkowite wycięcie drzew jest zabiegiem stresowym dla środowiska, podobnie jak procesy degradacji spowodowane zanieczyszczeniem czy też gradacją szkodników.

Przebieg widm ^{13}C NMR kwasów huminowych z poziomu epihumusowego bielicy z siedliska po zrębie pełnym różni się wyraźnie od przebiegu widm kwasów huminowych z siedlisk borowych z zachowanymi dojrzałymi drzewostanami (rys. 3). W widmach ^{13}C NMR kwasów huminowych bielicy pod drzewostanami wyraźne są piki o wysokiej intensywności w zakresie $0\text{--}45$ oraz $160\text{--}190$ ppm oraz piki o słabszej intensywności w zakresach $50\text{--}61$, $61\text{--}90$, a także $110\text{--}160$ ppm (rys. 3). W bielicy występującej na obszarze po usunięciu drzewostanu obserwowane są wyraźne piki o największej intensywności w zakresie $61\text{--}90$ ppm, świadczące o obecności węgla pochodnych celulozowych i hemicelulozy [Dębska 2004] oraz o nieco słabszej intensywności w zakresie obejmującym węgiel połączeń aromatycznych (szczególnie między $110\text{--}140$ ppm), obejmujący głównie połączenia ligninowe [Kögel-Knabner 1993]. Otrzymane wyniki są zgodne z uzyskanymi przez Ussiri i Johnsona [2007], którzy po około 15 latach po wykonaniu zrębu pełnego odnotowali wzrost intensywności pików wskazujących na obecność węgla połączeń celulozy i hemicelulozy w poziomie Oh, a także połączeń aromatycznych.



RYSUNEK 3. Widma ^{13}C NMR kwasów huminowych gleb poziomu Oh bielicy z obszaru zrębu pełnego – A i spod drzewostanów B i C

FIGURE 3. ^{13}C NMR spectra of humic acids from Oh horizons in podzols from the area after clear-cutting – A and from the coniferous forest sites B and C

WNIOSKI

1. Stosowanie rębni zupełnych wywiera wpływ na środowisko, co przejawia się m.in. zmianami w składzie jakościowym i ilościowym próchnicy gleb leśnych.
2. Procesy transformacji materii organicznej badanych biellic na obszarze, gdzie dokonano zrębu, przebiegały w kierunku wzrostu tempa humifikacji w poziomach epihumusowych próchnic nadkładowych oraz wzrostu udziału frakcji kwasów fulwowych.
3. W warunkach badanych biellic górskich całkowite usunięcie drzew modyfikowało budowę kwasów huminowych przez wzrost ich stopnia utlenienia wewnętrznego, zwiększenie udziału struktur aromatycznych i połączeń karboksylowych, a także zmniejszenie udziału połączeń alifatycznych w strukturach tej frakcji próchnicy.
4. Obserwowane zmiany w składzie ilościowym i jakościowym substancji humusowych potwierdzają ich ważną rolę jako indykatora procesów zachodzących w środowisku przyrodniczym.

PODZIĘKOWANIA

Praca powstała dzięki finansowemu wsparciu projektu MNiSW nr 2 P06S 059 29, a także dzięki uprzejmości Nadleśnictwa Łądek Zdrój w Strachocinie.

LITERATURA

- DĘBSKA B. 2004: Właściwości substancji humusowych gleby nawozonej gnojowicą. ATR Bydgoszcz Rozprawy nr 110: 112 ss.
- DON J., OPLETAL M. 1997: Budowa i ewolucja geologiczna Masywu Śnieżnika. W: Masyw Śnieżnika, zmiany w środowisku przyrodniczym, PAE, Warszawa: 13–25.
- DROZD J., LICZNAR M., WEBER J., LICZNAR S.E., JAMROZ E., DRADRACH A., MASTALSKA-CETERA B., ZAWERBNY T. 1998: Degradacja gleb w niszczonech ekosystemach Karkonoszy i możliwości jej zapobiegania. PTSH. Wrocław: 125 ss.
- DZIADOWIEC H., GONET S.S. (red.) 1999: Przewodnik metodyczny do badań materii organicznej gleb. *Prace Komisji Naukowych PTG* 120: 65 ss.
- GONET S.S., DĘBSKA B., ZAUJEC A., BANACH-SZOTT M., SZOMBATOVA N. 2007: Wpływ gatunku drzew i warunków glebowo-klimatycznych na właściwości próchnicy gleb leśnych. Rola materii organicznej w środowisku. PTSH Wrocław: 61–98.
- ISHIKAWA H., OSONO T., TAKEDA H. 2007: Effects of clear-cutting on decomposition processes in leaf litter and the nitrogen and lignin dynamics in a temperate secondary forest. *J. For. Res.* nr 12, 247–254.
- JAMROZ E. 2009: Charakterystyka próchnic gleb w rejonie Puszczy Jaworowej w Górach Białskich. *Roczn. Glebozn.* 60, 2: 27–32.
- JASZCZAK R. 1999: Monitoring lasów, Wyd. AR Poznań: 212 ss.
- JOHNSON, C.E., DRISCOLL, C.T., FAHEY, T.J., SICCAM, T.G., HUGHES, J.W. 1995: Carbon dynamics following clear cutting of a northern hardwood forest. Kelly, J.M., McFee, W.W. (eds.), Carbon Forms and Functions in Forest Soils. SSSA, Madison, WI: 463–488.
- KÖGEL-KNABNER I. 1993: Biodegradation and humification in forest soils W: Soil Biochemistry. vol. 8 (eds) J.M. Bollag, E. Stozky, Merceel Dekker INC: 432 ss.
- USSIRI D.A.N., JOHNSON C.E. 2007: Organic matter composition and dynamics in a northern hardwood forest ecosystem 15 years after clear-cutting. *For. Ecol. and Manag.* 240: 131–142.

Dr inż. Elżbieta Jamroz
Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska,
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław
e-mail: elzbieta.jamroz@up.wroc.pl