

Grażyna Olszowska¹

Zmienność biochemiczna gleb siedlisk leśnych na granicy zasięgu buka zwyczajnego *Fagus sylvatica* L. w Polsce

Biochemical variability of forest soils at the range edge of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Poland

Abstract. The aim of this study was to determine the biochemical properties and enzymatic activity of forest soils at the leading range edge of European beech.

Study sites were selected at the north-eastern range edge of beech in Poland. Research was conducted in fresh broadleaved forest habitat (6 plots), fresh mixed broadleaved forest (1 plot) and upland fresh broadleaved forest (1 plot). The dominant species in the stands studied was European beech (*Fagus sylvatica* L.) along with a small amount of oak. The soils in the plots studied were classified as acid brown, lessive brown and rusty brown soils.

Soil samples from 0–5 cm and 5–15 cm depth were analyzed to determine: the activity of urease, asparaginase, acid phosphatase, dehydrogenases and the content of organic carbon and total nitrogen, pH, base cations (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+}), exchangeable acidity (H_w), cation exchange capacity (CEC), and the degree of base saturation of the sorption complex w (% V). There was a significant correlation between the studied enzymatic and chemical parameters. Based on those biochemical properties that reflect the richness of soil nutrients and soil biological activity, the forest soil fertility was formulated. This value was the highest in the plot Góra Śląska and Mragowo and was the lowest in Kwidzyn, Jamy and Brzeziny. In all the plots studied, the enzyme activity was significantly higher in the 0–5 cm layer than in the 5–15 cm layer: in the two respective layers enzyme activities were, urease 22.9 and 9.5; asparaginase 3.5 and 1.9; dehydrogenase 1.95 and 0.47, and acid phosphatase 0.89 and 0.22. The upper layer contained much more organic carbon, which is the substrate need for growth of soil microbes. All of the chemical parameters examined were higher in the 0–5 cm layer than at 5–15 cm. Soils in beech stands typically had high spatial variability in their chemical and biochemical properties.

Soil fertility ratio can be applied in a detailed diagnosis of the status of forest habitats and it may complement other diagnostic tools used in chemical research of forest soils.

Key words: enzymatic activity, chemical properties of soils, forest soils, European beech

1. Wstęp

Żyzność siedliska determinuje wzrost roślin i możliwości ich produkcji, charakterystyczne dla poszczególnych typów gleb. Za jeden z podstawowych wskaźników żyzności uważa się zapas w glebie przyswajalnych przez rośliny składników pokarmowych, z których większość dostarczana jest przez drobnoustroje glebowe w wyniku rozkładu substancji organicznej, katalizowanego przez

enzymy (Mysków et al. 1996; Kieliszewska-Rokicka 2001). Biorąc jednocześnie pod uwagę fakt, że rozwój drobnoustrojów uwarunkowany jest zasobnością gleb w składniki pokarmowe (Burns 1982; Dick 1994), można przyjąć, że pomiędzy aktywnością biologiczną a żyznością gleb istnieje ścisła korelacja (Myrold et al. 1989; Leirós et al. 2000). Istotna rola drobnoustrojów glebowych w kształtowaniu żyzności i urodzajności gleb leśnych jest szeroko udokumentowana; szereg prac

¹ Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ekologii Lasu, ul. Braci Leśnej 3, 05–090 Raszyn, Fax +48 227150507, e-mail: G.Olszowska@ibles.waw.pl

wskazuje na silną korelację między biomasa i aktywnością drobnoustrojów glebowych a produktywnością drzewostanów (Zak et al. 1994; Kurka i Starr 1997). Parametry mikrobiologiczne, w tym aktywność enzymów glebowych, uważane są za dobry wskaźnik jakości gleb, na który składają się również jej właściwości chemiczne i fizyczne (Dick 1994; Aon i Colaneri 2001; Januszek et al. 2006).

Środowisko glebowe charakteryzuje duża zmienność przestrzenna w skali regionalnej i lokalnej, a nawet w obrębie pojedynczego drzewa (Decker et al. 1999; Kandeler et al. 2001). Dotychczas badania przestrzennego zróżnicowania gleb dotyczyły głównie właściwości fizycznych i chemicznych gleb rolnych (Usovich et al. 2004; Smoliński et al. 2008), a badań zmienności aktywności enzymatycznej gleb różnych siedlisk leśnych jest niewiele.

Celem badań było określenie aktywności enzymatycznej i intensywności przemian chemicznych w glebach siedlisk leśnych na granicy zasięgu buka zwyczajnego, w kontekście szerszych badań poświęconych zmienności gatunków lasotwórczych na granicy ich naturalnego występowania (Dobrowolska et al. 2008).

2. Teren badań

Do badań wybrano powierzchnie usytuowane wzdłuż północno-wschodniej granicy zasięgu buka: cztery powierzchnie w III Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej, dwie powierzchnie w VI Krainie Małopolskiej, i po jednej w I Krainie Bałtyckiej i II Krainie Mazursko-Podlaskiej (tab. 1). Sześć z tych powierzchni było na siedlisku lasu świeżego i po jednej powierzchni na siedlisku lasu mieszanego świeżego i lasu świeżego wyżynnego. Gatunkiem dominującym w badanych drzewostanach był buk zwyczajny (*Fagus sylvatica* L.), z niewielkim udziałem dębu. Głównym kryterium wyboru powierzchni badawczych była obecność odnowienia naturalnego oraz osłony drzewostanu macierzystego. Gleby badanych powierzchni zakwalifikowano do typu gleb brunatnych kwaśnych, płowych brunatnych i rdzawych brunatnych (Dobrowolska et al. 2008).

3. Metodyka badań

Badania glebowe wykonano w październiku 2006 i 2007 roku. Do analiz chemicznych oraz pomiarów aktywności enzymatycznej pobrano próbki zbiorcze z 10

Tabela 1. Charakterystyka badanych powierzchni drzewostanów bukowych na granicy zasięgu

Table 1. Characteristics of the studied plots of beech stands on the edge of their range

Numer powierzchni Plot No	Nadleśnictwo oddział Forest district and forest compart.	Kraina przyrodniczo-leśna Eco region	RDLP Regional Directorate of State Forests	Skład gatunkowy Forest species composition	Wiek drzewostanu (lata) Stand age	STL Site type and subtype*	Typ i podtyp gleby Soil type
1	Kwidzyn 81c	I	Gdańsk	Bk	172	Lśw	brunatna kwaśna acid brown soil
2	Mrągowo 18f	II	Olsztyn	5Bk	125	Lśw	płowa lessive soil
				2Bk	90		brunatna brown soil
				1Bk	145		
3	Lidzbark 200h	III	Olsztyn	9Bk1Db	110	LMśw	rdzawa brunatna rusty brown soil
4	Jamy 38b	III	Toruń	9Bk1Db	112	Lśw	płowa lessive soil
5	Łopuchówko 125b	III	Poznań	Bk	140	Lśw	płowa lessive soil
							brunatna brown soil
6	Góra Śląska 241h	III	Poznań	9Bk1Db	132	Lśw	brunatna kwaśna acid brown soil
7	Brzeziny 50a	VI	Łódź	8Bk Db, So	121	Lśw	brunatna kwaśna acid brown soil
				2Bk	96		
8	Tomaszów 79f	VI	Lublin	7Bk	134	Lśw wyż.	brunatna kwaśna acid brown soil
				2Bk	109		
				1Bk	64		

Lśw – fresh broadleaved forest forest, LMśw – fresh mixed broadleaved forest, Lśw wyż. – upland fresh broadleaved forest site type

punktów równomiernie rozmieszczonych na każdej powierzchni, z warstw 0–5 cm (po odrzuceniu poziomu ściółki) i 5–15 cm. Próbkę pobierane były próbnikiem o średnicy 8 cm, a następnie w torebkach foliowych przewożone do laboratorium, gdzie zostały powietrznie wysuszone.

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

Zawartość kationów zasadowych (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} i Mg^{2+}) oznaczono po ekstrakcji gleby 1 M octanem amonu.

Z sumy kationów zasadowych (S_{BC}) i kwasowości wymiennej (H_w) – oznaczonej po ekstrakcji gleby 1 M KCl, obliczono pojemność wymienną gleb (CEC). Obliczono także stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami ($\%V$).

Zawartość węgla organicznego (C_{org}) oznaczono za pomocą analizatora węgla (SC-132 Leco), zawartość azotu metodą Kjeldahla, a odczyn gleby metodą potencjometryczną w 1 M KCl i w H_2O ; stosunek gleby do roztworu (w/v) wyniósł 1:2,5 (Instrukcja laboratoryjna 1973; Ostrowska et al. 1991).

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

- ureazy i asparaginazy – metodą kolorymetryczną, w 1 mg N- NH_4 na 10 g gleby (Russel 1972),

- fosfatazy kwaśnej – metodą kolorymetryczną, w 1 mg 4-nitrofenylofosforanu sodu (PNP) na 10 g gleby (Russel 1972),

- dehydrogenaz – metodą kolorymetryczną, w 1 mg trifenyloformazanu (TFF) na 10 g gleby (Russel 1972).

Do oceny jakości siedlisk badanych powierzchni zastosowano biologiczny wskaźnik żyzności gleb, obliczony na podstawie parametrów chemicznych odzwierciedlających zasobność gleb w składniki pokarmowe oraz aktywność biologiczną gleb. Do obliczenia jego wartości zmodyfikowano metodę Myśkówa et al. (1996), korzystając z równania:

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

gdzie: M – aktywność biologiczna gleb, S_{BC} – suma kationów zasadowych, V – stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami.

Do powyższego równania wstawiano standaryzowane wyniki pomiarów (w jednostkach odchylenia standardowego), przy czym jako wartość M przyjmowano wymiennie jeden z testowanych parametrów aktywności enzymatycznej gleb: dehydrogenaz, ureazy, asparaginazy i fosfatazy kwaśnej.

Do analizy statystycznej wyników zastosowano program STATISTICA 8. Do statystycznej oceny badanych parametrów chemicznych i biochemicznych wykorzystano jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA. Do testowania różnic pomiędzy średnimi wykorzystano test Tukeya. Dla scharakteryzowania związku pomiędzy badanymi parametrami chemicznymi i biochemicznymi gleb zastosowano analizę korelacyjną. Przy testowaniu statystycznym badanych parametrów przyjęto poziom istotności $p=0,05$.

4. Wyniki badań

Właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleb

Wyniki badań właściwości chemicznych gleb przedstawia tabela 2.

Gleby badanych powierzchni były zróżnicowane pod względem zawartości węgla organicznego (tab. 3). W warstwie 0–5 cm zawartość węgla organicznego wahała się od 1,95 do 5,33% i była istotnie wyższa niż w warstwie 5–15 cm (0,90–1,75%). Najwięcej węgla organicznego w warstwie 0–5 cm notowano na powierzchni w Górze Śląskiej (5,33%), a najmniej w Brzezinach (1,95 %) i w Jamach (1,96 %), różnice były istotne statystycznie ($p<0,001$).

Gleby badanych powierzchni były zróżnicowane pod względem zawartości azotu ogólnego (tab. 3). Stwierdzono istotnie ($p<0,001$) więcej azotu ogólnego w warstwie 0–5 cm niż w warstwie 5–15 cm na wszystkich badanych powierzchniach. Podobnie jak w przypadku węgla organicznego największą ilość azotu notowano na powierzchni w Górze Śląskiej (0,218 %), a najmniejszą w Jamach i Brzezinach (0,085%).

Wraz ze wzrostem głębokości obserwowano istotny wzrost pH gleby. Odczyn badanych gleb był silnie kwaśny, a pH w KCl kształtowało się od 2,95 do 4,02 w warstwie 0–5 cm i od 3,34 do 4,15 w warstwie 5–15 cm. Zanotowano istotne różnice ($p<0,001$) wartości pH pomiędzy badanymi powierzchniami (tab. 3).

Gleby badanych powierzchni były istotnie zróżnicowane pod względem sumy kationów zasadowych S_{BC} (tab. 3). Najwyższe wartości S_{BC} miały gleby na powierzchni w Mrągowie i Górze Śląskiej, a najniższe w Kwidzynie i Jamach. Wartości S_{BC} w warstwie 0–5 cm były istotnie wyższe niż w 5–15 cm.

Istotne różnice pomiędzy powierzchniami były pod względem kwasowości wymiennej (tab. 3), która najwyższe wartości osiągnęła na powierzchniach w Kwidzynie, Mrągowie oraz Tomaszowie, a najniższe w Lidzbarku i Brzezinach. Istotnie wyższe wartości H_w notowano w warstwie 0–5 cm niż w 5–15 cm.

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleb drzewostanów bukowych na granicy zasięgu

Table 2. Physical and chemical properties of beech stands' soils on the border range

Powierzchnia Plot	Poziom Horizon cm	pH		C	N	C/N	Kompleks sorpcyjny / Sorption complex						V	
		KCL	H ₂ O				Na	K	Ca	Mg	S _{BC}	H _w		CEC
				%	%	cmol(+)/kg						%		
1. Kwidzyń	0–5	3,61	4,45	2,04	0,098	21	0,009	0,120	0,393	0,098	0,62	6,14	6,76	9,18
	5–15	3,87	4,50	1,19	0,058	21	0,009	0,052	0,097	0,047	0,21	6,01	6,22	3,30
2. Mrągowo	0–5	3,97	5,02	2,92	0,192	15	0,014	0,163	2,140	0,365	2,68	7,90	10,58	25,34
	5–15	3,85	4,77	1,46	0,085	17	0,012	0,051	0,574	0,093	0,73	4,99	5,72	12,78
3. Lidzbark	0–5	3,77	4,94	2,43	0,121	20	0,010	0,075	1,591	0,088	1,77	4,37	6,14	28,79
	5–15	4,15	4,93	1,21	0,054	22	0,007	0,021	0,256	0,026	0,31	3,50	3,81	8,15
4. Jamy	0–5	3,56	4,33	1,96	0,085	23	0,010	0,117	0,448	0,099	0,67	5,80	6,47	10,41
	5–15	3,76	4,59	1,32	0,055	24	0,009	0,054	0,157	0,049	0,27	4,80	5,07	5,31
5. Łopuchówko	0–5	3,43	4,18	2,96	0,136	22	0,009	0,093	1,511	0,207	1,82	4,73	6,55	27,82
	5–15	3,65	4,25	1,33	0,051	26	0,008	0,038	0,211	0,054	0,31	3,47	3,78	8,19
6. Góra Śląska	0–5	2,95	3,67	5,33	0,218	24	0,008	0,139	1,726	0,253	2,13	4,70	6,83	31,16
	5–15	3,34	4,01	1,75	0,074	24	0,007	0,050	0,297	0,063	0,42	3,76	4,18	9,99
7. Brzeziny	0–5	4,02	4,84	1,95	0,086	23	0,008	0,138	0,813	0,111	1,07	4,42	5,49	19,50
	5–15	4,15	4,77	0,90	0,044	20	0,009	0,058	0,150	0,032	0,25	4,36	4,61	5,40
8. Tomaszów	0–5	3,77	4,54	2,55	0,177	14	0,009	0,181	1,222	0,169	1,58	6,00	7,58	20,85
	5–15	3,75	4,56	1,27	0,077	16	0,021	0,076	0,187	0,051	0,33	4,98	5,31	6,30

S_{BC} – suma kationów zasadowych / the soil bearing capacity, H_w – kwasowość wymienna / exchange acidity, CEC – pojemność wymienna / the cation-exchange capacity, V – stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami / the base saturation

Pojemność wymienna CEC badanych gleb była istotnie ($p < 0,001$) różna na poszczególnych powierzchniach. Najwyższe wartości CEC notowano w Mrągowie i Tomaszowie, a najniższe w Brzezinach i Lidzbarku (tab. 3). Pojemność wymienna gleby w warstwie 0–5 cm była istotnie wyższa niż w warstwie 5–15 cm.

Wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami V% zależało od zawartości substancji organicznej. Najwyższy poziom wysycenia, istotnie różny niż w pozostałych obiektach, zanotowano na powierzchniach z najwyższą zawartością węgla organicznego, tj. w Górze Śląskiej i Łopuchówku (tab. 3). W warstwie 0–5 cm stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami był istotnie ($p < 0,001$) wyższy niż w warstwie 5–15 cm gleby.

Aktywność enzymatyczna gleb

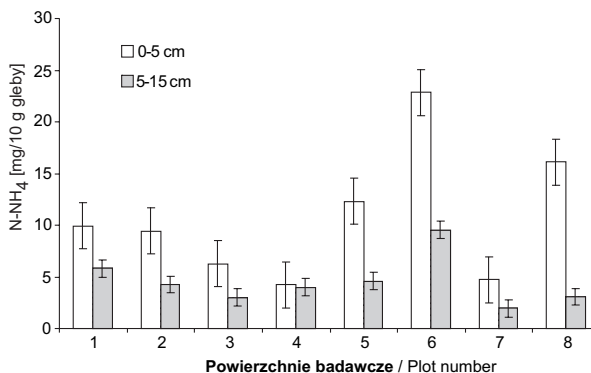
Przeprowadzone badania wskazują na istotne ($p < 0,001$) różnice aktywności wszystkich testowanych enzymów na poszczególnych powierzchniach (tab. 3). Najwyższa aktywność ureazy była na powierzchniach w Górze Śląskiej, Tomaszowie, Łopuchówku oraz Kwidzynie, a najniższa w Brzezinach i Jamach. Aktywność ureazy była istotnie wyższa w warstwie 0–5 cm niż w warstwie 5–15 cm (ryc. 1).

Na powierzchniach w Górze Śląskiej, Łopuchówku i Mrągowie notowano najwyższą aktywność asparaginazy, a w Brzezinach, Jamach i Lidzbarku najniższą. Średnia aktywność tego enzymu w warstwie 0–5 cm

była istotnie wyższa niż w warstwie 5–15 cm badanych gleb (ryc. 2).

Aktywność dehydrogenaz, podobnie jak poprzednio omawianych enzymów, na powierzchniach w Górze Śląskiej, Mrągowie i Łopuchówku była istotnie wyższa niż w Brzezinach, Jamach i Kwidzynie, gdzie była najniższa. Średnia aktywność tego enzymu w warstwie 0–5 cm była istotnie ($p < 0,001$) wyższa niż w warstwie 5–15 cm badanych gleb (ryc. 3).

Aktywność fosfatazy kwaśnej była najwyższa na powierzchniach w Górze Śląskiej, Tomaszowie, Łopuchówku oraz Mrągowie, a najniższa w Jamach, Lidzbarku i Brzezinach. Średnia aktywność tego enzymu w



Rycina 1. Wartości średnie i odchylenie standardowe aktywności ureazy, numery powierzchni jak w tabeli 1

Figure 1. The mean values and standard deviation of urease activity, the plots' numbers as in Table 1

Tabela 3. Wyniki testu Tukey'a dla porównań wielokrotnych ($n=32$) pomiarów chemicznych i biochemicznych gleb pomiędzy powierzchniami ($p < 0,001$)Table 3. Results of Tukey's test for multiple comparisons ($n = 32$) of chemical and biochemical measurements of soil between the plots ($p < 0.001$)

Powierzchnia Plot	Ureaza								Asparaginaza								Dehydrogenazy								Fosfataza kw.							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+					
2	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+					
3	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-					
4	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+					
5	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
7	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+					
8	-	-	+	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+					

Powierzchnia Plot	C								N								S_{BC}								H_w							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+					
2	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+				
3	-	+	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+					
4	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-					
5	+	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+					
6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+					
7	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+					
8	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+					

Powierzchnia Plot	CEC								BS								pH KCl								pH H ₂ O							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+				
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+				
3	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
4	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-				
5	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
6	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
7	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
8	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				

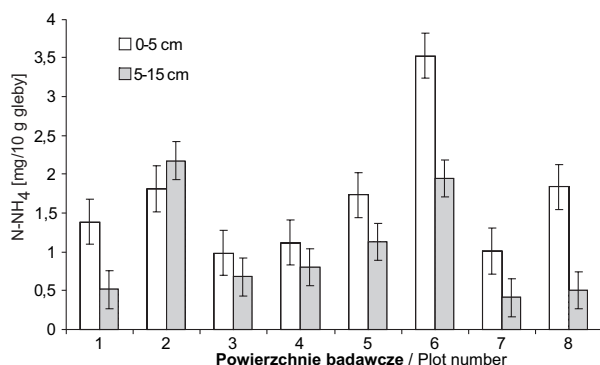
**Rycina 2. Wartości średnie i odchylenie standardowe aktywności asparaginazy**

Figure 2. The mean values and standard deviation of asparaginase activity

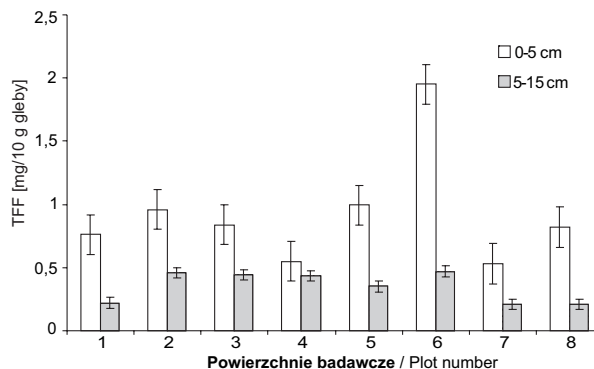
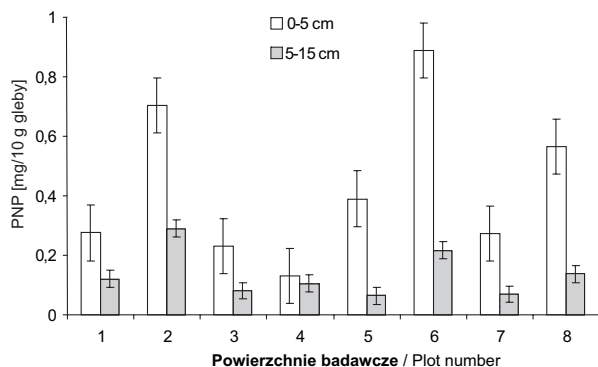
**Rycina 3. Wartości średnie i odchylenie standardowe aktywności dehydrogenaz**

Figure 3. The mean values and standard deviation of the activity of dehydrogenases



Rycina 4. Wartości średnie i odchylenie standardowe aktywności fosfatazy kwaśnej

Figure 4. The mean values and standard deviation of acid phosphatase activity

warstwie 0–5 cm była istotnie ($p < 0,001$) wyższa niż w warstwie 5–15 cm badanych gleb (ryc. 4).

Biologiczny wskaźnik żyzności siedlisk leśnych

Wartości wskaźnika żyzności siedlisk leśnych F dla badanych powierzchni przedstawia rycina 5. Niezależnie od użytego parametru M , wskaźnik F był istotnie wyższy na powierzchni w Górze Śląskiej i Mrągowie niż na pozostałych powierzchniach, a najmniejsze wartości przyjmował na powierzchniach w Kwidzynie, Jamach i Brzezinach.

5. Dyskusja

Oceniając aktywność biologiczną gleb przetestowano powszechnie stosowane parametry, które związane są z podstawową rolą drobnoustrojów w glebach leśnych, a mianowicie z mineralizacją substancji organicznej. Parametry te dotyczyły aktywności enzymów glebowych:

ureazy i asparaginazy – katalizujących mineralizację związków azotowych, kwaśnej fosfatazy – hydrolizującej organiczne związki fosforu, dehydrogenaz – enzymów uczestniczących w procesach oksydacyjno-redukcyjnych.

Omówione powyżej charakterystyki biochemiczne były statystycznie istotnie skorelowane z badanymi parametrami chemicznymi: zawartością węgla organicznego i azotu ogólnego, sumą kationów zasadowych (S_{BC}), pojemnością wymienną (CEC), stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami ($\%V$) oraz pH (tab. 4). Bonmati et al. (1991) oraz Olszowska (2009, 2010) wskazywali również na korelację aktywności badanych enzymów z parametrami chemicznymi gleby, szczególnie z zawartością węgla organicznego i azotu. Natomiast Leirós i inni (2000) oraz Zwoliński (2004) wykazali istotność korelacji ilorazu metabolicznego drobnoustrojów z CEC , wysyceniem zasadami i zawartością makroskładników w glebach leśnych.

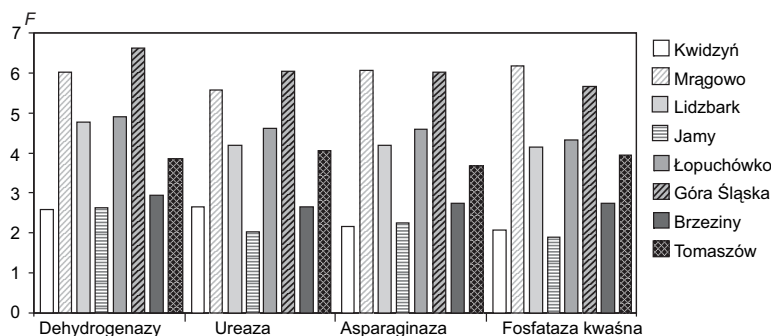
Wszystkie testowane parametry biochemiczne są związane z przebiegiem rozkładu substancji organicznej, procesu gwarantującego utrzymanie niezbędne dla rozwoju roślin zapasu składników pokarmowych. W przeprowadzonych badaniach stwierdzono istotną korelację pomiędzy badanymi enzymami, co może sugerować, że każdy z tych parametrów może mieć zastosowanie jako wskaźnik jakości gleb leśnych. W badaniach zastosowano biologiczny wskaźnik żyzności gleby F , stosowany wcześniej do oceny jakości gleb rolnych i wykazujący istotną korelację z plonami kukurydzy i ziemniaków (Myśków et al. 1996). Wskaźnik F przyjmował najwyższe wartości na powierzchni Góra Śląska, w dojrzałym drzewostanie bukowym, gdzie była największa biomasa korzeni drobnych (Dobrowolska et al. 2008), oraz w Mrągowie (ryc. 5). Istotną korelację pomiędzy wartościami biologicznego wskaźnika żyzności gleb a bonitacją drzewostanu na siedliskach LG, LMG i BMG stwierdzili również wcześniej Olszowska i inni

Tabela 4. Zależności pomiędzy badanymi parametrami biologicznymi i fizykochemicznymi gleb

Table 4. The relationship between biological and physicochemical parameters of studied soils

Parametry biochemiczne gleby (y) Biochemical soil parameters (y)	Współczynnik korelacji $r(x, y)$, istotny z $p < 0,01$ ($n=32$) The correlation coefficient $r(x, y)$, significant at $p < 0.01$ ($n = 32$)									
	Parametry chemiczne i biologiczne (x) / Chemical and biological parameters (x)									
	%C	%N	S_{BC}	H_w	CEC	pH w 1M KCl	D	U	A	Fkw
D	0,980	0,860	0,790	n	0,510	-0,660	1	0,870	0,830	0,880
U	0,880	0,840	0,660	n	0,470	-0,710	0,870	1	0,830	0,860
A	0,820	0,740	0,610	n	n	-0,710	0,830	0,830	1	0,830
Fkw	0,900	0,900	0,870	0,460	0,720	-0,470	0,880	0,860	0,830	1
%C	1	0,890	0,810	n	0,540	-0,690	0,980	0,880	0,820	0,900
%N	0,890	1	0,920	0,490	0,770	-0,460	0,860	0,840	0,740	0,900

D – dehydrogenazy / dehydrogenase, U – ureaza / urease, A – asparaginaza / asparaginase, Fkw – fosfataza / phosphatase, %C – węgiel organiczny / organic carbon %N – azot / nitrogen, S_{BC} – suma kationów zasadowych / the sum of base cations, H_w – kwasowość wymienna / exchangeable acidity, CEC – pojemność sorpcyjna / sorption capacity; n – nieistotne / not significant



Rycina 5. Wskaźnik żyzności gleb (F), przy zastosowaniu różnych parametrów ich aktywności biochemicznej na granicy zasięgu buka zwyczajnego

Figure 5. Soil fertility ratio (F), using different parameters of their biochemical activity, at the range edge of European beech

(2009), a także Lasota (2005), który uwzględnił również głębokie poziomy mineralne gleb.

Aktywność enzymatyczna gleb uwarunkowana jest oddziaływaniem szeregu czynników środowiskowych, jak np. wilgotnością, temperaturą i stopniem natlenienia gleby oraz dopływem materii organicznej (Côte et al. 2000; Chaer et al. 2009). Tym tłumaczyć można duże różnice aktywności wszystkich testowanych enzymów pomiędzy powierzchniami w niniejszych badaniach. Wielu autorów (Kandeler et al. 2001; Smoliński et al. 2008; Baldrian et al. 2010; Piotrowska et al. 2010) wykazało również dużą zmienność właściwości chemicznych i aktywności enzymatycznej gleby ornej i leśnej w skali regionalnej.

Zawarta w glebie substancja organiczna, stanowiąca substrat odżywczy dla drobnoustrojów, pochodzi głównie z opadu roślinnego oraz z obumierających korzeni i ich wydzielin. Istotny wpływ na jej jakość, i w konsekwencji na biomasę drobnoustrojów glebowych, ma skład gatunkowy drzewostanu. Materiał roślinny z drzew liściastych dzięki mniejszemu udziałowi frakcji odpornej na dekompozycję (głównie lignin) jest, w porównaniu z materiałem z drzew iglastych, łatwiej przyswajalny dla drobnoustrojów, a tym samym szybciej rozkładany i mineralizowany. Ze ściółki liściastej szybciej także wymywane są rozpuszczalne związki węgla i makroskładników w głąb profilu glebowego.

Na wszystkich powierzchniach aktywność badanych enzymów była kilkakrotnie wyższa w warstwie 0–5 cm niż w warstwie 5–15 cm. Podobnie stwierdzili także w swoich badaniach niektórzy autorzy, np. Zwoliński (2008) oraz Olszowska (2010). Warstwa wyższa zawiera bowiem znacznie więcej węgla organicznego, stanowiącego substrat niezbędny dla rozwoju drobnoustrojów.

Wskaźniki oparte na badaniach aktywności enzymatycznej gleb dostarczają informacji, jakie nie mogą być osiągnięte przez pomiary właściwości fizykochemicznych, ani także na podstawie badań organizmów wyższych. Wykonane w niniejszych badaniach testy biochemiczne zarówno dają możliwość oceny stanu badanych siedlisk leśnych, jak i pozwalają na wiarygodne prognozowanie wpływu czynników naturalnych i antro-

pogenicznych na rozwój ekosystemu leśnego. Opracowany w proponowanej pracy wskaźnik żyzności gleb może mieć zastosowanie w szczegółowej diagnostyce stanu siedlisk leśnych, może być uzupełnieniem stosowanych w praktyce leśnej badań chemicznych gleb i przyczyni się do lepszego charakteryzowania typów siedliskowych lasu, a także może służyć do monitorowania zmieniającego się stanu gleby.

6. Wnioski

Gleby badanych drzewostanów bukowych cechuje duża przestrzenna zmienność właściwości fizykochemicznych, chemicznych i biochemicznych.

Aktywność enzymatyczna gleb była ściśle związana, o czym świadczą wysokie wartości korelacji, z zawartością węgla organicznego, azotu ogólnego oraz składników pokarmowych.

Istotna zależność pomiędzy aktywnością enzymów glebowych a właściwościami chemicznymi gleb uzasadnia wykorzystanie parametrów odzwierciedlających aktywność biochemiczną gleb jako wskaźników żyzności gleb.

Wskaźnik żyzności gleb może mieć zastosowanie w szczegółowej diagnostyce stanu siedlisk leśnych i być uzupełnieniem stosowanych w praktyce leśnej badań chemicznych gleb.

Podziękowania

Pracę wykonano w ramach tematu BLP-266 finansowanego przez GDLP.

Literatura

- Aon M.A., Colaneri A.C. 2001. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, 18:255–270.
- Baldrian P., Merhautová V., Cajthaml T., Petránková M., Šnajdar J. 2010. Small-scale disturbance of extracellular

- enzymes, fungal, and bacterial biomass in *Quercus petraea* forest topsoil. *Biology and Fertility of Soils*, 46: 717–726.
- Bonmati M., Ceccanti B., Nannipieri P. 1991. Spatial variability of phosphatase, urease, protease, organic carbon and total nitrogen in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 23(4): 391–396.
- Burns R.G. 1982. Enzyme activity in soil: location and a possible role on microbial ecology. *Soil Biology & Biochemistry*, 34, 423–427.
- Côte L., Brown S., Paré D., Fyles J., Bauchus J. 2000. Dynamics of carbon and nitrogen mineralization in relation to stand type, stand age and soil texture in the boreal mixedwood. *Soil Biology & Biochemistry*, 32: 1079–1090.
- Chaer G.M., Myrold D.D., Bottomley P. J. 2009. A soil quality index based on the equilibrium between soil organic matter and biochemical properties of undisturbed coniferous forest soils of the Pacific Northwest. *Soil Biology & Biochemistry*, 41: 822–830.
- Decker K.L.M., Boerner R.E.J., Morris S.J. 1999. Scale-dependent patterns of soil enzyme activity in a forested landscape. *Canadian Journal of Forest Research*, 29 (2): 232–241.
- Dick R.P. 1994. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. w: J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, B.A. Steward (red). Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America, Madison, 107–124.
- Dobrowolska D., Farfał D., Sułkowska M., Olszowska G. 2008. Zmienność gatunków lasotwórczych na granicy ich naturalnego występowania w Polsce w świetle prawdopodobnych zmian klimatycznych oraz konsekwencje tych zmian dla gospodarki leśnej (Etap I – buk zwyczajny *Fagus sylvatica* L.). Sprawozdanie końcowe IBL, Sękocin Stary: 1–116.
- Instrukcja laboratoryjna dla pracowni gleboznawczo-nawożeniowych 1973. (red. A. Kowalkowski). Warszawa – Sękocin.
- Januszek K., Lasota J., Fiślak A. 2006. The evaluation of quality of soils of the Carpatian lime tree forest and beech forests on the basis of some chemical and biochemical properties. *Acta Scientiarum Polonorum seria Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*, 5(2): 71–87.
- Kieliszewska-Rokicka B. 2001. Enzymy glebowe i ich znaczenie w badaniach aktywności mikrobiologicznej gleby. w: Drobnoustroje środowiska glebowego, aspekty fizjologiczne, biochemiczne, genetyczne. Dahm H., Pokojka-Burdziej A. (red). Toruń, Wyd. A. Marszałek, 37–47.
- Kandeler E., Tschirko D., Stemmer M., Schwarz S., Gerzabek M.H. 2001. Organic matter and soil microorganisms – investigations from the micro- to the macro-scale. *Austrian Journal of Agricultural Research*, 52(2): 117–131.
- 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.
- Lasota J. 2005. Biochemiczny wskaźnik żyzności górskich gleb leśnych. *Roczniki Gleboznawcze*, 56, 3–4: 42–52.
- Leirós 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 Biology & Biochemistry*, 32: 733–745.
- 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.
- Mysków W., Stachyra A., Zięba S., Masiak D. 1996. Aktywność biologiczna gleby jako wskaźnik jej żyzności i urodzajności. *Roczniki Gleboznawcze*, 47, 1/2, 89–99.
- Olszowska G. 2009. Ocena aktywności biochemicznej gleb leśnych w różnych typach siedliskowych terenów górskich. *Leśne Prace Badawcze*, 70(4): 383–394.
- Olszowska G. 2010. Rozkład pionowy aktywności enzymatycznej różnych siedlisk leśnych. *Sylwan*, 154 (6): 405–411.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubińska Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Warszawa, Instytut Ochrony Środowiska.
- Piotrowska A., Długosz J., Namysłowska-Wilczyńska B., Zamorski R. 2010. Field-scale variability of topsoil dehydrogenase and cellulase. *Biology and Fertility of Soils*, 47, 1: 101–109.
- Russel S. 1972. Metody oznaczania enzymów glebowych. Warszawa, PTG, Komisja Biologii Gleby.
- Smoliński S., Długosz J., Piotrowska A., Zamorski R. 2008. Spatial variability of soil dehydrogenases and cellulases activities in a field scale. *Polish Journal of Soil Science, Soil Biology*, 41, 1, 73–80.
- Usowicz B, Hajnos M, Sokołowska Z, Józefaciuk G, Bowanko G, Kossowski J. 2004. Spatial variability of physical and chemical soil properties in a field and commune scale. *Acta Agrophysica*. 3: 5–90.
- Zak D.R., Tilman D., Parmenter R.R., Rice C.W., Fisher F.M., Vose J. et al. 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. *Polish Journal of Ecology*, 52(4): 553–561.
- Zwoliński J. 2008. Rozkład pionowy biomasy drobnoustrojów w glebach leśnych. *Leśne Prace Badawcze*, 69: 225–231.