

Wybrane wskaźniki różnorodności biologicznej na tle cech utworów glebowych w wyżynnym borze jodłowym *Abietetum albae*

Biodiversity indexes in relation to soil properties in upland fir forests (*Abietetum albae*)

Jarosław Lasota*, Małgorzata Wiecheć, Ewa Błońska, Stanisław Brożek

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny, Zakład Gleboznawstwa Leśnego, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

*Tel. +48 12 6625031, e-mail: rllasota@cyf-kr.edu.pl

Abstract. The aim of this study was to present the relationship between soil properties and biodiversity indexes in upland fir (*Abies alba*) forest associations (*Abietetum albae*). Our study was conducted in six areas representing the growth conditions of upland fir forests and the research plots were located in the Roztoczański and Świętokrzyski National Parks as well as Przedbórz, Radomsko, Piotrków and Janów Lubelski Forest District. On every plot, the topography was described, soil cores were examined and samples for laboratory analysis were taken. The following characteristics were determined for the soil samples: pH, C, N, Ca, Mg, Na and K content, particle size, exchangeable acidity, aluminum content and hydrolytic acidity. Additionally, enzyme activity in the soil samples (urease and dehydrogenase) was measured. In each test area, the stand characteristics were measured (diameter at breast height and height) floristic characteristics were described and the biodiversity indexes (Shannon, Simpson and Margalef indexes) were calculated. Different soil types (Gleysols, Brunic Arenosols, Gleyic Podzols and Hyperdistic Cambisols) were recorded for the investigated forest stands and the soils were categorized according to soil texture, C content, enzyme activity and different humus types (moder-mor, moder, moder-mull). The upland mixed coniferous forest sites were characterized by lower biodiversity indexes (2,6 Shannon index; 0,72 Simpson index; 4,9 Margalef index) while the upland mixed broadleaf forest sites showed higher indexes (3,3 Shannon index; 0,87 Simpson index; 9,4 Margalef index). The site index obtained for the fir stands confirmed these results.

Keywords: forest sites, biodiversity indexes, soil properties, *Abietetum albae*

1. Wstęp i cel pracy

Możliwości kształtowania różnorodności gatunkowej ekosystemów leśnych warunkowane są przez czynniki siedliskowe. Wraz ze wzrostem żyzności siedlisk leśnych rośnie z reguły różnorodność gatunkowa roślin naczyniowych runa leśnego (Puchalski, Prusinkiewicz 1990). Rośliny runa są jednym z elementów uwzględnianych w ocenie troficzności i wilgotności siedliska. Gatunki, tzw. różnicujące, o odpowiednich wymaganiach ekologicznych, pozwalają ustalić cząstkową diagnozę siedliska w systemie typologicznym zwanym również ekologicznym (Sikorska 2006; Lasota, Błońska 2013; CILP 2012). Relacja roślin runa leśnego z powierzchniowymi poziomami gleby oraz ich reakcja wyrażona przestrzenną strukturą występowania sprawiają, że rośliny mogą być dobrymi bioindykatorami (Roo-Zielińska 2004).

Celem prezentowanych badań jest poszukiwanie relacji pomiędzy cechami utworów glebowych a empirycznymi wskaź-

nikami określającymi różnorodność gatunkową szaty roślinnej, trofizm i uwilgotnienie, które zostały sformułowane w wyniku badań prowadzonych w płatach wyżynnego boru jodłowego (*Abietetum albae*) na terenie 6 obiektów wybranych w Polsce południowo-wschodniej i centralnej. W niniejszych badaniach postawiono hipotezę, że wskaźniki bioróżnorodności określone na podstawie roślinności w płatach wyżynnego boru jodłowego różnicują się w zależności od typu siedliskowego lasu, w jakim ten zespół się wykształcił. Wyżynny jodłowy bór mieszany to zespół objęty ochroną w ramach programu NATURA 2000, występujący na obszarze Działu Wyżyn Południowopolskich, a także Działu Brandenbursko-Wielkopolskiego (obszar Wału Trzebnickiego) (Macicka, Wilczyńska 1985; Mróz, Łabaj 2004; Świerkosz et al. 2014; Barć et al. 2015). W niniejszej pracy strukturę szaty roślinnej dna lasu i obliczone na jej podstawie wskaźniki porównywano z właściwościami fizycznymi, chemicznymi oraz biochemicznymi poziomów próchnicznych gleb.

Wpłynęło: 17.10.2016 r., zrecenzowano: 15.12.2016 r., zaakceptowano: 27.12.2016 r.

2. Materiały i metody

Badania przeprowadzono w wybranych sześciu płatach wyżynnych borów jodłowych (*Abietetum albae*) zlokalizowanych w rezerwach leśnych południowej i centralnej Polski (tab.1). Wybrane do badań drzewostany charakteryzowały się wiekiem powyżej 80 lat, zbliżonym zwarcie (0,7–0,8) oraz dobrze wykształconą roślinnością runa z gatunkami uznanymi za charakterystyczne dla wyżynnych borów jodłowych (Matuszkiewicz 2001). W lipcu w każdym z analizowanych drzewostanów wykonano badania glebowe, szczegółowy spis roślinności runa oraz pomiary drzewostanu. W centralnej części każdego płatu sporządzono głęboką odkrywkę glebową (do 1,5 m) w celu pobrania prób do dalszych analiz laboratoryjnych. Próby gleby z powierzchniowych poziomów próchnicznych pobrano jako próby zbiorcze z odkrywki i czterech miejsc wokół odkrywki (w promieniu do 10 m). W każdym z badanych płatów o powierzchni 10 arów wykonano spis roślinności

metodą Brauna-Blanquet'a (Mueller-Dombois, Ellenberg 2003). Na powierzchniach kołowych 0,25 ha pomierzono drzewa o pierśnicy od 7 cm wzwyż. Na podstawie wysokości górnej, wieku oraz modelu zaproponowanego przez Zasadę (1995) określono bonitację jodły, wyrażając ją prognozowaną wysokością górną dla wieku 100 lat (B_{100}). Do określenia wartości ekologicznych liczb wskaźnikowych roślin naczyniowych Polski użyto skali zaproponowanej przez Zarzyckiego i in. (2002).

Diagnozę typu siedliskowego lasu ustalono zgodnie z zasadami stosowanymi w urządzaniu lasu (CILP 2012). Analizowane powierzchnie w połowie zaliczono do BMwyż, a w połowie do LMśw lub LMwyż. Stosunkowo duże zróżnicowanie warunków edaficznych, w których wykształciły się płaty omawianego zespołu, odzwierciedlają utwory geologiczne oraz typy i podtypy gleb (tab. 1). Szczegółową charakterystykę właściwości gleb badanych płatów wyżynnego boru jodłowego wraz z określeniem siedliskowego indeksu glebowego zawarto w pracy Lasoty i in. (2011).

Tabela 1. Charakterystyka powierzchni badawczych wyżynnego jodłowego boru mieszanego *Abietetum albae*
Table 1. Characteristics of reserach plots of upland fir forest *Abietetum albae*

Powierzchnia badawcza Research plots	Nadleśnictwo, Park Narodowy Forest District- National Park	Rezerwat Reserve	Wysokość n.p.m. [m]; wy- stawa; nachylenie Elevation asl [m]; exposition; slope	Typ i podtyp gleby Type and subtype of soil	Rodzaj gleby Parent material	TSL; Skład drzewostanu Species composition
AbP1	Janów Lubelski	Lasy Janowskie	214; SW; 1	rdzawa bielnicowa / Albic Brunic Arenosol	piaski zwałowe na glinach / glacial sand on boulder clay	LMśw; 5 So, 5 Jd pjd Św
AbP2	Piotrków	Wielkopole	227; NE; 3	opadowoglejowa bielnicowa / Haplic Stagnosol	piaski eoliczne na glinach / aeolian sand on boulder clay	BMwyżśw; 10 Jd
AbP3	Przedbórz	Czarna Różga	231; 0	glejobielnicowa murszasta / Gleyic Podzol	piaski starych tarasów rzecznych / alluvial sand	BMwyżśw; 10 Jd, pjd So
AbP4	Radomsko	Kobiele Wielkie	251; 0	opadowoglejowa właściwa / Haplic Stagnosol	pyły eoliczne na glinach / aeolian silt on boulder clay	BMwyżśw; 8 Jd, 1 So, 1 Db
AbP5	Świętokrzyski PN	Sztymber	384; NE; 13	brunatna kwaśna / Haplic Cambisol	lessy na kwarcytach / loess on quartzit	LMwyżśw; 9 Jd, 1 Bk pjd Brz
AbP6	Roztoczański PN	Czerkies	254; NE; 2	opadowoglejowa bielnicowa / Haplic Stagnosol	piaski rzeczne tarasów plejstoceńskich / alluvial sand	LMwyżśw; 10 Jd

TSL – typ siedliskowy lasu / type of forest site, LMśw – fresh mixed deciduous forest, BMwyżśw – fresh upland mixed coniferous forest, So – pine, Jd – fir, Db – oak, Bk – beech, Brz – birch

Do oznaczenia podstawowych właściwości gleby posłużono się powszechnie stosowanymi w gleboznawstwie metodami (Ostrowska et al. 1991), tj. oznaczono:

- odczyn gleby w wodzie destylowanej (pH_{H₂O}) i w 1M KCl (pH_{KCl}) metodą potencjometryczną,
- uziarnienie zgodnie z klasyfikacją uziarnienia PTG 2008 metodą areometryczną Bouyoucosa-Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego,
- zawartość węgla organicznego (C_{org}) i azotu ogółem (N) przy użyciu autoanalyzera Leco CNS 2000; na ich podstawie obliczono stosunek C/N,
- kolorymetrycznie wodór i glin wymienny w wyciągu 1M KCl,
- kolorymetrycznie kwasowość hydrolityczną (Y) w wyciągu 1M (CH₃COO)₂Ca,
- zawartość wymiennych form Ca, K, Mg i Na w wyciągu 1M CH₃COONH₄ metodą ASA,
- fosfor rozpuszczalny (P) metodą Bray'a i Kurtz'a.

Dodatkowo w próbkach o naturalnym uwilgotnieniu w pierwszym poziomie próchniczno-mineralnym określono aktywność wybranych enzymów glebowych. Aktywność enzymatyczną dehydrogenaz oznaczono metodą Lenharda według procedury Casidy i in. (Alef, Nannipieri 1995) i wyrażono ją w μmol TFF·kg⁻¹·h⁻¹. Aktywność ureazy określono metodą Tabatabai i Bremnera w mmol NH₄⁺·kg⁻¹·h⁻¹ (Alef, Nannipieri 1995).

Dla każdej powierzchni określono wskaźniki liczbowe na podstawie danych florystycznych. Pierwszy wskaźnik to liczba roślin naczyniowych, będąca sumą gatunków roślin naczyniowych występujących na powierzchniach, na których wykonano zdjęcia fitosocjologiczne. W badaniach obliczono trzy florystyczne wskaźniki różnorodności biologicznej: Margalefa (Sienkiewicz 2010), Shannona i Simpsona (Nagendra 2002). W celu ich obliczenia dokonano transformacji skali Brauna-Blanqueta na wartości procentowe; i tak pokrycie „r” i „+” zastąpiono 0,1%, 1–5%, 2–17,5%, 3–37,5%, 4–62,5%, 5–87,5%.

Wskaźnik Margalefa (MRI) obliczono według następującego wzoru:

$$MRI = (S - 1) / \log N$$

gdzie:

S – liczba wszystkich gatunków,

N – obfitość osobników wyrażona w skali procentowej.

Wskaźnik Shannona ($SHDI$) i Simpsona ($SIDI$) obliczono według wzorów:

$$SHDI = 1 - \sum p_i \times \ln p_i$$

$$SIDI = 1 - \sum p_i \times p_i$$

gdzie:

p_i – udział (proporcja) i -tego gatunku w stosunku do sumy wartości udziałów wszystkich gatunków w zbiorowisku.

Dodatkowo dla każdego płatu, na podstawie ekologicznych liczb roślin naczyniowych opracowanych przez Zarzyckiego i in. (2002) z uwzględnieniem metodyki zaproponowanej przez Różańskiego (1984), obliczono wskaźniki trofizmu Tr i uwil-

gotnienia W . Wskaźniki te wyrażają średni ważony wskaźnik trofizmu (W_{TR}) lub uwilgotnienia (W_W), a wagę stanowi stopień pokrycia dla poszczególnych gatunków.

W analizie wykorzystano siedliskowy indeks glebowy (SIG), który obliczono przy użyciu czterech parametrów charakteryzujących pedon glebowy, tj. całkowitej zawartości części spławianych, sumy zasadowych kationów wymiennych, całkowitej kwasowości odniesionej do zapasu części spławianych w bryle gleby 1,5m³ oraz ilorazu zawartości azotu do stosunku C/N w pierwszym poziomie próchniczno-mineralnym (Brożek et al. 2007, 2011).

3. Wyniki

Podstawowe właściwości poziomu próchniczno-mineralnego gleb analizowanych płatów wyżynnego boru jodłowego przedstawiono w tabeli 2. W płatach tych uwidacznia się duże zróżnicowanie zawartości węgla organicznego i azotu, stopnia rozkładu materii organicznej wyrażonego proporcją C/N, jak również stopnia zakwaszenia, czy zawartości wymiennego glinu oraz kationów zasadowych.

Wraz z dużym zróżnicowaniem właściwości poziomów próchnicznych gleb zmienia się charakterystyka cech roślinnych badanych płatów zespołu *Abietetum albae*. Płaty te cechuje zróżnicowana liczba gatunków roślin naczyniowych (4–15) oraz gatunków mchów (2–8) (ryc. 1). Wyższą liczbą gatunków roślin naczyniowych (14–15) odznaczają się płaty wyżynnego boru jodłowego wykształcone na siedliskach LMśw bądź LM-wyżów w porównaniu do płatów zajmujących uboższe siedlisko BM-wyżów, gdzie zanotowano w runie zaledwie 4–7 gatunków roślin naczyniowych. Badane płaty cechuje typowa dla tego zespołu dobrze rozwinięta warstwa mszyska. Na sześciu powierzchniach badawczych wyróżniono w sumie 14 gatunków mszaków. Na rycinie 1. przedstawiono proporcje pomiędzy liczbą gatunków roślin naczyniowych i mszaków. Na każdej z badanych powierzchni zespołu *Abietetum albae* stwierdzono liczne *Polytrichastrum formosum*, a na 5 z 6 występowały także licznie *Thuidium tamariscinum* i *Pleurozium schreberi* oraz mniej liczny *Plagiothecium denticulatum* (tab. 4).

Z właściwościami utworów glebowych skonfrontowano wskaźniki różnorodności gatunkowej: Shannona, Simpsona i Margalefa oraz liczbę roślin naczyniowych. Badane powierzchnie wyżynnego boru jodłowego charakteryzują się dużą różnorodnością florystyczną (tab. 3). Wskaźniki bioróżnorodności podzieliły powierzchnie na dwie grupy tożsame z trofizmem siedlisk wyrażonym typem siedliskowym lasu oraz produktywnością określoną przez bonitację jodły. Pierwsza z nich – żyźniejsza, o wyższych wartościach wskaźników różnorodności, obejmuje powierzchnie AbP1, AbP5 i AbP6, stanowiące siedliska lasów mieszanych. Powierzchnie te charakteryzują wartości wskaźnika Shannona 3,2–3,3, Simpsona 0,86–0,88, Margalefa 8,9–9,7. Wyższą produktywność siedlisk lasów mieszanych potwierdzają korzystniejsze wskaźniki bonitacyjne jodły (B₁₀₀31–34,4m). Powierzchnie AbP2, AbP3 i AbP4 (zaliczone do siedlisk BM-wyżów) charakteryzowały się niższymi wartościami indeksów bioróżnorodności (odpowied-

Tabela 2. Wybrane właściwości chemiczne i fizyczne poziomów próchniczno-mineralnych

Table 2. Selected physical and chemical properties of humus-mineral horizon

	AbP1	AbP2	AbP3	AbP4	AbP5	AbP6
Grupa mechaniczna	pl	pl	pl	pyz	pyz	pl
Textstural group						
Piasek / Sand	90	92	89	47	38	90
Pył / Silt	8	7	9	46	52	9
II / Clay [%]	2	1	2	7	10	1
Corg.	1,23	3	5,11	4,34	7,44	0,55
Nt	0,03	0,1	0,11	0,2	0,44	0,03
C/N	35	31	45	22	17	16
pH _{H2O}	3,52	3,66	3,58	3,98	4,26	4,12
pH _{KCl}	2,92	2,82	2,65	3,11	3,25	3,38
H	2,8	2,48	5,51	8,16	8,47	2,02
Al	2,47	2,2	4,9	7,9	7,98	1,93
Y	7,34	10,53	38,12	17,04	25,16	4,05
Ca	1,18	7,38	5,31	7,89	49,54	1,9
K	1,04	2,32	2,51	6,15	9,9	0,99
Mg	0,3	0,64	0,48	6,15	4,79	0,22
Na	0,27	0,66	0,43	0,55	0,66	0,21
P	0,88	1,26	1,12	13,48	4,83	5,81

pl – piasek luźny / sand, pyz – pył zwykły / silt, Y – kwasowość hydrolityczna / hydrolytic acidity

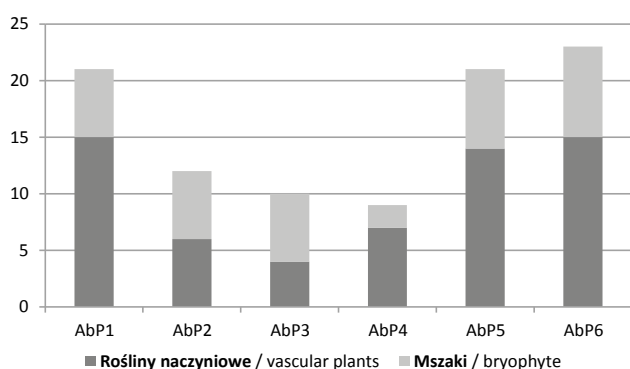
**Rycina 1. Proporcja liczebności gatunków roślin naczyniowych do mszaków na badanych powierzchniach**

Figure 1. The ratio of the number of vascular plant species to mosses on the investigated plots

nio 2,3–2,7; 0,62–0,79 i 4,2–5,4) oraz niższą bonitacją jodły (B_{100} 22,9–30,1 m). Ten podział nie znajduje odzwierciedlenia w liczbie roślin naczyniowych, której zakres waha się w szerokich granicach od 4 (AbP3) do 15 (AbP1, AbP6) (tab. 3).

Wskaźnik trofizmu określony dla analizowanych płatów boru jodłowego wynosi od 2,46 do 3,00. Trzy z badanych

powierzchni charakteryzują niskie wskaźniki trofizmu (2,46–2,50), trzy kolejne nieco wyższe (2,90–3,00). W jednym przypadku obliczone w ten sposób wskaźniki nie pokrywają się zarówno z typami siedlisk wyróżnionymi w systemie typologicznym, jak również z wartościami siedliskowego indeksu glebowego (tab. 3). Drugi z obliczonych wskaźników liczbowych bazujących na ekologicznych liczbach roślin naczyniowych – wskaźnik uwilgotnienia – mieści się w zakresie 2,00–3,45. Najniższą wartość tego wskaźnika obliczono w przypadku powierzchni AbP4 o glebie opadowogłejowej, którą cechowało drobnoziarniste uziarnienie, najwyższe wartości wskaźnika obliczono na powierzchniach AbP1 i AbP2, gdzie wystąpiły piaski naglinowe.

W pracy badano aktywność enzymatyczną dehydrogenaz i ureazy w poziomie akumulacji próchnicy. Aktywność enzymatyczna badanych gleb była silnie zróżnicowana. Aktywność dehydrogenaz mieściła się w zakresie od 3,3–20,7 $\mu\text{g TFF } 1\text{g}^{-1}24\text{h}^{-1}$. Najwyższą aktywnością dehydrogenaz charakteryzowała się gleba powierzchni AbP5, gdzie siedlisko określono jako LMwyżsów. Aktywność ureazy mieściła się w zakresie od 3,7 do 17,8 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{g}^{-1} 2 \text{h}^{-1}$. Najwyższą aktywność ureazy zanotowano na pow. AbP2 zaliczonej do siedliska BMwyżsów.

Tabela 3. Wybrane wskaźniki florystyczne i glebowe w badanych płatach wyżynnego boru jodłowego

Table 3. Selected soil and vegetations indexes in the investigated upland fir forest

Index	SHDI	SIDI	MRI	LRN	W_{TR}	W_W	AU	ADh	SIG	B_{100}
AbP1	3,3	0,87	8,9	15	2,93	3,45	13,4	3,3	24	31,0
AbP2	2,7	0,76	5,0	6	3,00	3,45	17,8	12,0	31	30,1
AbP3	2,7	0,79	4,2	4	2,50	3,25	7,5	6,4	17	28,1
AbP4	2,3	0,62	5,4	7	2,46	2,00	8,5	18,9	24	22,9
AbP5	3,2	0,88	9,7	14	2,9	3,17	13,0	20,7	33	32,7
AbP6	3,3	0,86	9,6	15	2,46	2,66	3,7	11,2	13	34,4

SHDI – wskaźnik różnorodności Shannona, SIDI – wskaźnik różnorodności Simpsona, MRI – wskaźnik Margalefa, LRN – liczba gatunków roślin naczyniowych, W_{TR} – wskaźnik troficzności obliczony na podstawie ekologicznych liczb wskaźnikowych roślin naczyniowych, W_W – wskaźnik wilgotności obliczony na podstawie ekologicznych liczb wskaźnikowych roślin naczyniowych, AU – aktywność ureazy [$\text{mmol NH}_4^+ \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$], ADh – aktywność dehydrogenaz [$\mu\text{mol TFFkg}^{-1} \text{h}^{-1}$], SIG – siedliskowy indeks glebowy, B_{100} – bonitacja jodły wyrażona przez prognozowaną do wieku 100 lat wysokość górną SHDI – Shannon biodiversity index, SIDI – Simpson biodiversity index, MRI – Margalef index, LRN – amount of vascular plant species, W_{TR} – trophic index calculated on the basis of ecological value vascular plant, W_W – moisture index calculated on the basis of ecological value vascular plant, AU – urease activity [$\text{mmol NH}_4^+ \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$], ADh – dehydrogenase activity [$\mu\text{g TPF kg}^{-1} \text{h}^{-1}$], SIG – trophic soil index, B_{100} – site index

4. Dyskusja

Prezentowana analiza potwierdza duże zróżnicowanie warunków siedliskowych, w jakich kształtuje się wyżyny bór jodłowy. Niewielka liczba powierzchni w płatach dobrze zachowanych wyżynnych borów jodłowych oddaje całe spektrum warunków glebowych w tym zespole (od gleb bielicowych poprzez gleby rdzawe, opadowoglejowe aż do uboższych podtypów gleb brunatnych). Wraz ze zróżnicowaniem utworów glebowych, a zwłaszcza ich powierzchniowych poziomów akumulacji próchnicy, zmienia się wydatnie bogactwo roślinności runa, jej skład i kompozycja, chociaż badane płaty zaliczono do tego samego zespołu roślinnego. Bardzo interesujący jest fakt, że analizowane wskaźniki bioróżnorodności (Shannona, Simpsona i Margalefa) różnicowały się w grupach siedlisk zaklasyfikowanych do różnych kategorii żyźności w typologicznym systemie klasyfikacji siedlisk. W literaturze można znaleźć przykłady wykorzystywania wskaźników bioróżnorodności przy porównywaniu różnych ekosystemów, czy różnie zagospodarowanych powierzchni. Przykładowo Magurran (1988) porównywała wartości wskaźników Shannona i Margalefa dla dębów oraz plantacji świerka sitkajskiego występujących w zbliżonych warunkach siedliskowych. Uzyskała wyniki zgodne z intuicyjnym pojmowaniem bioróżnorodności, która powinna być wyższa w lesie liściastym niż na iglastej plantacji. W badaniach wspomnianej autorki oba wskaźniki (Shannona i Margalefa) okazały się wyższe w lesie dębowym (odpowiednio 3,54 i 10,44) w porównaniu ze wskaźnikami charakteryzującymi plantację świerka (2,9 i 4,96). Otrzymane w niniejszej pracy wyniki sugerują możliwość wykorzystania wskaźników bioróżnorodności do rozgraniczania siedlisk różniących się żyźnością i możliwościami lasotwórczymi. Wskaźniki bioróżnorodności podzieliły powierzchnie na siedliska borów mieszanych i lasów mieszanych różniących się

produkcją wyrażoną bonitacją jodły. Sześć powierzchni poddanych analizie to wprawdzie niewielka próba, ale uwzględniając fakt, że prezentowany materiał charakteryzuje całe spektrum zmienności warunków troficznych spotykanych w wyżynnym borze jodłowym, można zaproponować orientacyjne liczby graniczne pomiędzy siedliskami BM i LM. Dla wskaźnika Shannona sugerowana wartość to 3,0, dla wskaźnika Simpsona 0,8 a dla wskaźnika Margalefa 7,0. Oczywiście należałoby sprawdzić, jak będą kształtować się wartości analizowanych wskaźników w sytuacji zniekształcenia siedlisk i niezgodności szaty roślinnej z warunkami glebowymi. W pracy testowano bardzo małą próbę powierzchni, gdzie występował ten sam zespół roślinny, dopasowany do warunków siedliskowych. W sytuacji zgodności szaty roślinnej z biotopem można założyć, że cechy pokrywy roślinnej powinny odzwierciedlać jakość warunków siedliskowych.

Ekologiczne liczby wskaźnikowe przyniosły wyniki nie do końca zgodne z wcześniej przeprowadzonymi analizami różnorodności florystycznej. Zakładano, że wzrost bioróżnorodności będzie związany ze wzrostem trofizmu siedliska oraz do pewnego stopnia ze wzrostem jego uwilgotnienia, a więc cechami opisywanymi przez wartości ekologicznych liczb wskaźnikowych. Zakres obliczonych wskaźników nie pokrywał się jednak z kategoriami siedlisk wyróżnionych w typologii leśnej. Analizując otrzymane wyniki, trzeba mieć na uwadze, że obliczone średnie liczby wskaźnikowe, ważne liczebnością poszczególnych gatunków, charakteryzują ekologiczną reakcję roślin, w tym tę wynikającą z konkurencji wewnątrz- i zewnątrz gatunkowej, a nie wyłącznie aktualne fizjologiczne wymagania gatunków (Roo-Zielińska 2004), które brano pod uwagę tworząc ekologiczne liczby roślin naczyniowych. Wskaźnik trofizmu, określony na podstawie ekologicznych liczb wskaźnikowych, zaniża trofizm siedlisk o około jeden poziom. Trzy z badanych powierzchni scharakteryzowane są przez niższe wskaźniki trofizmu (2,46–2,50),

Tabela 4. Spisy roślinności na badanych powierzchniach

Table 4. List of vegetation in the research plots

	AbP1	AbP2	AbP3	AbP4	AbP5	AbP6
a1						
<i>Abies alba</i>	3	5	5	5	5	5
<i>Betula verrucosa</i>					+	
<i>Fagus sylvatica</i>					1	
<i>Picea abies</i>	+					
<i>Pinus sylvestris</i>	3		+	1		
<i>Quercus robur</i>				1		
a2						
<i>Abies alba</i>	3	+	+	+	3	2
<i>Fagus sylvatica</i>					+	+
b						
<i>Abies alba</i>	+	+	3	1	1	1
<i>Carpinus betulus</i>		r				
<i>Fagus sylvatica</i>				+		1
<i>Frangula alnus</i>		+			+	+
<i>Picea abies</i>	+		+			
<i>Populus tremula</i>					+	
<i>Quercus robur</i>	r	r	+			
<i>Sorbus aucuparia</i>		+	r	+		+
c						
<i>Abies alba</i>	+					+
<i>Anemone nemorosa</i>						+
<i>Athyrium filix-femina</i>	+			+	2	+
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	1				r	
<i>Calamagrostis villosa</i>					+	
<i>Carex pilulifera</i>	+					
<i>Circaea alpina</i>						1
<i>Dryopteris carthusiana</i>	1	+		+	1	1
<i>Dryopteris dilatata</i>					+	
<i>Dryopteris filix-mas</i>					+	
<i>Fagus sylvatica</i>						
<i>Galeobdolon luteum</i>					+	+
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>				r	+	
<i>Luzula pilosa</i>	+	+		+	1	+
<i>Lycopodium annotinum</i>	+					+
<i>Maianthemum bifolium</i>	2	1	1	2	+	3
<i>Milium effusum</i>						+

	AbP1	AbP2	AbP3	AbP4	AbP5	AbP6
<i>Moehringia trinervia</i>						+
<i>Oxalis acetosella</i>	2	+			1	3
<i>Phegopteris connectilis</i>					+	
<i>Pteridium aquilinum</i>	2		+			1
<i>Rubus hirtus</i>	1				2	+
<i>Rubus idaeus</i>	+					+
<i>Rubus sp.</i>				+		
<i>Senecio fuchsii</i>					+	
<i>Trientalis europaea</i>	1	+				+
<i>Vaccinium myrtillus</i>	3	3	2	1	2	1
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>			+			
<i>Veronica officinalis</i>	+					
<i>Viola reichenbachiana</i>	+					
d						
<i>Eurhynchium angustirete</i>	1				1	2
<i>Hylocomium splendens</i>	1					
<i>Hypnum cupressiforme</i>					+	
<i>Leucobryum glaucum</i>		1	2			
<i>Plagiochila asplenioides</i>					1	1
<i>Plagiomnium affine</i>		1				3
<i>Plagiomnium laetum</i>					+	
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	+	+	+	+		
<i>Pleurozium schreberi</i>	3	3	3			1
<i>Polytrichastrum formosum</i>	2	2	2	1	2	2
<i>Polytrichum commune</i>						1
<i>Rhizomnium punctatum</i>						1
<i>Sphagnum girgensohnii</i>			+			
<i>Thuidium tamariscinum</i>	+	3	3		2	1

które według Różańskiego odpowiadają kategorii siedlisk borów, niewyróżnianych na terenach wyżynnych. Trzy kolejne powierzchnie określone są przez wskaźniki trofizmu nieco wyższe (2,90–3,00), odpowiadające – według wspomnianego autora – siedliskom borów mieszanych. Obliczone w ten sposób wskaźniki nie pokrywają się zarówno z typami siedlisk wyróżnionymi w systemie typologicznym, jak i z wartościami siedliskowego indeksu glebowego (tab. 3). Drugi z obliczonych wskaźników liczbowych, bazujących na ekologicznych liczbach roślin naczyniowych Zarzyckiego i in. (2002), to wskaźnik uwilgotnienia, którego wartość mieści się w zakresie 2,00–3,45. W interpretacji podanej przez Ró-

żańskiego taki zakres wskaźnika sugeruje istnienie zarówno siedlisk suchych, które są wyróżniane wyłącznie na terenach nizinnych (wskaźnik <2,6); siedlisk świeżych (wskaźnik z zakresu 2,6–3,3); jak i siedlisk wilgotnych (wskaźnik >3,3). Analiza uwilgotnienia w przypadku wszystkich powierzchni wyżynnego boru jodłowego wskazuje na wariant siedliska świeżego. O takiej diagnozie świadczy brak gatunków diagnostycznych, różnicujących w typologii siedliska wilgotne od świeżych, mimo występowania cech procesów glejowych w przypadku trzech profili.

W prezentowanych badaniach zastosowano także miary jakości biologicznej gleby w postaci aktywności enzymów

glebowych. Aktywność enzymatyczna jest uważana za przydatny wskaźnik oceny gleb, ponieważ odzwierciedla ich mikrobiologiczną aktywność i dobrze reaguje na zachodzące w nich zmiany (Nannipieri et al. 2002, Gianfreda et al. 2005). Analizowane gleby związane z zespołem wyżynnego boru jodłowego są silnie zróżnicowane pod względem aktywności enzymatycznej. Najwyższą aktywnością dehydrogenaz charakteryzowały się gleby, które w powierzchniowym poziomie cechowały się bardziej drobnoziarnistym (pylastym) uziarnieniem oraz wyższą koncentracją próchnicy glebowej. Należy oczekiwać, że w stosunku do gleb silnie piaszczystych są one stabilniej uwilgotnione, tzn. nie są narażone na gwałtowne przesuszenie. Badania Kubisty (1982) wskazują na duże znaczenie temperatury i wilgotności jako czynników wpływających na aktywność dehydrogenaz. Również zdaniem Brzezińskiej i in. (2001) aktywność tych enzymów jest silnie pozytywnie skorelowana z zawartością wody w glebie. Z kolei Kucharski (1997) sądzi, że tempo reakcji enzymatycznych zależy od ilości substancji organicznej. Ilość mineralnych i organicznych koloidów decyduje o pojemności sorpcyjnej i jednocześnie aktywności mikrobiologicznej gleb. Gleby zawierające więcej koloidów (do takich zaliczymy pow. AbP4 i AbP5) stwarzają lepsze warunki do wzrostu i rozwoju mikroorganizmów. Aktywność dehydrogenaz była najniższa w glebie rdzawej bielcowej na siedlisku LMśw terenów nizinnych. Aktywność badanego enzymu potwierdza niższe możliwości produkcyjne tego siedliska w porównaniu do LMwyz, czego dowodem jest bonitacja wzrostowa jodły wyrażona wysokością górną w wieku 100 lat. Drugi z analizowanych enzymów, ureaza, wykazał znaczne zróżnicowanie aktywności w obrębie badanych gleb wyżynnego boru jodłowego, ale nie wykazywał związku z wyróżnionymi typami siedlisk leśnych.

5. Wnioski

1. Zespół wyżynnego boru jodłowego cechuje zróżnicowanie warunków siedliskowych, które znajdują odzwierciedlenie w wartościach wskaźników bioróżnorodności określonych na podstawie charakterystyki pokrywy runa leśnego.

2. Wartości wskaźników bioróżnorodności Shannona, Simpsona i Margalefa są niższe w płatach zajmujących uboższe siedliska BMwyzśw (średnie wartości wskaźników przyjmują wartości 2,57, 0,72 i 4,87), w odróżnieniu od płatów zajmujących żyzniejsze siedliska lasów mieszanych (LMśw i LMwyzśw). Wskaźniki te osiągają w przypadku bogatszych siedlisk wartości odpowiednio: 3,27, 0,87 i 9,40.

3. Wskaźniki obliczone na podstawie ekologicznych liczb roślin naczyniowych nie odzwierciedlają zarówno podziału na grupy troficzne siedlisk, jak i na warianty uwilgotnienia, wyróżnione w typologii siedlisk.

4. Prognozowana do wieku 100 lat wysokość górna jodły w zespole wyżynnego boru jodłowego wykazuje silny związek z warunkami siedliskowymi, jak również z florystycznymi wskaźnikami bioróżnorodności.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródła finansowania

Materiały do pracy zebrano w ramach projektu badawczego PNRF – 68-A1/1/07 finansowanego przez Polsko-Norweski Fundusz Badań Naukowych. Autorzy pracy dziękują dr. inż. Wojciechowi Różańskiemu za wykonanie spisów roślinności runa.

Literatura

- Alef K., Nannipieri P. 1995. Enzyme activities, in: Alef K., Nannipieri P. (eds.) *Methods in applied Soil Microbiology and Biochemistry*, Academic Press, London, New York, San Francisco, 311–366. ISBN 978-0-12-513840-6.
- Barć A., Brzeg A., Uziębło A.K., Wika S. 2015. The upland mixed fir coniferous forest *Abietetum albae* Dziubałowski 1928 in the central part of the Cracow-Częstochowa Upland. Differentiation, regional specificity, structure, dynamics, and maintenance. *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach* 3298, Wyd. UŚ, Katowice. ISBN 978-83-8012-294-9.
- Brożek S., Zwyczaj M., Wanic T., Gruba P., Lasota J. 2007. Kierunki doskonalenia metod rozpoznawania siedlisk leśnych. *Sylwan* 2: 26–34.
- Brożek S., Zwyczaj M., Lasota J., Różański W. 2011. Założenia metodyczne badań związków między glebą a zespołami roślinnymi w lasach. *Soil Science Annual* 62 (4):16–38.
- Brzezińska M., Stępniewska Z., Stępniewski W., Włodarczyk T., Przywara G., Bennicelli R. 2001. Effect of oxygen deficiency on soil dehydrogenase activity (pot experiment with barley). *International Agrophysics* 15(1): 3–7.
- CILP 2012. Instrukcja Urządzenia Lasu. Część II. Instrukcja wyróżniania i kartowania w Lasach Państwowych typów siedliskowych lasu oraz zbiorowisk roślinnych. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa. ISBN 978-83-61633-70-9.
- Gianfreda L., Rao A.M., Piotrowska A., Palumbo G., Colombo C. 2005. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. *Science of the Total Environment* 341(1-3): 265–79. DOI 10.1016/j.scitotenv.2004.10.005.
- Kubista K. 1982. Aktywność dehydrogenaz w glebie i jej zależności od systemu nawadniania. PTG PKN, Komisja Biologii Gleby, Z. III, 27, 89–93.
- Kucharski J. 1997. Relacje między aktywnością enzymów a żyznością gleby, w: *Drobnoustroje w środowisku, występowanie, aktywność i znaczenie* (red. W. Barabas), Akademia Rolnicza, Kraków, 327–347.
- Lasota J., Błońska E. 2013. *Siedliskoznawstwo leśne na nizinach i wyżynach Polski*. Wyd. Uniwersytet Rolniczy, Kraków. ISBN 978-83-60633-82-3.
- Lasota J., Zwyczaj M., Wanic T., Brożek S. 2011. Różnorodność gleb zespołów borów mieszanych. *Soil Science Annual* 62(4): 54–72.
- Macicka-Pawlik T., Wilczyńska W. 1995. Szata roślinna rezerwatu „Jodłowice” i jej zmiany [The vegetation of the „Jodłowice” reserve and its changes]. *Acta Universitatis Wratislaviensis. Prace Botaniczne* 52: 53–66.

- Magurran A.E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Springer-Science + Business Media, B.V., 180 s. DOI 10.1007/978-94-015-7358-0.
- Matuszkiewicz J.M. 2001. *Zespoły leśne Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa. ISBN 83-01-13401-1.
- Mróz W., Labaj A. 2004. Jodłowy bór świętokrzyski, w: *Lasy i bory. Poradniki ochrony siedlisk i gatunków Natura 2000 – podręcznik metodyczny. Tom 5*. Herbich J. (red). Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 274–280. ISBN 83-86564-43-1.
- Mueller-Dombois D., Ellenberg H. 2003. *Aims and methods of vegetation ecology*. The Blackburn Press, Caldwell. 547 pp.
- Nagendra H. 2002. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied Geography* 22: 175–186. DOI 10.1016/S0143-6228(02)00002-4.
- Nannipieri P., Kandeler E., Ruggiero P. 2002. Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil, in: Burns R.G., Dick R.P. (eds.), *Enzymes in the Environment*. Marcel Dekker, New York, 1–33.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991. *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa. ISBN 83-85805-69-9.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1990. *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*. PWRiL, Warszawa. ISBN 83-09-01423-6.
- Roo-Zielińska E. 2004. *Fitoindykacja jako narzędzie oceny środowiska fizycznogeograficznego. Podstawy teoretyczne i analiza porównawcza stosowanych metod*. PAN Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego Prace Geograficzne nr 199, Warszawa. ISBN 83-87954-53-5.
- Róžański W. 1984. Siatka typologiczna lasów niżowych na podstawie średnich wskaźników ekologicznych Zarzyckiego. *Mat. niepublikowane*. Zakład Botaniki i Ochrony Przyrody UR w Krakowie.
- Sienkiewicz J. 2010. Koncepcje bioróżnorodności – ich wymiary i miary w świetle literatury. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 45: 7–29.
- Sikorska E. 2006. Siedliska leśne. Cz. I. Siedliska obszarów niżowych. Wyd. AR, Kraków. ISBN 83-86524-99-5.
- Świerkosz K., Reczyńska K., Boublik K. 2014. Variability of *Abies alba*-dominated forests in Central Europe. *Central European Journal of Biology* 9(5): 495–518. DOI 10.2478/s11535-013-0281-y.
- Zarzycki K., Trzcńska-Tacik H., Róžański W., Szelałg Z., Wołek J., Korzeniak U. 2002. *Ecological Indicator Values of Vascular Plants of Poland*. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków. ISBN 83-85444-95-5.
- Zasada M. 1995. Empiryczny model wzrostu wysokości jodły. *Sylwan* 5: 71–77.

Wkład autorów

J.L. – koncepcja pracy, tekst artykułu; M.W. – obliczenia wskaźników różnorodności biologicznej, analiza danych, udział w pisaniu artykułu; E.B. – zbiór danych glebowych, analizy enzymatyczne, udział w pisaniu artykułu; S.B. – kierownik grantu, w ramach którego zbierano dane wykorzystane w artykule.