

Grażyna OLSZOWSKA<sup>1</sup>, Józef ZWOLIŃSKI<sup>1</sup>, Irena MATUSZCZYK<sup>1</sup>, Danuta SYREK<sup>1</sup>,  
Barbara ZWOLIŃSKA<sup>1</sup>, Urszula PAWLAK<sup>1</sup>, Zygmunt KWAPIS<sup>1</sup>, Małgorzata DUDZIŃSKA<sup>2</sup>

## WYKORZYSTANIE BADAŃ AKTYWNOŚCI BIOLOGICZNEJ DO WYZNACZENIA WSKAŹNIKA ŻYZNOŚCI GLEB W DRZEWOSTANACH SOSNOWYCH NA SIEDLISKACH BORU ŚWIEŻEGO I BORU MIESZANEGO ŚWIEŻEGO

THE USE OF BIOLOGICAL ACTIVITY STUDIES TO DETERMINE  
A SOIL FERTILITY INDICATOR IN PINE STANDS ON FRESH CONIFEROUS  
AND ON MIXED FRESH CONIFEROUS FOREST SITES

***Abstract.** The relations between the site type, soil chemistry and soil biological activity in Scots pine forests were investigated. The aim of the study was to test the biological activity parameters which could be useful in diagnosing quality of forest sites. To evaluate soil quality of the study sites, several biological and two chemical (sum of base cations and base saturation) parameters were chosen to calculate the values of Biological Indicator of Soil Fertility (F). Observed significant correlation between the F values and some of the stand taxation fixtures associated with stand productivity, i.e. d.b.h., height of stand and stand section, suggests that the F indicator provide a valid estimate of forest site quality.*

***Key words:** soil chemistry; soil biological activity; fresh coniferous forest; mixed fresh coniferous forest; Scots pine stands; soil fertility indicator.*

---

<sup>1</sup> Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Gospodarki Leśnej Rejonów Przemysłowych, ul. Św. Huberta 35, 40-952 Katowice; e-mail: iblzgrp@elmo.katowice.nask.pl

<sup>2</sup> Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Urządzania i Monitoringu Lasu, ul.Bitwy Warszawskiej 1920 r. 3, 00-973 Warszawa; M.Dudzinska@ibles.waw.pl

## 1. WSTĘP

Warunki edaficzne, drobnoustroje glebowe oraz szata roślinna pozostają w ekosystemach lądowych w ścisłej współzależności. Tworzenie się odpowiednich zespołów drobnoustrojów glebowych i formacji roślinnych determinowane jest bowiem właściwościami fizycznymi i chemicznymi gleby, które jednocześnie modyfikowane są działalnością tych organizmów. Poza tym, rośliny dostarczają substraty odżywcze dla drobnoustrojów glebowych (w postaci obumarłych części nadziemnych i korzeni oraz ich wydzielin), przetwarzane przez nie w przyswajalne dla roślin składniki pokarmowe. Mikrobiologiczne procesy mineralizacji materii organicznej gwarantują utrzymanie niezbędnego dla rozwoju roślin zapasu dostępnych form składników pokarmowych, stąd uważa się, że ich aktywność ściśle wiąże się z żyznością i produktywnością ekosystemu (Parkinson 1979, Zak i in. 1990). Ponadto, biomasa drobnoustrojów jest magazynem i źródłem pokarmu dla roślin, stanowiąc 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. W praktyce leśnej jednak nie znalazły one szerszego zastosowania, gdyż większość z proponowanych dotychczas wskaźników biologicznych może być wykorzystana w ograniczonym zakresie, np. do oceny wpływu nawożenia, zanieczyszczeń przemysłowych lub sposobu uprawy gleby (Balicka 1986, Koper i Piotrowska 1999b), 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 im korzystniejsze są warunki siedliskowe, tym drzewostany osiągają większą wysokość, a tym samym wyższą bonitację. 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 niniejszej pracy\* było:

1. Określenie intensywności przemian biochemicznych i stanu mikrobiologicznego gleb w drzewostanach sosnowych różnej bonitacji, na siedlisku Bśw i BMśw.
2. Ustalenie możliwości wykorzystania aktywności biochemicznej jako wskaźnika żyzności gleb oraz w szczegółowej diagnostyce stanu siedlisk leśnych.

---

\* Pracę wykonano w ramach tematu: 240509, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji.

W latach 2001–2003 prowadzono analizy chemiczne i pomiary aktywności biologicznej gleb oraz pomiary dendrometryczne drzewostanów sosnowych na wybranych powierzchniach badawczych, założonych na siedliskach Bśw i BMśw. Wyniki tych badań wykorzystano do wyznaczenia wartości Biologicznego Wskaźnika Żyzności Gleb  $F$ , określającego jakość siedlisk.

## 2. OPIS TERENU BADAŃ

Powierzchnie reprezentujące siedliska borowe nizinne wybrano w Nadleśnictwie Włoszczowa, RDLP w Radomiu, i w Nadleśnictwie Opoczno, RDLP w Łodzi. Oba nadleśnictwa położone są w Krainie Małopolskiej – VI krainie przyrodniczo-leśnej (Tramplera T. i in. 1990). Prace badawcze prowadzono na 21 powierzchniach z drzewostanami sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w wieku 51–73 lat. Na siedlisku boru świeżego założono po trzy powierzchnie w drzewostanach I, II, III i IV bonitacji, a na siedlisku boru mieszanego świeżego po trzy powierzchnie w drzewostanach sosnowych I, II i III klasy bonitacji.

## 3. METODYKA BADAŃ

W latach 2001–2003, w październiku, z każdej powierzchni badawczej pobrano objętościowe próby ogólne (z 10 punktów równomiernie rozmieszczonych na powierzchni) z poziomów organicznych (Ofh) i mineralnych (A) gleby do analiz chemicznych oraz pomiarów mikrobiologicznych i biochemicznych.

Przed wykonaniem analiz mikrobiologicznych, próby glebowe z poziomów Ofh i A przesiewano przez sita o średnicy oczek odpowiednio 4 mm i 2 mm.

Biomasę drobnoustrojów ( $C_{\text{biom}}$ ) oznaczano metodą indukowanej substratem (glukozą) respiracji (Anderson i Domsch 1978), a intensywność oddychania gleb, mierząc ilość uwolnionego  $C\text{-CO}_2/\text{g}$  gleby-h. Pomiary uwalnianego  $\text{CO}_2$ , niezbędne do oznaczenia biomasy drobnoustrojów i intensywności oddychania gleb wykonano na aparacie Warburga, stosując naważki 1 g (z poziomu Ofh) i 5 g (z poziomu A) gleby doprowadzonej do 60% całkowitej pojemności wodnej. Po 48 godzinach inkubacji w temp. 22 °C, do naważek przeznaczonych do oznaczeń  $C_{\text{biom}}$  dodawano po 30 mg (Ofh) i 8 mg (A) glukozy w przeliczeniu na 1 g s.m. gleby, po czym prowadzono codzienne odczyty uwolnionego  $\text{CO}_2$  przez 5 godzin.

Iloraz metaboliczny drobnoustrojów ( $q\text{CO}_2$ ), odzwierciedlający specyficzne tempo respiracji biomasy ( $q\text{CO}_2 = \mu\text{g } C\text{-CO}_2/\text{mg } C_{\text{biom}}\cdot\text{h}$ ) obliczano, korzystając z wyników dotyczących intensywności oddychania gleb i wielkości biomasy drobnoustrojów (Anderson i Domsch 1992).

Do oznaczeń właściwości chemicznych oraz aktywności enzymatycznej gleb, powietrznie suche próby glebowe przesiano przez sito o średnicy 2 mm i oznaczono (Ostrowska i in.1991, Instrukcja laboratoryjna dla pracowni gleboznawczo-na-wożeniowych 1973):

- odczyn gleby w 1 M KCl i w H<sub>2</sub>O, metodą potencjometryczną,
- zawartość azotu ogólnego, metodą destylacyjną Kjeldahla,
- zawartość fosforu przyswajalnego, metodą Egnera-Riehma,
- zawartość węgla, na analizatorze Leco SC132,
- zawartość zasadowych kationów wymiennych (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> i Mg<sup>2+</sup>) po ekstrakcji gleby 1 M octanem amonu, metodą absorpcji atomowej,
- kwasowość hydrolityczną, metodą Kappena.

Z sumy kationów zasadowych *S* i kwasowości hydrolitycznej *Hh* obliczono pojemność sorpcyjną gleb *T*. Obliczono również stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami *V* (%).

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

- ureazy i asparaginazy, metodą kolorymetryczną, w 1 mg NH<sub>3</sub> na 10 g gleby (Gałstian 1978),
- fosfatazy kwaśnej, metodą kolorymetryczną, w 1 mg fenolu na 10 g gleby (Russel 1972),
- dehydrogenaz, metodą kolorymetryczną, w 1 mg trójfenyloformazanu (TF) na 10 g gleby (Gałstian 1978, Russel 1972).

Do badań dendrometrycznych w drzewostanach założono 4-arowe powierzchnie kołowe. Liczba powierzchni zależała od liczby drzew. Starano się, aby łączna liczba drzew podlegających pomiarowi wynosiła około 100 (Bruchwald 1995).

Na powierzchniach próbnych zmierzono pierśnice wszystkich drzew średnicomierzem precyzyjnym z dokładnością do 1 mm. Dodatkowo zmierzono pierśnice i wysokości 25 drzew znajdujących się na powierzchni i poza nią (jednak należących do tego samego wydzielenia drzewostanu) w celu opracowania krzywej wysokości.

Na podstawie przeprowadzonych w terenie pomiarów dla każdego drzewostanu obliczono ważniejsze cechy taksacyjne: przeciętną pierśnicę *D*, przeciętną wysokość *H*, liczbę drzew na 1 ha *L*/ha, przeciętny przekrój drzewostanu *g*, pierśnicowe pole przekroju na 1 ha (*G*/ha), miąższość drzewostanu w korze na ha (*V<sub>k</sub>*/ha) i miąższość grubizny drzewostanu na ha (*V<sub>g</sub>*/ha), zagęszczenie (*Zag*) i zadrzewienie (*Zad*).

Przy określaniu miąższości drzewostanu posłużono się odpowiednimi wzorami empirycznymi:

$$F_1 = \frac{1}{1 + \left( \frac{D}{1,2895 + 0,90645 \cdot D} \right)^4}$$

– grubizny drzew drzewostanu:

$$F_g = \frac{1}{1 + \left( \frac{D}{1,2895 + 0,90645 \cdot D} \right)^4} \cdot \left( \frac{D - 6}{0,4433 + 0,9819 \cdot (D - 6)} \right)^2$$

Na podstawie analizy wyników pomiarów biochemicznych i mikrobiologicznych wytypowano wskaźniki aktywności biologicznej gleby, które wykorzystano do obliczenia biologicznego wskaźnika żyzności siedlisk leśnych, korzystając z modelu zaproponowanego przez Myśkova i in. (1996).

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 wariacji 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

### 4.1. Właściwości chemiczne gleb

Wyniki analiz, odzwierciedlające właściwości chemiczne gleb w całym okresie badań ( $\bar{x}$  z lat 2001–2003), przedstawiono w tabeli 1.

Badane powierzchnie charakteryzowały się nieznacznym zróżnicowaniem pod względem zawartości węgla organicznego. W poziomach organicznych (Ofh) jego zawartość była kilkakrotnie wyższa niż w poziomach mineralnych (A), natomiast w całej badanej warstwie gleby (Ofh+A) była nieznacznie (nieistotnie statystycznie) wyższa na siedlisku BMśw (27,17%) niż na siedlisku Bśw (26,16%). Nie stwierdzono żadnej zależności pomiędzy zawartością węgla organicznego a bonitacją drzewostanu.

Podobną tendencję obserwowano w przypadku zawartości azotu w glebie. W całym okresie badań poziomy organiczne gleb były kilkakrotnie bardziej zasobne w ten pierwiastek niż poziomy mineralne. Nie stwierdzono zależności zawartości azotu od typu siedliskowego lasu i bonitacji drzewostanu, a średnia jego zawartość w latach 2001–2003 wynosiła 0,80% w Bśw i 0,83% w BMśw – różnice statystycznie nieistotne.

Poziom organiczny gleb charakteryzował się wyższą zawartością fosforu przyswajalnego niż poziom mineralny. W całym okresie badawczym zawartość tego pierwiastka była wyższa na bogatszym siedlisku BMśw (10,55 mg/kg) niż na siedlisku Bśw (9,31 mg/kg gleby). Nie stwierdzono zależności pomiędzy zawartością fosforu i bonitacją drzewostanu, a występujące różnice były statystycznie nieistotne.

**Tabela 1. Właściwości chemiczne górnych poziomów gleb (Ofh+A): średnia z lat 2001–2003**  
 Table 1. Chemical properties of upper soil horizons (Ofh+A) (mean from years 2001–2003)

Typ siedliskowy lasu Forest site type	Boni-tacja Site index	Nad-leśnictwo Forest District	Leśnictwo Forest range	Oddział pododdział Compartment	pH		C %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/kg	Kompleks sorbcyjny Sorption complex cmol(+)kg						BS %	
					KCl	H <sub>2</sub> O				Na	K	Ca	Mg	SBC	H <sub>w</sub>		CEC
I	I	Włoszczowa	Gościęcin	45 f	3,05	3,87	30,06	0,89	6,03	0,07	0,45	6,02	0,56	7,10	82,25	89,35	7,9
			Gościęcin	46 c	3,08	3,81	29,36	0,78	7,63	0,05	0,35	5,34	0,45	6,20	79,31	85,51	7,2
			Pękowice	97 g	3,09	3,91	29,19	0,90	7,01	0,06	0,39	5,31	0,50	6,27	81,08	87,35	7,2
Bśw Fresh coniferous forest	II	Opoczno	Rożenek	164 d	3,07	3,87	29,53	0,86	6,89	0,06	0,40	5,55	0,50	6,52	80,88	87,40	7,5
			Rożenek	167 a	3,52	4,32	20,14	0,74	13,28	0,07	0,50	5,66	0,68	6,91	59,08	65,99	10,5
			Rożenek	163 a	3,41	4,26	27,62	0,78	12,58	0,07	0,55	6,30	0,78	7,71	63,43	71,14	10,8
III	III	Opoczno	Rożenek	163 a	3,54	4,35	26,22	0,74	13,50	0,06	0,52	7,68	0,78	9,03	54,86	63,89	14,1
			Myślibórz	191 f	3,49	4,31	24,66	0,75	13,12	0,06	0,52	6,55	0,75	7,89	59,12	67,01	11,8
			Rożenek	165 a	3,12	3,89	24,11	0,91	11,01	0,07	0,50	5,31	0,64	6,52	80,54	87,07	7,5
IV	IV	Opoczno	Białaczka	60 g	3,27	3,99	25,05	0,68	12,33	0,07	0,57	4,16	0,64	5,44	64,60	70,04	7,8
			Królówka	6 i	2,95	3,73	24,92	0,84	5,76	0,08	0,40	3,79	0,45	4,71	88,30	93,01	5,1
			Królówka	5f	3,11	3,87	24,69	0,81	9,70	0,07	0,49	4,42	0,57	5,56	77,81	83,37	6,8
I	I	Włoszczowa	Królówka	6 i	3,08	3,77	25,84	0,75	7,64	0,08	0,46	3,66	0,46	4,67	72,68	77,35	6,0
			Królówka	4 f	3,00	3,74	26,45	0,91	7,22	0,08	0,47	4,20	0,60	5,34	84,59	89,93	5,9
			Królówka	5f	3,32	4,03	24,93	0,71	7,67	0,06	0,40	3,95	0,51	4,92	70,29	75,20	6,5
BMśw Mixed fresh coniferous forest	II	Opoczno	Wola Świdz.	110 c	3,13	3,85	25,74	0,79	7,51	0,08	0,44	3,93	0,52	4,98	75,85	80,83	6,2
			Motyczna	133 d	3,45	4,27	31,32	0,72	8,70	0,05	0,51	8,06	0,73	9,34	55,74	71,20	13,1
			Kurzelów	21 d	3,29	4,25	24,66	0,93	9,15	0,06	0,42	9,14	0,69	10,31	60,85	77,84	13,2
III	III	Opoczno	Rożenek	204 c	3,17	4,15	30,48	0,87	7,51	0,06	0,40	7,42	0,71	8,59	65,77	76,52	11,2
			Rożenek	204 c	3,30	4,22	28,82	0,84	8,46	0,05	0,44	8,21	0,71	9,41	60,79	75,19	12,5
			Rożenek	202 a	3,51	4,35	17,88	0,83	12,59	0,05	0,58	8,49	0,87	10,00	59,25	49,69	20,1
III	III	Opoczno	Rożenek	212 b	3,18	4,03	22,22	0,88	8,60	0,08	0,60	5,91	0,93	7,52	74,51	58,45	12,9
			Rożenek	204 c	3,20	4,04	30,53	0,83	9,95	0,06	0,52	5,80	0,88	7,26	61,06	51,24	14,2
			Rożenek	204 c	3,30	4,14	23,54	0,84	10,38	0,06	0,57	6,73	0,89	8,26	64,94	53,13	15,7
III	III	Opoczno	Myślibórz	202 a	3,74	4,61	27,93	0,69	17,78	0,03	0,44	7,87	0,98	9,32	41,84	43,56	21,4
			Myślibórz	212 b	3,32	4,14	32,66	0,85	12,08	0,06	0,69	9,71	1,29	11,74	48,34	55,78	21,1
			Myślibórz	204 c	2,95	3,81	26,83	0,89	8,60	0,08	0,56	5,75	0,54	6,92	88,13	66,80	10,4
					3,34	4,19	29,14	0,81	12,82	0,06	0,56	7,77	0,94	9,33	59,44	55,38	17,6

Na wszystkich powierzchniach suma kationów zasadowych  $S$  była zdecydowanie wyższa w poziomie organicznym (Ofh) niż w poziomie mineralnym (A), a w całym okresie badawczym była większa na siedlisku BMśw niż na siedlisku Bśw. Wykazywała ona tendencję spadkową wraz ze spadkiem bonitacji – z 6,52 cmol(+)/kg w I klasie do 4,98 cmol(+)/kg w IV klasie w Bśw oraz z 9,41 cmol(+)/kg w I klasie do 8,26 cmol(+)/kg w II klasie i 9,33 cmol(+)/kg w III klasie w BMśw. Obserwowane różnice były statystycznie istotne ( $F=38,8$ ;  $p<0,001$ ). Z kolei, gleby na siedlisku Bśw charakteryzowały się statystycznie istotnie wyższą ( $F=10,65$ ;  $p<0,002$ ) kwasowością hydrolityczną  $Hh$  niż gleby na siedlisku BMśw, tj. odpowiednio 73,42 cmol(+)/kg i 61,72 cmol(+)/kg. Podobną tendencję obserwowano w przypadku pojemności kompleksu sorpcyjnego gleb  $T$ , która była istotnie wyższa ( $F=19,69$ ;  $p<0,001$ ) na siedlisku Bśw (79,65 cmol(+)/kg) niż BMśw (61,23 cmol(+)/kg). Wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami (V) było natomiast istotnie wyższe ( $F=10,9$ ;  $p<0,001$ ) na siedlisku BMśw (15,28%) niż na siedlisku Bśw (8,06%).

Na podstawie pomiarów pH prób glebowych określono odczyn gleb, który na wszystkich powierzchniach, niezależnie od typu siedliska, jest silnie kwaśny, przy czym poziom Ofh charakteryzował się niższym pH niż poziom A. Nie stwierdzono statystycznie istotnych zależności pomiędzy żyźnością siedliska i bonitacją a odczynem badanych gleb. W latach 2001–2003 pH w KCl w poziomie organiczno-mineralnym (Ofh-A) wyniosło średnio 3,20, a pH w  $H_2O$  – 3,97 w Bśw i odpowiednio 3,31 i 4,18 w BMśw.

#### 4.2. Stan mikrobiologiczny gleb

Pomiary mikrobiologiczne prowadzono w górnych warstwach gleb (poziomy Ofh i A), ponieważ reprezentują one warstwę największej aktywności drobnoustrojów i stanowią główny rezerwuar składników pokarmowych dla roślin na siedliskach borowych. Ze względu na duże zróżnicowanie gleb pod względem zawartości substancji organicznej oraz miąższości poszczególnych poziomów, wyniki oznaczeń intensywności oddychania gleb (tab. 2) oraz biomasy drobnoustrojów glebowych (tab. 3) przedstawiono w przeliczeniu na jednostkę powierzchni (jedn./ha), 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).

Na wszystkich powierzchniach intensywność oddychania gleb w poziomach organicznych (Ofh) była kilkakrotnie wyższa niż w poziomach mineralnych (A). Zawierają one bowiem znacznie więcej węgla organicznego, stanowiącego substrat wykorzystywany przez drobnoustroje w procesach mineralizacji. Ilość wydzielonego  $CO_2$  z całej badanej warstwy gleby, odzwierciedlająca potencjalną intensywność mineralizacji węgla, była zróżnicowana na poszczególnych powierzchniach. Aktywność tego procesu ( $\bar{x}$  z lat 2001–2003) była jednak wyraźnie wyższa na bogatszym siedlisku BMśw (728–846 g  $C-CO_2/ha\cdot h$ ) niż na siedlisku

**Tabela 2. Intensywność oddychania gleb (g C-CO<sub>2</sub>/ha·h) w poziomach organicznych (Ofh) i mineralnych (A) gleb**  
 Table 2. Soil respiration (g C-CO<sub>2</sub>/ha·h) in organic (Ofh) and mineral (A) soil horizons

Siedlisko Site	Bonitacja Site index	Nr pow. Plot no.	Nadleśnictwo Forest District	Leśnictwo Forest range	Oddział Compartment	2001 r.			2002 r.			2003 r.			2001–2003 Ofh+A
						Ofh	A	Ofh+A	Ofh	A	Ofh+A	Ofh	A	Ofh+A	
Bśw Fresh coniferous forest	I	1	Włoszczowa	Gościęcin	45f	524	107	631	711	150	861	573	147	720	717
		2		Gościęcin	46c	598	149	747	686	98	784	566	193	759	
		3		Pekowice	97g	533	142	675	373	161	534	613	127	740	
	II	4	Opoczno	Rożenek	$\bar{x}$	552	133	685	590	136	726	584	156	740	579
		5		Rożenek	164d	345	170	515	186	220	406	513	111	624	
		6		Rożenek	167a	528	127	655	506	187	693	584	133	717	
	III	7	Opoczno	Myslibórz	$\bar{x}$	372	141	5131	402	216	618	483	123	606	679
		8		Rożenek	191f	473	191	665	424	156	580	569	92	661	
		9		Białaczów	165a	466	124	590	436	191	627	565	155	720	
IV	Opoczno	Opoczno	Białaczów	60g	596	73	669	824	102	926	522	149	671	701	
			$\bar{x}$	512	129	641	561	150	711	552	132	684			
			6i	565	261	826	727	150	877	514	154	668			
	Opoczno	Królówka	4f	401	181	582	296	134	430	603	199	802	728		
		Królówka	5f	386	165	551	637	159	796	661	113	774			
		Królówka	$\bar{x}$	451	202	653	553	148	701	593	155	748			
I	Włoszczowa	Wola Świdz.	110c	403	213	616	619	103	722	637	194	831	846		
		Motyczna	133d	425	265	690	557	107	664	759	177	936			
		Kurzelów	21d	417	184	601	669	109	778	596	114	710			
II	Opoczno	Rożenek	$\bar{x}$	415	221	636	615	106	721	664	162	826	846		
		Rożenek	164i	408	103	511	748	130	878	832	316	1148			
		Rożenek	166d	465	184	649	1275	166	1441	876	106	982			
III	Opoczno	Rożenek	169i	450	167	617	387	138	525	748	119	867	834		
		Myslibórz	$\bar{x}$	441	151	592	803	145	948	819	180	999			
		Myslibórz	202a	468	286	754	366	134	500	563	132	695			
Opoczno	Myslibórz	212b	751	307	1058	813	210	1023	719	268	987	834			
	Myslibórz	204c	678	236	914	419	150	565	858	93	951				
$\bar{x}$					$\bar{x}$	632	276	908	533	165	696	713	164	897	

Bśw (579–717 g C-CO<sub>2</sub>/ha·h). Nie stwierdzono natomiast żadnej zależności pomiędzy intensywnością oddychania gleb a bonitacją drzewostanu.

Podobnie jak w przypadku oddychania gleb, poziomy organiczne gleb (bardziej zasobne w substraty odżywcze), charakteryzowały się znacznie większą biomasa drobnoustrojów aniżeli poziomy mineralne. W ciągu całego okresu badań biomasa drobnoustrojów glebowych była większa na siedlisku BMśw niż w Bśw i na obu siedliskach miała tendencję spadkową wraz ze spadkiem bonitacji w Bśw z 172 kg C<sub>biom</sub>/ha w I klasie do 121 kg C<sub>biom</sub>/ha w IV klasie, a w BMśw z 195 kg C<sub>biom</sub>/ha w I klasie do 146 kg C<sub>biom</sub>/ha w III klasie bonitacji (tab. 3). Powyższa obserwacja świadczy o wyraźnym związku między biomasa drobnoustrojów a jakością siedlisk – mającą istotny wpływ na produktywność drzewostanów.

Jakość siedliska miała wyraźny wpływ na kształtowanie się ilorazu metabolicznego (qCO<sub>2</sub>) drobnoustrojów, odzwierciedlającego specyficzne tempo respiracji biomasy (tab. 3). Średnia ważona wartości qCO<sub>2</sub> dla badanych poziomów gleb (Ofh i A) w latach 2001–2003 wzrastała wraz z pogarszaniem się jakości siedlisk: w Bśw z 3,44 w I klasie do 4,40 µg C-CO<sub>2</sub>/mg C<sub>biom</sub>·h w IV klasie, a w BMśw – z 2,80 w I klasie do 3,79 µg C-CO<sub>2</sub>/mg C<sub>biom</sub>·h w III klasie bonitacji. Oznaczenia qCO<sub>2</sub> są często stosowane przy ocenie efektywności drobnoustrojów w wykorzystywaniu zawartych w glebie substratów odżywczych (Anderson i Domsch 1992). Niższa wartość qCO<sub>2</sub> oznacza, że drobnoustroje w większym stopniu wykorzystują energię do biosyntezy niż do procesów katabolicznych (respiracji). Efektem tego jest większy wzrost biomasy drobnoustrojów i w rezultacie większy zapas składników pokarmowych w glebie.

### 4.3. Aktywność enzymatyczna gleb

Wykonane w latach 2001–2003 badania wykazały, że aktywność wszystkich badanych enzymów podlegała wahaniom sezonowym, wynikającym prawdopodobnie ze zmiennych warunków atmosferycznych oraz ilości dopływającej do gleb materii organicznej (ryc. 1). Stwierdzono ponadto, że aktywność enzymów glebowych była ściśle związana z zawartością substancji organicznej: była wyższa w poziomie organicznym (Ofh) niż w poziomie mineralnym (A) (tab. 4).

Aktywność ureazy, enzymu katalizującego przemianę związków azotowych w glebie, była zróżnicowana na poszczególnych powierzchniach. Z badań wynika, że aktywność tego enzymu ( $\bar{x}$  z lat 2001–2003) była istotnie wyższa na bogatszym siedlisku BMśw – 11,7 mg NH<sub>3</sub>/10 g gleby niż na siedlisku Bśw – 8,6 mg NH<sub>3</sub>/10 g gleby ( $F=2,49$ ;  $p<0,05$ ). Aktywność ureazy wykazywała tendencję spadkową wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanu, wyraźniej zaznaczoną w Bśw, gdzie zmniejszała się z 9,9 mg NH<sub>3</sub>/10 g w I klasie do 7,95 mg NH<sub>3</sub>/10 g gleby w IV klasie, natomiast w BMśw odpowiednio z 12,2 mg NH<sub>3</sub>/10 g w I klasie do 11,3 mg NH<sub>3</sub>/10 g gleby w III klasie.

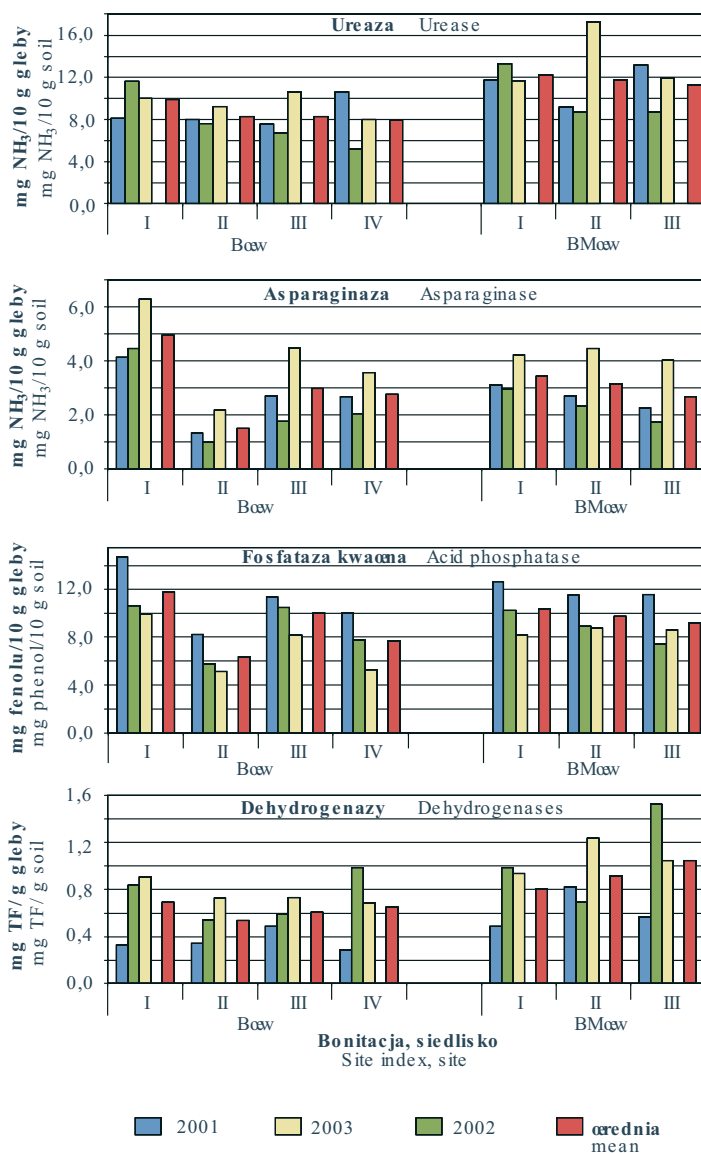
Aktywność asparaginazy, enzymu biorącego udział w hydrolizacji asparaginy na amoniak, była zróżnicowana w zależności od żyzności siedliska, lecz ob-

Tabela 3. Biomasa i iloraz metaboliczny ( $qCO_2$ ) drobnoustrojów w poziomach organicznych (Ofh) i mineralnych (A) glebTable 3. Microbial biomass and metabolic quotient ( $qCO_2$ ) in organic (Ofh) and mineral (A) soil horizons

Siedlisko Site	Bonitacja Site index	Nr pow. Plot no.	Biomasa drobnoustrojów (kg $C_{biom}$ /ha)												$qCO_2$									
			2001 r.			2002 r.			2003 r.			2001 r.			2002 r.			2003 r.						
			Ofh	A	Ofh+A	Ofh	A	Ofh+A	Ofh	A	Ofh+A	Ofh	A	Ofh	$\bar{x}_p$ *	A	Ofh	$\bar{x}_p$ *	A	Ofh	$\bar{x}_p$ *	A	Ofh	
Bśw Fresh coniferous fores	I	1	132	31	163	108	39	147	112	42	154	4	3,5	3,5	3,5	6,6	3,9	4,5	4,5	5,1	3,5	3,8	3,8	3,8
		2	141	44	185	150	34	184	131	62	193	4,2	3,4	3,6	4,6	2,9	3,2	3,2	3,2	4,3	3,1	3,3	3,3	3,3
		3	144	56	200	92	43	135	135	50	185	3,70	2,5	2,7	4,05	3,7	3,8	3,8	3,8	4,5	2,5	2,8	2,8	2,8
	$\bar{x}$	139	44	183	117	39	156	126	51	177	4	3,3	3,3	5,07	3,5	3,80	3,80	3,80	4,66	3,05	3,26	3,26	3,26	
	II	4	76	64	140	50	56	106	132	33	165	4,5	2,7	2,80	3,72	3,93	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,4	3,40	3,40
		5	84	51	135	73	53	126	102	35	137	6,3	2,5	2,8	6,9	3,5	3,80	3,80	3,80	5,73	3,79	3,98	3,98	
		6	62	44	106	79	65	144	68	34	102	3,90	2,8	2,9	6,5	3,7	3,8	3,8	3,8	5,2	3,7	3,8	3,8	3,8
	III	$\bar{x}$	74	53	127	67	58	125	101	34	135	4,9	2,7	2,8	5,7	3,72	3,9	3,9	3,9	4,9	3,60	3,7	3,7	3,7
		7	73	54	127	65	35	100	110	24	134	6,5	3,5	3,5	6,5	4,5	4,6	4,6	4,6	5,2	3,9	4	4	4
8		50	43	93	98	47	145	117	39	156	7,8	2,9	3,4	4,5	4,1	4,1	4,1	4,1	4,8	4	4	4	4	
IV	9	88	23	111	123	29	152	84	41	125	6,8	3,2	3,9	6,70	3,5	4,1	4,1	4,1	6,2	3,6	4,1	4,1	4,1	
	$\bar{x}$	70	40	110	95	37	132	104	35	138	7	3,20	3,7	5,89	4	4,3	4,3	4,3	5,4	3,8	4	4	4	
	10	73	54	127	92	39	131	69	40	109	7,7	4,8	5,1	7,90	3,9	4,3	4,3	4,3	7,5	3,8	4,2	4,2	4,2	
I	11	66	41	107	51	33	84	97	46	143	9,8	4,4	5	5,80	4,06	4,20	4,20	4,20	6,22	4,33	4,51	4,51	4,51	
	12	92	44	136	87	41	128	96	30	129	4,4	3,8	3,8	7,3	3,9	4,35	4,35	4,35	6,89	3,77	4,11	4,11	4,11	
	$\bar{x}$	77	46	123	77	38	114	88	39	127	7,3	4,3	4,7	7	3,9	4,3	4,3	4,3	6,8	4	4,3	4,3	4,3	
BMśw Mixed fresh coniferous forest	I	13	86	95	181	179	27	206	155	89	244	4,7	2,2	2,5	3,5	3,8	3,7	3,7	4,1	2,2	2,4	2,4	2,4	
		14	91	99	190	126	60	186	154	73	227	4,7	2,7	2,9	4,4	1,8	2	2	4,9	2,4	2,6	2,6	2,6	
		15	72	89	161	156	34	190	134	36	170	4,7	2,1	2,4	4,3	3,21	3,4	3,4	4,5	3,2	3,30	3,30	3,30	
	$\bar{x}$	83	84	177	154	40	194	148	66	214	4,7	2,3	2,6	4,1	2,95	3,1	3,1	3,1	4,50	2,6	2,8	2,8	2,8	
	II	16	88	44	132	80	54	134	106	95	201	4,6	2,3	2,5	9,4	2,4	2,90	2,90	7,85	3,33	3,57	3,57	3,57	
		17	122	45	167	193	44	237	132	27	159	3,8	4,1	4	6,61	3,8	4,47	4,47	6,64	3,93	4,88	4,88	4,88	
		18	94	32	126	96	35	131	149	39	188	4,8	5,2	5,2	4,3	3,94	4	4	5	3,1	3,20	3,20	3,20	
	III	$\bar{x}$	101	40	141	123	44	167	129	54	183	4,4	3,9	3,9	6,7	3,37	3,8	3,8	6,50	3,4	3,9	3,9	3,9	
		19	76	75	151	69	37	116	103	40	143	6,2	3,8	4	5,30	3,6	3,74	3,74	5,47	3,29	3,39	3,39	3,39	
20		94	71	165	101	58	159	100	71	177	8	3,3	3,6	8,1	3,6	3,9	3,9	7,2	3,8	4,00	4,00	4,00		
III	21	79	42	121	73	50	123	134	26	160	8,6	3,4	4,1	5,7	3,00	3,3	3,3	6,40	3,6	4,1	4,1	4,1		
	$\bar{x}$	83	63	146	81	52	133	112	46	160	7,6	3,50	3,9	6,4	3,4	3,7	3,7	6,4	3,6	3,8	3,8	3,8	3,8	

\*średnia ważona poziomów Ofh i A

\*weighted mean of Ofh and A horizons



Ryc. 1. Aktywność enzymatyczna gleb borów sosnowych w latach 2001–2003

Fig. 1. Enzymatic activity of pine forest soils in years 2001–2003; Bśw – fresh coniferous forest, BMśw – mixed fresh coniferous forest

serwowane różnice nie były istotne statystycznie. Aktywność tego enzymu w całej badanej warstwie gleby ( $\bar{x}$  z lat 2001–2003) obniżała się wraz ze spadkiem bonitacji – w Bśw z 4,95 mg NH<sub>3</sub>/10 g w I klasie do 2,75 mg NH<sub>3</sub>/10 g w IV klasie, a w BMśw z 3,43 mg NH<sub>3</sub>/10 g w I klasie do 2,7 mg NH<sub>3</sub>/10 g w III klasie.

Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy siedliskami pod względem aktywności fosfatazy kwaśnej, enzymu katalizującego przemianę fosforanów organicz-

**Tabela 4. Aktywność enzymatyczna w poziomach organicznych (Ofh) i mineralnych (A) gleb (średnia z lat 2001–2003)**  
 Table 4. Enzymatic activity in organic (Ofh) and mineral (A) soil horizons (mean from 2001–2003)

Typ siedliskowy lasu Forest site type	Boni-tacja Site index	Nadleśnictwo Forest District	Lesnictwo Forest range	Oddział pododdział Compartment	Ureaza Urease mg NH <sub>3</sub> /10 g gleby mg NH <sub>3</sub> /10 g soil		Asparaginaza Asparaginase mg NH <sub>3</sub> /10g gleby mg NH <sub>3</sub> /10g soil		Fosfataza kwasna Acid phosphatase (mg fenolu/10 g gleby) (mg phenol/10 g soil)		Dehydrogenazy Dehydrogenases (mg TF/10 g gleby) (mg TF/10 g soil)						
					A	Ofh+A	A	Ofh+A	A	Ofh+A	A	Ofh+A					
Bśw Fresh coniferous forest	I	Włoszczowa	Gościęcin	45 f	5,64	5,88	11,52	2,33	3,71	6,04	9,22	3,38	12,61	0,31	0,53	0,84	
			Gościęcin	46 c	4,75	5,18	9,93	1,93	2,76	4,68	7,32	3,07	10,40	0,27	0,39	0,67	
			Pękowice	97 g	3,58	4,68	8,26	1,41	2,72	4,13	7,45	4,85	12,30	0,16	0,40	0,56	
	II	Opoczno	Rożenek	164 d	4,66	5,25	9,90	1,89	3,06	4,95	8,00	3,77	11,77	0,25	0,44	0,69	
			Rożenek	167 a	2,10	5,06	7,16	0,62	0,79	1,41	4,15	2,66	6,81	0,18	0,33	0,50	
			Rożenek	163 a	3,15	6,15	9,30	0,86	1,14	1,99	4,22	3,18	7,40	0,20	0,39	0,59	
	III	Opoczno	Rożenek	191 f	2,17	6,22	8,39	0,52	0,55	1,07	2,83	2,09	4,92	0,19	0,33	0,52	
			Myslibórz	165 a	2,48	5,81	8,28	0,67	0,82	1,49	3,73	2,64	6,38	0,19	0,35	0,54	
			Rożenek	60 g	2,53	3,77	6,30	0,77	1,33	2,10	5,36	3,05	8,41	0,17	0,35	0,52	
	BMśw Mixed fresh coniferous forest	I	Włoszczowa	Białaczka	6 i	2,22	4,45	6,66	0,66	0,62	1,29	5,96	2,80	8,76	0,13	0,21	0,34
				Królowka	4 f	5,03	6,88	11,90	1,73	3,80	5,53	8,44	4,48	12,92	0,26	0,70	0,95
				Królowka	5f	3,26	5,03	8,29	1,06	1,92	2,97	6,59	3,44	10,03	0,19	0,42	0,60
II		Opoczno	Wola Świdz.	110 c	3,60	3,77	7,37	0,85	1,40	2,25	6,17	2,19	8,36	0,20	0,42	0,62	
			Motyczna	133 d	6,38	3,42	9,80	0,80	2,01	2,81	5,60	2,62	8,22	0,15	0,49	0,64	
			Kurzelów	21 d	3,32	3,37	6,69	1,15	2,04	3,19	4,28	2,21	6,49	0,23	0,47	0,70	
III		Opoczno	Rożenek	164 j	4,43	3,52	7,95	0,93	1,82	2,75	5,35	2,34	7,69	0,19	0,46	0,65	
			Rożenek	166 d	5,00	6,36	11,36	1,37	1,90	3,27	7,42	3,89	11,31	0,52	0,49	1,02	
			Rożenek	169 i	5,36	9,81	15,18	0,92	2,23	3,15	5,82	3,51	9,33	0,31	0,45	0,76	
III		Opoczno	Rożenek	202 a	4,34	5,69	10,04	1,27	2,58	3,86	7,21	3,20	10,41	0,30	0,34	0,63	
			Myslibórz	212 b	4,90	7,29	12,19	1,19	2,24	3,43	6,82	3,53	10,35	0,38	0,43	0,80	
			Myslibórz	204 c	2,79	7,38	10,16	0,74	1,26	2,01	3,65	2,93	6,58	0,17	0,31	0,48	
III	Opoczno	Rożenek	169 i	8,37	4,19	12,57	2,50	2,10	4,60	9,17	3,90	13,07	0,89	0,47	1,36		
		Myslibórz	204 c	4,24	8,13	12,37	0,97	1,88	2,85	5,48	4,10	9,58	0,32	0,59	0,91		
		Myslibórz	204 c	5,13	6,57	11,70	1,40	1,75	3,15	6,10	3,64	9,74	0,46	0,46	0,91		
III	Opoczno	Rożenek	202 a	2,61	11,40	14,01	0,64	1,18	1,82	3,24	3,55	6,79	0,29	0,79	1,08		
		Myslibórz	212 b	3,58	6,29	9,87	0,68	1,37	2,05	4,04	5,33	9,38	0,33	0,71	1,04		
		Myslibórz	204 c	4,86	5,11	9,97	1,50	2,63	4,12	7,93	3,56	11,49	0,28	0,74	1,02		
III	Opoczno	Rożenek	204 c	3,68	7,60	11,28	0,94	1,73	2,66	5,07	4,15	9,22	0,30	0,75	1,05		

nych w nieorganiczne. Aktywność tego enzymu była nieznacznie wyższa na żyzniejszym siedlisku BMśw niż w Bśw. Średnia aktywność fosfatazy kwaśnej w latach 2001-2003 dla całej badanej warstwy gleby (poziomy Ofh+A) zmniejszała się wraz z pogarszaniem się bonitacji; w Bśw z 11,8 mg fenolu /10 g gleby w I klasie do 7,7 mg fenolu w IV klasie, a w BMśw z 10,4 mg fenolu /10 g gleby w I klasie do 9,2 mg fenolu w IV klasie. Obserwowane różnice w aktywności enzymu pomiędzy bonitacjami były istotne statystycznie jedynie na siedlisku Bśw ( $F=3,69$ ;  $p<0,05$ ).

Aktywność dehydrogenaz (katalizujących reakcje utleniania i redukcji), podobnie jak poprzednio omawianych enzymów, była istotnie wyższa ( $F=10,19$ ;  $p<0,01$ ) na siedlisku BMśw niż Bśw. Nie stwierdzono natomiast zależności pomiędzy aktywnością dehydrogenaz a bonitacją; notowany na siedlisku BMśw wzrost aktywności tych enzymów wraz ze spadkiem bonitacji (z 0,80 mg TF/ 10 g w I klasie do 1,05 mg TF/10g w III klasie) nie był istotny statystycznie.

#### 4.4. Cechy taksacyjne drzewostanów sosnowych

Większość badanych wskaźników dendrometrycznych wykazywała związek z jakością badanych siedlisk; wyższe wartości notowano na bogatszych siedliskach BMśw niż w Bśw (tab. 5).

Przeciętna pierśnica drzewostanu  $D$  na siedlisku BMśw – 25,7 cm była istotnie wyższa ( $F=111,7$ ;  $p<0,001$ ) niż w Bśw – 19,7 cm. Pierśnica drzewostanu zmniejszała się wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanu: z 22,2 cm w I klasie do 18,5 cm w IV klasie w Bśw oraz z 27,3 cm w I klasie do 25,4 cm w III klasie w BMśw.

Przeciętna wysokość drzew  $H$  na siedlisku Bśw była istotnie niższa ( $F=56,6$ ;  $p<0,001$ ) niż w BMśw i zmniejszała się wraz z bonitacją drzewostanu: w Bśw z 21,4 m w I klasie do 15,9 m w IV klasie, a w BMśw z 25,1 m w I klasie do 20,4 m w III klasie.

Przeciętny przekrój drzewostanu  $g$  był na żyzniejszym siedlisku, w BMśw, istotnie wyższy ( $F=131$ ;  $p<0,001$ ) niż w Bśw. Na obu siedliskach wskaźnik ten miał tendencję spadkową wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanu: z 0,039 m<sup>2</sup> w I klasie do 0,027 m<sup>2</sup> w IV klasie w Bśw oraz z 0,059 m<sup>2</sup> w I klasie do 0,047 m<sup>2</sup> w II klasie w BMśw.

Na siedlisku BMśw stwierdzono również istotnie wyższą ( $F=9,98$ ;  $p<0,01$ ) niż w Bśw miąższość drzewostanu w korze (Vk/ha). Na obu siedliskach wskaźnik ten miał tendencję spadkową wraz z pogarszaniem się ich jakości – z 442,7 m<sup>3</sup>/ha w I klasie do 249,9 m<sup>3</sup>/ha w III klasie w BMśw oraz z 353,3 m<sup>3</sup>/ha ( I klasa) do 218,1 m<sup>3</sup>/ha (IV klasa) w Bśw.

Jakość siedliska miała także wyraźny wpływ na miąższość grubizny drzew drzewostanu (Vg/ha), która z 346,7 m<sup>3</sup>/ha w I klasie zmniejszała się do 210 m<sup>3</sup>/ha w IV klasie w Bśw oraz z 440 m<sup>3</sup>/ha w I klasie do 247,6 m<sup>3</sup>/ha w III klasie w BMśw. Notowane różnice pomiędzy siedliskami były istotne statystycznie ( $F=11,52$ ;  $p<0,01$ ).

Istotnie więcej ( $F=95,9$ ;  $p<0,001$ ) drzew (L/ha) notowano na siedlisku Bśw niż BMśw, przy czym na siedlisku Bśw liczba drzew wzrastała wraz z pogarszaniem

Tabela 5. Cechy taksacyjne badanych drzewostanów (średnia z 100 drzew)

Typ siedlisk. lasu Forest site type		Bonitacja Site index	Nadlesnictwo Forest District	Leśnictwo Forest range	Oddział Compartment	Wiek Age	D	H	L	g	G	V <sub>k</sub>	V <sub>g</sub>	Zag	Zad
BŚw Fresh coniferous fores	I	Włoszczowa	Gościęcín	45 f	54	23,5	23,5	858	0,0434	37,29	403	397	0,77	1,25	
			Gościęcín	46 c	51	21,5	20,4	950	0,0362	34,42	327	320	0,77	1,08	
			Pękowiec	97 g	56	21,5	20,3	958	0,0364	34,93	330	323	0,92	1,02	
	II	Opoczno		$\bar{x}$			22,17	21,40	922,2	0,039	35,55	353,3	346,7	0,82	1,12
			Rożenek	164 d	52	21,1	19,1	925	0,0350	32,33	288	282	0,68	1,06	
			Rożenek	167 a	52	19,2	16,3	1017	0,0289	29,39	226	219	0,74	0,82	
	III	Opoczno	Rożenek	163 a	52	16,6	15,6	1563	0,0216	33,67	254	242	1,14	0,91	
				$\bar{x}$			18,97	17,00	1168,1	0,028	31,80	256,0	247,7	0,85	0,93
			Mysłibórz	191 f	67	20,6	15,7	763	0,0333	25,40	186	182	0,72	0,67	
	IV	Opoczno	Rożenek	165 a	52	17,6	16,4	1258	0,0245	30,77	242	233	0,77	1,17	
			Białaczka	60 g	62	19,9	18,4	1033	0,0312	32,25	279	272	0,86	1,09	
				$\bar{x}$			19,37	16,83	1018,1	0,030	29,47	235,8	229,0	0,78	0,98
BMSw Mixed fresh coniferous forest	I	Włoszczowa	Krółówna	6 i	67	20,1	16,2	1008	0,0317	31,96	243	237	0,80	1,15	
			Krółówna	4 f	67	19	16,4	983	0,0284	27,88	216	209	0,78	1,01	
			Krółówna	5 f	62	16,3	15,1	1275	0,0208	26,50	195	185	0,88	0,98	
	II	Opoczno		$\bar{x}$			18,47	15,90	1088,9	0,027	28,78	218,1	210,3	0,82	1,05
			Wola Świdz.	110 c	55	25,6	24,5	792	0,0515	40,75	456	452	0,74	1,40	
			Motyeczna	133 d	61	27,4	25,7	685	0,0588	40,28	468	466	0,77	1,30	
	III	Opoczno	Kurzelów	21 d	66	29	25,2	540	0,0659	35,61	404	403	0,69	1,04	
			Rożenek	164 j	57	27,33	25,13	672,2	0,059	38,88	442,7	440,3	0,73	1,25	
			Rożenek	166 d	52	25,9	21,8	569	0,0529	30,06	298	296	0,49	1,03	
	III	Opoczno	Rożenek	169 i	57	22,4	20,6	756	0,0394	29,80	285	280	0,65	0,98	
				$\bar{x}$			24,50	20,70	639,6	0,047	29,82	283,1	279,6	0,52	1,00
			Mysłibórz	202 a	67	22,6	20,6	625	0,0402	25,10	240	236	0,59	0,87	
III	Opoczno	Mysłibórz	212 b	73	27,8	20,8	475	0,0605	28,73	271	270	0,52	0,92		
		Mysłibórz	204 c	72	25,7	19,8	510	0,0521	26,55	239	237	0,55	0,82		
			$\bar{x}$			25,37	20,40	536,7	0,051	26,79	249,9	247,6	0,55	0,87	

D – przeciętna pierśnica drzewostanu (cm), H – przeciętna wysokość drzewostanu (m), L – liczba drzew (szt/ha), g – przeciętny przekrój drzewostanu (m<sup>2</sup>), G – pierśnicowe pole przekroju drzewostanu (m<sup>2</sup>/ha); V<sub>k</sub> – miąższość drzewostanu w korze (m<sup>3</sup>/ha), V<sub>g</sub> – miąższość grubizny drzew drzewostanu (m<sup>3</sup>/ha),

Zag – zagęszczenie, Zad – zadrzewienie

D – average D.B.H. (cm), H – mean height of stand (m), L – stems/ha, g – mean stand section (m<sup>2</sup>), G – basal area (m<sup>2</sup>/ha), V<sub>k</sub> – stand volume with the bark (m<sup>3</sup>/ha), V<sub>g</sub> – stand volume of large timber (m<sup>3</sup>/ha), Zag – density, Zad – degree of crop density

się jakości siedliska z 922 w I klasie do 1088 w IV klasie, a na siedlisku BMśw obserwowano spadek liczby drzew wraz ze spadkiem bonitacji z 672 w I klasie do 536 w III klasie. Zagęszczenie (*Zag*) było istotnie wyższe ( $F=52; p<0,0001$ ) w Bśw niż w BMśw i w tym ostatnim istotnie obniżało się ( $F=16,2; p<0,001$ ) wraz ze spadkiem bonitacji z 0,73 w I klasie do 0,53 w III klasie. Nie stwierdzono istotnych różnic w zadrzewieniu (*Zad*) pomiędzy siedliskami, z tym że na siedlisku BMśw wielkość tego wskaźnika istotnie obniżała się ( $F=8,95; p<0,001$ ) wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanu z 1,25 w I klasie do 0,87 w III klasie.

Średnie pierścicowe pole przekroju drzewostanu (*G*/ha) było nieznacznie wyższe na siedlisku BMśw niż w Bśw i wykazywało tendencję spadkową wraz ze spadkiem bonitacji; w Bśw z 35,6 m<sup>2</sup>/ha w I klasie do 28,8 m<sup>2</sup>/ha w IV klasie a w BMśw z 38,9 m<sup>2</sup>/ha w I klasie do 26,8 m<sup>2</sup>/ha w III klasie – różnice te były istotne statystycznie ( $F=37,8; p<0,0001$ ).

#### 4.5. Biologiczny wskaźnik żyzności gleb

Do oceny jakości siedlisk badanych powierzchni zastosowano biologiczny wskaźnik żyzności gleb *F*, obliczany na podstawie parametrów chemicznych, odzwierciedlających zasobność gleb w składniki pokarmowe oraz aktywność biologiczną gleb. Do obliczenia jego wartości, zmodyfikowano metodę Myśkowa 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 pomiarów (w jednostkach odchylenia standardowego), przy czym za wartość *M* przyjęto kolejno jeden z testowanych parametrów aktywności biologicznej gleb, tj. aktywność badanych enzymów glebowych: dehydrogenaz (*D*), ureazy (*U*), asparaginazy (*A*) i fosfatazy kwaśnej (*F-kw*), biomasę drobnoustrojów (*C<sub>biom</sub>*), tempo mineralizacji węgla (*g C-CO<sub>2</sub>*), iloraz metaboliczny drobnoustrojów (*qCO<sub>2</sub>*).

Wartości wskaźnika *F* dla badanych powierzchni przedstawiono w tabeli 6. Niezależnie od użytego w równaniu parametru *M*, wskaźnik *F* był istotnie wyższy na żyzniejszym siedlisku BMśw niż Bśw. Jego wartość malała wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanu tylko w przypadku siedliska Bśw, gdy za *M* przyjęto aktywność asparaginazy i fosfatazy kwaśnej, intensywność oddychania oraz biomasę drobnoustrojów, a wzrastała, gdy za *M* przyjęto wartość ilorazu metabolicznego. Najwyższe wartości wskaźnik *F* osiągał, gdy za *M* przyjęto aktywność fosfatazy kwaśnej (*F-kw*), iloraz metaboliczny (*qCO<sub>2</sub>*), tempo mineralizacji (*g C-CO<sub>2</sub>*) oraz biomasę drobnoustrojów (*C<sub>biom</sub>*), a najniższe, gdy za *M* przyjęto aktywność asparaginazy (*A*), dehydrogenaz (*D*) i ureazy (*U*).

**Tabela 6. Wartości biologicznego wskaźnika żyzności gleb  $F$  obliczonego przy uwzględnieniu różnych parametrów aktywności biologicznej gleby  $M$**

Table 6. Values of the Biological Indicator of Soil Fertility  $F$  using different soil biological activity parameters  $M$

Typ siedliskowy lasu Forest site type	Bonitacja Site index	$F$						
		$D$	$U$	$A$	$F-kw$	Oddychanie Soil respiration $g\ C-CO_2$	Biomasa drobnoustrojów Microbial biomass ( $C_{biom}$ )	Iloraz metaboliczny Metabolic quotient ( $q\ CO_2$ )
Bśw Fresh coniferous fores	I	5,11	6,13	5,83	9,81	6,92	6,63	7,94
		4,33	5,33	4,80	8,18	6,83	7,34	6,78
		4,12	4,84	4,56	9,44	6,11	6,93	6,43
	$\bar{x}$	4,52	5,43	5,06	9,14	6,62	6,97	7,05
	II	4,52	5,02	4,20	6,34	5,70	6,25	7,20
		5,03	5,86	4,68	6,91	6,94	6,40	7,65
		5,74	6,37	5,42	6,41	6,77	6,73	8,17
	$\bar{x}$	5,10	5,75	4,77	6,55	6,47	6,46	7,67
	III	4,16	4,44	3,92	7,00	6,10	5,51	8,07
		3,43	4,17	3,29	7,00	5,91	5,53	7,43
		4,54	5,51	4,72	9,57	6,38	5,17	7,49
	$\bar{x}$	4,04	4,71	3,98	7,86	6,13	5,41	7,66
IV	3,60	4,01	3,10	6,53	6,66	4,99	8,37	
	3,86	4,97	3,57	6,56	5,52	4,85	8,57	
	3,92	3,92	3,61	5,41	6,14	5,33	7,73	
$\bar{x}$	3,80	4,30	3,43	6,17	6,11	5,06	8,23	
BMśw Mixed fresh coniferous forest	I	6,71	7,12	5,88	9,71	7,77	9,06	7,37
		6,56	8,52	6,26	8,86	8,30	9,08	7,32
		5,48	6,38	5,61	8,89	7,27	7,74	7,23
	$\bar{x}$	6,25	7,34	5,92	9,15	7,78	8,63	7,31
	II	6,73	7,69	6,63	7,99	9,20	8,42	8,35
		7,03	6,89	5,64	10,39	9,15	7,95	9,10
		5,85	6,86	5,07	8,26	6,95	6,92	8,59
	$\bar{x}$	6,54	7,15	5,78	8,88	8,43	7,76	8,68
	III	7,65	8,57	6,51	8,01	8,12	7,94	9,12
		8,35	8,33	7,43	9,89	10,75	9,30	9,91
		5,70	5,76	5,02	9,15	7,46	6,18	7,89
	$\bar{x}$	7,23	7,55	6,32	9,02	8,78	7,81	8,97

$D$  – dehydrogenazy,  $U$  – ureaza,  $A$  – asparaginaza,  $F-kw$  – fosfataza kwaśna

$D$  – Dehydrogenases,  $U$  – Urease,  $A$  – Asparaginase,  $F-kw$  – Acid phosphatase

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Żyzność siedliska determinuje wzrost i potencjalne 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. Istotna rola drobnoustrojów glebowych w kształtowaniu żyzności i urodzajności gleb leśnych jest szeroko udokumentowana; szereg prac wskazuje na silną korelację między biomasa a aktywnością drobnoustrojów a produktywnością drzewostanów (Myrold i in. 1986, Zak i in. 1994, Kurka i Starr 1997). Potwierdzają to wyniki badań intensywności oddychania gleb i biomasy drobnoustrojów, których wartości były wyższe na bogatszym siedlisku BMśw niż Bśw. Stwierdzono również, że biomasa drobnoustrojów wykazywała tendencję spadkową wraz ze spadkiem bonitacji drzew. Z kolei wzrost tempa respiracji biomasy ( $q\text{CO}_2$ ), jaki obserwowano wraz z pogarszaniem się jakości siedliska, wskazuje na słabszy wzrost biomasy drobnoustrojów, a w następstwie – na mniejszy zapas przyswajalnych form składników pokarmowych w glebie.

Żyzność siedlisk związana jest także z aktywnością katalizowanych przez enzymy procesów rozkładu i przemiany substancji organicznej w glebach (Russel i Kobus 1974, Myśków 1981, Gliński i in. 1983, Myśków i in. 1996). Wskazują na to także przeprowadzone badania, które wykazały spadek aktywności ureazy, asparaginazy, fosfatazy kwaśnej i dehydrogenaz wraz ze spadkiem jakości siedlisk leśnych. Ponadto aktywność ureazy, asparaginazy i fosfatazy kwaśnej wykazywały tendencję spadkową wraz z obniżaniem się bonitacji drzewostanu.

Jak donoszą Puchalski i Prusinkiewicz (1990), Garbaye i Bonneau (1997) oraz Ranger i Turpault (1999), żyzność siedliska uwarunkowana jest ilością dostępnych dla drobnoustrojów składników pokarmowych w glebie. Stwierdzony w przedstawianych badaniach gorszy stan mikrobiologiczny gleb, a także niższa aktywność badanych enzymów w Bśw niż w BMśw, świadczą o mniej intensywnym procesie rozkładu substancji organicznej i w rezultacie mniej efektywnym uwalnianiu przyswajalnych składników pokarmowych w glebie. Potwierdziły to przeprowadzone badania chemiczne, wskazujące że zasobność gleb w podstawowe składniki odżywcze była wyższa na żyzniejszym siedlisku BMśw niż Bśw, z tendencją spadkową wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanu.

Za miarodajny wskaźnik żyzności siedlisk uważa się właściwości gleb, charakteryzowane m.in. składem chemicznym, aktywnością biologiczną i enzymatyczną (Burns 1982, Bruchwald i Kliczkowska 1997, Zaguralskaja 1998). W prowadzonych badaniach zastosowano biologiczny wskaźnik żyzności gleby  $F$ , stosowany wcześniej do oceny jakości gleb rolnych i wykazujący istotną korelację z plonami kukurydzy i ziemniaków (Myśków i in. 1996). Wskaźnik  $F$  przyjmował niższe wartości na siedlisku uboższym Bśw niż BMśw, a prawidłowość ta występowała niezależnie od tego, który z parametrów aktywności biologicznej ( $D$ ,  $U$ ,  $A$ ,  $F\text{-}kw$ ,  $q\text{CO}_2$ ,  $C_{\text{biom}}$ ,  $g\text{ C-CO}_2$ ) przyjęto w obliczeniach.

W praktyce leśnej, jako wskaźniki żyzności siedliska mogą służyć cechy taksacyjne drzewostanów (Bruchwald 1995, 1997, Sikorska 1999). Przeprowadzona analiza korelacyjna (tab. 7) wykazała istotną zależność pomiędzy wskaźnikiem  $F$  a parametrami dendrometrycznymi, tj. przeciętną pierśnicą  $D$ , przeciętną wysokością  $H$  i przeciętnym przekrojem drzewostanu  $g$ . Wskazuje to na miarodajność

**Tabela 7. Korelacja  $r_{yx}$  między biologicznym wskaźnikiem żyzności gleby  $F$  a cechami taksacyjnymi drzewostanów przy wykorzystaniu różnych parametrów aktywności biologicznej gleby  $M$**   
**Table 7. Correlation  $r_{yx}$  between the Biological Indicator of Soil Fertility  $F$  and stand inventory features using different soil biological activity parameters  $M$**

Cechy taksacyjne drzewostanu ( $x$ ) Stand inventory features ( $x$ )	$M$ ( $y$ )						
	$D$	$U$	$A$	$F-kw$	Oddychanie Soil respiration g C-CO <sub>2</sub>	Biomasa drobnoustrojów Microbial biomass $C_{biom}$	Iloraz metaboliczny Metabolic quotient $q$ CO <sub>2</sub>
<b>Przeciętna pierśnica <math>D</math></b> Mean DBH $D$	<b>0,685***</b>	<b>0,684***</b>	<b>0,745***</b>	<b>0,751***</b>	<b>0,717**</b>	<b>0,772***</b>	0,152
<b>Przeciętna wysokość <math>H</math></b> Mean height of stand $H$	<b>0,596**</b>	<b>0,700***</b>	<b>0,727***</b>	<b>0,708***</b>	<b>0,518*</b>	<b>0,786***</b>	-0,093
<b>Liczba drzew/ha</b> Stems/ha	<b>-0,626**</b>	<b>-0,590*</b>	<b>-0,600**</b>	<b>-0,625**</b>	<b>-0,657**</b>	<b>0,577**</b>	-0,334
<b>Przeciętny przekrój <math>g</math></b> Mean stand section $g$ (m <sup>2</sup> )	<b>0,690***</b>	<b>0,690***</b>	<b>0,738***</b>	<b>0,713***</b>	<b>0,730***</b>	<b>0,772***</b>	0,167
<b>Pierśnicowe pole przekroju <math>G</math></b> Basal area $G$ (m <sup>2</sup> /ha)	0,040	0,195	0,228	0,382	0,018	0,409	<b>-0,539*</b>
<b>Mięższość drzewostanu w korze <math>Vk</math></b> Stand volume with the bark $Vk$ (m <sup>3</sup> /ha)	0,302	<b>0,455*</b>	<b>0,484*</b>	<b>0,573**</b>	0,248	<b>0,630**</b>	-0,396
<b>Mięższość grubizny <math>Vg</math></b> Stand volume of large timber $Vg$ (m <sup>3</sup> /ha)	0,320	<b>0,470*</b>	<b>0,493*</b>	<b>0,586**</b>	0,269	<b>0,644**</b>	-0,380
<b>Zagęszczenie</b> Density $Zag$	<b>-0,557**</b>	<b>-0,453*</b>	<b>-0,435*</b>	-0,416	<b>-0,638**</b>	-0,424	<b>-0,498*</b>
<b>Zadrzewienie</b> Ddegree of crop denisty $Zad$	-0,026	0,107	0,076	0,280	0,006	0,261	-0,350

$D$  – dehydrogenazy,  $U$  – ureaza,  $A$  – asparaginaza,  $F-kw$  – fosfataza kwaśna

$D$  – Dehydrogenases,  $U$  – Urease,  $A$  – Asparaginase,  $F-kw$  – Acid phosphatase

**pogrubioną czcionką oznaczono wartości  $r_{yx}$  istotne statystycznie: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$**

**Bold font –  $r_{yx}$  statistically significant: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$**

dajność i przydatność wskaźnika  $F$  do oceny jakości siedlisk leśnych. Warto podkreślić, że wysokie wartości współczynnika korelacji były niezależne od przyjętego do obliczeń  $F$  parametru biologicznego; najwyższe współczynniki korelacji notowano w przypadku zastosowania wyników biomasy drobnoustrojów ( $C_{biom}$ ), następnie aktywności fosfatazy kwaśnej ( $F-kw$ ), asparaginazy ( $A$ ), intensywności oddychania (g C-CO<sub>2</sub>), ureazy ( $U$ ), dehydrogenaz ( $D$ ).

Wyniki wykonanych badań pozwalają na sformułowanie następujących stwierdzeń i wniosków:

1. Gleby na siedlisku Bśw charakteryzują się mniejszą zawartością węgla organicznego, azotu, fosforu przyswajalnego i sumą kationów zasadowych oraz

większą kwasowością hydrolityczną niż gleby na siedlisku BMśw. Wartości powyższych parametrów wykazywały wyraźny związek z bonitacją drzewostanu, zwłaszcza na siedlisku Bśw.

2. Wyraźny wpływ na stan mikrobiologiczny gleb miała jakość siedlisk. Intensywność oddychania gleb i biomasa drobnoustrojów były wyraźnie wyższe na bogatszym siedlisku BMśw niż Bśw. Z kolei wartość ilorazu metabolicznego ( $q\text{CO}_2$ ) wzrastała wraz z pogarszaniem się jakości siedliska i bonitacji, co oznacza niższą wydajność wzrostu drobnoustrojów, efektem czego jest mniejsza biomasa drobnoustrojów i mniejszy zapas składników pokarmowych w glebie.

3. Jakość siedliska miała wpływ na aktywność niektórych badanych enzymów glebowych, tj. ureazy, fosfatazy kwaśnej i dehydrogenaz. Ich wartości były niższe w Bśw niż w BMśw i spadały wraz z obniżaniem się bonitacji drzewostanu.

4. Na miarodajność zastosowanego do oceny jakości siedlisk biologicznego wskaźnika żyzności gleb  $F$  wskazuje istotna korelacja jego wartości z niektórymi cechami taksacyjnymi, charakteryzującymi produktywność drzewostanu: przeciętną pierśnicą  $D$ , przeciętną wysokością  $H$  i przeciętnym przekrojem drzewostanu  $g$ .

5. Najwyższe wartości współczynnika korelacji pomiędzy wskaźnikiem  $F$  a cechami taksacyjnymi drzewostanu uzyskano, gdy za parametr biologiczny przyjęto biomasa drobnoustrojów ( $C_{\text{biom}}$ ), intensywność oddychania ( $g\text{ C-CO}_2$ ) oraz aktywność fosfatazy kwaśnej ( $F\text{-}kw$ ) i asparaginazy ( $A$ ).

6. Biologiczny wskaźnik żyzności gleb  $F$  został opracowany dla borów sosnowych, stąd dla innych siedlisk jego poprawność i przydatność powinny być zweryfikowane.

Praca została złożona 21.01.05 r. i przyjęta przez Komitet Redakcyjny 22.02.05 r.

## THE USE OF BIOLOGICAL ACTIVITY STUDIES TO DETERMINE A SOIL FERTILITY INDICATOR IN PINE STANDS ON FRESH CONIFEROUS AND ON MIXED FRESH CONIFEROUS FOREST SITES

### Summary

In 2001–2003, soil chemistry, soil biological activity, and pine stands characteristics along a gradient of forest site quality were investigated. The research plots were set up in Scots pine stands growing on fresh coniferous and mixed fresh coniferous forest sites, located in Włoszczowa and Opoczno Forest Districts. The aim of the study was to test the soil biological activity parameters which could be useful in diagnosing quality of forest sites.

The soils on fresh coniferous forest sites were characterized by lower concentrations of carbon, nitrogen, phosphorus, and base cations and were more acidic, compared to those on mixed fresh coniferous forest sites. The values of above parameters were found to be closely related to stand site indices, especially on fresh coniferous forest sites.

Soil biological activity appeared to be dependent on site quality. Soil respiration, microbial biomass and activity of some investigated enzymes (urease, acid phosphatase and dehydroge-

nases) were positively correlated with site index, and thus were distinctly higher on more fertile mixed fresh coniferous sites than on fresh coniferous sites. To evaluate site quality of the studied plots, several chemical and biological parameters were chosen to calculate the values of Biological Indicator of Soil Fertility ( $F$ ), defined as:

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

where:  $M$  – soil biological activity,  $S$  – sum of base cations,  $V$  – base saturation.

As a  $M$  – one of the tested soil biological activity parameters were taken into account: dehydrogenases, urease, asparaginase, acid phosphatase, microbial biomass ( $C_{\text{biom}}$ ), metabolic quotient ( $q\text{CO}_2$ ) or soil respiration.  $F$  – values turned out to be lower on fresh coniferous sites than on mixed fresh coniferous sites, irrespective of which biological parameters was taken into  $F$  calculation. The significant correlation found between the  $F$  – values and some stand taxation features associated with stand productivity (d.b.h., height of stand and stand section) imply, that the  $F$  index, calculated on the base of biological parameters, can provide a valid estimate of forest site quality.

(transl. M. T.)

## 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  $\text{CO}_2$  ( $q\text{CO}_2$ ) 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. Mikrob.* 25, 3/4: 289-291.
- Bruchwald A. 1995: *Dendrometria*. Wydawnictwo SGGW. Warszawa, ss.450.
- 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., 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 plodnorodija počvy fermentativnymi reakcijami. *Mikroorganizmy v selskom chozajstve*. Izd. MGU: 327-335.
- Galstjan A. Š. 1978: Opredelenie aktivnosti fermentov počv – metodičeskie ukazanja. Erevan'.
- Garbaye J., Bonneau M. 1997: Assuring sufficient nutrient supply for trees – a basic condition of sustainable forests. *IUFRO Occas.*, 9: 28-31.
- Gliński J., Stępniewski 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 (red. A. Kowalkowski), 1973, Warszawa - Sękocin.
- Jenkinson D. S., Ladd J. N. 1981: Microbial biomass in soil: measurement and turnover. [W:] *Soil Biochemistry*, (eds: E. A. Paul and J. N. Ladd), Marcel Dekker, New York, 5: 415-471.

- Koper J., Piotrowska A. 1999a: Biochemiczne wskaźniki żyzności gleby ukształtowane w wyniku wieloletniego nawożenia organiczno-mineralnego. *Zesz. Nauk. ART Bydgoszcz*, 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.
- 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. Mikrob.*, XX, 3/4: 173-192.
- Myśków W., Stachyra A., Zięba S., Masiak D. 1996: Aktywność biologiczna gleby jako wskaźnik jej żyzności i urodzajności. *Rocz. Glebozn.*, XLVII: 89-99.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991: Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, ss.334.
- Parkinson D. 1979: Aspects of the microbial ecology of forest ecosystems. [W:] *Forests: fresh perspectives from ecosystem analysis* (ed. R.Waring). Proc. of the 40<sup>th</sup> Annual Biology Colloquium, Oregon State University, Corvallis, 109-117.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1990: Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. Wyd. II PWRiL, Warszawa, ss. 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, ss 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. Wyd. AR Kraków, ss. 136.
- Trampler T., Mąkosa K., Girzda A., Bąkowski J., Dmyterko E. 1990: 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: constrains 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.