

## WPŁYW DODATKU LIŚCI BRZOZY BRODAWKOWATEJ, ROBINII AKACJOWEJ I JARZĘBA POSPOLITEGO NA ZMIANY WŁAŚCIWOŚCI REKULTYWOWANYCH PO POŻARZE GLEB LEŚNYCH W DWÓCH TYPACH SIEDLISK

Elżbieta Królak<sup>1</sup>, Beata Piskorz<sup>1</sup>, Ewelina Kotowska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zakład Ekologii i Ochrony Środowiska, Instytut Biologii, Wydział Przyrodniczy, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, 08-110 Siedlce, ul. Prusa 12, e-mail: kruell@o2.pl

### STRESZCZENIE

Rekultywacja gleb po pożarze jest procesem długotrwałym. O jej skuteczności decyduje stopień degradacji gleby, rodzaj wprowadzanych zabiegów, a także typ siedliska. Celem badań była analiza zmian odczynu gleby, zawartości węgla, azotu i fosforu pod wpływem dodatku liści trzech gatunków drzew do rekultywowanych po pożarze gleb leśnych. Badania prowadzono w dwuletnim cyklu w siedlisku boru suchego i świeżego. Ustalono, że spośród wprowadzonych do gleby liści najszybciej rozkładają się liście brzozy brodawkowatej i robinii akacjowej. Procesy dekompozycji wprowadzonej materii organicznej wolniej zachodzą w siedlisku boru suchego niż świeżego.

**Słowa kluczowe:** liście, las iglasty, gleba, chemiczne właściwości, nadleśnictwo Sokołów

### INFLUENCE OF VERRUCOSE BIRCH, BLACK LOCUST AND MOUNTAIN ASH LEAVES ON THE PROPERTIES OF FOREST SOILS RECLAIMED AFTER A WILDFIRE IN TWO TYPES OF HABITATS

#### ABSTRACT

Reclaiming land after a wildfire is a long-lasting process. Its effectiveness depends on the degree of soil degradation, reclamation measures and the type of habitat. The aim of the study was to analyse the changes in the reaction of soil and the contents of carbon, nitrogen and phosphorus after adding the leaves of three tree species to soil undergoing reclaiming process. The studies were carried out for two years in two habitats: fresh and dry coniferous forests. Verrucose birch and black locust leaves decomposed faster than mountain ash leaves. Organic matter decomposition is generally faster in moist areas of fresh coniferous forests than in dry ones.

**Keywords:** leaves, coniferous forest, soil, chemical parameters, Sokołów inspectorate

### WSTĘP

Jednym z czynników powodującym degradację środowiska leśnego jest pożar. Na skutek pożarów ekosystemów leśnych zmieniają się cechy morfologiczne, właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne środowiska glebowego. W celu rekultywacji takich terenów stosuje się metody naturalnej sukcesji [Dobrowolska 2008]. Zdaniem Olejarskiego [2003] i Sienkiewicza [1979] zdecydowanie lepsze efekty daje odpowiednie przygotowanie gleby oraz zastosowanie konkretnego nasadzenia. Harasimiuk i Groblewski [2005]

zalecają wprowadzenie gatunków drzew liściastych, co może poprawić właściwości gleby lub przeciwdziałać pogorszeniu warunków siedliskowych. Bardzo korzystnym zabiegiem przyspieszającym regenerację gleby, inicjującym procesy glebotwórcze jest również nawożenie organiczne np. torfem z torfowiska, ściółką iglastą czy liśćmi drzew. Czynność ta prowadzi do wzbogacenia gleby w substancję organiczną i zwiększenia jej pojemności sorpcyjnej [Zwoliński i Hawryś 2002]. Proces rekultywacji gleb na pożarzyskach trwa zazwyczaj kilkanaście lat. O jego efektywności decyduje rodzaj stosowanych zabiegów re-

kultywacyjnych, typ siedliska wpływający m.in. na warunki wilgotnościowe, aktywność mikroorganizmów glebowych [Zwoliński i in. 2004].

W literaturze podkreśla się rolę niektórych gatunków drzew, np. brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth) [Jaworski i Kornik 2011], robinii akacjowej (*Robinia pseudoacacia* L.) [Rahmonov 2009] w rekultywacji gruntów zdegradowanych. Gatunki te mają małe wymagania ekologiczne, szybko adoptują się do skrajnych warunków siedliskowych, często występują na glebach piaszczystych. Do gatunków charakteryzujących się szeroką amplitudą ekologiczną, zalicza się także jarzęb pospolity (*Sorbus aucuparia* L.) [Lasota i in. 2014].

W 1999 roku na terenie Nadleśnictwa Sokołów Podlaski w leśnictwie Treblinka miał miejsce pożar lasu. Swym zasięgiem objął on około 50 ha w dwóch typach siedlisk: boru suchego i boru świeżego. Podjęte w 2000 roku działania na zdegradowanym obszarze połączone z nasadzeniem sosny miały na celu rekultywację terenu i przywrócenie spalonej powierzchni funkcji użytkowej. Mimo upływu kilkunastu lat od czasu podjęcia działań naprawczych w zdegradowanym ekosystemie, szczególnie w siedlisku boru suchego, obserwuje się bardzo słabe przyrosty sosny.

W ramach współpracy z Nadleśnictwem Sokołów Podlaski podjęto badania, których celem była ocena wpływu materii organicznej wprowadzonej, w postaci liści robinii akacjowej, brzozy brodawkowatej i jarzęba pospolitego, do gleby rekultywowanej po pożarze na zmiany wybranych właściwości fizyczno-chemicznych w siedliskach boru suchego i świeżego.

Zakres badań obejmował:

- wybór dwóch typów siedlisk, reprezentowanych przez bór suchy i bór świeży,
- założenie eksperymentu w obu typach siedlisk, polegającego na wprowadzeniu na poletka doświadczalne materii organicznej w postaci liści drzew: robinii akacjowej, brzozy brodawkowatej i jarzęba pospolitego,
- oznaczenie zawartości węgla organicznego, azotu i fosforu w liściach wprowadzanych do gleby,
- określenie wybranych właściwości fizyczno-chemicznych gleb (odczyn, zawartość węgla organicznego, zawartość azotu i fosforu) na stanowiskach kontrolnych i doświadczalnych po upływie roku i dwóch lat od założenia eksperymentu,

- porównanie wyników badań w aspekcie: rodzaj siedliska, rodzaj wprowadzonej materii organicznej, zmiany właściwości chemicznych gleb w 2-letnim okresie.

## TEREN BADAŃ

Badania przeprowadzono na terenie leśnictwa Treblinka (52°65'88"N, 22°02'58"E), położonego w nadleśnictwie Sokołów, wchodzącego w skład Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Warszawie.

W końcu października 2012 roku na terenie leśnictwa wyznaczono do badań dwa stanowiska pomiarowe, dotknięte w 1999 r. pożarem. Pierwsze stanowisko zlokalizowano w siedlisku boru suchego, drugie stanowisko wytypowano w siedlisku boru świeżego. Wyboru stanowisk badawczych dokonano z nadleśniczym.

Na obszarze każdego z wyżej wymienionych stanowisk założono taki sam eksperyment. W pierwszej kolejności w obu siedliskach wybrano po 6 poletek doświadczalnych, na których wyznaczono powierzchnie eksperymentalne o boku 1×1 m. Trzy poletka w każdym siedlisku oznaczono jako kontrolne, na 3 poletkach wprowadzono odpowiednio po 1,5 kg liści robinii akacjowej, brzozy i jarzęba. Każde poletko starannie przekopano szpadlem, do głębokości około 20 cm i oznakowano za pomocą plastikowej palisadki ogrodowej o szerokości 20 cm. Po upływie roku i dwóch lat z wyznaczonych powierzchni w październiku 2013 i 2014 roku pobrano próbki glebowe. Z każdego poletka doświadczalnego po odgarnięciu ściółki za pomocą laski Egnera z głębokości 20 cm pobrano po 4 próbki glebowe w ilości około 0,5 kg każda próbka. W terenie próbki przeniesiono do worków. W laboratorium próbki gleby wysuszono napowietrznie, przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm. W dalszej kolejności próbki gleby homogenizowano w młynku agatowym i poddano analizom.

Użyte do eksperymentu liście drzew: robinii, brzozy i jarzębiny zebrano w końcu października 2012 roku w okolicy Siedlec. Do analizy chemicznej pobrano reprezentatywną próbkę liści w ilości 0,5 kg. Próbki liści suszono w suszarce w temperaturze 60°C do stałej masy. Materiał roślinny po wysuszeniu zhomogenizowano i pozostawiono do analiz chemicznych.

W liściach oraz w próbkach gleby oznaczono: zawartość węgla organicznego metodą Tiurina

[Ostrowska i in. 1991]. Po mineralizacji próbek gleby i liści w kolbach Kjeldahla w 95% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (3:1, v/v) zawartość azotu ogólnego oznaczono metodą indofenolową, zaś zawartość fosforu ogólnego metodą molibdenianową [Marczenko 1979]. Odczyn gleby w próbkach gleby oznaczono w 1 M KCl metodą potencjometryczną [Ostrowska i in. 1991].

## WYNIKI

Wprowadzone do gleby liście trzech gatunków drzew charakteryzowały się podobną zawartością węgla, ale zróżnicowaną zawartością azotu. Najbardziej wzbogacone w azot były liście brzozy, najmniej azotu zawierały liście jarzęba. Liście jarzęba zawierały najwięcej fosforu spośród trzech badanych gatunków. Podobną zawartość fosforu oznaczono w liściach robinii akacjowej i brzozy. W liściach brzozy oznaczono najmniejszy stosunek C/N. Natomiast największym stosunkiem C/N charakteryzowały się liście jarzęba (Tabela 1). Dodatek do gleby liści brzozy, robinii akacjowej i jarzęba pospolitego spowodował w pierwszym roku wzrost pH gleby w obu siedliskach (Tabela 2).

W siedlisku boru suchego po roku od wprowadzenia do gleby materii organicznej odnotowano w stosunku do kontroli wzrost zawartości węgla organicznego w glebie pod wpływem dodatku liści trzech gatunków drzew, po dwóch la-

**Tabela 1.** Skład chemiczny liści wprowadzonych do rekultywowanej gleby leśnej

**Table 1.** Chemical composition of leaves added to forest soils in land reclaiming process

Gatunek drzewa	C org [%]	N [%]	P [%]	C/N
Brzoza brodawkowata	37,92 ± 1,33	2,155 ± 0,119	0,189 ± 0,021	17,60
Robinia akacjowa	36,72 ± 1,07	1,008 ± 0,067	0,169 ± 0,015	36,42
Jarząb pospolity	37,26 ± 1,77	0,775 ± 0,094	0,283 ± 0,044	48,08

tach tylko pod wpływem liści jarzęba. W borze świeżym w obu latach badań odnotowano wzrost zawartości węgla organicznego w stosunku do kontroli jedynie na poletku z dodatkiem liści jarzęba pospolitego.

W borze suchym po roku od wprowadzenia do gleby liści odnotowano wzrost zawartości azotu na poletkach z dodatkiem liści robinii akacjowej i brzozy, po dwóch latach zawartość azotu w glebie na wszystkich poletkach była, w porównaniu z kontrolą, wyższa. W siedlisku boru świeżego wyraźny wzrost zawartości azotu w glebie odnotowano jedynie po roku od wprowadzenia do gleby liści jarzęba pospolitego.

Konsekwencją zmian zawartości węgla i azotu w glebie pod wpływem wprowadzonych do gleby liści są zmiany stosunku C/N. W obu latach badań stosunek ten uległ obniżeniu w obu siedliskach pod wpływem dodatku liści brzozy brodawkowatej. Także dodatek liści robinii aka-

**Tabela 2.** Wybrane właściwości chemiczne gleby leśnej w siedlisku boru suchego i świeżego na poletkach kontrolnych (K) i doświadczalnych: z dodatkiem liści brzozy brodawkowatej (B), robinii akacjowej (R) i jarzęba pospolitego (J) po I i II roku eksperymentu

**Table 2.** Chosen chemical properties of forest soils in control (K) and experimental plots of fresh and dry coniferous forests after adding black locust (R), verrucose birch (B) and mountain ash (J) leaves; at the end of first and second year of the study

Parametr	I rok badań				II rok badań			
	Bór suchy							
	K	B	R	J	K	B	R	J
pH	3,83 – 4,38	4,54 – 4,72	4,70 – 5,25	4,54 – 4,68	3,86 – 4,28	3,86 – 4,30	3,88 – 4,36	4,13 – 4,42
C [%]	0,30±0,07	0,34±0,02	0,41±0,09	0,39±0,01	0,32±0,08	0,249±0,016	0,285±0,018	0,397±0,025
N [g/kg]	0,16±0,02	0,22±0,03	0,26±0,02	0,15±0,02	0,18±0,061	0,221±0,016	0,226±0,010	0,246±0,065
C/N	18,9±2,23	15,6±1,69	16,1±4,41	25,9±3,29	18,8±6,53	11,3±0,88	12,6±0,84	17,2±5,46
P [g/kg]	0,058±0,007	0,072±0,013	0,067±0,004	0,088±0,009	0,055±0,009	0,058±0,002	0,053±0,003	0,054±0,006
	Bór świeży							
pH	3,72 – 4,10	4,19 – 4,36	4,29 – 4,42	4,10 – 4,32	3,75 – 4,16	3,76 – 4,01	3,63 – 4,08	3,80 – 3,95
C [%]	1,11±0,19	0,84±0,004	0,94±0,009	1,36±0,004	1,22±0,11	0,94±0,02	1,32±0,02	1,36±0,06
N [g/kg]	0,51±0,115	0,46±0,025	0,51±0,025	0,65±0,026	0,55±0,016	0,49±0,02	0,53±0,031	0,53 ± 0,07
C/N	21,9±2,71	18,2±0,99	18,4±0,79	20,1±0,88	22,3±1,98	19,3±1,09	23,8±1,92	23,8±2,86
P [g/kg]	0,198±0,030	0,177±0,037	0,274±0,017	0,236±0,009	0,196±0,018	0,228±0,009	0,224±0,011	0,288±0,020

cyjowej spowodował obniżenie stosunku C/N w borze suchym w obu latach badań i w borze świeżym w pierwszym roku badań.

W pierwszym roku badań w obu siedliskach na poletkach z dodatkiem liści robinii akacjowej i jarzęba pospolitego odnotowano wzrost zawartości fosforu w glebie. Po dwóch latach wzrost zawartości fosforu w glebie w porównaniu z kontrolą notowany był w siedlisku boru świeżego na poletkach z dodatkiem liści trzech gatunków drzew.

## DYSKUSJA

Zaprezentowane wyniki wskazują, że wytypowane do badań siedliska różniły się wybranymi właściwościami chemicznymi gleby. Stanowiska kontrolne w siedlisku boru świeżego w porównaniu ze stanowiskami kontrolnymi w siedlisku boru suchego były bardziej wzbogacone w węgiel organiczny, azot oraz fosfor.

Na podstawie wyników analizy wybranych wskaźników chemicznych można wnioskować, że inaczej procesy mineralizacji wprowadzonej do gleby materii organicznej zachodzą w borze suchym niż w borze świeżym. Także rodzaj wprowadzonej materii organicznej ma wpływ na tempo jej mineralizacji.

Szybkość rozkładu wprowadzonej materii organicznej opisuje stosunek w niej C/N – im jest on mniejszy, tym lepiej się rozkłada materia organiczna [Bednarek i in. 2004]. Spośród wprowadzonych do gleby liści najmniejszy stosunek C/N (17,6) odnotowano w liściach brzozy, największy (48,1) w liściach jarzęba pospolitego. Należy zatem oczekiwać, że spośród trzech gatunków drzew, najszybciej powinny rozkładać się liście brzozy brodawkowatej. Rozkładowi liści drzew w siedliskach borów sosnowych towarzyszy wzrost stężenia azotu w glebie [Polyakova i Billor 2007]. W borze suchym w obu latach badań odnotowano wzrost zawartości azotu w glebie na poletkach z dodatkiem liści brzozy brodawkowatej i robinii akacjowej. Natomiast na poletkach z dodatkiem liści jarzęba wzrost zawartości azotu w glebie widoczny był dopiero w drugim roku, a w borze świeżym w pierwszym roku badań.

Wzrost zawartości azotu w glebie prowadzi w efekcie do obniżenia wartości stosunku C/N w glebie. Siuta [2000] podkreśla, że w glebach mineralnych w poziomie próchnicznym stosunek C/N może być wyznacznikiem stopnia degra-

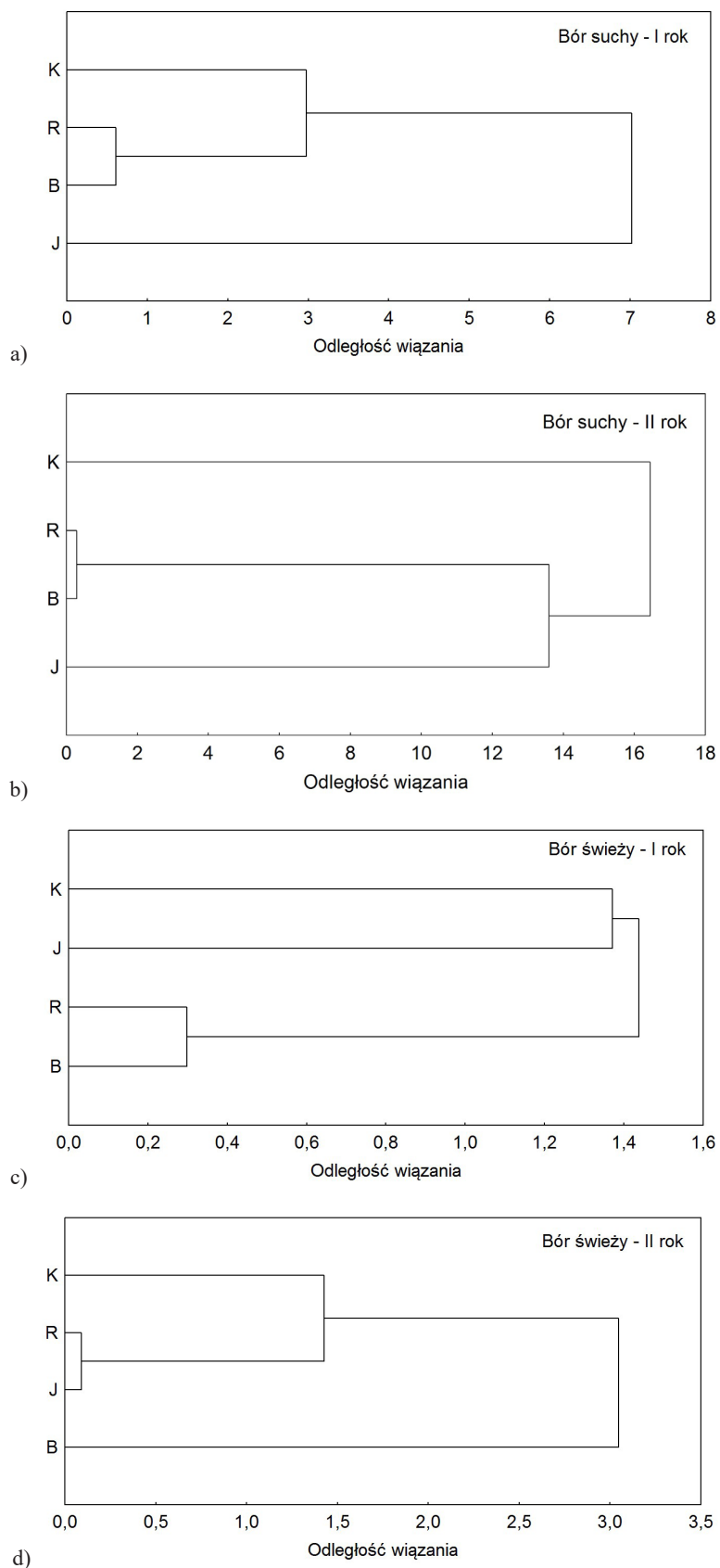
dacji gleby. Im stosunek ten jest mniejszy, tym gleba jest mniej zdegradowana. Wyniki badań własnych wskazują, że materia organiczna wprowadzona z liśćmi brzozy i robinii pozytywnie wpływa na jakość gleby, co skutkuje obniżeniem stosunku C/N, w siedlisku boru suchego w obu latach badań. W siedlisku boru świeżego efekty wprowadzonej do gleby materii organicznej są bardziej zauważalne w pierwszym niż w drugim roku badań. Jest to szczególnie widoczne w przypadku liści brzozy – w siedlisku boru świeżego po dwóch latach stosunek C/N w glebie na poletku z liśćmi brzozy brodawkowatej był porównywalny z kontrolą.

O szybkości rozkładu materii organicznej w badanych siedliskach decydować może: dostępność wody gruntowej, edafon glebowy, zasobność w biogeny. Cechy te determinują szybkość rozkładu i wykorzystania potencjału rekultywacyjnego zastosowanych komponentów [Sapek 2010].

Rozkład materii organicznej zależy, jak wskazano to wyżej, nie tylko od typu siedliska, ale także od jej rodzaju. Horodecki i in. [2015] określili, że tempo rozkładu liści zależy od gatunku drzew. W 17–18 letnich drzewostanach sosnowych, rosnących na piaskach luźnych na zrehabilitowanych obszarach zwałowiska KWB w Bełchatowie Autorzy ocenili, że po 6 miesiącach rozkłada się około 33,2% liści brzozy i około 16,6% liści dębu.

Należy zauważyć, że wszystkie wprowadzone do gleby komponenty przyczyniły się po roku badań do wzrostu odczynu gleby w obu siedliskach. Kwiatkowska i Maciejewska [2008] podkreślają, że zastosowanie różnych rodzajów substancji organicznej, podwyższa pH gleby, zwiększa pojemność sorpcyjną gleby oraz stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi. Także Małecka i in. [2014] po wprowadzeniu do gleby materii organicznej w formie trocin drzew iglastych odnotowali wzrost pH gleby, wzrost zawartości kationów zasadowych oraz obniżenie stosunku C/N.

Kierunek zmian właściwości chemicznych gleby po wprowadzeniu do niej liści trzech gatunków drzew w obu siedliskach opisuje analiza dendrologiczna (rys. 1). W pierwszym roku badań w obu siedliskach dodatek do gleby liści robinii i brzozy brodawkowatej powoduje w stosunku do kontroli podobne zmiany właściwości gleby. Także w drugim roku badań w siedlisku boru suchego kierunek zmian właściwości gleby po



**Rys. 1.** Dendrogram podobieństwa właściwości chemicznych gleby leśnej w siedlisku boru suchego i świeżego z dodatkiem liści brzozy brodawkowatej (B), robinii akacjowej (R) i jarzęba pospolitego (J) po I i II roku eksperymentu

**Fig. 1.** Dendrogram of similarities of chemical properties of fresh and dry coniferous forests soils after adding black locust (R), verrucose birch (B) and mountain ash (J) leaves at the end of first and second year of the study

wprowadzeniu liści robinii i brzozy jest podobny jak w pierwszym roku. W drugim roku w siedlisku boru świeżego podobne zmiany właściwości gleb zachodzą pod wpływem liści robinii akacjowej i jarzęba pospolitego. Różnice w zmianach właściwości chemicznych gleb pod wpływem wprowadzonych do gleby liści w badanych siedliskach są wynikiem, co podkreślono wyżej, różnego tempa rozkładu materii organicznej. Potwierdzają, że najszybciej dekompozycji ulegają liście brzozy brodawkowatej, nieco wolniej liście robinii akacjowej, a najwolniej liście jarzęba pospolitego.

Odbudowa siedlisk zniszczonych przez pożar trwa ponad 10 lat [Fritze i in. 1993, Zwoliński i in. 2004]. Wyniki zaprezentowanych badań wskazują, że nawet po kilkunastu latach od wystąpienia pożaru dodatek do rekultywowanych gleb materii organicznej w postaci liści brzozy brodawkowatej i robinii akacjowej może korzystnie oddziaływać na zmiany chemicznych właściwości gleb. W literaturze [Jaworski i Kornik 2011] podkreśla się szczególną rolę brzozy brodawkowatej jako gatunku pionierskiego i przedplonowego na glebach zdegenerowanych. Wysoko ocenia się także wkład opadu liści brzozy na obieg azotu i innych makroelementów w środowisku leśnym. Dobre rezultaty mogą dawać także nasadzenia robinii akacjowej, która może dodatkowo wzbogacić glebę w azot [Greinert i in. 2009, Rahmonov 2009, Seneta i Dolatowski 2012]. Zaprezentowane wyniki potwierdzają dane literaturowe o przydatności brzozy brodawkowatej i robinii w zwiększenie zasobności ubogich gleb leśnych w materię organiczną i azot.

Według Breymeyer i Laskowskiego [1999] gatunki drzew liściastych, w stosunku do drzewostanów iglastych, wpływają pozytywnie na wzrost tempa dekompozycji materii organicznej w glebie. Nasadzenia drzew liściastych mogą poprawić właściwości gleby leśnych i zapobiec pogorszeniu warunków siedliskowych [Harasimiuk i Groblewski 2005], co wykazały także przeprowadzone badania.

## PODSUMOWANIE

Procesy mineralizacji materii organicznej wprowadzonej do rekultywowanej po pożarze gleby leśnej w postaci liści brzozy brodawkowatej, robinii akacjowej i jarzęba pospolitego zależą od rodzaju materii organicznej i typu siedliska.

Spośród wprowadzonych do gleby liści drzew najszybciej rozkładają się liście brzozy i robinii. Dekompozycja wprowadzonej materii organicznej szybciej odbywa się w borze świeżym niż w borze suchym. Rezultaty uzyskane dla wytypowanego do badań obszaru mogą sugerować, że w celu poprawy jakości gleby w siedlisku boru suchego wskazane byłyby nasadzenia brzozy brodawkowatej i robinii akacjowej.

## LITERATURA

1. Breymeyer A.I., Laskowski R. 1999. Ecosystem process studies along a climatic transect at 52–53 N (12–32 E): pine litter decomposition. *Geographia Polonica*, 72(2), 45–64.
2. Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojka U., Prusinkiewicz Z. 2004. Badania ekologiczno-gleboznawcze. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
3. Dobrowolska D. 2008. Odnowienia naturalne na powierzchniach uszkodzonych przez pożar w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie. *Leśne Prace Badawcze*, 69(3), 255–264.
4. Fritze H., Pennanen T., Pietikainen J. 1993. Recovery of soil biomass and activity from prescribed burning. *Canadian Journal of Forest Research*, 23, 1286–1290.
5. Greinert H., Drab M., Greinert A. 2009. Studia nad efektywnością leśnej rekultywacji zwałowisk fitotoksycznie kwaśnych piasków miocenijskich po byłej kopalni węgla brunatnego w Łęknicy. Oficyna Wyd. Uniwersytetu Zielonogórskiego. Zielona Góra.
6. Harasimiuk A., Groblewski J. 2005. Dłaczego młode dęby nie przyrastają, czyli o negatywnym wpływie świerka na siedlisko. *Roczniki Gleboznawcze*, 56(1/2), 67–75.
7. Horodecki P., Nowiński M., Rawlik K., Jagodziński A.M. 2015. Rozkład liści drzew w początkowych etapach dekompozycji w drzewostanach sosnowych i brzozowych rosnących na rekultywowanym zwałowisku pokopalnianym i na terenach leśnych. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie*, t. 17, z. 42(1), 262–278.
8. Jaworski A., Kornik S. 2011. Brzoza brodawkowata (*Betula pendula* Roth) jako gatunek przedplonowy na otwartych powierzchniach powstałych po rozpadzie monokultur świerkowych w Beskidzie Śląskim. *Acta Agraria et Silvestria*, 49, 3–24.
9. Kwiatkowska J., Maciejewska A. 2008. Wpływ rodzajów substancji organicznej na właściwości fizykochemiczne gleby i zawartość węgla organicznego. *Roczniki Gleboznawcze*, 59(1), 128–133.

10. Lasota J., Błońska E., Waniec T., Zwydak M. 2014. Wymagania troficzne wybranych gatunków krzewiastych występujących w lasach. *Leśne Prace Badawcze*, 75(2), 181–191.
11. Małecka M., Wójcik J., Sierota Z. 2014. Zmiany w składzie chemicznym gleby leśnej i porolnej po wprowadzeniu trocin iglastych na tle przebiegu elementów pogody. *Leśne Prace Badawcze*, 75(2), 139–148.
12. Marczenko Z. 1979. Spektrofotometryczne oznaczenie pierwiastków. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
13. Olejarski J. 2003. Wpływ zabiegów agrotechnicznych na niektóre właściwości gleb oraz stan upraw sosnowych na pożarzyskach wielkoobszarowych. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria A*, 2(954), 44–77.
14. Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
15. Polyakova O., Billor N. 2007. Impact of deciduous tree on litterfall quality, decomposition rates and nutrient circulation in pine stands. *Forest Ecology and Management*, 253, 11–18.
16. Rahmonov O. 2009. The chemical composition of plant litter of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and its ecological role in sandy ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 29, 237–243.
17. Sapek B. 2010. Uwalnianie azotu i fosforu z materii organicznej gleby. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t. 10 z. 3(31), 229–256.
18. Seneta W., Dolatowski J. 2012. *Dendrologia*. Wyd. PWN SA, Warszawa.
19. Sienkiewicz A. 1979. Wpływ różnych zabiegów agrotechnicznych na kształtowanie się chemicznych właściwości gleb leśnych Puszczy Noteckiej. *PTPN. Poznań*, 48, 133–149.
20. Siuta J. 2000. Podstawy biodegradacji ropopochodnych składników glebach i odpadach. *Inżynieria ekologiczna nr 2. Technologie odolejania gruntów, odpadów i ścieków. Materiały z konferencji naukowej Wysowa Zdrój, wrzesień 2000. Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej*, 23–34.
21. Zwoliński J., Hawryś Z. 2002. Przygotowanie gleb i dobór gatunków drzew w zalesieniach terenów zanieczyszczonych przez przemysł. *Inżynieria Ekologiczna*, 6, 47–53.
22. Zwoliński J., Matuszczyk I., Hawryś Z. 2004. Właściwości chemiczne gleb i igieł sosny oraz aktywność mikrobiologiczna gleb na terenie pożarzysk leśnych z 1992 roku w Nadleśnictwach Rudy Raciborskie i Potrzebowice. *Leśne Prace Badawcze*, 1, 119–133.