

Grażyna OLSZOWSKA, Józef ZWOLIŃSKI, Irena MATUSZCZYK, Danuta SYREK<sup>1</sup>

## ZASTOSOWANIE BIOCHEMICZNYCH CHARAKTERYSTYK GLEB W DIAGNOSTYCE TYPOLOGICZNEJ SIEDLISK LEŚNYCH

APPLICATION OF BIOCHEMICAL SOILS PARAMETERS IN TYPOLOGICAL  
DIAGNOSTICS OF FOREST SITES

***Abstract.** The aim of the conducted studies was to describe the intensity of biochemical changes and microbiological status of soils in mixed stands with various site index on fresh broadleaved forest and mixed fresh broadleaved forest and to set the possibilities of utilization of the research on biochemical activity in calculation the soil fertility indicator and in the detailed diagnostics of forest sites condition.*

*Chemical and biological parameters those defining the fertility of soils were discordant with sites quality; their higher values were affirmed in mixed fresh broadleaved forest than in fresh broadleaved forest.*

*The marked relationship had the place between stands site index and the chemical and biological parameters of soils independently from the forest site type. Soils under the stands of the index site I both in fresh and in mixed fresh broadleaved forest were characterized with better chemical properties and higher biological activity than soils under stands of the index site II.*

*Simultaneously, higher values of the biological soil fertility indicator (F) in stands of the I than the II site index were affirmed, showing the reliability of this coefficient in the typological diagnostics of more fertile forest sites.*

***Key words:** soil chemistry, soil biological activity, mixed fresh broadleaved forest, fresh broadleaved forest, site index, soil fertility indicator.*

---

<sup>1</sup> Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Gospodarki Leśnej Rejonów Przemysłowych,  
ul. Św. Huberta 35, 40-952 Katowice e-mail: olszows@ibles.waw.pl

## 1. WSTĘP

Obieg materii i energii w przyrodzie jest jednym z najważniejszych procesów, umożliwiając stały dopływ substratów odżywczych niezbędnych dla rozwoju roślin. Istotnym czynnikiem warunkującym przebieg tego procesu jest rozkład dostającej się do gleby obumarłej materii organicznej, który odbywa się głównie na skutek działalności drobnoustrojów, dzięki wytwarzanym przez nie enzymom będącym biokatalizatorami reakcji mineralizacji i syntezy związków organicznych (Marszewska-Zięmięcka 1974). Mikrobiologiczne procesy mineralizacji materii organicznej gwarantują utrzymanie niezbędnego dla rozwoju roślin zapasu dostępnych form składników pokarmowych, stąd aktywność drobnoustrojów ściśle wiąże się z żyznością i produktywnością ekosystemu (Parkinson 1979, Zak i in. 1990). Ponadto, biomasa drobnoustrojów, z uwagi na ich dominujący udział w procesach metabolicznych gleb, będąca jednocześnie magazynem i źródłem pokarmu dla roślin, uważana jest za jeden z głównych czynników determinujących żyzność gleb (Jenkinson i Ladd 1981, McGill i in. 1986).

Właściwe określenie typu siedliskowego lasu, jego zasobności i potencjalnej zdolności produkcyjnej, pozwala na optymalny dobór składu gatunkowego drzew, co wpływa na prawidłowy przebieg procesów glebowych, a tym samym zapobiega degradacji siedlisk. W wielu publikacjach naukowych (Galstjan 1963, Gliński i in. 1983, Hoffmann 1955, Koper i Piotrowska 1999a) wykazano, że badania aktywności biologicznej gleb mogą być wykorzystane do oceny żyzności gleb rolnych, natomiast w praktyce leśnej nie znalazły one szerszego zastosowania. Większość z proponowanych dotychczas wskaźników biologicznych ma ograniczone zastosowanie, np. do oceny wpływu nawożenia, zanieczyszczeń przemysłowych lub sposobu uprawy gleby (Balicka 1986, Koper i Piotrowska 1999b, Olszowska 1998, 1999). Nie odzwierciedlają one natomiast stanu siedliska, tj. jego żyzności i produktywności. Puchalski i Prusinkiewicz (1990) uważają, że w praktyce leśnej wskaźnikiem jakości siedliska jest średnia wysokość drzewostanu, natomiast Sikorska (1999) podaje, że wskaźnikiem produktywności siedlisk może być bonitacja, bowiem wraz z korzystniejszymi warunkami siedliskowymi, wzrasta przeciętna wysokość drzewostanów. Na żyzność siedlisk mogą także wskazywać inne cechy taksacyjne drzewostanów, takie jak: przeciętna pierśnica, przeciętny przekrój, pierśnicowe pole przekroju, miąższość drzewostanu w korze, miąższość grubizny drzewostanu, wskaźnik zadrzewienia.

Celem prowadzonych badań\* było:

1) określenie intensywności przemian biochemicznych i stanu mikrobiologicznego gleb w drzewostanach mieszanych z przewagą dębu szypułkowego (*Quercus robur*) różnej bonitacji, na siedliskach Lśw i LMśw,

---

\* Pracę wykonano w ramach tematu 240512, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

2) ustalenie możliwości wykorzystania aktywności biochemicznej jako wskaźnika żyzności gleb oraz w szczegółowej diagnostyce stanu siedlisk leśnych.

## 2. OPIS TERENU BADAŃ

Do badań wybrano powierzchnie w nadleśnictwach Namysłów i Kluczbork.

Lasy obu nadleśnictw położone są w Krainie Śląskiej (V), w Dzielnicy Równiny Opolskiej (V.5) i w Dzielnicy Wrocławskiej (V.2). Wschodnia część Nadleśnictwa Kluczbork położona jest natomiast w Krainie Małopolskiej (VI), w Dzielnicy Wyżyny Woźnicko-Wieluńskiej (VI.6) (Tramplera i in. 1990 a,b, Operat glebowo-siedliskowy RDLP Katowice Nadl. Kluczbork 2003, Operat siedliskowy RDLP Katowice Nadl. Namysłów 2000).

Prace badawcze prowadzono na 20 powierzchniach reprezentujących siedliska leśne nizinne z drzewostanami I i II klasy bonitacyjnej, po 10 na siedlisku lasu świeżego (Lśw) i lasu mieszanego świeżego (LMśw). Gatunkiem dominującym w badanych drzewostanach był dąb szypułkowy w wieku 53–82 lat, z udziałem sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*), buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) oraz sporadycznie jodły pospolitej (*Abies alba*) i brzozy brodawkowatej (*Betula pendula*).

Gleby badanych powierzchni zostały zaklasyfikowane do typu gleb rdzawych (RD), podtypu rdzawych właściwych (RDw), brunatno-rdzawych (RDbr), bielcowo-rdzawych (RDb), wytworzonych z utworów piaszczystych oraz do typu gleb brunatnych kwaśnych (BRK), podtypu brunatnych kwaśnych oglejonych (BRKg), wytworzonych z glin, iłów a także z piasków gliniastych, utworów pyłowych oraz żwirowych wodnolodowcowych, z próchnicą typu moder mulłowy oraz mulł typowy (Operat siedliskowy RDLP Katowice nadleśnictw Namysłów i Kluczbork 2000 i 2003).

## 3. METODYKA BADAŃ

Analizy chemiczne i pomiary aktywności biologicznej gleb oraz pomiary dendrometryczne drzewostanów dębowych na wybranych powierzchniach badawczych, na siedliskach Lśw i LMśw wykonano w latach 2004–2006. Wyniki tych badań wykorzystano do wyznaczenia wartości biologicznego wskaźnika żyzności siedlisk ( $F$ ), określającego jakość siedlisk.

Do analiz chemicznych oraz pomiarów mikrobiologicznych i biochemicznych gleb pobierano z każdej powierzchni objętościowe próby ogólne (z 10 punktów równomiernie rozmieszczonych na powierzchni) z warstw 0–5 cm i 5–10 cm, wiosną w latach 2004–2006.

Oznaczenia właściwości chemicznych oraz aktywności enzymatycznej gleb wykonano po przesianiu powietrznie suchych prób glebowych przez sito o średnicy oczek 2 mm.

Analizy chemiczne, wykonane wg ogólnie przyjętych metod (Instrukcja laboratoryjna.... 1973, Ostrowska i in. 1991) obejmowały oznaczenia:

- odczynu gleby w 1M KCl i w H<sub>2</sub>O, metodą potencjometryczną,
- zawartości azotu, metodą destylacyjną Kjeldahla,
- zawartości fosforu przyswajalnego, metodą Egnera-Riehma,
- zawartości węgla, na analizatorze Leco SC-132,
- zawartości wymiennych kationów zasadowych (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> i Mg<sup>2+</sup>), po ekstrakcji gleby 1M octanem amonu, metodą absorpcji atomowej,
- kwasowości hydrolitycznej, metodą Kappena.

Z sumy kationów zasadowych (S) i kwasowości hydrolitycznej (H<sub>h</sub>) obliczono pojemność sorpcyjną gleb (T). Obliczono również udział kationów zasadowych w kompleksie sorpcyjnym gleby (V).

Badania enzymatyczne obejmowały pomiar aktywności enzymów katalizujących rozkład węglowodanów, przemianę związków azotowych, uwalnianie fosforanów nieorganicznych oraz dehydrogenację substancji organicznej, a mianowicie:

- ureazy i asparaginazy, metodą kolorymetryczną, w mg NH<sub>3</sub> na 10g gleby (Galstjan 1978);
- fosfatazy kwaśnej, metodą kolorymetryczną, w mg PNP na 10g gleby (Russel 1972);
- dehydrogenaz, metodą kolorymetryczną, w mg trójfenyloformazanu (TF) na 10g gleby (Galstjan 1978, Russel 1972).

Stan mikrobiologiczny gleb badanych powierzchni oceniono na podstawie pomiarów biomasy drobnoustrojów (C<sub>biom</sub>), intensywności mineralizacji substancji organicznej oraz oznaczeń wartości ilorazu metabolicznego drobnoustrojów (qCO<sub>2</sub>). Do analiz wykorzystano świeżo pobrane próby glebowe pobrane z warstwy 0–5 cm i 5–10 cm, przesiane przez sito o średnicy oczek 2 mm.

Biomasę drobnoustrojów oznaczano metodą indukowanej substratem respiracji (Anderson i Domsch 1978), a intensywność mineralizacji substancji organicznej – mierząc, w warunkach laboratoryjnych (temp. 22°C), ilość uwalnianego przez gleby CO<sub>2</sub> (w przeliczeniu na g C<sub>org</sub>) w ciągu godziny. Pomiaru uwalnianego CO<sub>2</sub>, niezbędne do oznaczeń biomasy drobnoustrojów i intensywności mineralizacji, wykonano na chromatografie gazowym Perkin Elmer – Clarus 500 (Zwoliński 2005).

Do obliczeń ilorazu metabolicznego drobnoustrojów (qCO<sub>2</sub> = μg C-CO<sub>2</sub> × mg C<sub>biom</sub><sup>-1</sup> × h<sup>-1</sup>) wykorzystano wyniki oznaczeń biomasy drobnoustrojów i intensywności mineralizacji substancji organicznej (Anderson i Domsch 1992).

Do oceny jakości siedlisk badanych powierzchni zastosowano biologiczny wskaźnik żyzności gleb (F), obliczany z wykorzystaniem parametrów chemicznych odzwierciedlających zasobność gleb w składniki pokarmowe oraz para-

metrów biologicznych określających aktywność biologiczną gleb. Do obliczenia jego wartości, zmodyfikowano metodę Myśkova i in. (1996), korzystając z równania:

$$F = \sqrt{M^2 + S^2 + V^2}$$

gdzie:

$M$  – aktywność biologiczna gleb,

$S$  – suma kationów zasadowych,

$V$  – stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami.

Do powyższego równania wstawiano standaryzowane wyniki analiz chemicznych i pomiarów aktywności biologicznej (w jednostkach odchylenia standardowego), przyjmując jako  $M$  jeden z testowanych parametrów (wymienne), a mianowicie aktywność enzymów: dehydrogenaz (D), ureazy (U), asparaginazy (A) i fosfatazy kwaśnej (P-kw), biomasę drobnoustrojów ( $\text{kg } C_{\text{biom}} \times \text{ha}^{-1}$ ,  $\% C_{\text{biom}}$  w  $C_{\text{org}}$ ), tempo mineralizacji węgla ( $\mu\text{l CO}_2 \times \text{g } C_{\text{org}}^{-1} \times \text{h}^{-1}$ ) oraz iloraz metaboliczny drobnoustrojów ( $q\text{CO}_2$ ).

Do badań dendrometrycznych założono w każdym drzewostanie 4 arowe kołowe powierzchnie próbne, zawierające w sumie co najmniej 100 drzew podlegających pomiarowi (Bruchwald 1995), na których zmierzono pierśnicę wszystkich drzew średnicomierzem precyzyjnym z dokładnością do 1 mm oraz wysokość 25 drzew. Dodatkowo zmierzono pierśnicę i wysokość 25 drzew znajdujących się na powierzchni jak i poza nią (jednak należących do tego samego wydzielenia drzewostanu) w celu wyznaczenia krzywej wysokości.

Na podstawie przeprowadzonych w terenie pomiarów obliczono ważniejsze cechy taksacyjne każdego drzewostanu: przeciętną pierśnicę ( $D$ ), przeciętną wysokość ( $H$ ), liczbę drzew na ha ( $L/\text{ha}$ ), przeciętny przekrój drzewostanu ( $g$ ), pierśnicowe pole przekroju na ha ( $G/\text{ha}$ ), miąższość drzewostanu w korze na ha ( $V_k/\text{ha}$ ) i miąższość grubizny drzewostanu na ha ( $V_g/\text{ha}$ ), zagęszczenie ( $Zag$ ) i zadrzewienie ( $Zad$ ).

Obliczenia statystyczne przeprowadzono za pomocą programu statystycznego Statistica 5.0. Do statystycznej oceny wpływu siedliska i bonitacji drzew na badane parametry chemiczne, biologiczne oraz dendrometryczne zastosowano analizę wariancji wieloczynnikowej i test Tukeya. Dla scharakteryzowania związku pomiędzy badanymi parametrami chemicznymi i biochemicznymi gleb a cechami dendrometrycznymi zastosowano analizę korelacyjną. Przy testowaniu statystycznym badanych parametrów przyjęto poziom istotności  $p=0,05$ .

## 4. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

### 4.1. Właściwości chemiczne gleb

Wyniki pomiarów pH w 1M KCl i w H<sub>2</sub>O wskazują, że odczyn gleb na wszystkich powierzchniach, niezależnie od siedliska, jest silnie kwaśny, przy czym warstwa 0–5 cm charakteryzuje się niższym pH niż warstwa 5–10 cm. Gleby na siedlisku Lśw charakteryzowały się pH w KCl 3,37 istotnie niższym niż gleby na siedlisku LMśw – 3,51 ( $F=6,41$ ;  $p<0,02$ ). Z kolei w LMśw notowano istotną tendencję spadkową pH w KCl ( $F=57,4$ ;  $p<0,0001$ ) i w H<sub>2</sub>O ( $F=38,4$ ;  $p<0,0001$ ) wraz ze zmniejszaniem się bonitacji drzewostanów. W okresie 2004–2006 pH w KCl – zmniejszyło się średnio z 3,57 (I klasa bonit.) do 3,17 (II klasa) a pH w H<sub>2</sub>O – z 4,21 (I klasa) do 3,82 (II klasa bonit.). W Lśw różnice w odczynie gleby pomiędzy drzewostanami różnych klas bonitacji nie były istotne statystycznie (tab. 1).

Na wszystkich powierzchniach zawartość C, N, P, Ca, Mg, Na, K, oraz kwasowość hydrolityczna ( $H_h$ ), pojemność sorpcyjna (T) i wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami (V) były kilkukrotnie wyższe w warstwie 0–5 cm niż w warstwie 5–10 cm badanych gleb. Analizy chemiczne wykazały istotną zależność pomiędzy zawartością węgla organicznego a typem siedliskowym lasu; statystycznie istotnie wyższe wartości notowano na siedlisku LMśw (5,08%) niż w Lśw (4,05%) ( $F=5,28$ ;  $p<0,05$ ). Stwierdzono ponadto istotną zależność pomiędzy zawartością węgla organicznego a bonitacją drzew na obu siedliskach. Bardziej zasobne w ten pierwiastek były gleby w II klasie niż w I, przy czym różnice te były istotne statystycznie tylko na siedlisku LMśw ( $F=46,41$ ;  $p<0,0001$ ; tab. 1).

Różnice w zawartości azotu pomiędzy badanymi typami siedlisk były niewielkie; w latach 2004–2006 średni udział azotu w glebach wynosił 0,22% w LMśw a 0,20% w Lśw. Na obu siedliskach więcej azotu stwierdzono w II klasie bonitacyjnej, z tym że na siedlisku LMśw różnice między powierzchniami I i II klasy były statystycznie istotne ( $F=36,7$ ;  $p<0,0001$ ).

W całym okresie badawczym (2004–2006) zawartość fosforu rozpuszczalnego była wyższa na siedlisku LMśw niż Lśw i wynosiła odpowiednio 2,57 mg/kg i 2,16 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Na obu siedliskach stwierdzono istotną zależność pomiędzy zawartością fosforu a bonitacją drzewostanów; w LMśw istotnie więcej fosforu było w II klasie bonitacji ( $F=36,7$ ;  $p<0,0001$ ), a w Lśw w I klasie ( $F=4,11$ ;  $p<0,05$ ).

Suma kationów zasadowych (S) w badanej warstwie gleby (średnia ważona dla warstwy 0–10 cm) była w okresie 2004–2006 wyższa na siedlisku LMśw (1,62 cmol(+)/kg) niż w Lśw (1,51 cmol(+)/kg), lecz obserwowane różnice nie były istotne statystycznie. W LMśw istotnie więcej kationów zasadowych stwierdzono w II klasie bonitacyjnej drzew ( $F=4,38$ ;  $p<0,05$ ).

Gleby na siedlisku LMśw charakteryzowały się kwasowością hydrolityczną ( $H_h$ ) statystycznie istotnie wyższą niż gleby na siedlisku Lśw: wynosiła ona odpowiednio 15,9 i 13,1 cmol(+)/kg ( $\bar{x}$  z lat 2004–2006) ( $F=5,45$ ;  $p<0,05$ ). W LMśw stwierdzono także istotnie wyższą ( $F=5,33$ ;  $p<0,05$ ) niż w Lśw pojemność

**Tabela 1. Właściwości chemiczne gleb (warstwa 0–10 cm) (średnia z lat 2004–2006)**  
 Table 1. Chemical properties of soils at depth of 0–10 cm (average from 2004–2006)

Typ siedliskowy lasu Forest site type	Bonitacja Site index	Nadlesnictwo Forest District	Leśnictwo Forest Range	Oddział Compartment	pH		C (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/kg	Kompleks sorpcyjny (cmol(+)/kg) Sorptions complex (cmol(+)/kg)					V%			
					KCL	H <sub>2</sub> O				Na	K	Ca	Mg	S		Hh	T	
LMśw Mixed fresh broadleaved forest;	I	Kluczbork	Zofiówka	129g	3,40	4,11	4,04	0,18	1,24	0,20	0,49	0,21	0,92	13,12	14,04	5,58		
		Namysłów	Komorzo	67f	3,54	4,18	3,45	0,16	2,51	0,20	1,07	0,23	1,53	10,94	12,47	11,08		
		Namysłów	Komorzo	56b	3,53	4,12	4,08	0,18	2,48	0,05	1,27	0,22	1,74	13,51	15,25	10,15		
		Kluczbork	Zofiówka	145a	3,68	4,35	2,96	0,18	1,22	0,03	0,97	0,46	1,68	11,40	13,09	11,94		
		Namysłów	Komorzo	67b	3,69	4,31	2,83	0,16	2,34	0,02	0,23	0,71	0,22	1,19	10,29	11,48	9,27	
			$\bar{x}$			3,57	4,21	3,47	0,17	1,96	0,21	0,90	0,27	1,41	11,85	13,26	9,61	
		II	Kluczbork	Lasowice Małe	227h	3,13	3,83	8,55	0,29	2,67	0,35	1,18	0,36	1,91	24,33	26,24	6,19	
			Namysłów	Gręboszów	396a	3,09	3,76	5,38	0,21	5,76	0,24	0,68	0,28	1,23	17,17	18,39	5,23	
			Kluczbork	Tęczynów	34a	3,12	3,77	7,18	0,27	2,78	0,31	1,29	0,31	1,85	20,99	22,84	7,45	
			Kluczbork	Lasowice Wlk.	197h	3,18	3,82	6,14	0,26	2,11	0,30	1,30	0,33	1,92	18,09	20,01	8,47	
		Kluczbork	Tęczynów	35f	3,31	3,93	6,21	0,29	2,59	0,33	1,67	0,34	2,26	19,58	21,84	10,55		
		$\bar{x}$			3,17	3,82	6,69	0,26	3,18	0,25	1,22	0,32	1,83	20,03	21,86	7,58		
		$\bar{x}$ LMśw			3,37	4,02	5,08	0,22	2,57	0,23	1,06	0,30	1,62	15,94	17,56	8,59		
Lśw Fresh broadleaved forest	I	Namysłów	Gręboszów	401k	3,51	4,08	3,24	0,14	6,12	0,14	1,23	0,18	1,57	9,96	11,53	12,18		
		Kluczbork	Lasowice Małe	211d	3,80	4,38	2,56	0,12	1,06	0,02	0,16	0,83	0,15	1,16	8,73	9,89	10,05	
		Namysłów	Polkowskie	195i	3,43	4,00	4,90	0,24	2,78	0,04	0,23	1,23	0,30	1,81	16,41	18,22	8,91	
		Namysłów	Polkowskie	203i	3,52	4,10	3,60	0,21	1,58	0,02	0,23	0,99	0,26	1,51	12,00	13,51	10,22	
		Namysłów	Polkowskie	201j	3,35	3,93	5,00	0,27	1,85	0,02	0,28	1,49	0,35	2,14	17,11	19,26	9,88	
			$\bar{x}$			3,52	4,10	3,86	0,19	2,68	0,21	1,16	0,25	1,64	12,84	14,48	10,25	
			Kluczbork	Lasowice Małe	208o	3,39	3,96	5,31	0,24	1,68	0,24	1,02	0,27	1,55	15,90	17,45	7,53	
			Namysłów	Polkowskie	201f	3,61	4,13	3,50	0,17	1,46	0,03	0,20	0,69	0,19	1,11	11,35	12,46	7,95
			Namysłów	Polkowskie	201c	3,40	4,00	5,51	0,27	2,04	0,03	0,25	1,62	0,32	2,21	16,70	18,91	12,20
		II	Namysłów	Komorzo	70g	3,46	4,01	3,69	0,18	1,46	0,02	0,18	0,53	0,19	0,93	12,13	13,06	6,21
		Namysłów	Polkowskie	198d	3,61	4,17	3,23	0,19	1,54	0,02	0,17	0,74	0,19	1,12	10,61	11,73	9,00	
		$\bar{x}$			3,50	4,06	4,25	0,21	1,64	0,21	0,92	0,23	1,38	13,34	14,72	8,58		
		$\bar{x}$ Lwś			3,51	4,08	4,05	0,20	2,16	0,02	1,04	0,24	1,51	13,09	14,60	9,41		

sorpcyjną gleb (T): wynosiła ona odpowiednio 17,6 i 14,6 cmol/kg. Na obu siedliskach wartości wskaźników  $H_h$  i T były wyższe w II klasie bonitacyjnej, lecz obserwowane różnice były statystycznie istotne tylko w LMśw:  $H_h - F=4,38$ ;  $p<0,05$ ,  $T - F=43,54$ ;  $p<0,0001$ . Średnio, w okresie 2004–2006, wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami (V) na siedlisku Lśw wynosiło 9,4% i było wyższe niż w glebach na siedlisku LMśw, gdzie wynosiło 8,6% (tab. 1). Różnice wysycenia kompleksu sorpcyjnego V obserwowane zarówno pomiędzy siedliskami jak i klasami bonitacyjnymi nie były statystycznie istotne.

#### 4.2. Aktywność enzymatyczna gleb

Aktywność enzymatyczna gleb uwarunkowana jest oddziaływaniem szeregu czynników środowiskowych, jak np. wilgotnością, temperaturą i stopniem natlenienia gleby oraz dopływem materii organicznej. Tym tłumaczyć można wyraźne zróżnicowanie aktywności wszystkich testowanych enzymów w ciągu całego okresu badań (ryc. 1). Z badań wynika również, że aktywność enzymów była ściśle związana z zawartością substancji organicznej, co przejawiało się ich wyższą aktywnością w górnej (0–5 cm) warstwie gleby (tab. 2).

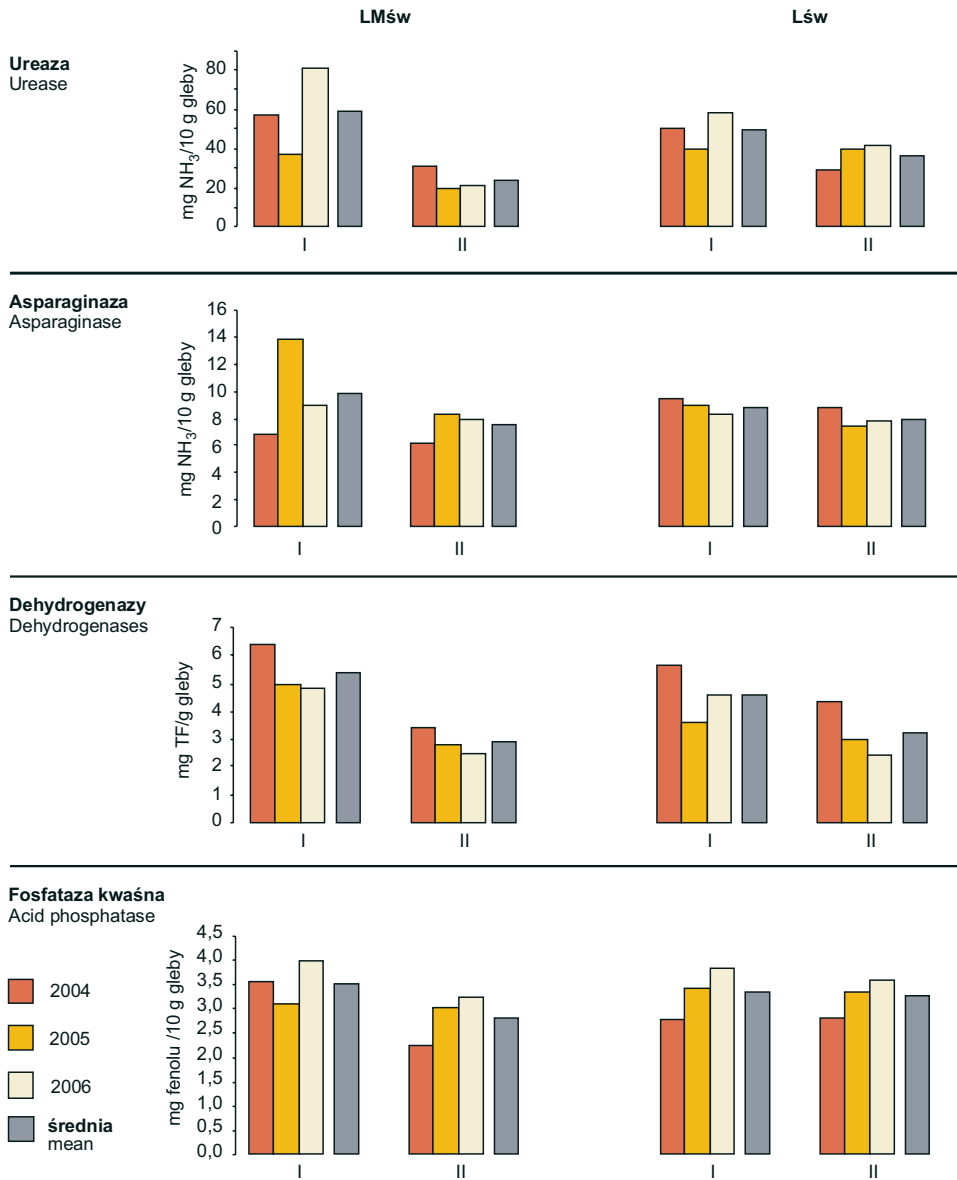
Aktywność ureazy, enzymu katalizującego przemianę związków azotowych była zróżnicowana na poszczególnych powierzchniach. Średnia aktywność tego enzymu była niższa na siedlisku LMśw (41,10 mg  $NH_3/10$  g gleby) niż Lśw (42,96 mg  $NH_3/10$  g gleby), lecz obserwowane różnice nie były istotne statystycznie. Aktywność ureazy wykazywała tendencję spadkową wraz ze zmniejszaniem się bonitacji siedliska: w LMśw zmniejszenie aktywności ureazy z 58,23 mg  $NH_3/10$  g w I klasie do 23,97 mg  $NH_3/10$  g gleby w II klasie było istotne statystycznie ( $F=7,66$ ;  $p<0,009$ ), natomiast w Lśw – z 49,23 w I klasie do 36,69 mg  $NH_3/10$  g gleby w II klasie – nieistotne.

Aktywność asparaginazy, enzymu biorącego udział w hydrolizacji asparaginy na amoniak, była nieznacznie (statystycznie nieistotnie) wyższa w LMśw (8,69 mg  $NH_3/10$  g) niż w Lśw (8,45 mg  $NH_3/10$  g). Średnia aktywność tego enzymu w okresie 2004–2006 w całej badanej warstwie gleby obniżała się wraz ze spadkiem bonitacji siedliska, lecz istotnie tylko w LMśw ( $F=6,26$ ;  $p<0,001$ ) – z 9,89 mg  $NH_3/10$  g w I klasie do 7,50 mg  $NH_3/10$  g w II klasie.

Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy siedliskami w aktywności fosfatazy kwaśnej, enzymu katalizującego przemianę fosforanów organicznych w nieorganiczne. Aktywność tego enzymu była nieznacznie niższa na siedlisku LMśw (3,17 mg PNP/10 g gleby) niż w Lśw (3,29 mg PNP/10 g gleby). Średnia aktywność fosfatazy kwaśnej w latach 2004–2006 istotnie zmniejszała się wraz z pogarszaniem się bonitacji tylko w LMśw – z 3,52 mg PNP/10 g gleby w I klasie do 2,83 mg PNP/10 g gleby w II klasie ( $F= 4,38$ ;  $p<0,05$ ).

Podobnie jak w przypadku wyżej omawianych enzymów, nie obserwowano istotnych różnic pomiędzy badanymi siedliskami w aktywności dehydrogenaz – katalizujących reakcje utleniania i redukcji; w LMśw średnia aktywność wyniosła 4,15 mg TF/10 g gleby a w Lśw 3,92 mg TF/10 g gleby. Stwierdzono natomiast





**Ryc. 1. Aktywność enzymatyczna gleb siedlisk lasowych w latach 2004-2006: LMśw i Lśw – typy siedliskowe lasu, I i II – bonitacja**

Fig. 1. Enzymatic activity of forest soils in 2004-2006: Lmśw (mixed fresh broadleaved forest) and Lśw (fresh broadleaved forest) – forest site types, I and II – site indices

zależność pomiędzy aktywnością dehydrogenaz a bonitacją na obu siedliskach, przejawiającą się spadkiem aktywności enzymów wraz ze zmniejszaniem bonitacji – bardziej istotnym w LMśw ( $F=15,68$ ;  $p<0,0005$ ) niż w Lśw ( $F=3,92$ ;  $p<0,05$ ).

**Tabela 2. Aktywność enzymatyczna gleb w warstwach 0–5 cm i 5–10 cm (średnia z lat 2004–2006)**  
 Table 2. The enzymatic activity of soils at depths of 0–5 cm and 5–10 cm (average from 2004–2006)

Typ siedliskowy lasu Forest site type	Bontacja Site Index	Nadlesnictwo Forest District	Leśnictwo Forest Range	Oddział Compartment	Ureaza (mg NH <sub>3</sub> /10g gleby) Urease (mg NH <sub>3</sub> /10g of soil)		Asparaginaza (mg NH <sub>3</sub> /10g gleby) Asparaginase (mg NH <sub>3</sub> /10g of soil)		Dehydrogenazy (mg TF/10g gleby) Dehydrogenases (mg TF/10g of soil)		Fosfataza kwasna (mg PNP/10g gleby) Acid phosphatase (mg PNP/10g of soil)							
					0–5	5–10	0–5	5–10	0–5	5–10	0–5	5–10	0–5	5–10				
LMśw Mixed fresh broadleaved forest	I	Kluczbork Namysłów Namysłów Kluczbork Namysłów	Zofiówka	129g	27,75	36,65	36,10	14,71	7,67	22,51	14,71	3,44	2,84	3,75	4,64	3,21	3,85	
			Komorzn	67f	79,02	99,15	80,23	8,57	10,47	9,28	10,47	9,28	4,47	3,47	5,43	3,33	1,96	2,79
			Komorzn	56b	41,79	41,60	30,84	12,14	9,36	9,22	5,67	3,53	4,57	4,28	2,59	2,84	2,59	2,84
			Zofiówka	145a	43,31	21,91	33,09	10,63	4,46	7,01	7,77	4,96	7,36	5,77	4,30	4,81	4,30	4,81
			Komorzn	67b	139,57	68,01	110,91	14,71	7,48	9,25	10,52	4,82	5,91	4,62	2,77	3,31	4,62	2,77
					$\bar{x}$	66,29	53,46	58,23	10,74	10,86	9,89	6,37	3,92	5,40	4,53	2,96	3,52	
					227h	34,44	12,26	17,42	5,43	4,66	4,54	3,93	0,94	2,40	2,73	2,73	2,59	
					396a	16,27	28,50	38,02	7,34	12,80	9,81	1,91	4,61	4,18	2,88	2,37	2,38	
					34a	23,78	17,29	17,33	8,94	7,77	7,33	2,39	1,23	2,14	3,47	3,30	2,89	
					197h	23,14	14,47	14,98	7,69	7,54	7,25	5,27	3,28	3,31	3,56	3,27	3,09	
				35f	22,90	21,78	32,08	8,80	7,55	8,55	2,83	1,53	2,45	3,94	3,20	3,18		
				$\bar{x}$	24,11	18,86	23,97	7,64	8,06	7,50	3,26	2,32	2,90	3,31	2,97	2,83		
Lśw Fresh broadleaved forest	I	Namysłów Kluczbork Namysłów Namysłów Namysłów	Gręboszów	$\bar{x}$ LMś	45,20	36,16	41,10	9,19	9,46	8,69	8,69	4,82	3,12	4,15	3,92	2,97	3,17	
			Lasowice Małe	401k	53,67	55,77	53,99	9,43	8,73	9,35	10,60	3,13	6,09	3,86	2,83	2,71		
			Polkowskie	211d	97,21	32,61	70,64	10,58	4,13	7,61	4,36	2,20	4,64	4,07	3,07	3,09		
			Polkowskie	195i	65,71	28,78	43,02	8,45	8,00	8,97	4,22	0,87	2,72	3,65	2,77	3,24		
			Polkowskie	203i	64,40	47,60	10,54	8,16	9,08	5,61	4,22	5,35	5,22	3,18	3,70			
					201j	30,51	33,29	26,95	9,73	9,70	9,36	4,63	3,48	4,10	4,23	4,52	3,93	
					$\bar{x}$	62,30	39,61	49,23	9,74	7,75	8,87	5,88	2,78	4,58	4,20	3,27	3,33	
					208o	76,81	25,55	34,39	8,32	8,97	7,90	4,42	2,36	3,82	4,16	3,19	2,86	
					201f	52,55	39,26	35,46	8,05	6,03	7,30	4,29	1,40	2,39	4,66	3,69	3,69	
					201c	34,40	25,44	29,23	9,49	7,48	9,34	2,60	0,62	3,30	3,32	3,29	3,36	
				70g	29,07	51,63	38,96	10,25	5,26	7,05	2,92	2,16	2,69	4,29	2,84	3,19		
				198d	62,42	28,38	45,40	9,16	5,22	8,51	5,33	3,11	4,14	3,49	2,75	3,12		
				$\bar{x}$	51,05	34,05	36,69	9,05	6,59	8,02	3,91	1,93	3,27	3,98	3,15	3,24		
				$\bar{x}$ Lś	56,67	36,83	42,96	9,40	7,17	8,45	4,90	2,35	3,92	4,09	3,21	3,29		

\* średnia ważona  
weighted mean

### 4.3. Stan mikrobiologiczny gleb

Na wszystkich powierzchniach intensywność mineralizacji substancji organicznej oraz biomasa drobnoustrojów były kilkakrotnie wyższe w warstwie 0–5 cm niż w warstwie 5–10 cm, co przedstawiono na przykładzie wyników uzyskanych w 2006 roku (tab. 3). Warstwa wyższa zawiera bowiem znacznie więcej węgla organicznego, stanowiącego substrat niezbędny dla rozwoju drobnoustrojów. Średnią ważoną wyników dotyczących warstw 0–5 i 5–10 cm, odzwierciedlającą stan mikrobiologiczny całej badanej warstwy gleby przedstawia tabela 3.

Ilość wydzielonego CO<sub>2</sub>, wskazująca na potencjalną intensywność mineralizacji węgla, była zróżnicowana na poszczególnych powierzchniach, z tym że aktywność tego procesu ( $\bar{x}$  z lat 2004–2006) była istotnie wyższa ( $F=8,12$ ;  $p<0,01$ ) na siedlisku LMśw ( $48,69 \mu\text{l CO}_2 \times \text{g C}_{\text{org}}^{-1} \times \text{h}^{-1}$ ) niż na siedlisku Lśw ( $43,76 \mu\text{l CO}_2 \times \text{g C}_{\text{org}}^{-1} \times \text{h}^{-1}$ ). Stwierdzono ponadto zależność pomiędzy przebiegiem mineralizacji substancji organicznej a bonitacją na obu siedliskach. Wartości tego parametru wykazywały tendencję spadkową wraz ze spadkiem bonitacji, lecz istotną statystycznie ( $F=5,15$ ;  $p<0,05$ ) jedynie w LMśw.

Ze względu na duże zróżnicowanie gleb pod względem zawartości substancji organicznej, wyniki oznaczeń biomasy drobnoustrojów glebowych przedstawiono w przeliczeniu na g C<sub>org</sub> oraz na jednostkę powierzchni ( $\text{kg C}_{\text{biom}} \times \text{ha}^{-1}$ ), co uważa się za bardziej miarodajne przy ocenie stanu mikrobiologicznego gleb niż odniesienie do jednostek wagowych gleby (Federer i in. 1993, Aikio i in. 2000).

Biomasa drobnoustrojów, wyrażona procentowym udziałem węgla biomasy w węglu organicznym zawartym w glebie ( $\%C_{\text{biom}} \text{ w } C_{\text{org}}$ ), była w ciągu całego okresu badań (2004–2006) wyższa na siedlisku LMśw (0,901%) niż w Lśw (0,816%), przy czym istotnie wyższy jej udział na obu siedliskach (LMśw –  $F=5,48$ ;  $p<0,05$ , Lśw –  $F=14,4$ ;  $p<0,001$ ) notowano pod drzewostanami I niż II bonitacji. Gleby na siedlisku LMśw charakteryzowały się także istotnie większą ( $F=11,7$ ;  $p<0,001$ ) wielkością biomasy drobnoustrojów ( $\text{kg C}_{\text{biom}} \times \text{ha}^{-1}$ ), z tym że wyraźne zmniejszenie wielkości biomasy wraz ze zmniejszeniem się bonitacji, aczkolwiek nieistotne statystycznie, stwierdzono tylko w Lśw, gdzie biomasa zmniejszyła się z  $304 \text{ kg C}_{\text{biom}} \times \text{ha}^{-1}$  w I klasie do  $281 \text{ kg C}_{\text{biom}} \times \text{ha}^{-1}$  w II klasie (tab. 4).

Jakość siedliska miała wyraźny wpływ na kształtowanie się ilorazu metabolicznego ( $q\text{CO}_2$ ) drobnoustrojów, odzwierciedlającego specyficzne tempo respiracji biomasy. Wartości  $q\text{CO}_2$  dla warstwy 0–10 cm gleb wzrastały wraz z pogarszaniem się jakości siedlisk – istotnie ( $F=9,67$ ;  $p<0,01$ ) w Lśw, tj. z 2,79 w I klasie do  $3,30 \mu\text{g C-CO}_2 \times \text{mg C}_{\text{biom}}^{-1} \times \text{h}^{-1}$  w II klasie oraz nieistotnie w LMśw, tj. z 3,01 do  $3,11 \mu\text{g C-CO}_2 \times \text{mg C}_{\text{biom}}^{-1} \times \text{h}^{-1}$  (tab. 4). Wyższa wartość  $q\text{CO}_2$  świadczy o mniejszej wydajności wzrostu drobnoustrojów, tzn. że większa ilość węgla organicznego wykorzystywana jest w metabolizmie energetycznym (respiracji), a mniejsza wiązana jest w biomacie. Sytuacja taka może mieć miejsce na siedliskach charakteryzujących się gorszymi warunkami glebowymi (Killham 1985, Anderson i Domsch 1992).

**Tabela 3. Stan mikrobiologiczny gleb w warstwach 0–5 cm i 5–10 cm (2006 r.)**  
**Table 3. Microbiological status of soils at depths of 0–5 cm and 5–10 cm (2006)**

Nadleś- nictwo Forest District	Leśnictwo, oddział Forest Range, compartment	Typ siedliskowy lasu Forest site type	Boni- tacja Site index	Mineralizacja C Mineralization of carbon		Biomasa drobnoustrojów Microbial biomass						qCO <sub>2</sub>	
				μl CO <sub>2</sub> × g C <sub>org</sub> <sup>-1</sup> × h <sup>-1</sup>		%C <sub>biom</sub> w C <sub>org</sub> %C <sub>biom</sub> in C <sub>org</sub>		kg C <sub>biom</sub> × ha <sup>-1</sup>		μg C-CO <sub>2</sub> × mg C <sub>biom</sub> <sup>-1</sup> × h <sup>-1</sup>			
				0–5	5–10	0–5	5–0	0–5	5–10	0–5	5–10	0–5	5–10
Kluczbork	Zofiówka 129g	LMśw Mixed fresh broadleaved forest	I	63,51	23,72	1,301	0,535	315,65	52,80	2,620	2,476		
Kluczbork	Zofiówka 145a			101,13	58,22	2,477	1,836	420,39	80,49	2,189	1,702		
Namysłów	Komorznio 56b			71,33	25,40	1,564	0,629	300,71	62,42	2,445	2,166		
Namysłów	Komorznio 67b	LMśw Mixed fresh broadleaved forest	II	42,88	19,16	0,906	1,022	245,14	62,36	2,538	2,034		
Namysłów	Komorznio 67f			75,53	41,42	1,098	0,935	199,71	86,85	3,688	2,376		
Kluczbork	Lasowice Małe 227h			55,68	29,90	1,293	0,724	476,05	63,48	2,308	2,889		
Kluczbork	Lasowice Wlk. 197h	LMśw Mixed fresh broadleaved forest	II	62,43	46,32	0,752	0,992	272,66	69,75	4,449	2,504		
Kluczbork	Tęczynów 34a			35,07	41,74	0,772	0,638	260,28	48,95	2,436	3,528		
Kluczbork	Tęczynów 35f			54,07	27,66	1,005	0,402	275,90	30,17	2,884	3,688		
Namysłów	Gręboszów 396a	Lśw Fresh broadleaved forest	I	52,26	21,57	1,114	0,622	231,74	55,54	2,515	2,510		
Kluczbork	Lasowice Małe 211d			30,40	37,70	1,330	0,713	238,50	51,74	2,451	2,086		
Namysłów	Gręboszów 401k			65,56	22,11	1,111	0,628	301,09	33,90	2,980	1,898		
Namysłów	Polkowskie 195i	Lśw Fresh broadleaved forest	II	89,54	30,93	1,826	0,605	333,94	28,45	2,630	2,742		
Namysłów	Polkowskie 201j			70,72	16,66	1,274	0,610	261,05	42,44	2,976	2,328		
Namysłów	Polkowskie 203 i			53,88	18,54	0,990	0,770	201,44	25,02	2,918	2,579		
Kluczbork	Lasowice Małe 208o	Lśw Fresh broadleaved forest	II	63,20	26,73	1,246	0,654	228,58	41,30	2,720	2,190		
Namysłów	Polkowskie 198g			60,81	20,23	1,182	0,328	237,83	24,75	2,795	3,307		
Namysłów	Polkowskie 201c			79,38	27,33	0,847	0,769	321,11	40,09	3,900	3,815		
Namysłów	Polkowskie 201f	Lśw Fresh broadleaved forest	II	43,18	24,01	0,856	0,498	236,10	39,10	2,703	2,583		
Namysłów	Komorznio 70g			53,65	25,53	0,826	0,443	211,13	30,01	3,483	3,093		

**Tabela 4. Stan mikrobiologiczny gleb (warstwa 0–10 cm) w latach 2004–2006**  
 Table 4. Microbiological status of soils at depth of 0–10 cm in 2004–2006

Lecznictwo, oddział Forest Range, compartment	Typ siedliskowy lasu Forest site type	Bonitacja Site index	Mineralizacja C Mineralization of carbon		Biomasa drobnoustrojów Microbial biomass				qCO <sub>2</sub>					
			2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004	2005	2006			
			μl CO <sub>2</sub> -g C <sub>org</sub> <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>	%C <sub>biom</sub> w C <sub>org</sub>	%C <sub>biom</sub> in C <sub>org</sub>	kg C <sub>biom</sub> ·ha <sup>-1</sup>	kg C <sub>biom</sub> ·ha <sup>-1</sup>	μg C-CO <sub>2</sub> ·mg C <sub>biom</sub> <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>	μg C-CO <sub>2</sub> ·mg C <sub>biom</sub> <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>	μg C-CO <sub>2</sub> ·mg C <sub>biom</sub> <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>				
Zofiówka 129g	LMśw Mixed fresh broadleaved forest	I	57,39	55,09	37,33	0,792	1,072	0,797	285,79	519,87	368,45	3,887	2,757	2,525
Zofiówka 145a			95,15	74,21	74,63	1,3 24	1,557	2,081	354,00	445,73	500,88	3,854	2,522	1,888
Komorzo 56b			54,48	59,27	44,10	0,603	0,925	1,011	241,84	347,38	363,13	4,840	3,423	2,088
Komorzo 67b			45,28	43,81	28,74	0,800	0,960	0,906	239,58	281,13	307,50	3,033	2,456	2,239
Komorzo 67f			76,86	23,46	56,27	0,943	0,638	1,006	311,13	280,28	286,56	4,367	2,383	2,947
	$\bar{x}$		55,07			0,800	1,028		342,22		3,014			
Lasowice Małe 227h	LMśw Mixed fresh broadleaved forest	II	37,71	46,15	39,33	0,800	0,864	0,932	429,14	736,85	539,53	2,528	2,843	2,676
Lasowice Wielkie 197h			50,30	42,98	52,26	1,016	0,648	0,904	513,67	468,48	342,41	2,655	4,139	3,221
Tęczynów 34a			25,16	24,69	39,48	0,371	0,4 53	0,683	215,34	519,05	309,23	3,636	3,125	3,159
Tęczynów 35f			54,58	57,31	38,59	0,935	1,016	0,652	377,63	315,57	306,07	3,130	2,988	3,355
Gręboszów 396a			52,20	42,55	31,42	0,780	0,743	0,780	303,75	403,60	287,28	3,591	3,106	2,513
	$\bar{x}$		42,31			0,774		404,51		3,11				
	$\bar{x}$	LMśw	48,69			0,901		373,37		3,062				
Lasowice Małe 211d	Lśw Fresh broadleaved forest	I	48,12	44,95	34,56	0,863	0,840	0,941	199,00	271,46	290,24	2,992	2,987	2,221
Gręboszów 401k			43,49	69,74	39,46	0,994	1,105	0,821	310,31	284,98	334,99	2,346	3,337	2,330
Polkowskie 195i			39,09	34,69	55,82	0,723	0,851	1,123	273,72	362,53	362,49	2,899	2,760	2,694
Polkowskie 201j			53,42	48,52	38,43	0,900	0,938	0,877	336,09	450,55	303,49	3,185	2,743	2,589
Polkowskie 203 i			46,40	46,38	32,92	0,761	0,876	0,859	229,91	302,22	251,48	3,258	2,825	2,717
	$\bar{x}$		45,07			0,898		304,23		2,792				
Lasowice Małe 208o	Lśw Fresh broadleaved forest	II	42,75	46,73	40,19	0,565	0,789	0,873	269,29	422,50	269,88	4,056	3,858	2,386
Polkowskie 198g			51,81	56,19	37,55	0,787	0,974	0,692	196,99	252,33	262,58	3,530	2,993	3,088
Polkowskie 201c			49,35	41,08	49,72	0,803	0,557	0,803	276,15	334,41	361,20	3,294	4,079	3,852
Polkowskie 201f			37,30	42,72	32,43	0,599	0,865	0,655	229,52	242,80	275,20	3,341	2,657	2,635
Komorzo 70g			34,33	37,66	36,94	0,6 65	0,789	0,598	267,20	313,66	241,14	3,747	2,795	3,251
	$\bar{x}$		42,45			0,734		280,99		3,304				
	$\bar{x}$	Lśw	43,76			0,816		292,61		3,048				

#### 4.4. Badania dendrometryczne

Przeprowadzone badania dendrometryczne wykazały, że na powierzchniach reprezentujących LMśw wartości cech taksacyjnych drzewostanów mających związek z jakością siedlisk były wyższe, aczkolwiek nieistotnie statystycznie, niż na powierzchniach reprezentujących Lśw (tab. 5).

Przeciętna pierśnica ( $D$ ) oraz przeciętna wysokość ( $H$ ) drzewostanu miały tendencję spadkową (nieistotną statystycznie) wraz ze spadkiem bonitacji drzew na obu badanych siedliskach. Podobną tendencję stwierdzono w przypadku pozostałych parametrów dendrometrycznych tj. liczby drzew na hektar ( $L/ha$ ), pierśnicowego pola przekroju ( $G/ha$ ), miąższości drzewostanu w korze ( $V_k/ha$ ), miąższości grubizny drzew ( $V_g/ha$ ), zagęszczenia i zadrzewienia na siedlisku LMśw. Na siedlisku Lśw natomiast, wyższe wartości powyższych parametrów obserwowano w II klasie bonitacyjnej, z wyjątkiem przeciętnego przekroju drzewostanu ( $g$ ), którego wartości były istotnie wyższe ( $F=5,24$ ;  $p<0,05$ ) w I klasie bonitacyjnej (tab. 5).

#### 4.5. Biologiczny wskaźnik żyzności siedlisk leśnych

Wartości biologicznego wskaźnika  $F$  dla badanych powierzchni przedstawiono w tabeli 6. Niezależnie od zastosowanego w równaniu parametru  $M$ , wskaźnik  $F$  był wyższy na siedlisku LMśw niż Lśw, a jego wartość spadała wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanu. Przyjmował on wyższe wartości, gdy jako  $M$  wstawiano iloraz metaboliczny drobnoustrojów, aktywność fosfatazy kwaśnej i asparaginazy, biomasę drobnoustrojów ( $kg C_{biom} \times ha^{-1}$ ) oraz tempo mineralizacji węgla, natomiast niższe – gdy parametrem  $M$  była aktywność ureazy i dehydrogenaz. Różnice pomiędzy wartościami  $F$  wynikające z rodzaju użytego w równaniu parametru biologicznego nie były jednak istotne statystycznie.

### 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Żyzność siedliska determinuje wzrost i możliwości produkcyjne roślin, charakterystyczne dla poszczególnych typów gleb. Za jeden z podstawowych wskaźników żyzności uważa się zapas przyswajalnych przez rośliny składników pokarmowych w glebie, z których większość dostarczana jest przez drobnoustroje glebowe w wyniku rozkładu substancji organicznej, katalizowanego przez wytwarzane przez drobnoustroje enzymy (Russel i Kobus 1974, Myśków 1981, Gliński i in. 1983, Myśków i in. 1996). Biorąc jednocześnie pod uwagę fakt, że rozwój drobnoustrojów uwarunkowany jest zasobnością gleb w składniki pokarmowe (Garbaye i Bonneau 1997, Ranger i Turpault 1999), można przyjąć, że pomiędzy aktywnością biologiczną a żyznością gleb istnieje ścisła korelacja (Lei-

**Tabela 5. Cechy taksacyjne badanych drzewostanów**  
Table 5. Characteristics of studied stands

Typ siedliskowy lasu Forest site type	Boni- tacja Site index	Nad- leśnictwo Forest District	Leśnictwo Forest Range	Oddział Com- partment	Wiek drzewo- stanu Stand age	D (cm)	H (m)	L/ha (szt/ha)	g (m <sup>2</sup> )	G/ha (m <sup>2</sup> )	V <sub>k</sub> /ha (m <sup>3</sup> )	V <sub>g</sub> /ha (m <sup>3</sup> )	Zagę- szczenie Density	Zadrze- wienie Stocking
LMśw Mixed fresh broadleaved forest	I	Kluczbork	Zofiówka	129g	67	39	27	234	0,102	24,0	368	340	0,47	0,84
		Namysłów	Komorzo	67f	63	33	25	346	0,080	27,7	390	356	0,66	0,93
		Namysłów	Komorzo	56b	63	31	27	429	0,070	30,1	446	409	0,82	1,07
		Kluczbork	Zofiówka	145a	78	39	28	283	0,102	28,9	442	409	0,63	0,93
		Namysłów	Komorzo	67b	63	33	25	346	0,080	27,7	390	356	0,66	0,93
		$\bar{x}$			67	35	26	328	0,087	27,7	407	374	0,65	0,94
	II	Kluczbork	Lasowice Małe	227h	82	45	27	201	0,134	26,9	409	378	0,51	0,78
		Namysłów	Gręboszów	396a	71	34	22	302	0,069	20,8	265	237	0,49	0,70
		Kluczbork	Tęczynów	34a	67	39	27	294	0,088	25,9	382	351	0,65	0,87
		Kluczbork	Lasowice Wlk.	197h	68	38	28	379	0,093	35,4	556	503	0,76	1,24
Kluczbork		Tęczynów	35f	57	33	20	104	0,073	7,6	88	79	0,15	0,33	
$\bar{x}$				69	38	25	256	0,091	23,3	340	310	0,51	0,78	
Lśw Fresh broadleaved forest	I	Namysłów	Gręboszów	401k	66	33	25	413	0,068	27,9	384	350	0,76	0,88
		Kluczbork	Lasowice Małe	211d	72	35	29	183	0,101	18,6	307	286	0,41	0,66
		Namysłów	Polkowskie	195i	63	32	24	393	0,074	29,0	399	363	0,75	0,95
		Namysłów	Polkowskie	203i	70	37	24	166	0,114	18,9	278	255	0,28	0,77
		Namysłów	Polkowskie	201j	70	49	25	128	0,156	19,9	274	248	0,27	0,59
		$\bar{x}$			68	37	25	257	0,102	22,9	328	300	0,49	0,77
	II	Kluczbork	Lasowice Małe	208o	77	33	26	377	0,077	28,8	427	393	0,85	0,91
		Namysłów	Polkowskie	201f	53	28	25	693	0,055	37,9	517	470	0,97	1,49
		Namysłów	Polkowskie	201c	73	31	23	358	0,065	23,3	319	278	0,64	0,80
		Namysłów	Komorzo	70g	90	39	25	218	0,108	23,4	336	307	0,55	0,72
$\bar{x}$			198d	61	35	23	200	0,070	13,9	179	162	0,35	0,44	
$\bar{x}$				71	33	24	369	0,07	25,5	356	322	0,67	0,87	

**D** – przeciętna pierśnica drzewostanu; **H** – przeciętna wysokość drzewostanu; **L/ha** – liczba drzew drzewostanu; **g** – przeciętny przekrój drzewostanu; **G/ha** – pierśnicowe pole przekroju drzewostanu  $V_k/ha$  – miąższość drzewostanu w korze;  $V_g/ha$  – miąższość grubizny drzew drzewostanu

**D** – mean stand diameter at the breast high, **H** – mean stand height, **L/ha** – number of trees in the stand, **g** – mean stand cross-section, **G/ha** – basal area,  $V_k/ha$  – stand volume in bark,  $V_g/ha$  – volume of stand merchantable timber

Tabela 6. Biologiczny wskaźnik żyzności gleb ( $F$ ) obliczony przy uwzględnieniu różnych parametrów biologicznych ( $M$ )

		$F = \sqrt{M^2 + S^2 + V^2}$									
Typ siedliskowy lasu Forest site type	Bonitacja Site index	$M$ – wskaźnik aktywności biologicznej $M$ – biological activity indicator								Iloraz metaboliczny Metabolic quotient (q CO <sub>2</sub> )	Biomasa drobnoustrojów Microbial biomass (%C <sub>biom</sub> w C <sub>org</sub> )
		Dehydrogenazy Dehydrogenases (D)	Ureaza Urease (U)	Asparaginaza Asparaginase (A)	Fosfataza Phosphatase (F <sub>kw</sub> )	Intensywność mineralizacji C Intensity of carbon mineralization (ml CO <sub>2</sub> × g C <sub>org</sub> <sup>-1</sup> × h <sup>-1</sup> )	Biomasa drobnoustrojów Microbial biomass (kg C <sub>biom</sub> × ha <sup>-1</sup> )	Biomasa drobnoustrojów Microbial biomass (%C <sub>biom</sub> w C <sub>org</sub> )			
LMśw Mixed fresh broadleaved forest	I	3,67	2,92	5,05	6,08	4,67	4,98	6,23	4,56	6,23	4,56
		6,81	6,38	6,90	7,07	8,67	7,68	7,78	8,94	7,78	8,94
		5,71	5,05	6,20	6,13	6,45	6,11	8,03	6,04	8,03	6,04
		6,62	5,70	7,57	6,37	6,37	6,42	7,38	6,71	7,38	6,71
		5,04	5,52	5,52	5,69	5,96	5,50	7,39	5,66	7,39	5,66
	$\bar{x}$	5,57	5,11	5,97	6,51	6,42	6,14	7,36	6,38	7,36	6,38
	II	4,27	3,89	4,86	6,75	4,93	7,21	6,29	5,16	6,29	5,16
		3,90	3,26	5,20	4,74	4,79	5,71	6,99	4,61	6,99	4,61
		4,50	4,14	6,12	6,71	4,70	5,46	7,39	4,50	7,39	4,50
		5,31	4,80	6,46	7,36	6,13	6,06	7,61	6,02	7,61	6,02
$\bar{x}$	5,09	5,02	6,59	6,79	5,81	6,04	7,48	5,80	7,48	5,80	
Lśw Fresh broadleaved forest	$\bar{x}$ LMś	4,62	4,22	5,85	6,47	5,27	6,10	7,15	5,22	7,15	5,22
		5,09	4,67	5,91	6,49	5,85	6,12	7,26	5,80	7,26	5,80
		6,86	5,86	6,79	6,44	6,52	6,30	7,60	6,71	7,60	6,71
		5,15	5,47	5,35	5,41	6,06	5,78	6,82	6,15	6,82	6,15
	I	4,74	4,72	5,73	6,09	5,69	5,85	6,91	5,79	6,91	5,79
		5,38	4,78	5,75	6,18	5,75	5,97	6,93	5,85	6,93	5,85
		5,58	5,06	6,63	7,25	5,93	5,74	7,40	6,05	7,40	6,05
	$\bar{x}$	5,54	5,18	6,05	6,27	5,99	5,93	7,13	6,11	7,13	6,11
		5,21	4,39	5,80	6,00	5,27	5,31	7,54	5,03	7,54	5,03
		3,67	3,60	4,66	5,38	5,11	4,35	6,92	4,88	6,92	4,88
II	6,13	5,83	7,48	7,57	6,80	6,78	9,12	6,46	9,12	6,46	
	3,64	3,77	4,74	5,48	4,34	4,27	6,24	4,35	6,24	4,35	
	4,46	4,09	5,21	5,29	4,77	4,87	7,19	4,78	7,19	4,78	
$\bar{x}$	4,62	4,34	5,58	5,94	5,26	5,12	7,40	5,10	7,40	5,10	
$\bar{x}$ Lśw	5,08	4,76	5,81	6,11	5,62	5,52	7,26	5,60	7,26	5,60	



ros i in. 2000, Zwoliński 2004). Potwierdzają to uzyskane wyniki badań, wskazujące na wyraźną zależność stanu mikrobiologicznego i aktywności enzymatycznej od właściwości chemicznych gleb (tab. 7). Istotna rola drobnoustrojów glebowych w kształtowaniu żyzności i urodzajności gleb leśnych jest szeroko udokumentowana; szereg prac wskazuje na silną korelację między biomasa i aktywnością drobnoustrojów glebowych a produktywnością drzewostanów (Myrold i in. 1989, Zak i in. 1994, Kurka i Starr 1997).

Uzyskane wyniki pomiarów chemicznych i aktywności biologicznej gleb badanych powierzchni okazały się nieadekwatne do jakości siedlisk określonych w operatach siedliskowych (2000, 2002). Na siedlisku Lśw poza niższym pH, stwierdzono wyraźnie niższą zasobność gleb w składniki pokarmowe, wyrażoną mniejszą zawartością węgla organicznego, kationów zasadowych i fosforu oraz niższą pojemnością wymienną, aniżeli na teoretycznie uboższym LMśw. Powierzchnie na siedlisku Lśw charakteryzowały się ponadto słabszą aktywnością enzymatyczną gleb, zwłaszcza asparaginazy i dehydrogenaz oraz mniejszą biomasą drobnoustrojów mierzoną udziałem węgla biomasy w ogólnej zawartości węgla organicznego w glebie, słabszą intensywnością procesu mineralizacji węgla oraz wyższymi wartościami  $qCO_2$ . Stwierdzono natomiast wyraźny związek pomiędzy bonitacją drzewostanów a parametrami chemicznymi i biologicznymi gleb. Na obu siedliskach gleby pod drzewostanami I bonitacji charakteryzowały się bardziej korzystnymi właściwościami chemicznymi oraz wyższą aktywnością biologiczną niż gleby pod drzewostanami II bonitacji.

Stwierdzona niezgodność właściwości chemicznych gleb i ich aktywności biologicznej z przedstawionym w operatach typem siedlisk potwierdza występowanie na badanych powierzchniach siedlisk zniekształconych i zdegradowanych, określonych w operatach siedliskowych (2000, 2003). Degradacja tych siedlisk wynika ze zubożenia wierzchnich poziomów gleby poprzez jednogatunkowy drzewostan sosnowy. Za degradację siedliska uważa się ogólnie niekorzystne dla naturalnego ekosystemu, sztucznie spowodowane czynnikami gospodarczymi, zubożenie naturalnej żyzności lub obniżenie sprawności siedliska, co powoduje ograniczenie rozwoju roślinności oraz zmniejszenie produktywności siedliska i innych funkcji ekosystemu leśnego (Mąkosza 1992, 1994). Skutki jej występowania są jednak łatwo zauważalne tylko na siedliskach żyznych.

Potwierdzają to dane planu urządzania gospodarstwa leśnego Nadleśnictwa Kluczbork i Namysłów (1999, 2001), obejmujących m.in. obszar terenu badań, które wskazują na wyraźne zniekształcenie bogatszych siedlisk leśnych w tych nadleśnictwach. Mogło to być także przyczyną stwierdzonego braku istotnej zależności pomiędzy typem siedliska a tymi cechami taksacyjnymi drzewostanu, które w praktyce leśnej wykorzystywane są jako wskaźniki żyzności siedlisk (Bruchwald 1995, 1997, Sikorska 1999). Powyższe obserwacje pozwalają wnioskować, że parametry określające możliwości siedliska są bardziej precyzyjnym wskaźnikiem przy diagnozie typologicznej, aniżeli stosunki florystyczne i fitosocjologiczne, które często, o czym już wspomniano, mogą ulegać silnym de-

**Tabela 7. Zależność pomiędzy parametrami chemicznymi a biologicznymi gleb**  
 Table 7. Relationship between chemical and biological soils parameters

Parametry chemiczne gleb (x) Chemical parameters of soils (x)	Parametry biologiczne gleb (y) Biological parameters of soil (y)							
	Dehydrogenazy Dehydrogenases	Ureaza Urease	Asparaginaza Asparaginase	Fosfataza Phosphatase	Intensywność mineralizacji C Intensity of carbon mineralization	Biomasa drobnoustrojów Microbial biomass	Biomasa drobnoustrojów Microbial biomass	Iloraz metaboliczny Metabolic quotient
	D	U	A	F <sub>kw</sub>	ml CO <sub>2</sub> × g C <sub>org</sub> <sup>-1</sup> × h <sup>-1</sup>	C <sub>biom</sub> /C <sub>org</sub> (%)	kg C <sub>biom</sub> /ha	qCO <sub>2</sub>
<b>Suma kationów zasadowych</b> The sum of basic cations (S)	0,260*	0,010	0,180	0,300*	0,070	0,110	0,030	0,050
<b>Kwasowość hydrolityczna</b> Hydrolytic acidity (Hh)	0,290*	0,360*	0,280*	0,190	0,110	0,180	0,390*	0,180
<b>Pojemność sorpcyjna</b> Sorpton capacity (T)	0,250	0,360*	0,310*	0,230	0,100	0,160	0,390*	0,190
<b>Udział kationów zasadowych w kompleksie sorpcyjnym</b> The share of basic cations in sorption complex (V%)	0,560*	0,270*	0,030	0,070	0,230	0,260*	0,290*	0,050
<b>pH w 1 M KCl</b> pH in 1 M KCl	0,340*	0,480*	0,080	0,150	0,290*	0,420*	0,300*	0,280*
<b>pH w H<sub>2</sub>O</b> pH in H <sub>2</sub> O	0,410*	0,450*	0,060	0,150	0,340*	0,410*	0,300*	0,220
<b>Węgiel organiczny</b> Organic carbon (%C)	0,230	0,340*	0,320*	0,280*	0,130	0,180	0,440*	0,170
<b>Azot</b> Nitrogen (%N)	0,030	0,20	0,350*	0,430*	0,120	0,120	0,060	0,070

\* **korelacja istotna statystycznie (p>0,05)**  
 correlation statistically significant (p>0.05)

formacjom w wyniku działań gospodarczych. Można zatem uważać, na co wskazują liczne doniesienia (Burns 1982, Bruchwald i Kliczkowska 1997, Zagurskaja 1998), że właściwości gleb, wyrażone ich składem chemicznym oraz aktywnością biologiczną są miarodajnym wskaźnikiem żyzności gleb.

Do oceny jakości gleb badanych powierzchni wykorzystano parametry chemiczne i biologiczne w celu oznaczenia biologicznego wskaźnika żyzności gleby ( $F$ ), stosowanego wcześniej przy określaniu jakości gleb rolnych (Myśkow i in. 1996). Podobnie jak w przypadku wyników analiz chemicznych i pomiarów aktywności biologicznej, wskaźnik  $F$  nie był zgodny z jakością siedlisk podaną w operatach siedliskowych (2000, 2003), tzn. przyjmował niższe wartości na siedlisku Lśw niż LMśw, niezależnie od tego, który z parametrów aktywności biologicznej zastosowano do jego oznaczeń, natomiast jego wartości były wyższe w drzewostanach I klasy bonitacyjnej na obu siedliskach. Wcześniejsze badania wykonane na siedliskach borowych, w których wykorzystano wskaźnik  $F$  (Olśzowska i in. 2005), wykazały istotną korelację pomiędzy wartością  $F$  a parametrami dendrometrycznymi oraz przydatność tego wskaźnika do oceny jakości siedlisk leśnych. Stwierdzona istotna współzależność pomiędzy aktywnością biologiczną a parametrami chemicznymi gleb określającymi ich żyzność na siedliskach Lśw i LMśw, a także korelacja wartości  $F$  z bonitacją drzewostanu na obu siedliskach daje podstawę do stwierdzenia, że wskaźnik  $F$  może być pomocny w diagnostyce typologicznej żyzniejszych siedlisk leśnych, w tym zwłaszcza zniekształconych działalnością gospodarczą.

Wyniki wykonanych badań pozwalają na sformułowanie następujących stwierdzeń i wniosków:

1. Parametry chemiczne określające żyzność gleb, tj. pH, zawartość substancji organicznej, kationów zasadowych i fosforu oraz pojemność sorpcyjna były na badanych powierzchniach niezgodne z jakością siedlisk (Lśw i LMśw) – określoną wg klasyfikacji przedstawionej w operatach siedliskowych, czego prawdopodobną przyczyną była degradacja siedlisk powstająca w wyniku istnienia monokultur sosnowych.

2. Nieprzystające do typu siedliska okazały się także: stan mikrobiologiczny gleb oraz aktywność enzymów glebowych – wyższą aktywnością biologiczną odznaczały się gleby na uboższym siedlisku LMśw niż Lśw.

3. Stwierdzono wyraźny związek pomiędzy bonitacją drzewostanów a parametrami chemicznymi i biologicznymi gleb. Zarówno w Lśw jak i LMśw lepszymi właściwościami chemicznymi oraz wyższą aktywnością biologiczną charakteryzowały się gleby na powierzchniach z drzewostanami I niż II bonitacji.

4. Istotna zależność pomiędzy biomasą drobnoustrojów, intensywnością mineralizacji węgla i aktywnością enzymów glebowych a właściwościami chemicznymi gleb uzasadnia wykorzystanie parametrów odzwierciedlających aktywność biologiczną gleb jako wskaźników żyzności gleb.

5. Istniejąca korelacja wartości biologicznego wskaźnika żyzności siedlisk leśnych ( $F$ ) z bonitacją drzewostanów na siedliskach Lśw i LMśw daje podstawę

do stwierdzenia, że wskaźnik  $F$  może być wykorzystany przy szczegółowej diagnostyce typologicznej żyzniejszych siedlisk leśnych.

Praca wpłynęła 1.06.2007 r. i została przyjęta przez Komitet Redakcyjny 17.08.2007 r.

## APPLICATION OF BIOCHEMICAL SOILS PARAMETERS IN TYPOLOGICAL DIAGNOSTICS OF FOREST SITES

### Summary

The aim of the conducted studies was to describe the intensity of biochemical changes and microbiological status of soils in mixed stands with various site index on fresh and mixed fresh broadleaved forest and to set the possibilities of utilization of the research on biochemical activity in calculation the soils fertility indicator and in the detailed diagnostics of forest sites condition.

In Katowice Regional Directorate of the State Forests (Namysłów and Kluczbork Forest Districts) 20 research plots were chosen representing lowland forest sites. 10 plots were located in the fresh and 10 in the mixed fresh broadleaved forest, in mixed stands with pre-dominance of *Quercus robur* of site index I and II (table 5). In 2004–2006, chemical analyses (table 1), the measurements of soils biological activity (table 2) and dendrometrical measurements of oak stands (table 5) were executed in the study plots.

Results obtained from measurements of soils chemical and biological activity of studied plots appear to be discordant with sites quality define in forest habitat inventory plans (2000, 2003). In fresh broadleaved forest except of lower pH, significantly lower soils nutrients richness was noticed, expressed with lower content of the organic carbon, basic cations and phosphorus, and lower sorption capacity, than on – theoretically less fertile – mixed fresh broadleaved forest. Moreover, plots established in fresh broadleaved forest site were characterized with lower enzymatic activity of soils, especially urease and asparaginase, the lower microbial biomass and its part in the general content of organic carbon in soil, the lower intensity of carbon mineralisation process and higher values of  $qCO_2$ . However, marked relationship between stands site index and the chemical and biological parameters of soils were affirmed. In both habitats, plots located in stands of the site index I had better chemical proprieties and higher soils biological activity than in stands of the site index II.

Chemical and biological parameters were used to assess the soils quality in studies plots. The biological soil fertility indicator ( $F$ ) applied in defining quality of agricultural soils was calculated (table 6). The ' $F$ ' indicator did not answer sites quality given in the forest habitat inventory plans (2000, 2003) i.e. it was lower in fresh broadleaved forest than in mixed fresh broadleaved forest, independently from the parameters of the biological activity, which have been applied to its calculations; the tendency was similar to as in the case of chemical analyse and measurements of the biological activity. The degradation of sites resulting from impoverishment of top levels of the soil through introduction of pine monocultures can be the reason of this.

At the same time, found higher values of the 'F' indicator in stands of the I than the II site index show on its reliability in the typological diagnostics of more fertile forest sites, especially distorted with economic activity, herein.

(transl. M. P.)

## LITERATURA

- Aikio S., Väre H., Strömmer R. 2000: Soil microbial activity and biomass in the primary succession of a dry heath forest. *Soil Biol. Biochem.*, 32: 1091-1100.
- Anderson J. P. E., Domsch K. H. 1978: A physiological method for quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 10: 215-21.
- Anderson T. H., Domsch K. H. 1992: The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as specific activity parameter to assess the effect of environment condition, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 25: 393-395.
- Balicka N. 1986: Wykorzystanie wskaźników mikrobiologicznych w analizie środowiska glebowego. *Post. Mikrobiol.*, 25, 3/4: 289-291.
- Bruchwald A. 1995: *Dendrometria*. Wydawnictwo SGGW. Warszawa, 256.
- Bruchwald A., Kliczkowska A. 1997: Kształtowanie się bonitacji dla drzewostanów sosnowych Polski. *Prace Inst. Bad. Leś.*, A, 838: 63-73.
- Burns R. G. 1982: Enzyme activity in soil: location and a possible role on microbial ecology. *Soil Biol. Biochem.*, 34: 423-427.
- Federer C. A., Turcotte D. E., Smith C. T. 1993: The organic fraction – bulk density relationship and the expression of nutrient content in forest soils. *Can. J. For. Res.*, 23: 1026-1032.
- Galstjan A. Š. 1963: K ocenke stepeni plodородija počvy fermentativnymi reakcijami. *Mikroorganizmy w selskom chozjajstve*. Izd. MGU: 327-335.
- Galstjan A. Š. 1978: *Opređenje aktivnosti fermentov počv – metodičeskie ukazanja*. NIPiA. Erevan', 54.
- Garbaye J., Bonneau M. 1997: Assuring sufficient nutrient supply for trees – a basic condition of sustainable forests. *IUFRO Occas.Pap.*, 9: 28-31.
- Gliński J., Stepniewski W., Łabuda S. 1983: Pobieranie tlenu i wydzielanie dwutlenku węgla w środowisku glebowym. *Probl. Agrofiz.*, 39: 3-72.
- Hofmann E., 1955: *Die Enzyme im Boden und ihre Bedeutung für seine Biologie und Fruchtbarkeit*. Z. Acker u. Pflanzenbau., 100: 31-35.
- Instrukcja laboratoryjna dla pracowni gleboznawczo-nawożeniowych 1973: red. A.Kowalkowski Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa – Sękocin.
- Jenkinson D. S., Ladd J. N. 1981: Microbial biomass in soil: measurement and turnover. [W:] *Soil Biochemistry*, Vol. 5, (eds E. A. Paul and J. N. Ladd), Marcel Dekker, New York, 415-471.
- Killham K. 1985: A physiological determination of the impact of environment stress on the activity of microbial biomass. *Environ.Pollut.*, 38: 283-294.
- Kliczkowska A., Grzyb M. 1996: Charakterystyka siedlisk leśnych Krainy Śląskiej, Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Urządzania Lasu, Warszawa.
- Koper J., Piotrowska A. 1999a: Biochemiczne wskaźniki żyzności gleby ukształtowane w wyniku wieloletniego nawożenia organiczno-mineralnego. *Zesz. Nauk. ART. Bydg.*, 220: 151-158.
- Koper J., Piotrowska A. 1999b: Aktywność enzymatyczna gleb jako parametr jej żyzności wywołany systemem uprawy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 467, I: 127-134.
- Kurka A. M., Starr M. 1997: Relationship between decomposition of cellulose in the soil and tree stand characteristics in natural boreal forests. *Plant and Soil*, 197: 167-175.

- Leiros M. C., Trasar-Cepeda C., Seoane S., Gil-Sotres F. 2000: Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oakwood) in an area of European temperature-humid zone (Galicia, NW Spain): General parameters. *Soil Biol. Biochem.*, 32: 733-745.
- Marszewska-Ziemięcka J. 1974: *Mikrobiologia gleby i nawozów organicznych*. PWRiL Warszawa.
- Mąkosa K. 1992: Degradacja siedlisk leśnych i potrzeba ich meliorowania. *Mat. Sympozjum „Urządzenie lasu – stan i perspektywy rozwoju”*, IBL, Kom. Nauk Leśnych PAN, Warszawa: 229-241.
- Mąkosa K. 1994: *Zasady kartowania siedlisk leśnych*, IBL Warszawa.
- McGill W. B., Cannon K. R., Robertson J. A., Cook F. D. 1986: Dynamics of soil microbial biomass and water soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations. *Can. J. Soil Sci.*, 66: 1-19.
- Myrold D. D., Matson P. A., Peterson D. L. 1989: Relationships between soil microbial properties and above-ground stand characteristics of conifer forests in Oregon. *Biogeochemistry*, 8: 265-281.
- Myśków W. 1981: Próby wykorzystania wskaźników aktywności mikrobiologicznej do oceny żyzności gleb. *Post. Mikrobiol.*, XX, 3/4: 73-192.
- Myśków W., Stachyra A., Zięba S., Masiak D. 1996: Aktywność biologiczna gleby jako wskaźnik jej żyzności i urodzajności. *Rocz. Glebozn.*, XLVII, 1/2: 89-99.
- Olszowska G. 1998: Wpływ pyłów kadmowo-cynkowych na aktywność wybranych enzymów glebowych. *Prace Inst. Bad. Leśn.*, A, 847: 112-125.
- Olszowska G. 1999: Wpływ nawożenia mineralnego na aktywność biochemiczną gleb leśnych skażonych pyłami kadmowo-cynkowymi. *Prace Inst. Bad. Leśn.*, A, 881: 52-60.
- Olszowska G., Zwoliński J., Matuszczyk I., Syrek D., Zwolińska B., Pawlak U., Kwapis Z., Dudzińska M. 2005: Wykorzystanie badań aktywności biologicznej do wyznaczenia wskaźnika żyzności gleb w drzewostanach sosnowych na siedliskach boru świeżego i boru mieszanego świeżego. *Leś. Prace Bad.*, 3: 17-37.
- Operat glebowo-siedliskowy RDLP Katowice Nadl. Kluczbork. Stan na 1.I.2002 r., Brzeg 2003.
- Operat siedliskowy RDLP Katowice Nadl. Namysłów obręb Namysłów i Wołczyn. Tom I. Stan na 30 III 2000 r., Kraków 2000.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991: *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 334.
- Parkinson D. 1979: Aspects of the microbial ecology of forest ecosystems. [W:] *Forests: Fresh perspectives from ecosystem analysis* (ed. R. Waring). *Proceedings of the 40<sup>th</sup> Annual Biology Colloquium*, Oregon State University, Corvallis, 109-117.
- Plan urządzania lasu Nadleśnictwa Kluczbork na okres gospodarczy od 1.I.1999 do 31.XII. 2008 r., Brzeg 1999.
- Plan urządzania lasu Nadleśnictwa Namysłów na okres gospodarczy od 1.I.2001-31.12.2010, Brzeg 2001.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1990: *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*. Wyd. II PWRiL, Warszawa, 619.
- Ranger J., Turpault M. 1999: Input-output nutrient budgets as a diagnostic tool for sustainable forest management. *For. Ecol. Manag.*, 122, 1/2: 139-154.
- Russel S. 1972: *Metody oznaczania enzymów glebowych*. PTG Komisja Biologii Gleby. Warszawa, 64.
- Russel S., Kobus J., 1974: Aktywność dehydrogenaz w różnych typach gleb polskich. *Pr. Kom. Biol. Gleby PTG*, 12: 65-66.
- Sikorska E. 1999: *Siedliska leśne. Cz. I – Siedliska obszarów niżowych*. Skrypt Wyd. AR Kraków, 136.
- Trampler T., Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A. 1990a: *Regionalizacja przyrodniczo-leśna, na podstawach ekologiczno – fizjograficznych*. PWRiL, Warszawa, 178.
- Trampler T., Mąkosa K., Girzda A., Bąkowski J., Dmyterko E. 1990b: *Siedliskowe podstawy hodowli lasu* PWRiL Warszawa, ss. 197.

- Zagurskaja L. M. 1998: Biologičeskaja aktivnost' počv kak pokazatel' uslovij rosta lesnych nasaždenij. *Lesovedenie*, 1, 24-29.
- Zak D. R., Grigal D. F., Gleeson S., Tilman D. 1990: Carbon and nitrogen cycling during old-field succession: constraints on plant and microbial biomass. *Biogeochemistry*, 11: 111-129.
- Zak D. R., Tilman D., Parmenter R. R., Rice C. W., Fisher F. M., Vose J., Milchanus D., Martin C. W. 1994: Plant production and soil microorganisms in late-successional ecosystems: a continental study. *Ecology*, 75: 2333-2347.
- Zwoliński J. 2004: Microbial biomass versus soil fertility in forest sites. *Pol. J. Ecol.*, 4: 553-561.
- Zwoliński J. 2005: Oznaczanie udziału grzybów i bakterii w biomase drobnoustrojów gleb leśnych. *Leś. Prace Bad.*, 4: 7-18.