

Joanna LEMANOWICZ¹, Agata BARTKOWIAK²

Zakład Biochemii¹, Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb²
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy

Zmienność aktywności fosfataz oraz zawartości fosforu i węgla w wierzchniej warstwie gleby rok po pożarze lasu **Variation in the activity of phosphatases and the content of phosphorus and carbon in the top layer of soil one year after a forest fire**

Słowa kluczowe: pożar, gleba, las, węgiel, fosfor, fosfataza

Key words: burnt, soil, forest, carbon, phosphorus, phosphatase

Wprowadzenie

Wypalanie traw jest zjawiskiem znanym i często praktykowanym w technikach rolniczych i leśnych, co jest prawnie zabronione. W walce z tym zjawiskiem włączyła się także Unia Europejska. Założenia polityki rolnej UE regulują między innymi zagadnienia ochrony środowiska w rolnictwie. Jednym z narzędzi umożliwiających dokonywanie pozytywnych przemian w tym sektorze jest ograniczenie dopłat bezpośrednich i rolno-środowiskowych (Prędecka i inni, 2010). Pożar wywołuje zmiany w strukturze, wilgotności i porowatości

gleby (Miesel i inni, 2012). Wpływa także na obieg węgla w glebach bezpośrednio przez utlenianie wielu związków, jak również pośrednio ograniczając intensywność procesów biologicznych poprzez redukcję liczebności lub całkowite zniszczenie drobnoustrojów (Hamman i inni, 2008). Jednym ze sposobów oceny aktywności mikrobiologicznej jest analiza enzymatyczna gleby (Boerner i inni, 2000). Enzymy glebowe odgrywają kluczową rolę w katalizowaniu reakcji niezbędnych do rozkładu materii organicznej i obiegu składników pokarmowych (Zhang i inni, 2005, Nannipieri i inni, 2011, Medvedeff i inni, 2013, Bartkowiak i Lemanowicz, 2014a). Jednak wysoka temperatura podczas pożarów powoduje inaktywację białek, z których zbudowane są enzymy, a tym samym pośrednio wpływa na obieg składników odżywczych. Następuje szybka minera-

lizacja związków organicznych, które pomimo że nie są pobrane przez rośliny, wymywane są w głąb profilu, doprowadzając do spadku zasobności gleby (De Bano, 2000, Olszowska, 2009). Długoterminowe badania aktywności enzymów glebowych pozwalają na monitorowanie zmian zachodzących w glebie pod wpływem pożarów, dlatego mogą być kluczem do zrozumienia natychmiastowych, późniejszych czy trwałych jego skutków (Ekinci, 2006, Gömöryová i inni, 2008, Olszowska, 2009).

Celem pracy była ocena zmian aktywności fosfataz oraz zawartości węgla organicznego i przyswajalnego fosforu w glebie rok po pożarze lasu, wywołanym niekontrolowanym wypalaniem traw.

Material i metody

Badania zostały przeprowadzone na pożarzysku zlokalizowanym na obszarze podmiejskich kompleksów lasu fordońskiego (53°07'N, 18°06'E) w Bydgoszczy (województwo kujawsko-pomorskie – centralna Polska), zlokalizowanej na lewobrzeżnym tarasie erozyjno-akumulacyjnym pradoliny Wisły. Średnia roczna temperatura powietrza na tych terenach wynosi 8,4°C, z minimum w styczniu (-2,3°C) i maksimum w lipcu (18,3°C). Średnia roczna suma opadów jest mała (około 512 mm), powodując niedobór wody podczas okresu wegetacyjnego.

Pożarzysko powstało w marcu 2012 roku na skutek niekontrolowanego wypalania traw i objęło około 10 ha sąsiadującego terenu lasu fordońskiego. Pożar trwał 6 godzin i miał charakter przyziemny. Próbkę do badań gleb kontrolnych, nieobjętych pożarem (n = 9)

z obszaru 3 ha oraz gleb objętych pożarem (n = 27) pobrano wiosną, rok po pożarze (maj 2013) z poziomu mineralnego A: 0–15 cm. Powierzchnie kontrolną wytypowano w drzewostanach sosnowych sąsiadujących z pożarzyskiem. Badane gleby zaliczono do typu gleb rdzawych, podtypu rdzawych typowych (Komisja V Genezy, Klasyfikacji i Kartografii Gleb PTG, 2011). Na podstawie procentowej zawartości poszczególnych frakcji granulometrycznych (piasku: 88,5–94,0%; pyłu: 5,5–10,3% i ilu: 0,14–0,94%) zakwalifikowano badaną glebę do dwóch grup granulometrycznych – piasku luźnego i piasku słabogliniastego (PTG, 2009). W wytypowanych powierzchniach siedliska boru świeżego (Bśw) dominują drzewostany sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris* L.), które nie uległy uszkodzeniu podczas pożaru.

Próbki glebowe przygotowano zgodnie z normą (PN-ISO 11464. 1999) i oznaczono w nich węgiel organiczny (C_{org}) metodą Tiurina (PN-ISO-14235. 2003), pH potencjometrycznie w 1 M KCl (PN-ISO-10390. 1997), zawartość fosforu przyswajalnego (P_{E-R}) spektrofotometrycznie metodą Egnera-Riehma – DL (PN-R-04023. 1996), aktywność fosfatazy alkalicznej (AIP) [E.C. 3.1.3.1] i fosfatazy kwaśnej (AcP) [E.C. 3.1.3.2] według Tabatabai i Bremnera (1969).

Dla otrzymanych wyników obliczono miary położenia (średnie arytmetyczną i geometryczną, medianę), miary zmienności (odchylenie standardowe – SD, współczynnik zmienności – CV%), miary asymetrii i koncentracji (skośność i kurtozę).

Wartość współczynnika zmienności obliczono według wzoru:

$$CV = (SD / X) \cdot 100\%$$

gdzie:

CV – współczynnik zmienności [%],

SD – odchylenie standardowe,

X – średnia arytmetyczna.

Wartości 0–15, 16–35 i powyżej 36% wskazują odpowiednio na słabą, umiarkowaną lub dużą zmienność. Inhibicję aktywności badanych enzymów obliczono na podstawie wzoru (Kucharski i inni, 2009):

$$I_N = [(A / A_k) - 1] \cdot 100\%$$

gdzie:

I_N – hamowanie aktywności [%],

A – aktywność enzymu w glebie po pożarze,

A_k – aktywność enzymu w kontroli (glebie nieobjętej pożarem).

Wszystkie oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach. Uzyskane wyniki poddano jednoczynnikowej analizie wariancji w układzie całkowicie losowym, gdzie poziomami czynnika było miejsce pobierania prób (kontrola i pożaryzisko). Istotność różnic między średnimi weryfikowano testem Tukeya na poziomie ufności $p = 0,05$. Do obliczeń wykorzystano program FR-ANALWAR na bazie Microsoft Excel. W pracy określono wielkość i istotność współczynników korelacji prostej Pearsona między badanymi parametrami, a w celu oceny związku między nimi wykonano analizę głównych składowych (Principal Component Analysis PCA), wykorzystując program komputerowy Statistica 10,0.

Wyniki badań i dyskusja

Gleby pobrane z stanowiska kontrolnego charakteryzowały się odczynem od

TABELA 1. pH gleby

TABLE 1. Soil pH

Wartość/Value	Kontrola Control	Pożar/Burnt
Minimum/Min	3,83	4,36
Maksimum/Max	5,31	5,70

silnie kwaśnego do kwaśnego (tab. 1), podobnie jak w pożaryzisku (Centrum Informatyczne Lasów Państwowych, 2000). Według Boerner i innych (2009), Certini (2005) pożar silnie modyfikuje odczyn gleb i przyczynia się do wzrostu wartości pH. Za zmianę odczynu odpowiada wzrost zawartości węglanów i wodorotlenków oraz znaczne straty kwasów organicznych w wyniku oddziaływania wysokich temperatur, jak również jest to związane z wyższym pH popiołu obecnego ze spalonego materiału roślinnego. Według Knoeppa i innych (2005), odczyn gleby po kilku latach kształtuje się na poziomie zbliżonym do tego sprzed pożaru.

W próbach pobranych z poziomu mineralnego zawartość węgla organicznego mieściła się w granicach 7,40–17,93 g·kg⁻¹ (średnio 12,34 g·kg⁻¹) przy odchyleniu standardowym (SD) 2,95 (tab. 2). Zakres ten wskazuje na umiarkowaną zmienność wyników, czego potwierdzeniem jest współczynnik zmienności (CV = 23,94%). Analiza rozkładu wykazała, że większość wyników jest wyższa od wartości średniej, na co wskazuje wyższa od średniej arytmetycznej wartość mediany (12,60). W celu określenia kierunku i siły symetrii uzyskanych wyników obliczono skośność (współczynnik asymetrii). Wartość tego parametru statystycznego była ujemna (-0,217), co również wskazuje na lewostronną asymetrię. Dla zawartości C_{org}

kurtoza (miara koncentracji) była ujemna (-0,529), co świadczy o mniejszej koncentracji wyników wokół średniej niż w przypadku rozkładu normalnego.

Kilkugodzinny pożar wywarł wpływ na zawartość C_{org} w glebie, która była większa o 16% w porównaniu do gleby kontrolnej (tab. 2), co było zgodne z badaniami Zhao i innych (2012). Również przeprowadzona analiza wariancji wykazała istotny wpływ pożaru na kształtowanie się zawartości C_{org} w glebie (tab. 4). Według Ansley i innych (2006), zwiększenie zawartości C_{org} po pożarach może być spowodowane wzrostem produkcji bardzo drobnych korzeni trawy, które mogły zostać przesiane przez 2-milimetrowe sito. W badaniach Boerera i innych (2005) wykazano 20–40% wzrost zawartości C_{org} w glebie pobranej jesienią, dwa lata po pożarze, co według Andersona i innych (2004), może

stymulować mikrobiologiczne procesy glebowe.

Zawartość fosforu w glebie pobranej rok po pożarze mieściła się w zakresie 26,24–86,32 $mg \cdot kg^{-1}$ przy średniej wartości wynoszącej 58,49 $mg \cdot kg^{-1}$ (tab. 2). Współczynnik CV (33,34%) obliczony dla P znajdował się w klasie średniej (CV wynoszące 15–35%). Świadczy to o umiarkowanej zmienności zawartości tego pierwiastka, przy czym większość uzyskanych wyników jest niższa od średniej arytmetycznej, na co wskazuje wartość mediany (56,46) niższa od średniej, a także dodatnia wartość skośności (0,12) mówiąca o asymetrii prawostronnej. Stwierdzono pięciokrotnie większą zawartość fosforu przyswajalnego w glebie objętej pożarem w porównaniu do kontroli, a przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że różnice między pożarzyskiem a kontrolą są istotne statystycznie (tab. 4). Według Certini (2005),

TABELA 2. Parametry statystyczne zawartości węgla organicznego (C_{org}) i fosforu przyswajalnego (P_{E-R})

TABLE 2. Statistical parameters of the content of the organic carbon (C_{org}) and available phosphorus (P_{E-R})

Parametr/Parameter	C_{org} [$g \cdot kg^{-1}$]		P_{E-R} [$mg \cdot kg^{-1}$]	
	Kontrola Control	Pożar Burnt	Kontrola Control	Pożar Burnt
Liczba próbek/Number of samples (n)	9	27	9	27
Minimum/Min	6,90	7,40	6,58	26,24
Maksimum/Max	13,70	17,93	11,73	86,32
Średnia arytmetyczna/Arithmetic. mean	10,65	12,34	9,08	58,49
Średnia geometryczna Geometric. mean	10,28	11,99	8,92	54,99
Mediana/Median	11,60	12,60	9,26	56,46
SD	2,81	2,95	1,79	19,50
CV [%]	26,42	23,94	19,76	33,34
Skośność/Skewness	-0,54	-0,217	-0,07	0,12
Kurtoza/Kurtosis	-1,69	-0,529	-1,18	-1,18
Wariancja/Variance	7,92	8,73	3,22	380,42
Zwiększenie/Increase [%]	16		544	

SD – odchylenie standardowe/standard deviation; CV – współczynnik zmienności/coefficient of variation

Turrión i innych (2010), ogień powoduje powstanie dużych ilości popiołu a tym samym wpływa istotnie na wzrost zawartości fosforu w glebie, poprzez przekształcanie jego organicznych związków do mineralnych. Zmienność temperatury i prędkości ognia z powodu zróżnicowanej wilgotności gleby może mieć wpływ na zakres zmian składników odżywczych w glebie (Galang i inni, 2010). Jednak w przypadku dużych i intensywnych opadów atmosferycznych natychmiast po pożarze część mineralnego fosforu może przemieszczać się w głąb profilu glebowego, co w swoich badaniach wykazali Resende i innych (2011).

Aktywność fosfatazy alkalicznej mieściła się w szerokim zakresie (0,461–1,337 mM pNP·kg⁻¹·h⁻¹), na co wskazuje większa wartość współczynnika zmienności (CV = 45,28%) w porównaniu do aktywności fosfatazy kwaśnej (CV = 23,97%) (zakres od 1,00 do 2,086 mM pNP·kg⁻¹·h⁻¹). Ma to związek z różną temperaturą gleby podczas pożaru (Prędecka i inni, 2010). Autorzy ci zaobserwowali zależność odwrotnie proporcjonalną między temperaturą pożaru a aktywnością enzymatyczną – najniższa aktywność enzymatyczna występowała w centrum pożaru, silniejsza w ekotonie (obszar graniczny). W glebie pobranej z miejsca nieobjętego pożarem współczynniki zmienności dla aktywności fosfatazy alkalicznej, jak i kwaśnej były odpowiednio: umiarkowane (CV = 16,06%) oraz niskie (CV = 3,223%), co wskazuje na średnią i dużą jednorodność uzyskanych wyników. Porównanie wartości średnich arytmetycznych i median badanych fosfomonoesteraz potwierdziło wyniki uzyskane przez obliczenie współczynnika asymetrii (skośności).

Dla obu enzymów stwierdzono asymetrię prawostronną (skośność dodatnia). Na podstawie wartości kurtozy dla badanych enzymów (wartości ujemne) stwierdzono niższą koncentrację wokół średniej arytmetycznej.

W przeprowadzonych badaniach jednoczynnikowa analiza wariancji wykazała istotne różnice w poziomie aktywności oznaczanych enzymów w zależności od miejsca pobrania prób glebowych (kontrola–pożarysko) – tabela 4. Na podstawie uzyskanych średnich arytmetycznych aktywności obu fosfataz zarówno w glebie nieobjętej pożarem, jak i rok po pożarze, obliczono indeks inhibicji – I_N (Kucharski i inni, 2009). Stwierdzono, że w glebie pobranej z obszaru po pożarowego nastąpiła duża inhibicja obu enzymów zarówno fosfatazy alkalicznej (–54,4%), jak i kwaśnej (–41,5%) – tabela 3. Duża inaktywacja badanych enzymów glebowych spowodowana pożarem może z czasem doprowadzić do poważnego deficytu podstawowych składników odżywczych, szczególnie fosforu mineralnego. Podobną zależność w swoich badaniach zauważyli Boerner i Brinkman (2003) oraz Olszowska (2009), wiążąc to z wpływem wysokiej temperatury na zniszczenie i redukcję drobnoustrojów glebowych, a tym samym do spadku intensywności mikrobiologicznych procesów rozkładu substancji organicznej, w tym również zmniejszenia aktywności enzymów glebowych (Boerner i inni, 2005). Badania Olszowskiej (2002) wskazują również, że proces regeneracji gleb zniszczonych pożarem po dziesięciu latach nie został zakończony.

Dla określenia zależności między badanymi zmiennymi wykonano analizę korelacji prostej. Na podstawie ana-

TABELA 3. Parametry statystyczne aktywności fosfatazy alkalicznej (AIP) i kwaśnej (AcP)
TABLE 3. Statistical parameters of the activity alkaline (AIP) and acid (AcP) phosphatase

Parametr Parameter	AIP		AcP	
	mM pNP·kg ⁻¹ ·h ⁻¹			
	Kontrola Control	Pożar Burnt	Kontrola Control	Pożar Burnt
Liczba próbek/Number of samples (n)	9	27	9	27
Minimum/Min	1,419	0,461	2,515	1,000
Maksimum/Max	2,093	1,337	2,719	2,086
Średnia arytmetyczna/Arithmetic. mean	1,729	0,789	2,620	1,534
Średnia geometryczna/Geometric. mean	1,704	0,721	2,619	1,492
Mediana median	1,628	0,562	2,624	1,457
SD	0,276	0,357	0,084	0,367
CV [%]	16,06	45,28	3,223	23,97
Skośność/Skewness	0,578	0,709	-0,093	0,279
Kurtoza/Kurtosis	-1,671	-1,518	-1,831	-1,329
Wariancja/Variance	0,076	0,127	0,007	0,135
I _N [%]	-54,4		-41,5	

SD – odchylenie standardowe/standard deviation; CV – współczynnik zmienności/ coefficient of variation, I_N – indeks inhibicji/inhibition index

TABELA 4. Analiza wariancji badanych parametrów
TABLE 4. Analysis of variance the studied parameters

Test	C _{org}	P _{E-R}	AIP	AcP
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	3,38	18,11	0,472	0,294

lizej statystycznej wyników stwierdzono istotnie dodatnią korelację między zawartością C_{org} a P_{E-R} w glebie objętej pożarem (r = 0,403, p < 0,05) – tabela 5. Zwykle substancja organiczna intensyfi-

kuje rozpuszczalność fosforanów, przez co zwiększa się ich zawartość w glebie (Bartkowiak i Lemanowicz, 2014b). Dodatnią korelację uzyskano również mię-

TABELA 5. Współczynniki korelacji prostoliniowej między badanymi parametrami
TABLE 5. Coefficient of linear correlation between parameters soil

Zmienne/Variables		Równanie regresji/Equation	r	r ²
Zależna/Dependent	Niezależna/Independent			
Kontrola/Control				
C _{org}	AcP	y = 23.542x - 51.04	0.706	0.499
Pożar/Burnt				
P _{E-R}	AcP	y = -46.506x + 129.85	-0.877	0.769
C _{org}	AIP	y = 5.7102x + 7.836	0.691	0.477
C _{org}	P _{E-R}	y = 0.0612x + 8.767	0.403	0.162

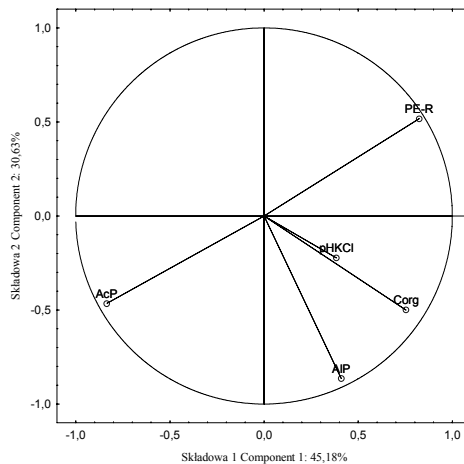
C_{org} – węgiel organiczny/organic carbon; P_{E-R} – fosfor przyswajalny/available phosphorus; AIP – fosfataza alkaliczna/alkaline phosphatase; AcP – fosfataza kwaśna/acid phosphatase

dzy zawartością C_{org} a aktywnością fosfatazy alkalicznej ($r = 0,691$, $p < 0,05$).

W badaniach Aona i Colaneriego (2001) stwierdzono istotną dodatnią korelację między zawartością w glebie węgla organicznego a aktywnością zarówno fosfatazy alkalicznej, jak i kwaśnej. Autorzy ci stwierdzają, że aktywność enzymów zależy bezpośrednio od zawartości w glebie substancji organicznych, które chronią enzymy glebowe przed niekorzystnymi czynnikami i wpływa na ich aktywność. Stwierdzono istotną ujemną zależność między aktywnością w glebie fosfatazy kwaśnej a zawartością P_{E-R} ($r = -0,877$, $p < 0,05$) – tabela 5. Podwyższony, z powodu pożaru, poziom nieorganicznego fosforu w glebie działa jak inhibitor kompetencyjny, obniżając aktywność fosfataz (Fukuda i inni, 2001). Jednocześnie na skutek wysokiej temperatury obniżeniu ulega liczebność drobnoustrojów glebowych będących jednym ze źródeł enzymów. Relacje między badanymi parametrami a aktywnością fosfomonoesteraz wskazują, że są one determinowane głównie stanem środowiska glebowego kształtowanego poprzez pożar.

Na podstawie przeprowadzonej analizy głównych składowych można przekształcić pięć zmiennych w dwie składowe ortogonalne, które łącznie wyjaśniają 75,81% ogólnej wariancji (rys. 1).

Ze względu na fakt, że uzyskane wyniki badań właściwości chemicznych i enzymatycznych gleby były wyrażone w różnych jednostkach, składowe główne obliczono z wykorzystaniem macierzy korelacji. Pierwszą główną składową wyjaśniającą 45,18% wariancji stanowią zawartości węgla organicznego i fosforu, aktywność fosfatazy kwaśnej oraz



RYCINA 1. Rozmieszczenie zawartości węgla organicznego (C_{org}), fosforu przyswajalnego (P_{E-R}), pH w KCl i aktywności fosfatazy alkalicznej (AIP) i fosfatazy kwaśnej (AcP) w układzie dwóch głównych składowych

FIGURE 1. Distribution of the content of organic carbon (C_{org}), available phosphorus (P_{E-R}), pH in KCl and the activity of the alkaline (AIP) and acid phosphatase (AcP) for two principal components

pH w KCl, przy czym aktywność AcP i zawartość P_{E-R} były silnie ujemnie ze sobą skorelowane. Na wartość drugiej składowej (wyjaśniająca 30,63% wariancji) natomiast wpływa aktywność alkalicznej fosfatazy. Najkrótszy wektor zmiennej pierwotnej pH w KCl świadczy o najmniejszym jej wkładzie (zasobie informacyjnym) w budowę pierwszej składowej.

Wnioski

1. Stwierdzono zwiększenie zawartości węgla organicznego i fosforu przyswajalnego w glebie pobranej rok po pożarze w porównaniu do kontroli.
2. Pożar wpłynął na obniżenie aktywności fosfatazy alkalicznej i fos-

fatazy kwaśnej – enzymów odpowiedzialnych za przemiany fosforu w glebie. Rok po pożarze nie nastąpił proces regeneracji aktywności fosfatowej gleby, jednak zwiększenie zawartości węgla organicznego może wzmocnić aktywność biologiczną gleby.

3. Reakcja badanych fosfomonoesteraz wyrażona inhibicją aktywności na pożarzyskach wskazuje na przydatność badań enzymatycznych jako czułego wskaźnika reakcji środowiska glebowego na czynniki stresowe. W związku z tym należałoby kontynuować badania pozwalające na monitoring długookresowy i identyfikację zachodzących trendów.

Literatura

- Anderson, M., Michelsen, A., Jensen, M. i Kjeller, A. (2004). Tropical savannah woodland: effects of experimental fire on soil microorganisms and soil emissions of carbon dioxide. *Soil Biology Biochemistry*, 36, 849-858.
- Ansley, R.J., Boutton, T.W. i Skjemstad, J.O. (2006). Soil organic carbon and black carbon storage and dynamics under different fire regimes in temperate mixed-grass savanna. *Global Biogeochemical Cycles*, 20, GB3006. doi:10.1029/2005GB002670.
- Aon, M.A. i Colaneri, A.C. (2001). Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, 18 (3), 255-270.
- Bartkowiak, A. i Lemanowicz, A. (2014a). Application of biochemical testes to evaluate the pollution of the Unislaw Basin soils with heavy metals. *International Journal Environmental Research*, 8(1), 93-100.
- Bartkowiak, A. i Lemanowicz, J. (2014b). Fosfor i metale ciężkie w glebach pod wpływem niekontrolowanych wysypisk śmieci. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 64, 23(2), 185-194.
- Boerner, R.E.J., Decker, K.L.M. i Sutherland, E.K. (2000). Prescribed burning effects on soil enzyme activity in a southern Ohio hardwood forest: a landscape-scale analysis. *Soil Biology Biochemistry*, 32, 899-908.
- Boerner, R.E.J. i Brinkman, J.A. (2003). Fire frequency and soil enzyme activity in southern Ohio oak-hickory forests. *Applied Soil Ecology*, 23, 137-146.
- Boerner, R.E.J., Brinkman, J.A. i Smith, A. (2005). Seasonal variations in enzyme activity and organic carbon in soil of a burned and unburned hardwood forest. *Soil Biology Biochemistry*, 37, 1419-1426.
- Boerner, R.E.J., Hart, S. Huang, J. (2009). Impacts of fire and fire surrogate treatments. *Ecology Applied*, 19, 338-358.
- Centrum Informatyczne Lasów Państwowych. (2000). *Klasyfikacja gleb leśnych Polski*. Warszawa: CILP.
- Certini, G. (2005). Effect of fire on properties of soil – A review. *Oecologia*, 143, 1-10.
- De Bano, L.F. (2000). The role of fire and soil heating on water repellency in wild and environments: a review. *Journal Hydrology*, 231-232, 195-206.
- Ekinci, H. (2006). Effect of forest fire on some physical, chemical and biological properties of soil in Çanakkale, Turkey. *International Journal Agriculture Biology*, 8 (1), 102-106.
- Fukuda, T., Osaki, M., Shinano, T. i Wasaki, J. (2001). Cloning and characterization of two secreted acid phosphatases from rice call. W J. Walter i inni (red.) *Plant nutrition: Food security and sustainability of agro-ecosystems through basic and applied research*. (strony 34-35). Netherlands: Kluwer Academic.
- Galang, M.A., Markewitz, D. i Morris, L.A. (2010). Soil phosphorus transformations under forest burning and laboratory heat treatments. *Geoderma*, 155, 401-408.
- Gömöryová, E., Střelcová, K., Škvarenina, J., Bebej, J. i Gömöry, D. 2008. The impact of wind throw and fire disturbances on selected soil properties in the Tatra National Park. *Soil Water Research*, 3(1), 74-80.
- Hamman, S.T., Burke, I.C. i Knapp, E.E. (2008). Soil nutrients and microbial activity after early and late season prescribed burns in a Sierra Nevada mixed conifer forest. *Forest Ecology Management*, 256, 367-374.

- Komisja V Genezy, Klasyfikacji i Kartografii Gleb PTG. (2011). Systematyka Gleb Polski. Wyd. 5. *Roczniki Gleboznawcze*, 62(3), 71-142.
- Knoepp, J.D., Deban, L.F. i Neary, D.G. (2005). Soil chemistry. W D.G. Neary i inni (red.), *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soil and water*. General Technical Report RMRS-GTR-42 4. (strony 53-71). Rocky Mountain: USDA Forest Service.
- Kucharski, J., Boros, E. i Wyszowska, J. (2009). Biochemical activity of nickel-contaminated soil. *Polish Journal Environmental Studies*, 18 (6), 1039-1044.
- Miesel, J.R., Goebel, P.C., Corace, R. G., Hix, D.M., Kolka, R., Palik, B. i Mladenoff, D. (2012). Fire effects on soils in Lake States Forests: A Compilation of published research to facilitate long-term investigations. *Forests*, 3, 1034-1070.
- Medvedeff, C.A., Inglett, K.S., Kobziar, L.N. i Inglett, P.W. (2013). Impacts of fire on microbial carbon cycling in subtropical wetlands. *Fire Ecology*, 9 (1), 21-37.
- Nannipieri, P., Giagnoni, L., Landi, L. i Renella, G. (2011). Role of phosphatase enzymes in soil. W E.K. Bunemann (red.). *Phosphorus in Action, Soil Biology*. (strony 215-243). Berlin: Springer-Verlag.
- Olszowska, G. (2002). Wpływ pożaru w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie na aktywność enzymatyczną gleb. *Roczniki Gleboznawcze*, 53(3/4), 97-104.
- Olszowska, G. (2009). Enzyme activity of soils after large-scale fires under varying habitat conditions using different methods of forest regeneration. *Forest Research Papers*, 70, 183-188.
- PN-R-04023. (1996). Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych. Warszawa: Polski Komitet Normalizacji.
- PN-ISO-10390. (1997). Oznaczanie pH gleby. Warszawa: Polski Komitet Normalizacji.
- PN-ISO 11464. (1999). Jakość gleby. Wstępne przygotowanie próbek do badań fizyczno-chemicznych. Warszawa: Polski Komitet Normalizacji.
- PN-ISO-14235. (2003). Jakość gleby. Oznaczanie zawartości węgla organicznego przez utlenienie dwuchromianu potasu (VI) w środowisku kwasu siarkowego (VI). Warszawa: Polski Komitet Normalizacji.
- Prędecka, A., Chojnicki, J. i Russel, S. (2010). Wpływ wiosennego wypalania traw na liczebność bakterii i aktywność dehydrogenaz glebowych. *Nauka Przyroda Technologie*, 6, 4 #93, 1-9.
- PTG. (2009). Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008. *Roczniki Gleboznawcze*, 60(2), 5-16.
- Resende, J.C.F., Markewitz, D., Klink, C.A., Bustamante, M.M.D. i Davidson, E.A. (2011). Phosphorus cycling in a small watershed in the Brazilian Cerrado: impacts of frequent burning. *Biogeochemistry*, 105, 105-118.
- Tabatabai, M.A. i Bremner, J.M. (1969). Use of p-nitrophenolphosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology Biochemistry*, 1, 301-307.
- Turrion, M.B., Lafuente, F., Aroca, M.J., López, O., Mulas, R. i Ruipérez, C. (2010). Characterization of soil phosphorus in a fire-affected forest Cambisol by chemical extractions and 31P-NMR spectroscopy analysis. *Science Total Environmental*, 408, 3342-3348.
- Zhang, Y.M., Wu, N., Zhou, G.Y. i Bao, W.K. (2005). Changes in enzyme activities of spruce (*Picea balfouriana*) forest soil as related to burning in the eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Applied Soil Ecology*, 30, 215-225.
- Zhao, H., Tong, D.Q., Lin, Q., Lu, X. i Wang, G. (2012). Effect of fires on soil organic carbon pool and mineralization in a Northeastern China wetland. *Geoderma*, 189-190, 532-539.

Streszczenie

Zmienność aktywności fosfatyz oraz zawartości fosforu i węgla w wierzchniej warstwie gleby rok po pożarze lasu. Celem pracy była ocena zmian aktywności fosfatazy alkalicznej i fosfatazy kwaśnej oraz zawartości węgla organicznego (C_{org}) i fosforu przyswajalnego dla roślin (P_{E-R}) w glebie rok po pożarze wywołanym niekontrolowanym wypalaniem traw. Stwierdzono niewielki wzrost (14%) węgla organicznego

go w glebie rok po pożarze, w porównaniu z kontrolą, a także 84% wzrost zawartości przyswajalnego fosforu. Na podstawie wyników aktywności fosfomonoesteraz obliczono współczynnik inhibicji (I_N) dla tych enzymów. Stwierdzono dużą inaktywację fosfatazy alkalicznej (-54,4%) i fosfatazy kwaśnej (-41,5%) w glebie rok po pożarze. Uzyskano istotnie dodatnią wartość współczynnika korelacji między zawartością węgla organicznego i przyswajalnego fosforu ($r = 0,403$, $p < 0,05$) oraz istotnie dodatnią zależność między aktywnością fosfatazy alkalicznej zawartością węgla organicznego ($r = 0,691$, $p < 0,05$) oraz ujemną korelację między aktywnością kwaśnej fosfatazy i przyswajalnego fosforu ($r = -0,877$, $p < 0,05$).

Summary

Variation in the activity of phosphatases and the content of phosphorus and carbon in the top layer of soil one year after a forest fire. The aim of the paper has been to evaluate the changes the activity of alkaline and acid phosphatase and the content of organic carbon (C_{org}) and phosphorus available to plants (P_{E-R}) in forest soil caught by fire due to an uncontrolled spring grass

burning. The fire resulted in a slight increase (14%) in the content of carbon of organic compounds, as compared with the control (the place not covered by fire) as well as 84% increase in the content of available phosphorus. Based on the results of the activity of phosphomonoesterases, there was calculated the index of inhibition (I_N) of those enzymes. It was found that in the soil sampled from the area a year after the fire there was a high inactivation of alkaline (-54.4%) and acid phosphatase (-41.5%). There were received significant positive coefficients of the line between the content of carbon of organic compounds and available phosphorus ($r = 0.403$, $p < 0.05$). There was found a significant positive dependence between the activity of alkaline in burnt soil and the content of organic carbon ($r = 0.691$, $p < 0.05$) and negative coefficients between the of acid phosphatase and available phosphorus ($r = -0.877$, $p < 0.05$).

Author's address:

Joanna Lemanowicz
Zakład Biochemii, Wydział Rolnictwa
i Biotechnologii
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
ul. Bernardyńska 6, 85-029 Bydgoszcz
e-mail: jl09@interia.pl