

**PIOTR SEWERNIAK, JUSTYNA JASIŃSKA, PATRYCJA GOLIŃSKA,  
MAREK SKŁADANOWSKI**

## **Intensywność mineralizacji igieł w borze sosnowym w odniesieniu do warunków siedliskowych i mikrobiologicznych stoków wydm o kontrastowej ekspozycji\***

Rate of mineralization of needles in Scots pine stand in relation to site and microbiological conditions occurring on dune slopes of contrasting aspects

### **ABSTRACT**

Sewerniak P., Jasińska J., Golińska P., Składanowski M. 2015. Intensywność mineralizacji igieł w borze sosnowym w odniesieniu do warunków siedliskowych i mikrobiologicznych stoków wydm o kontrastowej ekspozycji. Sylwan 159 (10): 839-847.

The aim of the study was to determine the rate of mineralization of needles in a pine stand in relation to site and to microbiological conditions occurring on dune slopes of contrasting aspects. The research was conducted in the old-growth pine forest overgrowing a latitudinally located dune in the Bydgoska Forest (N Poland). On contrasting dune slopes (northern and southern) rate of mineralization of pine needles was investigated in the 2-years experiment (2012-2014) with the litterbag method. Besides, following investigations were conducted in the middle part of both slopes: 1. dynamics of soil moisture and soil temperature were measured at a depth of 3 cm for 18 days during the 2013 growing season (interval of 2 weeks was applied) and 2. populations of bacteria and fungi were determined for all subhorizons of organic soil horizon (Ol, Of, Oh) as well as for a mineral horizon (AEs) of both soils. Weight loss of needles was found to be higher on northern than on a southern slope what was consequently stated for all 4 terms of taking measurements (6, 12, 18 and 24 months after placement of litterbags). The discrepancy has increased with time and after 2 years it equaled 14.7% when the loss was 61.1% for northern and 46.4% for a southern slope. It could be surprising that such differences were found in spite a sunny slope was characterized by stated in a study higher soil temperature. It should have a stimulating effect on mineralization of organic material; however a soil located on a southern slope was also found as much drier. Thus, the periodic deficiency of soil moisture was indicated as a limiting factor for occurrence of both bacteria and fungi on a southern slope due to the numbers of both groups of microorganisms were much lower on the slope than on a northern aspect. Conditioned by more favourable site parameters, higher number of microbial population occurring on a shadow slope could explain higher rate of mineralization of needles stated for the slope aspect. The moisture factor can be of especially high significance for microbial occurrence and activity and thus for litter decomposition just in dry inland dune ecosystems. It was concluded that in relatively monotonous pine forests overgrowing dry and poor in nutrients soils of inland dunes the slope aspect is an agent significantly differentiating both site and soil microbial conditions.

### **KEY WORDS**

Scots pine, forest site, relief, nutrient cycling, soil microorganisms

\*Badania sfinansowano z funduszy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (projekt badawczy nr N N305 304840).

## ADDRESSES

Piotr Sewerniak <sup>(1)</sup> – e-mail: sewern@umk.pl

Justyna Jasińska <sup>(1)</sup> – e-mail: justynaj1804@wp.pl

Patrycja Golińska <sup>(2)</sup> – e-mail: golinska@umk.pl

Marek Składanowski <sup>(2)</sup> – e-mail: marekskladanowski@gmail.com

<sup>(1)</sup> Katedra Gleboznawstwa i Kształtowania Krajobrazu, Uniwersytet M. Kopernika w Toruniu; ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń

<sup>(2)</sup> Zakład Mikrobiologii, Uniwersytet M. Kopernika w Toruniu; ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń

## Wstęp

Sprawny obieg biologiczny składników mineralnych w układzie gleba-drzewostan ma kluczowe znaczenie dla produktywności gleb leśnych [Prusinkiewicz 1970; Kowalkowski 1983]. W warunkach intensywnego obiegu pierwiastków nawet relatywnie ubogie w składniki odżywcze gleby piaszczyste mogą cechować się wysoką produktywnością w gospodarce leśnej [Prusinkiewicz 1970; Nilsson i in. 1995], co jest możliwe dzięki rekompensowaniu niskiej zawartości składników pokarmowych w glebie przez ich sprawny biologiczny obieg w ekosystemie [Puchalski, Prusinkiewicz 1990]. Obieg ten w dużym stopniu warunkowany jest intensywnością mineralizacji nagromadzonych na powierzchni gleby szczątków organicznych (głównie liści drzew), co ma kluczowe znaczenie dla uwalniania pierwiastków pokarmowych ze struktur tkankowych opadu roślinnego i ich dalszego pobierania przez korzenie roślin [Dziadowiec 1990]. Znaczenie tego procesu dla kształtowania warunków troficznych siedliska leśnego jest szczególnie istotne w przypadku gleb piaszczystych, gdyż ze względu na niewielką zawartość drobnych frakcji uziarnienia próchnica glebowa jest w tych glebach głównym źródłem pierwiastków odżywczych dla roślin [Pokojska 1986].

Z uwagi na kluczowe znaczenie obiegu biologicznego składników pokarmowych zarówno dla funkcjonowania ekosystemów, jak i dla prowadzenia gospodarki leśnej, zagadnienie tempa mineralizacji szczątków organicznych było niejednokrotnie poruszane w pracach badawczych. Najczęściej problem ten analizowano, porównując intensywność rozkładu liści różnych gatunków drzew [Gołąb 1978; Dziadowiec 1987; Kaczmarek, Dziadowiec 1997; Xuluc-Tolosa i in. 2003; Niewinna 2010; Jonczak i in. 2014]. Znacznie mniej jest natomiast prac, w których analizowana jest intensywność mineralizacji liści tego samego gatunku drzewa, jednak w różnych warunkach siedliskowych, co dotyczy nawet dominującej w polskich lasach sosny zwyczajnej. Różnice w dynamice rozkładu igieł sosny w trzech zbiorowiskach leśnych (grąd, bór świeży i bór chrobotkowy) porastających gleby piaszczyste analizowała Dziadowiec [1990]. Czubaszek i Iwanek [2012], po przeprowadzeniu badań w drzewostanie sosnowym w dolinie Narwi, stwierdzili natomiast, że odmienne tempo mineralizacji igieł sosny może być na wydmie śródrtorfowej spowodowane odmiennymi warunkami siedliskowymi panującymi w różnych jej częściach, jednak cechy siedliska nie były szczegółowo analizowane w badaniach tych autorów.

Celem niniejszej pracy było określenie intensywności mineralizacji igieł sosny w dwóch pierwszych latach po ich opadnięciu w borze sosnowym, w odniesieniu do warunków siedliskowych (wilgotność i temperatura gleby) i mikrobiologicznych (liczebność bakterii i grzybów w powierzchniowych poziomach gleby) stoków wydmy o kontrastowej ekspozycji (północnej i południowej). Wilgotność i temperatura oraz aktywność mikrobiologiczna są czynnikami powszechnie wymienianymi jako kluczowe dla przebiegu mineralizacji glebowej materii organicznej [Dziadowiec 1990; Puchalski, Prusinkiewicz 1990; Nilsson i in. 1995; Cortez 1998; Butenschoen i in. 2011;

Jonczak 2014]. Spodziewano się więc, że ich uwzględnienie w badaniach pogłębi interpretację różnic w dynamice mineralizacji igieł sosny na badanych stokach.

## Material i metody

Badania przeprowadzono w Puszczy Bydgoskiej, która w dużej części cechuje się urozmaiconą rzeźbą terenu, wynikającą z liczne nagromadzenia wydym śródlądowych. Teren badań charakteryzuje się niewielką ilością opadów atmosferycznych (średnia wieloletnia 522,5 mm [Wójcik, Marciniak 2006]) oraz wyraźną dominacją na wydmach relatywnie suchych i ubogich w składniki pokarmowe gleb bielcowych [Bednarek, Jankowski 2006].

Obiekt badań stanowiła równoleżnikowo usytuowana wydma (N55°55'38", E18°42'13"; oddz. 215i Obrębu Otłoczyn Nadleśnictwa Gniewkowo), z wyraźnie zaznaczonym stokiem północnym i południowym, porośnięta 140-letnim starodrzewem sosnowym, reprezentującym zbiorowisko kontynentalnego boru sosnowego świeżego *Peucedano-Pinetum*. Dolne warstwy badanego drzewostanu są ubogie, na obu stokach występują pojedyncze egzemplarze jałowca pospolitego oraz sosny zwyczajnej. Średnia wysokość drzew z górnego piętra wynosi około 20 m, a ich pierśnica około 33 cm [Sewerniak i in. 2011]. Badana wydma ma wysokość względną około 20 m. Na obu jej stokach występują gleby bielcowe, stanowiące siedlisko boru świeżego [Sewerniak i in. 2011].

Intensywność mineralizacji igieł sosny badano na stoku północnym i południowym wydmy w okresie 2 lat (12.2012-12.2014), wykorzystując metodę worków ściółkowych [Dziedowicz 1990]. Materiał wyjściowy do badań stanowiły igły sosny zebrane na obu stokach z opadu jesiennego 2012 roku. Igły zostały wysuszone w temperaturze 65°C, a następnie umieszczone (po 8 g) w workach wykonanych z siatki o oczkach 2×2 mm i wyłożone w grudniu 2012 roku w środkowej części obu stoków (po 20 worków na każdym). Następnie z obu ekspozycji czterokrotnie (05.2013, 12.2013, 05.2014, 12.2014) pobrano po 5 worków i po ich wysuszeniu (65°C) oraz wybraniu żywych części roślin zważono znajdujące się w nich igły.

W materiale wyjściowym oznaczono zawartość podstawowych pierwiastków biofilnych za pomocą następujących metod: C – metodą Alteni, N – metodą Kjeldahla, Ca, Mg, K i P – po zmineralizowaniu materiału w mieszaninie kwasów (HNO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> w proporcji 20:5:1); Ca i K – techniką spektrofotometrii emisyjnej, Mg – techniką absorpcji atomowej, a P – techniką kolorymetryczną.

Badania dotyczące warunków siedliskowych (wilgotność i temperatura gleby) oraz liczebności hodowlanych mikroorganizmów zasiedlających gleby przeprowadzono w sezonie wegetacyjnym 2013 (5.04-4.12.). W środkowej części obu stoków, w odstępach 2-tygodniowych, badano na głębokości 3 cm dynamikę wilgotności i temperatury najwyższego poziomu mineralnego obu gleb (AEs). Łącznie pomiary zostały wykonane w 18 terminach. Pomiary wilgotności wykonano każdorazowo w 10 powtórzeniach na każdym stoku. Wykorzystano metodę TDR, kalibrując sondę do badań prowadzonych w materiałach o niskiej wilgotności [Skierucha i in. 2008]. Temperaturę gleby określano przy użyciu termometru elektronicznego. Liczebność mikroorganizmów (bakterii i grzybów) oznaczono w próbkach pobranych ze wszystkich wyróżnionych na badanych stokach podpoziomów poziomu organicznego (Ol, Of, Oh) oraz z najwyższego poziomu mineralnego obu gleb (AEs). Próbki gleby z każdego (pod)poziomu pobrano z 5 punktów każdego stoku 14.10.2013 roku i uśredniono w warunkach laboratoryjnych. Izolację mikroorganizmów przeprowadzono z wykorzystaniem standardowej rozcieńczeniowej metody płytkowej [Goodfellow i in. 1967]. Seryjne rozcieńczenia ośmiu próbek glebowych, każde po 100 µl, rozprowadzono na powierzchni podłoża R2A (BD) i podłoża Martina (BTL), odpowiednio dla bakterii i grzybów. Podłoże do izolacji bakterii wzbogacono o cykloheksymid i nystatynę (każdy 50 µg/ml),

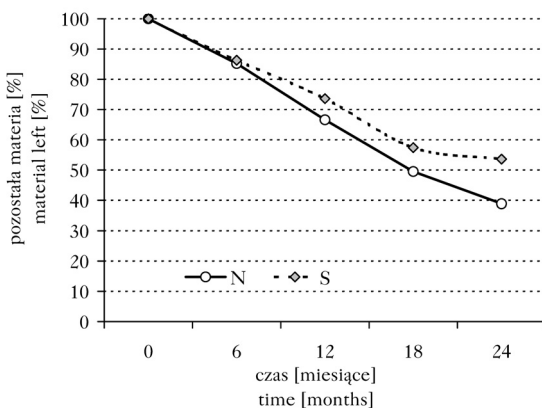
a do izolacji grzybów w streptomycynę (50 µg/ml). Płytki (w czterech powtórzeniach dla każdego rozcieńczenia) inkubowano w 28°C przez 21 dni. Uzyskaną ogólną liczbę dających się hodować mikroorganizmów (jtk – jednostki tworzące kolonie) przeliczono na 1 g suchej masy gleby.

Istotność różnic między średnimi analizowano w pakiecie Statistica 9.0 (StatSoft, Inc.), wykorzystując nieparametryczny test U Manna-Whitneya.

## Wyniki

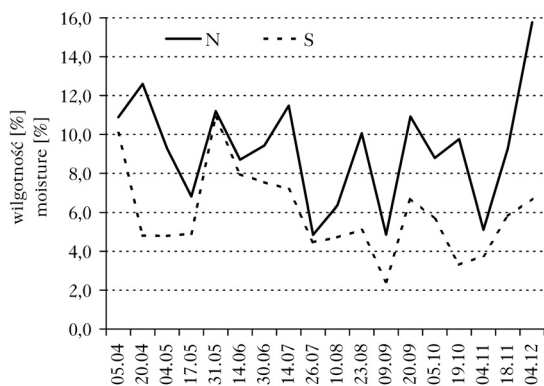
**INTENSYWNOŚĆ MINERALIZACJI IGIEŁ.** We wszystkich analizowanych terminach stwierdzono szybszy ubytek masy igieł na stoku północnym niż południowym (ryc. 1). Po upływie 6 miesięcy ubytek materiału dla obu stoków wyniósł około 14%. Nawet po tak relatywnie krótkim czasie zaznaczyła się szybsza mineralizacja materiału na stoku północnym niż południowym (udział pozostałego materiału: 85,2 ±3,6% vs. 86,3 ±0,8%), jednak uzyskane różnice nie były dla tego terminu istotne statystycznie ( $p=0,69$ ). Konsekwentnie wyższe tempo mineralizacji igieł na stoku północnym sprawiło jednak, że uzyskane różnice w masie pozostającego w workach materiału na badanych stokach były istotne ( $p<0,05$ ) dla wszystkich trzech kolejnych terminów badań. Po roku mineralizacji na stoku północnym pozostało 66,6 ±4,2%, zaś na południowym 73,6 ±0,5% masy igieł. W dwóch ostatnich terminach pomiarów różnica w ubytku masy igieł na stokach systematycznie ulegała zwiększeniu: na stoku północnym pozostało 49,5 ±5,6% materiału po 18 miesiącach i 38,9 ±4,2% po 24 miesiącach, a na południowym odpowiednio 57,4 ±4,1% i 53,6 ±3,4%. Oznacza to, że przez 2 lata prowadzenia badań igły sosny uległy mineralizacji średnio w 61,1% na stoku północnym i 46,4% na południowym (ryc. 1).

**WILGOTNOŚĆ I TEMPERATURA GLEBY.** Wilgotność gleby na głębokości 3 cm była we wszystkich terminach pomiarowych wyższa na stoku północnym niż południowym (ryc. 2). Największą różnicę tego parametru (9,1%) stwierdzono 4.12.2013 roku, kiedy wilgotność na stoku północnym wyniosła 15,8 ±1,6%, a na południowym 6,7 ±2,3%. Duże różnice wystąpiły także dla kilku pomiarów w okresie wiosenno-letnim, np. 20.04 i 23.08. Przeciwnie do wilgotności gleby kształtowała się jej temperatura. Prawie we wszystkich terminach prowadzenia badań była ona wyższa na stoku południowym (ryc. 3). Niższą temperaturę gleby na tej wystawie w porównaniu ze stokiem północnym stwierdzono jedynie w pierwszym terminie prowadzenia pomiarów (5.04; odpowiednio 1,2 i 2,0°C), natomiast w dwóch ostatnich terminach (18.11 i 4.12) temperatura na obu stokach była taka sama.



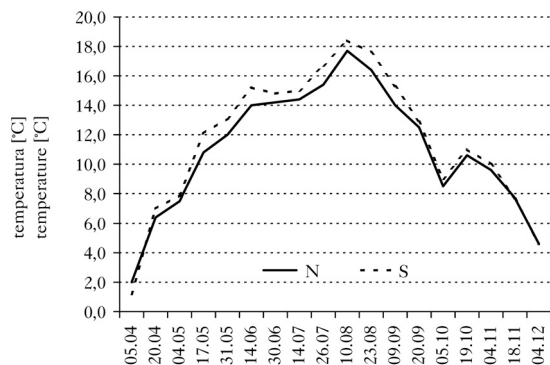
Ryc. 1.

Ubytek masy igieł sosnowych na północnym (N) i południowym (S) stoku wydmy  
Dynamics of weight loss of pine needles on northern (N) and southern (S) dune slope



Ryc. 2.

Wilgotność gleby na głębokości 3 cm na północnym (N) i południowym (S) stoku wydmy w okresie wegetacyjnym 2013 roku  
Soil moisture at a depth of 3 cm for the 2013 growing season on northern (N) and southern (S) dune slope



Ryc. 3.

Temperatura gleby na głębokości 3 cm na północnym (N) i południowym (S) stoku wydmy w okresie wegetacyjnym 2013 roku  
Soil temperature at a depth of 3 cm for the 2013 growing season on northern (N) and southern (S) dune slope

LICZEBNOŚĆ BAKTERII I GRZYBÓW W GLEBIE. Badania wykazały bardzo wyraźne różnice w liczebności bakterii i grzybów zasiedlających te same (pod)poziomy gleby na dwóch różnych stokach (tab. 1). We wszystkich badanych poziomach liczebność obu grup mikroorganizmów była zdecydowanie wyższa na stoku północnym niż południowym. Uzyskane różnice były dla większości przypadków istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ). Brak tej istotności stwierdzono jedynie dla liczebności bakterii w poziomie Oh oraz grzybów w poziomie Of (tab. 1).

## Dyskusja

Czynniki wpływające na intensywność mineralizacji szczątków organicznych można podzielić na wewnętrzne (morfologia materiału i jego skład chemiczny) oraz zewnętrzne (warunki klimatyczno-glebowe) [Dziadowiec 1990]. Ze względu na to, że na obu badanych stokach materiałem wyjściowym były igły sosny, które cechowały się niemal identyczną morfologią, a także składem chemicznym (tab. 2), można założyć, że stwierdzone różnice w dynamice mineralizacji opadu roślinnego wynikają z odmiennych warunków klimatyczno-glebowych występujących na analizowanych ekspozycjach stoku. Warunki te wpływają na mineralizację przede wszystkim pośrednio, poprzez modyfikację składu i aktywności organizmów glebowych [Dziadowiec 1990; Cortez 1998].

Biorąc pod uwagę znaną zależność, że wzrost temperatury zwiększa szybkość reakcji chemicznych, co niejednokrotnie odnoszono także do procesów glebowych, w tym do jej aktywności biologicznej i procesu mineralizacji materiału organicznego [Dziadowiec 1990; Casals i in. 1995; Leiros i in. 1999; Fang, Moncrieff 2001], może zaskakiwać, że na stoku południowym, jako cieplejszym (ryc. 3), intensywność mineralizacji była niższa niż na stoku północnym (ryc. 1).

Tabela 1.

Średnia  $\pm$ SD liczebność bakterii i grzybów [jtk/g suchej masy gleby] wyizolowanych z poziomów glebowych stoku północnego (N) i południowego (S)

Average  $\pm$ SD number of bacteria (bakterie) and fungi (grzyby) [cfu/g mass of dry weight soil] isolated from soil horizons of the investigated northern (N) and the southern (S) slope

Poziom Horizon	Bakterie ( $\times 10^6$ )		Grzyby ( $\times 10^5$ )	
	N	S	N	S
Ol	958 $\pm$ 120 <sup>a</sup>	221 $\pm$ 31 <sup>b</sup>	498 $\pm$ 91 <sup>a</sup>	47 $\pm$ 11 <sup>b</sup>
Of	230 $\pm$ 8 <sup>a</sup>	79 $\pm$ 7 <sup>b</sup>	179 $\pm$ 34 <sup>a</sup>	141 $\pm$ 22 <sup>a</sup>
Oh	44 $\pm$ 11 <sup>a</sup>	35 $\pm$ 5 <sup>a</sup>	73 $\pm$ 6 <sup>a</sup>	49 $\pm$ 7 <sup>b</sup>
AEs	18 $\pm$ 2 <sup>a</sup>	5,9 $\pm$ 0,3 <sup>b</sup>	8,0 $\pm$ 1,1 <sup>a</sup>	5,1 $\pm$ 0,9 <sup>b</sup>

Różne litery przy średnich dla tej samej grupy mikroorganizmów w odniesieniu do danego poziomu glebowego oznaczają istotność statystyczną różnicy zmiennej na stokach ( $p < 0,05$ )

Different letters at mean values for the same group of microorganisms indicate significant difference ( $p < 0.05$ ) of a variable for a given soil horizon between slopes

Tabela 2.

Zawartość [%] pierwiastków w igłach sosnowych z opadu jesiennego na stoku północnym (N) i południowym (S)

Contents [%] of elements in Scots pine needles from autumn shedding for northern (N) and southern (S) slope

	C	N	Mg	Ca	K	P	C/N
N	54,9	0,56	0,06	0,63	0,15	0,03	98,0
S	54,3	0,55	0,07	0,67	0,12	0,02	98,7

Tłumaczyć to może fakt, że wpływ temperatury na procesy glebowe zależy od innych cech siedliska, w tym przede wszystkim od warunków wilgotnościowych. Butenschoen i in. [2011] stwierdzili, że tempo rozkładu ściółki wzrastało wraz ze wzrostem temperatury, ale jedynie w warunkach wysokiej wilgotności. Przy niskiej wilgotności, pomimo wzrostu temperatury, rozkład materiału organicznego ulegał natomiast wyraźnemu spowolnieniu. Oznacza to, że warunki termiczno-wilgotnościowe na badanym stoku północnym, pomimo niższej temperatury gleby (ryc. 3), stwarzają kompleksowo korzystniejsze warunki występowania mikroorganizmów glebowych (tab. 1), co ma odzwierciedlenie w większej intensywności mineralizacji igieł (ryc. 1). Stosunkowo niska wilgotność gleby na stoku południowym (ryc. 2), w warunkach panującego tam relatywnie silnego nasłonecznienia i wysokiej temperatury, nie sprzyjała natomiast jej aktywności biologicznej, co wpłynęło na niższe tempo mineralizacji ściółki. Zależność tę potwierdzają Fioretto i in. [1998], wykazując, że niedobór wilgoci glebowej w warunkach cechującego się wysoką temperaturą klimatu śródziemnomorskiego był głównym czynnikiem warunkującym powolne tempo rozkładu igieł sosny.

Uzyskane wyniki nawiązują do rezultatów badań dynamiki rozkładu igieł sosny w różnych zespołach leśnych [Dziadowiec 1990]. Po 2 latach prowadzenia eksperymentu pozostałość masy igieł w badanym zespole *Cladonio-Pinetum* (śródlądowy bór suchy) wynosiła około 52% materiału wyjściowego, czyli była bardzo zbliżona do wartości uzyskanej dla badanego przez autorów niniejszego opracowania stoku południowego (53,6%). Masa igieł stwierdzona po upływie 2 lat w zespole *Peucedano-Pinetum* (subkontynentalny bór świeży) wyniosła natomiast około 43%, co z kolei nawiązuje do wartości otrzymanej dla stoku północnego (38,9%). Świadczy to o tym, że w tym samym zespole leśnym wpływ ekspozycji stoku na intensywność mineralizacji igieł może być porównywalny do różnic w dynamice ich rozkładu w dwóch różnych zespołach boru sosnowego występujących w warunkach względnie płaskiego terenu. Można się spodziewać, że różnice w mineralizacji igieł stwierdzone przez Dziadowiec [1990] były spowodowane podobnymi czynnikami jak w bada-

niach prowadzonych przez autorów niniejszego opracowaniu. W borze chrobotkowym temperatura gleby była wyższa, a jej wilgotność niższa niż w borze świeżym, co wpłynęło (podobnie jak w niniejszych badaniach) na różnice w liczebności mikroorganizmów glebowych i w konsekwencji na intensywność mineralizacji materiału organicznego.

Warto zwrócić uwagę na różnice w dynamice ubytku masy igieł stwierdzone na analizowanej w niniejszym opracowaniu wydmie w porównaniu z wynikami uzyskanymi przez innych autorów. Czubaszek i Iwanek [2012] po roku badań prowadzonych na wydmie śródtorfowej w dolinie Narwi stwierdzili co prawda podobną pozostałość masy igieł (73%) jak w niniejszym doświadczeniu (stok północny 66,6%, stok południowy 73,6%; ryc. 1), jednak w okresie zimowym ubytek masy był wyraźnie niższy, a w okresie wegetacyjnym znacznie wyższy. Prawdopodobnie tłumaczyć to można w głównej mierze warunkami klimatycznymi (dłuższa i bardziej sroga zima na wschodzie kraju niż w Puszczy Bydgoskiej i w związku z tym dłuższy okres niższej aktywności mikroorganizmów glebowych) oraz różnicami w trofizmie obu form eolicznych. Wydma badana w dolinie Narwi położona była wśród terenów podmokłych oraz w bezpośrednim sąsiedztwie grądu [Czubaszek, Iwanek 2012], z którego opad mógł wzbogacać ściółkę w badanym drzewostanie sosnowym. Z pewnością czynniki te mogły przyczynić się do wyraźnie większej intensywności mineralizacji igieł w okresie wegetacyjnym na wydmie śródtorfowej niż w warunkach suchych i ubogich siedlisk pól wydmych Puszczy Bydgoskiej.

W porównaniu z wynikami badań mineralizacji igieł sosny na glebach piaszczystych, jednak o innym niż eoliczne pochodzeniu piasku [Dziadowiec 1987, 1990; Kaczmarek, Dziadowiec 1997], tempo ubytku masy igieł na stokach badanych przez autorów niniejszego opracowania było wyraźnie niższe. Tłumaczyć to można przede wszystkim niższym trofizmem, zapewne też i wilgotnością analizowanych gleb, a także brakiem w badanej monokulturze sosny choćby domieszki fitomelioryacyjnych gatunków liściastych, które występowały w drzewostanach badanych w cytowanych wyżej pracach. Szczególnie wysokie różnice dotyczyły pierwszego roku mineralizacji, kiedy dla przebiegu rozkładu kluczowe znaczenie ma zawartość azotu w mineralizowanym materiale (zależność dodatnia z intensywnością mineralizacji) oraz wartość stosunku C/N (zależność ujemna) [Dziadowiec 1990]. Pod względem tych parametrów badane w niniejszej pracy igły stanowiły materiał o wyraźnie mniejszej podatności na mineralizację w porównywaniu z igłami badanymi przez Dziadowiec [1987, 1990] oraz Kaczmarek i Dziadowiec [1997].

Uzyskane wyniki potwierdzają, że cechy związane z aktywnością biologiczną gleby mogą się łączyć z trofizmem siedliska [Olszowska i in. 2005]. Na badanej wydmie wyższa liczebność mikroorganizmów na stoku północnym wpłynęła na wyższe tempo mineralizacji opadu roślinnego, a przez to sprawniejsze uwalnianie z materiału organicznego składników pokarmowych i ich udostępnianie korzeniom roślin. Znaczną liczebność bakterii, włączając promieniowce ( $9,71 \times 10^4$ ), oraz grzybów ( $3,40 \times 10^5$ ) w glebie porośniętej starodrzewem sosny zwyczajnej potwierdziły w swoich badaniach Golińska i Dahm [2011a]. Bakterie i grzyby strzępkowe zasiedlające gleby leśne są źródłem zewnątrzkomórkowych enzymów, takich jak proteazy, pektynazy czy celulazy [Redlak i in. 2001; Gierasimiuk, Strzelczyk 2003; Golińska, Dahm 2011b]. Enzymy te, rozkładając białka, pektyny i celulozę, czyli główne składniki komórek roślinnych, wpływają na mineralizację martwej substancji roślinnej. Ma to potwierdzenie w przeważnie wyraźnie wyższej zawartości azotu w analogicznych (pod)poziomach gleby bielicowej występującej na północnym stoku badanej wydmy w porównaniu z wystawą południową [Sewerniak i in. 2011]. O korzystniejszych warunkach siedliskowych na cienistych stokach wydmy świadczy także większa ich wilgotność (ryc. 2), co w warunkach niewielkich opadów atmosferycznych występujących na terenie badań ma dla drzew szczególnie duże znaczenie. Wstępne wyniki badań cech przyrostowych drzewostanów



sosnowych na wydmach Puszczy Bydgoskiej [Sewerniak i in. 2011, 2012] świadczą jednak o tym, że teoretycznie korzystniejsze warunki siedliskowe występujące na stokach cienistych niekoniecznie odzwierciedlają się w cechach przyrostowych drzewostanów sosnowych. Zagadnienie relacji między mozaikowością cech siedliska na polach wydm śródlądowych uwarunkowaną rzeźbą terenu a cechami wzrostowymi sosny wymaga dalszych badań.

## Wnioski

- ✦ Intensywność mineralizacji igieł sosny w warunkach wydm śródlądowych Puszczy Bydgoskiej jest relatywnie niska, czego pierwotną przyczyną są uwarunkowania siedliskowe (niska wilgotność i trofizm gleb).
- ✦ W relatywnie monotonnym krajobrazie borów sosnowych porastających pola wydmowe wystawa stoku jest czynnikiem wyraźnie różnicującym właściwości siedliska (wilgotność i temperaturę gleby) oraz cechy mikrobiologiczne gleby (liczebność bakterii i grzybów).
- ✦ Różnice w temperaturze i wilgotności występujące na stokach wydm o kontrastowej wystawie powodują występowanie wyraźnych różnic w liczebności bakterii i grzybów w powierzchniowych poziomach gleby. Zdecydowanie większa liczebność obu tych grup mikroorganizmów występuje na stoku północnym niż południowym, co sprawia, że intensywność mineralizacji opadłych na powierzchnię gleby igieł sosny jest na wystawie cieniejszej wyższa niż na słonecznej.
- ✦ Niższą intensywność mineralizacji igieł sosny na stoku południowym, pomimo występującej tam wyższej temperatury niż na wystawie północnej, wiązać można z okresowym niedoborem wilgoci w stropie gleby, co jest prawdopodobnie najważniejszym czynnikiem ograniczającym liczebność mikroorganizmów glebowych na wystawie słonecznej.

## Literatura

- Bednarek R., Jankowski M. 2006. Gleby. W: Andrzejewski L., Weckwerth P., Burak S. [red.]. Toruń i jego okolice. Wyd. UMK, Toruń. 153-175.
- Butenschoen O., Scheu S., Eisenhauer N. 2011. Interactive effects of warming, soil humidity and plant diversity on litter decomposition and microbial activity. *Soil Biol. Bioch.* 43: 1902-1907.
- Casals P., Romany J., Cortina J., Fons J., Bode M., Vallejo V. R. 1995. Nitrogen supply rate in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests of contrasting slope aspect. *Plant a Soil* 168-169: 67-73.
- Cortez J. 1998. Field decomposition of leaf litters: relationships between decomposition rates and soil moisture, soil temperature and earthworm activity. *Soil Biol. Bioch.* 30 (6): 783-793.
- Czubaszek R., Iwanek E. 2012. Rozkład opadu organicznego w zbiorowiskach roślinnych porastających wydmy śródtorfowe w dolinie Narwi. *Sylvan* 156 (6): 444-450.
- Dziadowiec H. 1987. The decomposition of plant litter fall in an oak-linden-hornbeam forest and oak-pine mixed forest of the Białowieża National Park. *Acta Soc. Bot. Pol.* 56 (1): 169-185.
- Dziadowiec H. 1990. Rozkład ściółki w wybranych ekosystemach leśnych. *Rozprawy UMK, Toruń.*
- Fang C., Moncrieff J. B. 2001. The dependence of soil CO<sub>2</sub> efflux on temperature. *Soil Biol. Bioch.* 33: 155-165.
- Fioretto A., Musacchio A., Andolfi G., Virzo de Santo A. 1998. Decomposition dynamics of litters of various pine species in a corsican pine forest. *Soil Biol. Bioch.* 30: 721-727.
- Gierasimiuk J., Strzelczyk E. 2003. Cellulolytic and pectolytic activity of bacilli isolated from the root-free soil and the rhizosphere of different forest trees. *Folia For. Pol.* 45: 15-26.
- Golińska P., Dahm H. 2011a. Occurrence of actinomycetes in forest soil. *Dendrobiology* 66: 3-13.
- Golińska P., Dahm H. 2011b. Enzymatic activity of actinomycetes from the genus *Streptomyces* isolated from the bulk soil and rhizosphere of the *Pinus sylvestris*. *Dendrobiology* 65: 37-46.
- Gołąb Z. 1978. Zmiany chemiczne zachodzące w liściach bukowych i grabowych podczas ich rozkładu w naturalnych warunkach. *Rocz. Glebozn.* 29 (2): 31-41.
- Goodfellow M., Hill I. R., Gray T. R. G. 1967. Bacteria in a pine forest soil. W: Gray T. R. G., Parkinson D. [red.]. *The ecology of soil bacteria.* University Press, Liverpool. 500-515.
- Joneczak J. 2014. Rozkład liści buka w 120-letnim drzewostanie na obszarze Pomorza Środkowego. *Sylvan* 158 (8): 621-629.
- Joneczak J., Parzych A., Sobisz Z. 2014. Dynamics of Cu, Mn, Ni, Sr and Zn release during decomposition of four types of litter in headwater riparian forests in northern Poland. *Leśn. Pr. Bad.* 75 (2): 193-200.



- Kaczmarek J., Dziadowiec H. 1997. Rozkład liści dębu oraz igieł sosny i świerka w trzech stanowiskach lasu mieszanego. *Humic Subst. in Ecosyst.* 1: 87-92.
- Kowalkowski A. 1983. Wpływ pozyskania biomasy w drzewostanach sosnowych na obieg składników mineralnych oraz właściwości gleb siedlisk borowych. *Pr. IBL* 598: 67-89.
- Leiros M. C., Trasar-Cepeda C., Seoane S., Gil-Sotres F. 1999. Dependence of mineralization of soil organic matter on temperature and moisture. *Soil Biol. Bioch.* 31: 327-335.
- Niewinna M. 2010. Wielkość opadu i tempo rozkładu ściółki w wybranych drzewostanach Bieszczadów. *Rocz. Bieszcz.* 18: 59-73.
- Nilsson L. O., Hättl R. E., Johansson U. T., Jochheim H. 1995. Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems – present status and future research directions. *Plant a Soil* 168-169: 5-13.
- Olszowska G., Zwoliński J., Matuszczyk I., Syrek D., Zwolińska B., Pawlak U., Kwapis Z., Dudzińska M. 2005. Wykorzystanie badań aktywności biologicznej do wyznaczenia wskaźnika żyzności gleb w drzewostanach sosnowych na siedliskach boru świeżego i boru mieszanego świeżego. *Leśn. Pr. Bad.* 68 (3): 17-37.
- Pokojska U. 1986. Rola próchnicy w kształtowaniu odczynu, właściwości buforowych i pojemności jonowymiennej gleb leśnych. *Rocz. Glebozn.* 37 (2-3): 249-263.
- Prusinkiewicz Z. 1970. Gleba jako zasadniczy składnik siedliska leśnego. *Sylwan* 114 (8-9): 26-30.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1990. Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. PWRiL, Warszawa.
- Redlak K., Dahm H., Ciesielska A., Strzelczyk E. 2001. Enzymatic activity of ectendomycorrhizal fungi. *Biol. Fertil. Soils.* 33: 83-90.
- Sewerniak P., Bednarek R., Szymańska A. 2011. Ekspozycja stoków wydm w Kotlinie Toruńskiej a wybrane elementy ekosystemu boru sosnowego – wstępne wyniki badań. *Leśn. Pr. Bad.* 72 (4): 311-319.
- Sewerniak P., Gonet S. S., Quaium M. 2012. Wpływ przygotowania gleby frezem leśnym na wzrost sadzonek sosny zwyczajnej w warunkach ubogich siedlisk Puszczy Bydgoskiej. *Sylwan* 156 (11): 871-880.
- Skierucha W., Wilczek A., Alokhina O. 2008. Calibration of a TDR probe for low soil water content measurements. *Sensors and Actuators A* 147: 544-552.
- Wójcik G., Marciniak K. 2006. *Klimat*. W: Andrzejewski L., Weckwerth P., Burak S. [red.]. Toruń i jego okolice. Wyd. UMK, Toruń. 99-128.
- Xuluc-Tolosa F. J., Vestera H. F. M., Ramírez-Marcial N., Castellanos-Albores J., Lawrence D. 2003. Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases of tropical dry secondary forest in Campeche, Mexico *For. Ecol. Manage.* 174: 401-412.