

## Wpływ komponentów organicznych na zmiany właściwości rekultywowanych gleb leśnych na siedlisku boru suchego

Influence of organic components on changes of the properties of reclaimed soils damaged by fire from coniferous dry forest

Elżbieta Królak\*, Barbara Kot, Karol Sterniczuk, Aneta Troć, Ewelina Zychowicz, Ewelina Powalska

Instytut Biologii, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. Prusa 12, 08-110 Siedlce

\*Tel. +48 25 6431217, e-mail: kruell@o2.pl

**Abstract.** The main objective of the study was to analyse the influence of compost produced from urban green waste, sewage sludge from municipal treatment plants and horticultural peat on changes of selected chemical and microbiological parameters of forest soil reclaimed after a fire. Soil samples were collected one and two years after the components had been applied to the soil. The results from experimental sites were compared with those from control samples. In the soil samples the following parameters were determined: content of carbon and nitrogen, reaction, hydrolytic acidity and the total amount of alkaline cations. Also the total number of bacteria and fungi, including moulds and yeast, was analysed. A year after components application, pH and the number of yeasts and moulds in the soil increased. After two years the content of nitrogen and the total number of bacteria in the soil increased as well. The most beneficial effect on changes in soil properties had the application of sewage sludge, which manifested itself in a decrease of the C/N ratio. This indicated the suitability of sewage sludge in reclamation of poor forest habitats. Peat underwent the slowest mineralization among all the organic components applied to the soil.

**Keywords:** compost, sewage sludge, peat, soil chemical properties, microbiological analysis of soil

### 1. Wprowadzenie

Jedną z przyczyn degradacji gleb w środowisku leśnym są pożary. W istotny sposób wpływają one na zmiany właściwości fizyczno-chemicznych gleb leśnych, powodując mineralizację materii organicznej, zmniejszenie zawartości azotu w glebie, wzrost odczynu gleby (Olejarski 2003). Proces odnowy siedlisk leśnych zdegradowanych w wyniku pożaru może trwać nawet kilkanaście lat (Fritze et al. 1993; Zwoliński et al. 2004) i uzależniony jest od stosowanych zabiegów rekultywacyjnych, w tym sposobu przygotowania gleby na pożarzysku (Olejarski 2003). W celu rekultywacji obszarów zdegradowanych w wyniku pożaru, po odpowiednim przygotowaniu gleby, najczęściej wprowadza się nasadzenia drzewostanów (Kaczmarek et al. 2004, 2011). W literaturze brakuje informacji dotyczących prac na pożarzyskach, prowadzonych z wykorzystaniem, np. osadów ściekowych, kompostów czy torfu. Materia organiczna wprowadzona z wymienionymi komponentami jest wykorzystywana do rekultywacji terenów zdegradowanych na obszarach przemysłowych. Zarówno osady ściekowe (Fijałkowski, Kac-

przak 2009; Klimont 2011), jak i komposty (Gilewska 2006; Sądej, Namiotko 2010; Ciesielczuk, Rosik-Dulewska 2012) inicjują procesy glebotwórcze. Zastosowanie torfu na grunty mineralne powoduje przede wszystkim wzrost zawartości próchnicy w glebie i przyspiesza jej regenerację (Zwoliński, Hawryś 2002).

W 1999 r. w Nadleśnictwie Sokołów (woj. mazowieckie) miał miejsce pożar, a w kolejnym roku podjęto działania polegające na odpowiednim przygotowaniu gleby i nasadzeniu sosny zwyczajnej. Według opinii leśników, mimo upływu kilkunastu lat od podjętych zabiegów rekultywacyjnych, w siedlisku boru suchego obserwuje się słabe przyrosty sosny.

Interesującym wydało się zbadanie wpływu dodatku materii organicznej w formie bioodpadów i torfu na zmiany właściwości chemicznych oraz mikrobiologicznych gleb narażonych na pożar, w okresie kilkunastu lat od podjętych działań rewitalizacyjnych.

Zakres badań obejmował:

1. Wyznaczenie stanowisk badawczych oraz wprowadzenie do gleby materii organicznej w formie kompostu, osadu ściekowego i torfu ogrodniczego.

2. Pobranie próbek gleby z poletek kontrolnych oraz doświadczalnych, do których wprowadzono organiczne komponenty.

3. Chemiczną analizę próbek gleby, wprowadzonej materii organicznej z uwzględnieniem zawartości węgla organicznego i azotu oraz oznaczenie w próbkach gleby odczynu, kwasowości hydrolitycznej, sumy kationów zasadowych, pojemności sorpcyjnej gleby, wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleby kationami zasadowymi oraz wodorowymi.

4. Mikrobiologiczną ocenę badanej gleby z uwzględnieniem ogólnej liczby bakterii oraz grzybów pleśniowych i drożdży.

5. Porównanie wyników analizy próbek gleby z poletek eksperymentalnych z próbkami kontrolnymi.

6. Analizę uzyskanych wyników w kontekście skuteczności działania wprowadzonych do gleby komponentów w zależności od czasu działania (rok lub 2 lata od założenia eksperymentu).

## 2. Materiał i metody

Nadleśnictwo Sokołów położone jest we wschodniej Polsce, na Nizinie Mazowiecko-Podlaskiej, w dorzeczu środkowego Bugu, po lewej stronie rzeki. Badania przeprowadzono na terenie leśnictwa Treblinka (52°37'02"N, 22°01'07"E, 125 m n.p.m.). Leśnictwo zajmuje powierzchnię około 750 ha. W Nadleśnictwie Sokołów jest to teren najbardziej zagrożony pożarami. W 1999 r. pożar zniszczył 60-letni las sosnowy na powierzchni 156 ha, a w 2000 r. na zdegradowanym terenie posadzono młode sosny. Mimo upływu kilkunastu lat na części powierzchni regeneracja gleby oraz odbudowa spalonego lasu dokonuje się bardzo powoli.

W październiku 2012 r. w uzgodnieniu z leśnikami z Nadleśnictwa Sokołów na terenie leśnictwa Treblinka w siedlisku boru suchego, na którym wystąpił pożar, wytypowano powierzchnię około 100 m<sup>2</sup>, na której wyznaczono sześć poletek doświadczalnych o boku 1 m x 1 m. Każde poletko oznakowano palisadą ogrodową o szerokości 20 cm. Trzy poletka wytypowano jako kontrolne, a na trzy kolejne wprowadzono kompost, osad ściekowy i torf ogrodniczy w ilości 4 kg/m<sup>2</sup>. Materiał organiczny przekopano z glebą do głębokości 20 cm. Glebę, podobnie jak na poletkach z wprowadzonymi komponentami, przekopano także na poletkach kontrolnych. Komponenty organiczne pochodziły z komunalnej oczyszczalni ścieków w Siedlcach (osad ściekowy), z Zakładu Utylizacji Odpadów w Woli Suchożebrskiej k/Siedlec (kompost), natomiast torf z losowo wybranego sklepu ogrodniczego w Siedlcach.

W październiku 2013 i 2014 r. po odgarnięciu ściółki za pomocą laski Egnera z każdego poletka doświadczalnego i kontrolnego pobrano po 4 próbki gleby w ilości około 0,5 kg każda, które umieszczano w workach. Dodatkowo do oznaczeń mikrobiologicznych pobierano reprezentatywną próbkę gleby i umieszczano w słojach. próbki gleby do analiz chemicznych suszono napowietrznie, a następnie przesiewano przez sito o średnicy oczek 2 mm. W reprezentatywnych podpróbkach gleby zhomogenizowanych w moździerz

agatowym oznaczono zawartość węgla organicznego metodą Tiurina (Ostrowska et al. 1991) oraz zawartość azotu ogólnego metodą indofenolową (Marczenko 1979). Do oznaczenia zawartości azotu próbki gleby poddano uprzednio mineralizacji 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 węgla organicznego i azotu oznaczono także we wprowadzonych do gleby komponentach organicznych. Dodatkowo w próbkach gleby oznaczono: pH gleby w 1 M KCl, kwasowość hydrolityczną (Hh), sumę kationów zasadowych (S), pojemność sorpcyjną gleby (T), procent wysycenia gleby kationami zasadowymi (V) oraz procentowy udział wodoru w kompleksie sorpcyjnym gleby (VHh). Badania wykonano według metodyki opisanej przez Ostrowską i in. (1991).

Próbki gleby pobrane do badań mikrobiologicznych, po przetransportowaniu do laboratorium, były bezpośrednio poddane analizie lub przechowywane w 4°C w ciągu 24 godzin przed jej wykonaniem. Badania, obejmujące oznaczenie ogólnej liczby bakterii, grzybów pleśniowych i drożdży, przeprowadzono zgodnie z metodyką podaną przez Frąć i in. (2011).

Istotność różnic pomiędzy wartościami badanych wskaźników chemicznych gleby na poletkach badawczych sprawdzono za pomocą analizy wariancji po wcześniejszym sprawdzeniu normalności rozkładów (test Shapiro-Wilka) i jednorodności wariancji zmiennych niezależnych (test Browna-Forsythe'a). Czynnikiem różnicującym próby był wprowadzony do gleby komponent lub jego brak. W przypadku różnic istotnych statystycznie zastosowano test rozsądnej istotnej różnicy Tuckeya. Przyjęto poziom istotności  $\alpha=0,05$ . Obliczenia wykonano w programie Statistica (ver. 12).

## 3. Wyniki

Wyniki analizy składu chemicznego wprowadzonych do gleby komponentów organicznych zestawiono w tabeli 1.

Spośród komponentów wprowadzonych do gleby największą ilość węgla i azotu stwierdzono w osadach ściekowych. Najmniej węgla organicznego i azotu zawierał torf.

Analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic w zawartości węgla organicznego w glebie po roku od wpro-

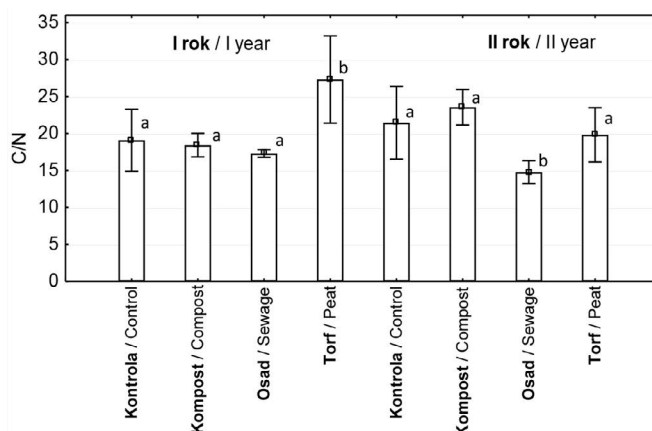
**Tabela 1. Skład chemiczny komponentów organicznych wprowadzonych do rekultywowanej gleby leśnej**

Table 1. Chemical composition of organic components applied to the reclaimed forest soil

Komponent Component	Corg. [%]	N [%]	C/N
Kompost Compost	21,7 ±1,95	1,7 ±0,08	12,8
Osad ściekowy Sewage sludge	33,0 ±1,23	3,8 ±0,11	8,7
Torf Peat	14,3 ±0,86	0,7 ±0,09	20,4

wadzenia do gleby komponentów organicznych. Po roku od wprowadzenia kompostu do gleby stwierdzono istotny wzrost zawartości azotu w porównaniu do ilości azotu w glebie w próbie kontrolnej. Natomiast po upływie dwóch lat zawartość węgla organicznego wzrosła pod wpływem kompostu i torfu, a zawartość azotu – pod wpływem wszystkich wprowadzonych komponentów (tabela 2). Statystycznie istotny wzrost wartości C/N odnotowano w pierwszym roku badań pod wpływem dodanego torfu. Obniżenie stosunku C/N stwierdzono w drugim roku badań pod wpływem osadu ściekowego (rys. 1).

Wprowadzone do gleby komponenty organiczne spowodowały w pierwszym roku badań istotny statystycznie wzrost odczynu gleby, w drugim roku zmiany pH gleby pod wpływem dodatków nie były istotne (tabela 2). Po roku odnotowano nieznaczne, w stosunku do kontroli, obniżenie kwasowości hydrolytycznej (Hh), istotne jedynie na poletku z dodatkiem kompostu. Po drugim roku kwasowość hydrolytyczna była zbliżona na wszystkich poletkach i nie różniła się



**Rycina 1. Zmiany wartości C/N w glebie leśnej pod wpływem wprowadzonych komponentów organicznych (różnice istotne statystycznie zaznaczono różnymi literami)**

Figure 1. Changes of the C/N value in the forest soil after application of organic components (statistically significant differences were marked with different letters)

**Tabela 2. Wyniki analizy chemicznej próbek gleby leśnej na stanowiskach badawczych po roku i dwóch latach od wprowadzenia do gleby komponentów organicznych (n=16; różnice istotne statystycznie zaznaczono różnymi literami)**

Table 2. Results of chemical analysis of forest soil samples at the study sites one and two years after the application of organic components (n = 16; statistically significant differences were marked with different letters)

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Kontrola Control	Kompost Compost	Osad ściekowy Sewage sludge	Torf Peat
<b>I rok / I year</b>					
C	%	0,304 <sup>a</sup> ±0,15	0,45 <sup>a</sup> ±0,03	0,33 <sup>a</sup> ±0,04	0,44 <sup>a</sup> ±0,10
N	g · kg <sup>-1</sup>	0,154 <sup>a</sup> ±0,046	0,24 <sup>b</sup> ±0,01	0,19 <sup>a</sup> ±0,01	0,16 <sup>a</sup> ±0,02
Odczyn / Reaction	pH	4,24 <sup>a</sup> ±0,28	4,94 <sup>b</sup> ±0,17	4,66 <sup>b</sup> ±0,12	4,94 <sup>b</sup> ±0,16
Hh		1,83 <sup>a</sup> ±0,21	1,42 <sup>b</sup> ±0,08	1,54 <sup>a</sup> ±0,16	1,61 <sup>a</sup> ±0,14
S	cmol(+) · kg <sup>-1</sup>	1,40 <sup>a</sup> ±0,20	2,50 <sup>b</sup> ±0,14	1,62 <sup>a</sup> ±0,23	2,46 <sup>b</sup> ±0,21
T		3,23 <sup>a</sup> ±0,38	3,92 <sup>b</sup> ±0,07	3,16 <sup>a</sup> ±0,09	4,07 <sup>b</sup> ±0,09
V		43,3 <sup>a</sup> ±2,33	63,7 <sup>b</sup> ±2,47	51,2 <sup>a</sup> ±6,11	60,4 <sup>b</sup> ±4,09
VHh	%	56,7 <sup>a</sup> ±2,33	36,3 <sup>b</sup> ±2,47	48,8 <sup>a</sup> ±6,11	39,6 <sup>b</sup> ±4,09
<b>II rok / II year</b>					
C	%	0,34 <sup>a</sup> ±0,05	0,54 <sup>b</sup> ±0,04	0,34 <sup>a</sup> ±0,04	0,62 <sup>b</sup> ±0,12
N	g · kg <sup>-1</sup>	0,16 <sup>a</sup> ±0,05	0,23 <sup>b</sup> ±0,05	0,23 <sup>b</sup> ±0,03	0,32 <sup>b</sup> ±0,02
Odczyn / Reaction	pH	4,29 <sup>a</sup> ±0,44	4,61 <sup>a</sup> ±0,24	4,43 <sup>a</sup> ±0,49	4,87 <sup>a</sup> ±0,44
Hh		1,91 <sup>a</sup> ±0,09	1,93 <sup>a</sup> ±0,13	1,88 <sup>a</sup> ±0,19	1,99 <sup>a</sup> ±0,09
S	cmol(+) · kg <sup>-1</sup>	1,43 <sup>a</sup> ±0,14	1,86 <sup>b</sup> ±0,15	2,58 <sup>c</sup> ±0,14	1,17 <sup>a</sup> ±0,12
T		3,34 <sup>a</sup> ±0,09	3,79 <sup>b</sup> ±0,18	4,46 <sup>c</sup> ±0,06	3,16 <sup>a</sup> ±0,06
V		42,8 <sup>a,c</sup> ±3,30	49,1 <sup>a</sup> ±2,75	57,9 <sup>b</sup> ±3,84	37,1 <sup>c</sup> ±3,33
VHh	%	57,2 <sup>a,c</sup> ±3,30	50,9 <sup>a</sup> ±2,75	42,1 <sup>b</sup> ±3,84	62,9 <sup>c</sup> ±3,33

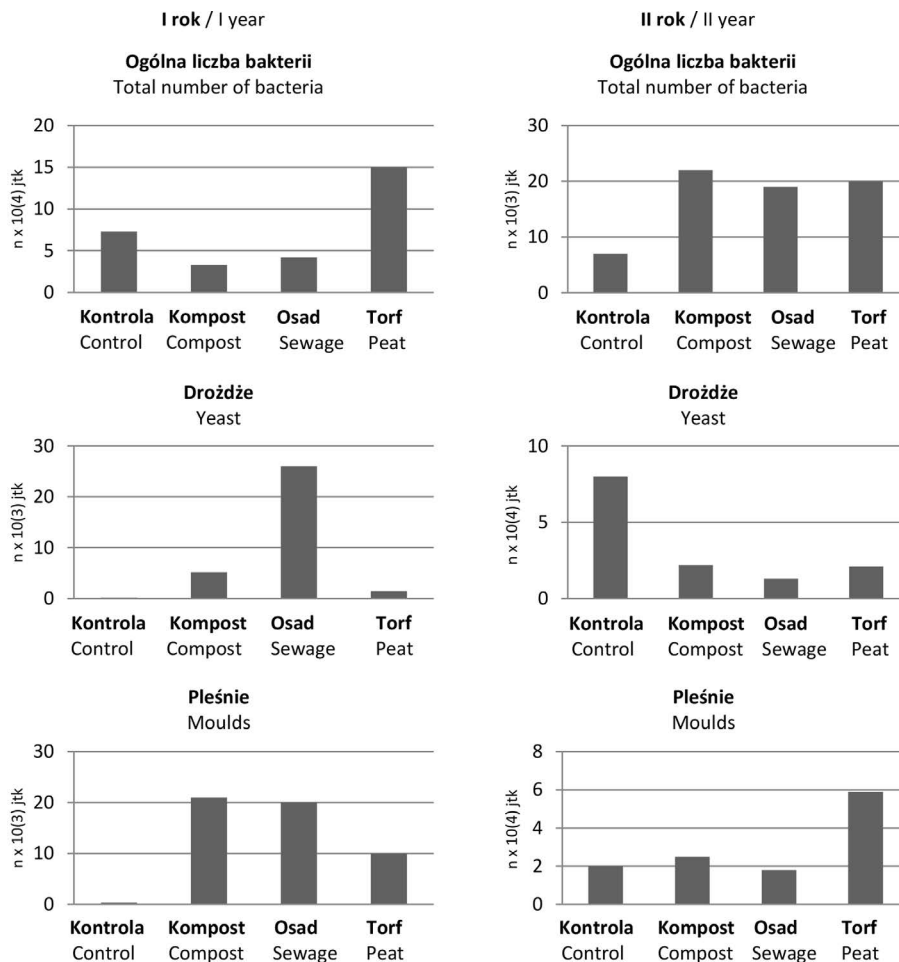
od kwasowości hydrolitycznej gleby na poletku kontrolnym. Wyraźny wzrost sumy kationów zasadowych (S) w glebie w porównaniu do kontroli odnotowano po roku od wprowadzenia do gleby kompostu i torfu. Po dwóch latach suma kationów zasadowych była istotnie wyższa w glebie, do której wprowadzono kompost i osad. Wprowadzone do gleby komponenty organiczne przyczyniły się do wzrostu pojemności sorpcyjnej gleby (T). Po roku odnotowano wzrost pojemności sorpcyjnej w stosunku do kontroli pod wpływem kompostu i torfu, a po dwóch latach – pod wpływem kompostu i osadu. Na uwagę zasługuje także istotny wzrost po dwóch latach wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleby kationami zasadowymi (V) na poletku z dodatkiem osadu ściekowego.

Wyniki analizy mikrobiologicznej wykazały, że po roku od wprowadzeniu do zdegradowanej gleby kompostu, osadu oraz torfu wzrosła liczba grzybów pleśniowych i drożdży w porównaniu do kontroli. Na poletku z dodatkiem torfu odnotowano, w porównaniu z kontrolą, wzrost ogólnej liczby bakterii. Po dwóch latach od wprowadzenia do gleby komponentów organicznych w każdym przypadku wzrosła liczba bakterii w porównaniu do kontroli, natomiast zmniejszyła się liczba drożdży. Na uwagę zasługuje także wyraźnie wyższa w stosunku do pozostałych powierzchni liczba komórek pleśni na poletku z dodatkiem torfu (rys. 2).

## 4. Dyskusja

Przywrócenie naturalnych właściwości glebom na pożarzyskach leśnych jest niezwykle czasochłonne i trudne. W celu analizy zmian zachodzących na ich obszarze ważny jest częsty monitoring terenów rekultywowanych oraz działania sprzyjające odnowieniu zdegradowanych ekosystemów. Jak wykazały przeprowadzone badania, zastosowanie na rekultywowane po pożarze gleby nawożenia organicznego takimi komponentami jak: osady ściekowe, kompost, czy torf jest działaniem prowadzącym do wzbogacenia gleby w składniki pokarmowe, poprawy jej zdolności retencyjnych oraz wzrostu aktywności mikrobiologicznej. Wpływ wprowadzonej materii organicznej na zmiany wybranych właściwości gleby leśnej w rekultywowanym siedlisku zależy od rodzaju materii oraz czasu jej mineralizacji.

Mineralizacja materii organicznej jest procesem zachodzącym z udziałem bakterii i grzybów, dostarczającym składników niezbędnych do rozwoju roślin. W wyniku procesów biologicznych zachodzących w glebie z udziałem drobnoustrojów powstają łatwo rozpuszczalne w wodzie związki organiczne, takie jak: cukry proste, proste kwasy organiczne czy aminokwasy (Bednarek et al. 2004). Po wprowadzeniu materii organicznej wzrasta aktywność mikroorganizmów



**Rycina 2. Występowanie drobnoustrojów w glebie leśnej zdegradowanej przez pożar rekultywowanej poprzez wprowadzenie komponentów organicznych**

Figure 2. Occurrence of microorganisms in reclaimed forest soil degraded by a fire after application of organic components

glebowych (Bastida et al. 2007; Fijałkowski, Kacprzak 2009), a ich obecność sprzyja uwolnieniu azotu (Fijałkowski, Kacprzak 2009). Wyniki zaprezentowane w pracy wykazały, że mineralizacja kompostu i osadu w pierwszym etapie zachodziła przede wszystkim z udziałem grzybów pleśniowych i drożdży. Efekt aktywności metabolicznej drobnoustrojów w postaci statystycznie istotnego wzrostu ilości azotu w glebie pod wpływem wszystkich zastosowanych komponentów odnotowano dopiero po drugim roku doświadczenia, po którym również wzrosła ogólna liczba bakterii. Nowak i in. (2010) podkreślają, że efekt korzystnego działania osadów ściekowych na gleby zdegradowane (wzrost pH, wzrost zawartości C, N) utrzymuje się przez 4–6 miesięcy od czasu ich aplikacji. Z kolei Joniec i Furczak (2007) wskazują, że dodatek osadów ściekowych inicjuje procesy glebotwórcze, co wyraża się wzrostem liczby drobnoustrojów w glebie, utrzymującym się w w ciągu dwóch lat od czasu aplikacji do gleby osadów ściekowych. Podobne wyniki dotyczące wzrostu azotu po dwóch latach pod wpływem dodatku osadów odnotowali Żukowska i in. (2002), a także Napora i Grobelak (2014). W literaturze (Januszek et al. 2001; Mocek et al. 2004; Kaczmarek et al. 2011) zwraca się uwagę na zmiany stosunku C/N w rekultywowanych glebach.

Wynikiem regeneracji gleby leśnej po pożarze w warunkach odnowień siedlisk jest zawężenie stosunku C/N. Właściwość ta uważana jest za jeden z ważniejszych wskaźników jakości siedliska leśnego (Jóźwiak et al. 2009). W prezentowanych badaniach odnotowano istotne obniżenie stosunku C/N w glebie w porównaniu do próbek kontrolnych po dwóch latach na poletku z dodatkiem osadu ściekowego. W osadach ściekowych materia organiczna występuje w formie łatwo hydrolizowanych związków, w odróżnieniu np. od torfu, w którym dominują niehydrolizujące i trudno hydrolizujące formy związków węgla (Becher 2013). Uwagę na powolny rozkład materii organicznej zawartej w torfie zwracają Barzdajn (1993), a także Kwiatkowska i Maciejewska (2008).

Należy zauważyć, że wszystkie wprowadzone do gleby komponenty w pierwszym roku przyczyniły się do wzrostu odczynu gleby oraz stopnia wysycenia gleby kationami zasadowymi. Kwiatkowska i Maciejewska (2008) podkreślają, że zastosowanie różnych rodzajów substancji organicznej podwyższa pH gleby, zmniejsza kwasowość hydrolityczną, zwiększa pojemność sorpcyjną gleby oraz stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi. Podobnie Lekan i in. (1997), wykazali, że stosowanie kompostów powoduje wzrost sumy kationów wymiennych oraz zmniejsza zakwaszenie gleby. Korzystny wpływ na zmianę właściwości gleby pod wpływem kompostów opisali także inni autorzy (Gilewska 2006; Sądej, Namiotko 2010; Ciesielczuk, Rosik-Dulewska 2012). Natomiast Mazur (1996) podkreśla istotną rolę osadów ściekowych w rekultywacji zdegradowanych gleb i podaje, że konieczne jest stosowanie osadów w rekultywacji w ciągu kolejnych 4 lat. Osady ściekowe, z powodu zachodzących procesów mineralizacji substancji organicznej, określane są jako nawozy o wolnym i stopniowym uwalnianiu azotu, a zastosowanie osadów poprawia właściwości

sorpcyjne gleby (Nowak et al. 2010). Wyniki badań własnych potwierdzają dane literaturowe. Należy zauważyć, że spośród wprowadzonych komponentów organicznych, jedynie dodatek torfu w drugim roku spowodował wzrost udziału wodoru w kompleksie sorpcyjnym gleby w porównaniu do pozostałych komponentów, co może dowodzić wolniejszego rozkładu torfu w badanym siedlisku niż ma to miejsce w przypadku kompostu i osadu ściekowego. Uwalniane w procesie mineralizacji torfu jony wodorowe sorbowane są w kompleksie sorpcyjnym gleby. Procesy zwiększonej sorpcji jonów wodorowych w wyniku mineralizacji kompostu i osadu ściekowego nie zostały jednak odnotowane w badanym okresie.

Wartość stosunku C/N w mineralizowanym materiale odzwierciedla szybkość jego rozkładu. Bednarek i in. (2004) podkreślają, że im mniejszy jest stosunek C/N w mineralizowanym materiale, tym szybszy jest rozkład materii organicznej. Spośród wprowadzonych do gleby leśnej komponentów osadów ściekowych i kompost zawierały więcej C i N niż torf, a oznaczony stosunek C/N wynosił odpowiednio: 8,7 i 12,8, i był mniejszy niż w torfie (20,4). Wartość C/N wskazuje, że najszybciej mineralizacji powinny ulegać osady ściekowe, a najwolniej torf, co jest zgodne z uzyskanymi wynikami niniejszej pracy.

Prezentowane wyniki wskazują na zróżnicowaną przemianę wprowadzonej materii organicznej do rekultywowanej po pożarze gleby leśnej. Spośród wprowadzonych komponentów organicznych najbardziej korzystnie na zmiany właściwości badanej gleby wpływa dodatek osadów ściekowych. Obecnie w Polsce istotny problem stanowi zagospodarowanie osadów w średnich i małych oczyszczalniach komunalnych. Aktualne przepisy prawne dopuszczają wykorzystanie osadów ściekowych na cele rekultywacyjne (Rozporządzenie... 2015). Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że zastosowanie komunalnych osadów ściekowych na zdegradowane, rekultywowane po pożarze siedliska leśne, może być dobrym kierunkiem ich przyrodniczego wykorzystania.

## 5. Wnioski

1. Najbardziej korzystny stosunek C/N, wskazujący na szybkość rozkładu materii organicznej wprowadzonej do rekultywowanej po pożarze gleby leśnej, odnotowano w osadzie ściekowym, a najmniej korzystny w torfie.

2. Wprowadzone komponenty organiczne po roku powodują istotny wzrost odczynu gleby oraz wzrost liczby drożdży i pleśni, po dwóch latach przyczyniają się do wzrostu zawartości azotu i ogólnej liczby bakterii w glebie.

3. Statystycznie istotny największy wzrost sumy kationów zasadowych i pojemności sorpcyjnej gleby oraz najmniejszy stosunek C/N w glebie po dwóch latach od wprowadzenia do podłoża wskazuje, że osad ściekowy może być przydatny do rekultywacji zdegradowanych i ubogich siedlisk leśnych.

## Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

## Podziękowania

Dziękujemy kierownictwu Nadleśnictwa Sokołów za zgodę na wykonanie badań, a Pracownikom Nadleśnictwa za pomoc w założeniu eksperymentu i nadzór nad poletkami badawczymi.

## Literatura

- Barzdajn W. 1993. Nawożenie organiczne szkółek leśnych. Poradnik Leśnika. Seria B. Acarus, Poznań, 28 s. ISBN: 83-85340-28-9.
- Bastida F., Kandeler E., Hernández T., García C. 2007. Long-term Effect of Municipal Solid Waste Amendment on Microbial Abundance and Humus-associated Enzyme Activities Under Semiarid Conditions. *Microbial Ecology* 55: 651–661. DOI: 10.1007/s00248-007-9308-0.
- Becher M. 2013. Stan przeobrażenia materii organicznej gleb doliny górnego biegu rzeki Liwiec. Rozprawa naukowa Nr 125. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego, Siedlce, 158 s. ISSN: 2082-5684.
- Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojska U., Prusinkiewicz Z. 2004. Badania ekologiczno-gleboznawcze. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 344 s. ISBN: 83-01-14216-2.
- Ciesielczuk T., Rosik-Dulewska Cz. 2012. Wady i zalety rekultywacyjnego wykorzystania kompostów z odpadów. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych* 10: 316–322.
- Fijałkowski K., Kacprzak M. 2009. Wpływ dodatku osadów ściekowych na wybrane fizyczno-chemiczne i mikrobiologiczne parametry gleb zdegradowanych. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 12(2): 133–141.
- Frać M., Lipiec J., Rutkowska A., Oszust K., Półtorak M. 2011. Właściwości mikrobiologiczne gleby pod uprawą pszenicy ozimej w systemach ekologicznym i konwencjonalnym. *Acta Agrophysica* 18(2): 245–254.
- Fritze H., Pennanen T., Pietikäinen J. 1993. Recovery of soil biomass and activity from prescribed burning. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1286–1290. DOI: 0.1139/x93-164.
- Gilewska M. 2006. Wykorzystanie odpadów w rekultywacji gruntów pogórnich składników popiołowych. *Roczniki Gleboznawcze* 57(1/2): 75–81.
- Januszek K., Lasota J., Gruba P., Domicz D. 2001. Właściwości fizyczno-chemiczne i biochemiczne gleb bielcowych sześć lat po pożarze całkowitym lasu. *Acta Agraria et Silvicultura series Silvestris* 39: 47–61.
- Joniec J., Furczak J. 2007. Liczebność wybranych grup drobnoustrojów w glebie bielcowej pod upraw wierzby użyźnianej osadem ściekowym w drugim roku jego działania. *Annales Universitatis Mariae Curie Skłodowska* 62(1): 93–104.
- Jóźwiak M., Kozłowski R., Sykała E. 2009. Przestrzenny rozkład węgla i azotu w poziomie mineralnym gleb (0–10 cm) w centralnej części Gór Świętokrzyskich. *Rocznik Świętokrzyski. Seria B – Nauki Przyrodnicze* 30: 29–37.
- Kaczmarek K.Z., Michalik J., Spychalski W. 2004. Wybrane właściwości chemiczne i zawartość rozpuszczalnych w wodzie składników w glebach leśnych pożarzystka Potrzebowice w zależności od sposobu rekultywacji. *Roczniki Gleboznawcze* 55: 201–209.
- Kaczmarek Z., Gajewski P., Mocek A. 2011. Wpływ sposobu przygotowania gleby oraz nasadzeń sosną zwyczajną i olszą szarą na właściwości gleb zdegradowanych przez pożar. *Roczniki Gleboznawcze* 62(2): 164–171.
- Klimont K. 2011. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego i popiołów paleniskowych. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2: 165–176.
- Kwiatkowska J., Maciejewska A. 2008. Wpływ rodzajów substancji organicznej na właściwości fizykochemiczne gleby i zawartość węgla organicznego. *Roczniki Gleboznawcze* 59(1): 128–133.
- Lekan S., Winiarska Z., Kacperk K. 1997. Ocena wartości nawozowej kompostu z odpadów miejskich „Dano”. *Pamiętnik Puławski* 109: 73–87.
- Marczenko Z. 1979. Spektrofotometryczne oznaczenie pierwiastków. PWN, Warszawa, 757 s.
- Mazur T. 1996. Rozważania o wartości nawozowej osadów ściekowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 429: 233–236.
- Mocek A., Bielińska E.J., Kaczmarek Z., Michalik J. 2004. Enzymatic activity of forest soils after 10-year period of reclamation of forest area totally damaged by fire. Proceedings of the Int. Conf. on bioremediation of soil and groundwater. Cracow, Poland, 121–132.
- Napora A., Grobelak A. 2014. Wpływ osadów ściekowych na aktywność mikrobiologiczną i biochemiczną gleby. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 17(4): 619–630.
- Nowak M., Kacprzak M., Grobelak A. 2010. Osady ściekowe jako substytut glebowy w procesach remediacji i rekultywacji terenów skażonych metalami ciężkimi. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 13(2): 121–131.
- Olejarski J. 2003. Wpływ zabiegów agrotechnicznych na niektóre właściwości gleb oraz stan upraw sosnowych na pożarzystkach wielkoobszarowych. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Seria A2* (954): 44–77.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. z 2015 r. poz. 257).
- Sądej W., Namiotko A. 2010. Zmiany zawartości przyswajalnych składników pokarmowych w glebie nawożonej kompostami z odpadów komunalnych i zieleni miejskiej. *Roczniki Gleboznawcze* 61(4): 208–216.
- Zwoliński J., Hawryś Z. 2002. Przygotowanie gleb i dobór gatunków drzew w zalesieniach terenów zanieczyszczonych przez przemysł. *Inżynieria Ekologiczna* (6): 47–53.
- Zwoliński J., Matuszczyk I., Hawryś Z. 2004. Właściwości chemiczne gleb i igieł sosny oraz aktywność mikrobiologiczna gleb na terenie pożarzystek leśnych z 1992 roku w nadleśnictwach Rudy Raciborskie i Potrzebowice. *Leśne Prace Badawcze* 1: 119–133.
- Żukowska G., Flis-Bujak M., Baran S. 2002. Wpływ nawożenia osadem ściekowym na substancję organiczną gleby lekkiej pod uprawę wikliny. *Acta Agrophysica* 73: 357–367.

## Wkład autorów

E.K. – koncepcja pracy, badania terenowe, udział w napisaniu pracy, analizy statystyczne; B.K. – udział w napisaniu pracy; K.S. – badania terenowe i laboratoryjne; A.T. – badania terenowe i laboratoryjne; E.Z. – badania terenowe i laboratoryjne; E.P. – badania laboratoryjne.