

AGNIESZKA PARZYCH

## Akumulacja makro- i mikrośkładników w igliwii sosny zwyczajnej na siedliskach borowych

Macro- and micronutrients accumulation in needles of Scots pine on coniferous forest habitats

### ABSTRACT

Parzych A. 2018. Akumulacja makro- i mikrośkładników w igliwii sosny zwyczajnej na siedliskach borowych. Sylwan 162 (2): 127-137.

This study was carried out in the Słowiński National Park (SNP; northern Poland) in Scots pine forest stands. The aim of the research was to compare the accumulation of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, calcium, zinc, nickel, iron and manganese in needles of pines growing on in dry (Bs), fresh (Bw) and moist (Bw) habitats. The age of needles, soil moisture and the content of examined components in the soil were taken into account. Needles and soil samples were collected in September from 15 sites (Bs – 5, Bśw – 3, Bw – 7). The nitrogen was determined with Kjedahl method, and the phosphorus by the molybdate method after digestion in the mixture of 98% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The content of K, Mg, Ca, Zn, Ni, Fe and Mn was assessed by atomic absorption spectrometry after digestion in the mixture of 65% HNO<sub>3</sub> and 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The soils of SNP, developed from deep dune sands, were very poor in nutrients. The highest amounts of macro- and micronutrients were found in organic and humic levels. In mineral levels, the content of the ingredients decreased rapidly and in many cases was beyond the limit of determination. Extreme nitrogen, phosphorus and potassium deficiency was found in analysed needles, together with adequate amounts of magnesium, zinc, nickel, iron and manganese as well as an excess of calcium. Differences in the nutritional state of Scots pine in investigated habitats were apparent primarily in the sum of the components accumulated in the needles. Needles accumulated in total from 736.5 to 850.7 mmol/kg of nutrients, with macronutrients ranging from 98.6 to 99.1%. The accumulation of macro- and micronutrients in the examined needles decreased in the series Bśw>Bw>Bs. Mn and Fe showed the largest share in the micronutrient pool. Zn and Ni were significantly less common. The comparison of the accumulation of macro- and micronutrients in the needles indicated that stands on Bśw have slightly better conditions for development under unfavourable soil and climatic conditions prevailing in the Łeba Spit than those in Bs and Bw habitats.

### KEY WORDS

protected area, soil, Scots pine, needles, accumulation of nutrients

### ADDRESSES

Agnieszka Parzych – e-mail: agnieszka.parzych@apsl.edu.pl

Zakład Chemii Środowiskowej, Akademia Pomorska; ul. Arciszewskiego 22b, 76-200 Słupsk

## Wstęp

Sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* L. jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych na półkuli północnej gatunków z rodzaju *Pinus*. Występuje zarówno w lasach, jak i na terenach miejskich [Kluczyński, Kreft 2003; Parzych, Jonczak 2013, 2014; Woziwoda i in. 2014]. Duże znaczenie gospodarcze i ekologiczne sosny zwyczajnej powoduje, że jest ona obiektem szerokiego zainteresowania leśników i przyrodników [Szeligowski i in. 2016]. Gatunek ten od bardzo dawna jest przedmiotem badań ze względu na różnice morfologiczne igliwia [Urbaniak i in. 2003; Urbaniak 2009], wymagania pokarmowe [Parzych, Sobisz 2012; Parzych i in. 2017b], ilość i zasobność zrzucanego opadu organicznego [Astel i in. 2009], wpływ koron drzew na właściwości gleby [Jonczak, Parzych 2012; Polláková i in. 2015] oraz przydatność w badaniach monitoringowych [Čeburnis, Stennes 2000; Malzahn 2002; Świercz 2003; Parzych, Jonczak 2013; Parzych i in. 2017a]. Sosna zwyczajna jest najważniejszym gatunkiem lasotwórczym na terenie Słowińskiego Parku Narodowego (SPN). Dzięki stosunkowo małym wymaganiom troficznym i szerokiej skali w zakresie wilgotności gleb doskonale opanowała ubogie siedliska panujące w SPN [Żółko 2010]. Na obszarze Parku tworzy monokultury w borach suchych, świeżych i bagiennych, dominuje w borach wilgotnych i mieszanych, a w lasach mieszanych stanowi domieszczę [Kluczyński, Kreft 2003]. Stan odżywienia mineralnego sosny zwyczajnej w dużym stopniu wyznacza koncentracja składników pokarmowych w igliwiu [Malzahn 2002], która zwłaszcza na siedliskach borowych jest odzwierciedleniem ich niedostatecznej ilości w glebie [Wang, Klinka 1997]. Skład chemiczny igliwia sosny zwyczajnej cechuje określona zmienność, wynikająca z naturalnej żyzności siedliska oraz czynników warunkujących pobieranie składników glebowych i ich transport [Ostrowska i in. 2006]. Jest on ponadto modyfikowany przez wilgotność gleby [Parzych 2011], opady atmosferyczne [Parzych i in. 2008], a przede wszystkim przez dostępność składników mineralnych w podłożu [Jonczak, Parzych 2012]. Prace badawcze dotyczące sosny zwyczajnej skupiają się w znacznej mierze na jej roli jako wskaźnika jakości środowiska. Znacznie mniej uwagi poświęcono w literaturze analizie odżywiania mineralnego. Proces ten jest szczególnie ciekawy w borach Słowińskiego Parku Narodowego, z uwagi na intensywne procesy eoliczne i obecność naturalnych drzewostanów borowych, w których sosna zwyczajna jest najczęściej jedynym gatunkiem budującym drzewostany.

Celem pracy było porównanie właściwości akumulacyjnych igliwia *Pinus sylvestris* L. w borach suchych, świeżych i wilgotnych w stosunku do azotu, fosforu, potasu, magnezu, wapnia, cynku, niklu, żelaza i manganu. W badaniach uwzględniono wiek igliwia, wilgotność gleb oraz zawartość badanych składników w glebie.

## Materiał i metody

**OBZAR BADAŃ.** Słowiński Park Narodowy leży między 17°03' a 17°33' długości geograficznej wschodniej i między 54°37' a 54°46' szerokości geograficznej północnej – stanowi najbardziej na północ wysuniętą część Pobrzeża Południowobałtyckiego. Powierzchnia Parku wynosi 18 247 ha, z czego 9835 ha zajmują wody, 4478 ha lasy, 1410 ha bagna, 953 ha wydmy ruchome i 1571 ha nieużytki [Rutkowska-Czaplinek 2000]. Park znajduje się w strefie klimatu bałtyckiego, który charakteryzuje się łagodnymi zimami, niezbyt gorącymi latami, dużą wilgotnością powietrza oraz często wiejącymi, silnymi wiatrami. Średnie roczne sumy opadów dochodzą do 700 mm [Matuszkiewicz 2002]. Ponadto obszar SPN wyróżnia się na tle naszego kraju specyficznymi warunkami klimatycznymi i ubogimi glebami wytworzonymi z głębokich piasków wydmowych [Tobolski i in. 1997]. Badania prowadzono na siedliskach borów suchych (Bs), świeżych (Bśw) i wilgotnych (Bw) Mierzei Łebskiej, w Obwodach Ochronnych: Rowy, Smółdziński Las i Rąbka. Badany drzewostan

porastał ubogie gleby bielcowe wytworzone z głębokich piasków wydmych. Wiek drzewostanów *P. sylvestris* oraz jego zadrzewienie były zbliżone (tab. 1). Największą wysokość oraz największe średnie pierśnice osiągał badany drzewostan na siedlisku Bw, co przekładało się na wskaźnik produkcyjnej zdolności siedlisk – bonitację.

**BADANIA TERENOWE I LABORATORYJNE.** Próbkę igliwia *P. sylvestris* oraz próbki gleby pobrano do badań we wrześniu z 15 stanowisk (Bs – 5, Bśw – 3, Bw – 7). Materiał roślinny o masie 10-20 g pozyskano z siódmego okółka kilkunastu losowo wybranych drzew w obrębie każdego stanowiska, uwzględniając wiek igliwia (oddzielnie igły jednoroczne i igły dwuletnie), według zaleceń ICP Manual Forest [Rautio i in. 2010]. W laboratorium próbki igliwia płukano w wodzie dejonizowanej, suszono w temperaturze 65°C i homogenizowano w młynku laboratoryjnym. W tak przygotowanych próbkach oznaczono zawartość azotu metodą Kiejdahla (destylarka 350K, Büchi), fosforu metodą spektrofotometryczną z molibdenianem amonu (UV-VIS U5100, Hitachi) po mineralizacji w mieszaninie H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o stężeniu 98% i H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> o stężeniu 30%. Koncentrację K, Mg, Ca, Zn, Ni, Fe i Mn oznaczono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (Analyst 300, Perkin Elmer) po mineralizacji w mieszaninie HNO<sub>3</sub> o stężeniu 65% i H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> o stężeniu 30%. W badaniach wykorzystano oryginalne roztwory wzorcowe firmy Merck (KGaA, 1 g/1000 ml). Dodatkowo z każdego stanowiska pobrano z 25 drzew po 10 igieł jednorocznych i 10 igieł dwuletnich i zmierzono ich długość [Urbaniak 2009].

Na każdym stanowisku z drzewostanem sosnowym pobrano do badań próbki gleby z poziomów: O (Ol, Ofh), A i C, średnio do głębokości 50 cm. Po wstępnym przygotowaniu próbek (suszenie w temperaturze 65°C, rozcieranie w moździerz, przesiewanie przez sito – 1 mm) oznaczono w nich odczyn w roztworze wodnym metodą potencjometryczną (CPI 551 Elmetron) i materię organiczną metodą strat prażenia w temperaturze 550°C w piecu muflowym. W celu oznaczenia zawartości N, P, K, Mg Ca, Zn, Ni, Fe i Mn w glebie zastosowano takie same metody analityczne jak w przypadku próbek roślinnych.

**OPRACOWANIE WYNIKÓW.** Istotność zróżnicowania statystycznego właściwości fizykochemicznych gleb oraz koncentracji makro- i mikrośladników w jednorocznym i dwuletnim igliwii *P. sylvestris* na siedliskach borowych porównano za pomocą testu Kruskala-Wallisa. Zapotrzebowanie igliwia na składniki odżywcze opisano za pomocą metody ANE (Accumulation Nutrient Elements) [Ostrowska 1987]. Sumę składników ( $Y$  [mmol<sub>c</sub>/kg]) wyliczono z wzoru:

$$Y = \sum \frac{Z}{z}$$

gdzie:

$Z$  – zawartość pierwiastka [mg/kg],

$z$  – masa atomowa/wartościowość jonu.

**Tabela 1.**

Wiek (W [lata]), zadrzewienie (SDI), średnia pierśnica (D [cm]), średnia wysokość (H [m]) oraz klasa bonitacji (B) badanych drzewostanów sosnowych na siedliskach borowych [Operat... 2002]

Age (W [years], stand density index (SDI), average breast height diameter (D [cm]), average height (H [m]) and site index class (B) for analysed Scots pine stands [Operat... 2002]

	Bs	Bśw	Bw
W	110	120	125
SDI	0,8	0,7	0,7
D	11	17	27
H	8	12	16
B	III	V	II

Następnie wyliczono procentowy udział ( $X$ ) każdego pierwiastka w tej sumie:

$$X = \frac{Z/z}{Y} \cdot 100\%$$

## Wyniki

Gleby pod drzewostanem *Pinus sylvestris* były silnie kwaśne i wykazywały niewielkie zróżnicowanie wraz z głębokością. Materia organiczna zakumulowana była głównie w wierzchnich poziomach genetycznych, co było wynikiem systematycznego dopływu opadu organicznego, i malała wraz z głębokością. Spośród badanych stanowisk największe ilości materii organicznej stwierdzono w podpoziomach Ol i Ofh borów świeżych, a największa wilgotność występowała na stanowiskach Bw (tab. 2). Gleby SPN wytworzone z głębokich piasków wydmowych były bardzo mało zasobne w podstawowe składniki pokarmowe. Największe ilości makro- i mikroskładników zgromadzone były w poziomach organicznych i próchnicznych. W poziomach mineralnych (poniżej poziomu A), w których znajduje się główna masa korzeni sosny zwyczajnej, zawartość makro- i mikroskładników była bardzo skąpa i w wielu przypadkach znajdowała się poza granicą oznaczalności. Mimo zróżnicowania pomiędzy stanowiskami nie stwierdzono w większości przypadków istotnych statystycznie różnic we właściwościach fizykochemicznych gleb Bs, Bśw i Bw, za wyjątkiem koncentracji Mg w podpoziomach Ofh (tab. 2).

Igliwie *P. sylvestris* na terenie Mierzei Łebskiej SPN charakteryzowało się zróżnicowaną długością w zależności od jego wieku oraz stanowiska. Największą długość miało igliwie z Bśw 52,8 mm (jednoroczne) i 54,7 mm (dwuletnie). Nieco krótsze było igliwie z Bs (odpowiednio 47,8 mm i 49,7 mm) oraz z Bw (48,3 mm i 47,6 mm). Mimo zróżnicowania pomiędzy stanowiskami długość igliwia z badanych siedlisk nie wykazywała różnic istotnych statystycznie (ryc. 1).

Zawartość makro- i mikroskładników była zróżnicowana w zależności od stanowiska oraz wieku igliwia (ryc. 1). Koncentracja azotu zawierała się w przedziale od 7781 mg/kg w jednorocznym igliwiu z Bs do 9530 mg/kg w jednorocznym igliwiu z Bśw. Największą zawartość azotu stwierdzono w igliwiu z Bśw, a najmniejszą w igliwiu z Bs. Fosfor utrzymywał się na podobnym poziomie (659,6-623,9 mg/kg) niezależnie od stanowiska, wykazując każdorazowo wyższą koncentrację w igliwiu jednorocznym. W przypadku potasu również zaobserwowano wyższą zawartość w igliwiu jednorocznym (od 1101,9 mg/kg z Bw do 1375,0 mg/kg z Bs) niż w dwuletнім (od 800,3 mg/kg z Bw do 1075,0 mg/kg z Bśw). Koncentracja Mg w igliwiu jednorocznym utrzymywała się na poziomie od 1283,6 mg/kg (Bs) do 1346,2 mg/kg (Bśw), a w igliwiu dwuletнім od 1193,7 mg/kg (Bw) do 1331,3 mg/kg (Bśw) (ryc. 1). W przypadku wapnia sytuacja była odwrotna. Wyższą zawartość Ca stwierdzono w igliwiu dwuletнім (od 3107,4 mg/kg z Bs do 3462,1 mg/kg z Bw) niż w jednorocznym (od 2231,7 mg/kg z Bśw do 3031,3 mg/kg z Bw).

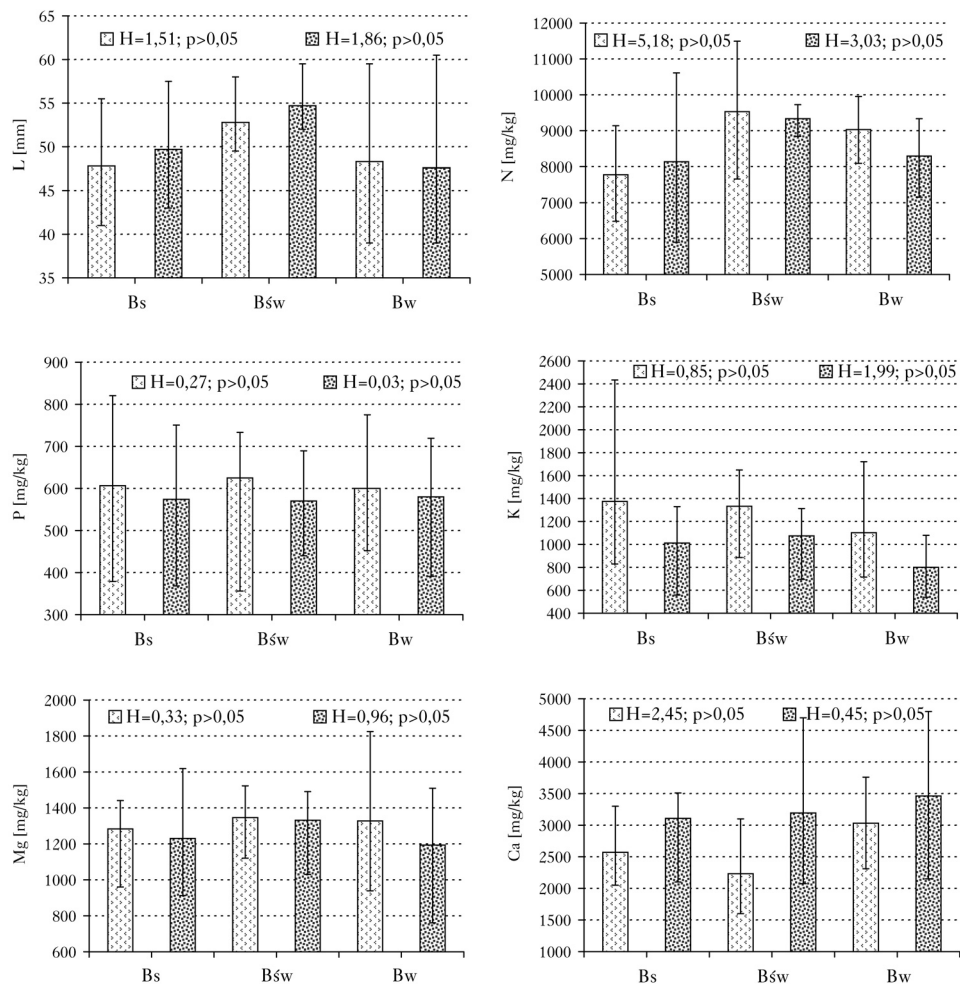
Koncentrację mikroskładników w igliwiu *P. sylvestris* również cechowało zróżnicowanie. W większości przypadków wyższą zawartość stwierdzono w igliwiu dwuletнім, za wyjątkiem niklu (ryc. 2). Zawartość cynku w igliwiu jednorocznym utrzymywała się na poziomie od 48,7 mg/kg (Bs) do 58,1 mg/kg (Bw), a w igliwiu dwuletнім od 60,1 mg/kg (Bs) do 76,1 mg/kg (Bśw). Koncentracja niklu była bardzo zbliżona w badanych próbkach: igliwie jednoroczne zawierało 3,0-3,9 mg/kg Ni, a igliwie dwuletnie 2,6-3,0 mg/kg. Nieco większe zróżnicowanie stwierdzono w przypadku żelaza i manganu. Zawartość Fe w igliwiu jednorocznym utrzymywała się na poziomie od 145,5 mg/kg (Bs) do 186,0 mg/kg (Bśw), a w igliwiu dwuletнім od 176,7 mg/kg (Bw) do 202,2 mg/kg (Bśw). Koncentracja manganu w igliwiu jednorocznym wynosiła od 170,4 mg/kg (Bśw) do 282,5 mg/kg (Bw), a w igliwiu dwuletнім od 245,4 mg/kg (Bśw) do 351,5 mg/kg (Bw).

Tabela 2.

Średnia  $\pm$ odchylenie standardowe parametrów fizykochemicznych gleb na siedliskach borowych  
 Mean  $\pm$ standard deviation of physicochemical properties of soil on coniferous forest habitats

		Bs	Bśw	Bw
pH	Ol	4,5 $\pm$ 0,1	4,5 $\pm$ 0,2	4,4 $\pm$ 0,3
	Ofh	3,9 $\pm$ 0,1	4,0 $\pm$ 0,1	3,8 $\pm$ 0,3
	A	4,4 $\pm$ 0,3	4,1 $\pm$ 0,3	4,5 $\pm$ 0,4
	C	4,9 $\pm$ 0,5	5,2 $\pm$ 0,2	5,6 $\pm$ 0,1
Materia organiczna [%] Organic matter	Ol	96,6 $\pm$ 2,8	96,3 $\pm$ 1,3	96,6 $\pm$ 0,2
	Ofh	85,9 $\pm$ 9,5	97,2 $\pm$ 18,9	70,4 $\pm$ 20,9
	A	4,5 $\pm$ 2,0	1,9 $\pm$ 0,8	2,6 $\pm$ 1,5
	C	0,2 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,1	0,6 $\pm$ 0,2
Wilgotność gleby [%] Humidity of soil	Ol	14,2 $\pm$ 13,5	16,4 $\pm$ 17,7	28,0 $\pm$ 9,4
	Ofh	44,7 $\pm$ 10,8	57,8 $\pm$ 12,1	59,2 $\pm$ 15,5
	A	6,3 $\pm$ 2,1	13,0 $\pm$ 13,5	61,5 $\pm$ 11,2
	C	19,6 $\pm$ 7,3	27,5 $\pm$ 12,1	74,3 $\pm$ 14,0
N [mg/kg]	Ol	7663 $\pm$ 1522	6877 $\pm$ 1116	7434 $\pm$ 1556
	Ofh	7811 $\pm$ 1115	6730 $\pm$ 1708	7242 $\pm$ 2991
	A	280 $\pm$ 67	295 $\pm$ 177	228 $\pm$ 63
	C	–	–	–
P [mg/kg]	Ol	221 $\pm$ 41	844 $\pm$ 737	357 $\pm$ 148
	Ofh	246 $\pm$ 85	287 $\pm$ 122	304 $\pm$ 139
	A	70 $\pm$ 25	40 $\pm$ 22	30 $\pm$ 16
	C	–	–	–
K [mg/kg]	Ol	275 $\pm$ 80	278 $\pm$ 181	201 $\pm$ 103
	Ofh	101 $\pm$ 72	90 $\pm$ 28	37 $\pm$ 21
	A	113 $\pm$ 55	92 $\pm$ 14	64 $\pm$ 26
	C	–	–	–
Mg [mg/kg]	Ol	729 $\pm$ 142	521 $\pm$ 62	638 $\pm$ 181
	Ofh	661 $\pm$ 128*	596 $\pm$ 74*	483 $\pm$ 23*
	A	571 $\pm$ 117	463 $\pm$ 26	413 $\pm$ 63
	C	–	–	–
Ca [mg/kg]	Ol	4945 $\pm$ 1373	5839 $\pm$ 1290	4389 $\pm$ 1840
	Ofh	2696 $\pm$ 1037	2613 $\pm$ 613	1601 $\pm$ 301
	A	318 $\pm$ 105	309 $\pm$ 62	311 $\pm$ 92
	C	42,0 $\pm$ 8	51 $\pm$ 11	53 $\pm$ 16
Zn [mg/kg]	Ol	59 $\pm$ 9	75 $\pm$ 15	71 $\pm$ 26
	Ofh	44 $\pm$ 18	60 $\pm$ 15	38 $\pm$ 8
	A	4 $\pm$ 1	3 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1
	C	–	–	–
Ni [mg/kg]	Ol	27 $\pm$ 24	8 $\pm$ 4	24 $\pm$ 18
	Ofh	10 $\pm$ 8	3 $\pm$ 2	17 $\pm$ 14
	A	2 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1	19 $\pm$ 12
	C	–	–	–
Fe [mg/kg]	Ol	298 $\pm$ 253	216 $\pm$ 64	716 $\pm$ 646
	Ofh	808 $\pm$ 208	807 $\pm$ 272	2503 $\pm$ 3016
	A	417 $\pm$ 111	359 $\pm$ 58	277 $\pm$ 111
	C	33 $\pm$ 15	47 $\pm$ 11	43 $\pm$ 9
Mn [mg/kg]	Ol	226 $\pm$ 93	184 $\pm$ 100	186 $\pm$ 135
	Ofh	54 $\pm$ 32	54 $\pm$ 12	27 $\pm$ 10
	A	6 $\pm$ 2	4 $\pm$ 1	3 $\pm$ 2
	C	–	–	–

\* różnica istotna statystycznie (test Kruskala-Wallisa,  $p=0,006$ ); \* significant difference (Kruskal-Wallis test,  $p=0,006$ )



Ryc. 1.

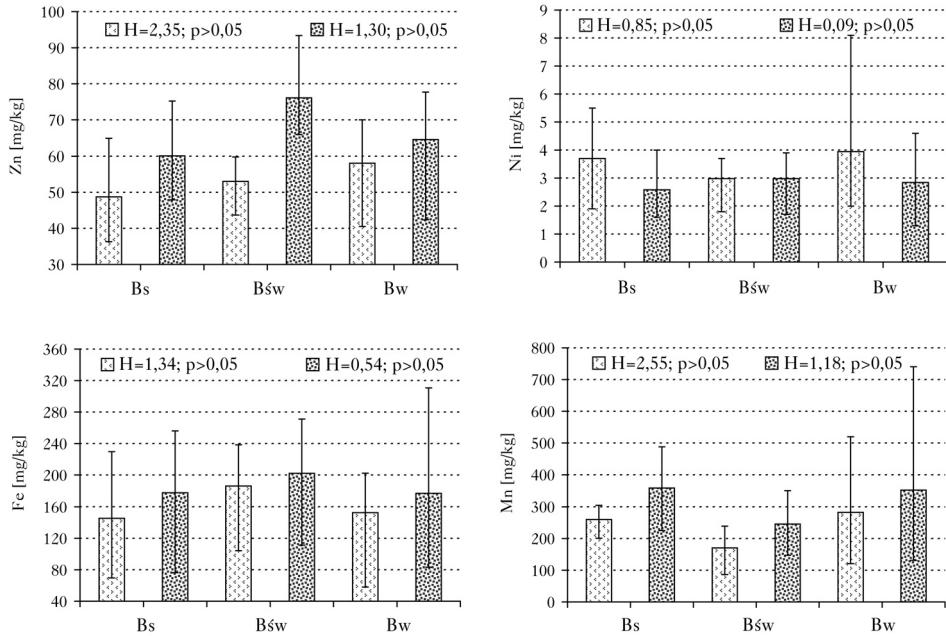
Średnia (słupek) oraz zakres (wąsy) wartości długości igliwia (L) oraz koncentracji makroskładników w jednorocznym (jasny) i dwuletnim (ciemny) igliwiu sosny na siedliskach borowych

Mean (bar) and range (whiskers) of the values of needle length (L) and macronutrients content in one- (bright) and two- (dark)-years-old needles of Scots pine growing on coniferous forest habitats

H, p – wartości w teście Kruskala-Wallis; values in Kruskal-Wallis test

Mimo zróżnicowania większości składników w igliwio *P. sylvestris* w zależności od stanowiska nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy koncentracją makro- i mikroskładników dla badanych siedlisk SPN (ryc. 1, 2).

Igliwie *Pinus sylvestris* akumulowało łącznie od 736,5 do 850,7 mmol/kg analizowanych składników, przy czym makroskładniki stanowiły od 98,6 do 99,1% tej puli (tab. 3). Największe ilości składników stwierdzono w igliwio pochodzącym z Bśw oraz w jednorocznym igliwio z Bw. Najmniej składników akumulowało igliwio z Bs. Udział poszczególnych składników w igliwio jedno- i dwuletnim z badanych siedlisk był zbliżony i wynosił w przypadku azotu 76,3-81,2% tej sumy, fosforu 1,4-3,2%, potasu 2,7-4,8%, magnezu 6,4-7,3%, wapnia 6,7-11,2%, natomiast mikroskładniki stanowiły łącznie od 0,9 do 1,4%. Największy udział w puli mikroskładników wykazy-



Ryc. 2.

Średnia (słupki) oraz zakres (wąsy) koncentracji mikrośladników w jednorocznym (jasny) i dwuletnim (ciemny) igliwio sosny na siedliskach borowych

Mean (bar) and range (whiskers) of micronutrients content in one- (bright) and two (dark)-years-old needles of Scots pine growing on coniferous forest habitats

H, p – wartości w teście Kruskala-Wallis; values in Kruskal-Wallis test

wąsy mangan (42,5-61,1%) i żelazo (29,8-45,6%). Znacznie mniejszym udziałem charakteryzowały się cynk (8,7-12,6%) i nikiel (0,4-0,8%) (tab. 3).

## Dyskusja

W ubogich ekosystemach leśnych bardzo ważną rolę w procesie odżywiania roślin odgrywa dopływ do gleb opadu organicznego [Astel i in. 2009], z którego w procesach mineralizacji stopniowo uwalniane są pierwiastki biogeniczne [Jonczak i in. 2015]. Sprawność uwalniania makro- i mikrośladników z układu ściółkowo-glebowego uzależniona jest zarówno od zasobności opadu organicznego, jak i od ilości pierwiastków wprowadzonych do obiegu wraz z opadami atmosferycznymi [Parzych i in. 2008]. Badania przeprowadzone przez Parzych i Trojanowskiego [2011] wskazują, że w borach SPN proces uwalniania pierwiastków z opadu organicznego jest silnie hamowany ze względu na jego małą zasobność. W wyniku spowolnienia obiegu pierwiastków dochodzi do nagromadzenia warstwy ściółki. Zalegająca na dnie lasu materia organiczna jest co jakiś czas przemywana przez opady atmosferyczne, co przyczynia się do wymywania związków rozpuszczalnych i dostarczania ich do gleby.

Badane drzewostany sosnowe funkcjonują w warunkach silnego zakwaszenia gleb oraz silnego niedoboru pierwiastków biogenicznych [Jonczak, Parzych 2015]. Największa ilość składników odżywczych zakumulowana była w poziomach organicznych i próchnicznych (tab. 2). Ze względu na znikomą ilość składników pokarmowych poniżej poziomu A oraz stabilny i wysoki poziom wód gruntowych [Parzych 2011] drzewostany *Pinus sylvestris* na Mierzei Łebskiej wytworzyły bardzo

Tabela 3.

Akumulacja [mmol/kg] oraz skład [%] makro- ( $\Sigma_{\text{makro}}$ ) i mikroskładników ( $\Sigma_{\text{mikro}}$ ) w jednorocznym (1) i dwuletnim (2) igliwiu sosen na siedliskach borowych

Accumulation [mmol/kg] and structure [%] of macro- ( $\Sigma_{\text{makro}}$ ) and micronutrients ( $\Sigma_{\text{mikro}}$ ) in the needles of pines on coniferous forest habitats

	Bs		Bśw		Bw	
	1	2	1	2	1	2
$\Sigma_{\text{makro}}$	728,3	754,5	838,3	841,4	830,8	773,3
%N	76,3	77,0	81,2	79,2	77,6	76,6
%P	2,7	2,5	1,4	1,4	3,2	3,1
%K	4,8	3,4	4,1	3,3	3,4	2,7
%Mg	7,3	6,8	6,7	6,6	6,7	6,4
%Ca	8,8	10,3	6,7	9,5	9,1	11,2
$\Sigma_{\text{mikro}}$	8,1	10,6	7,3	9,3	8,8	10,6
%Zn	9,2	8,7	11,1	12,6	10,1	9,4
%Ni	0,8	0,4	0,7	0,6	0,8	0,5
%Fe	31,9	29,8	45,6	38,8	30,9	29,8
%Mn	58,1	61,1	42,5	48,0	58,2	60,4
$\Sigma_{\text{makro}}+\Sigma_{\text{mikro}}$	736,5	765,1	845,6	850,7	839,6	783,9

\*expressed as a form of an amount of these components and their participation in the total

płytki system korzeniowy, co jednocześnie jest przyczyną powstawania wielu wiatrołomów w borach sosnowych SPN [Jonczak i in. 2012]. Brak odpowiedniej ilości składników odżywczych w glebie (tab. 2) i spowolnione procesy rozkładu materii organicznej [Parzych, Trojanowski 2011] przekładają się na niewielką wysokość i małe pierśnice badanych drzewostanów (tab. 1).

Warunki siedliskowe wpływają na koncentrację makro- i mikroskładników w igliwiu oraz kształtują ich cechy morfologiczne. Długość igieł jest cechą zmienną, modyfikowaną w pewnym zakresie przez środowisko. Niewielką długość igliwia *P. sylvestris* na terenie SPN potwierdzają wyniki badań Urbaniaka i in. [2003] – 48,2 mm. Równie krótkie igły stwierdzono w mazurskich populacjach sosny zwyczajnej: Miłomłyn – 48,2 mm, Ruciane – 56,2 mm czy Supraśl – 52,9 mm [Bobowicz, Korczyk 1994]. Nieco większą długość igliwia (61,1 mm) obserwowano u drzew sosny zwyczajnej w Tucholi. Znacznie dłuższe igliwie (79,9 mm) występowało na terenie Wielkopolskiego Parku Narodowego [Urbaniak 2009].

Na podstawie standardów porównawczych dotyczących zawartości poszczególnych składników w igliwiu *P. sylvestris* opracowanych przez Ostrowską i Porębską [2002] stwierdzono skrajny niedobór azotu w igliwiu z Bs oraz niedobory tego składnika u sosen z Bśw i Bw. Podobną sytuację zaobserwowano w przypadku fosforu i potasu: w badanym igliwiu występował skrajny niedobór P (<900 mg/kg) oraz K (<3000 mg/kg) [Ostrowska, Porębska 2002]. Wartości te są uznawane przez centrum koordynacji do spraw aparatu asymilacyjnego, działającego w ramach ICP-Forest [Forest... 1997], za niewystarczające. Prezentowane wyniki badań wskazują jednocześnie na średnią koncentrację magnezu (1200-1300 mg/kg) oraz nadmiar wapnia (>2000 mg/kg) w igliwiu sosny zwyczajnej na terenie SPN [Ostrowska, Porębska 2002]. Zawartość składników pokarmowych w igliwiu najczęściej maleje wraz z wiekiem drzewostanu. Wyjątek stanowi jednak wapń, którego koncentracja wzrasta wraz z wiekiem igliwia i wiekiem drzew (tab. 1). Znacznie większą zasobność igliwia *P. sylvestris* w podstawowe makroskładniki wykazano na terenie Kampinoskiego Parku Narodowego [Staszewski in. 2009].

Ważną rolę w odżywianiu roślin pełnią również mikroelementy. Rośliny wykazują niewielkie zapotrzebowanie na te składniki, ale są one niezbędne jako katalizatory w wielu procesach fizjo-



logicznych, takich jak fotosynteza, oddychanie czy powstawanie chlorofilu. Zarówno nadmiar, jak i niedobór mikrośladników jest niekorzystny dla roślin. W odróżnieniu od N, P i K koncentracja mikroelementów w igliwiu *P. sylvestris* z badanych siedlisk była odpowiednia. Do pokrycia potrzeb fizjologicznych większości roślin wystarcza zawartość cynku w pędach w zakresie 15-30 mg/kg, a niedobór Zn występuje najczęściej w przypadku stężenia niższego niż 20 mg/kg [Ociepa-Kubicka 2012]. Cynk jest łatwo przyswajalny przez rośliny i najczęściej pobierany w ilościach proporcjonalnych do jego stężenia w glebie. Zapotrzebowanie roślin na mangan jest silnie zróżnicowane w zależności od gatunku. W większości przypadków wystarcza zawartość od 10 do 25 mg/kg [Kabata-Pendias, Pendias 1999], a stężenie >500 mg/kg może być toksyczne dla niektórych roślin. Koncentracja Mn w roślinach rosnących poza bezpośrednim wpływem zanieczyszczeń wynosi najczęściej 340-1339 mg/kg [Malzahn 2002]. Nikiel jest pierwiastkiem o dużej mobilności w środowisku. Jego naturalna zawartość w roślinach wynosi od 0,1 do 5,0 mg/kg i łatwo ulega on akumulacji [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. W przypadku Fe nie wyznaczono poziomu toksyczności dla roślin. Zależy on przede wszystkim od gatunku. Ogólnie koncentracja mikrośladników w igliwiu *P. sylvestris* SPN była stosunkowo niska (ryc. 2), co jest wynikiem niewielkiej zawartości tych metali w glebie (tab. 2) oraz stosunkowo czystego środowiska Słowińskiego Parku Narodowego [Parzych 2014].

Zawartość makro- i mikrośladników w igliwiu *P. sylvestris* SPN malała w szeregu: N>Ca>Mg>K>P>Mn>Fe>Zn>Ni. W igliwiu jednorocznym stwierdzono wyższą koncentrację N (Bśw, Bw), P, K, Mg i Ni, a igliwie dwuletnie charakteryzowało się znacznie większą długością oraz koncentracją N (Bs), Ca, Zn, Fe i Mn.

Suma makro- i mikroelementów wyliczona metodą ANE odzwierciedla całościowo tzw. czynnik żywieniowy. Wartość sumy śladników i jej skład jonowy określają przepływ śladników między glebą i rośliną. Procentowy udział poszczególnych śladników w ich sumie jest zdeterminowany przez wymagania pokarmowe roślin w stosunku do poszczególnych śladników [Ostrowska 1987]. Średnia suma śladników zakumulowanych w roślinach waha się najczęściej od 1200 do 2500 mmol/kg [Ostrowska, Porębska 2002]. Według danych literaturowych średnia akumulacja śladników odżywczych w igliwiu *P. sylvestris* w borach sosnowych wynosi najczęściej 1495-1913 mmol/kg w igliwiu jednorocznym oraz 1608-1879 mmol/kg w igliwiu dwuletнім [Ostrowska i in. 2001]. Igliwie *P. sylvestris* z Mierzei Łebskiej SPN akumulowało bardzo małe ilości śladników odżywczych w porównaniu z igliwem z innych terenów [Staszewski in. 2009; Parzych i in. 2017a, b]. Uzyskane wyniki wskazują na duże niedobory w ogólnej puli śladników w igliwiu. Duży udział Fe i Mn w ogólnej sumie mikrośladników świadczy o nadmiernym pobieraniu tych pierwiastków z gleby przez korzenie *P. sylvestris* (tab. 3) na skutek silnego zakwaszenia gleb na Mierzei Łebskiej (tab. 2). Żelazo charakteryzuje się małą mobilnością w roślinach i jest najczęściej akumulowane w korzeniach [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Jednak w warunkach sprzyjających dostępności (pH=4,0-4,5) Fe może być akumulowane w znacznych ilościach również w pędach nadziemnych [Smał, Salomons 1995].

## Wnioski

- ✦ Wytworzone z głębokich piasków wydmych gleby Słowińskiego Parku Narodowego były bardzo ubogie w śladniki pokarmowe. Największe ilości makro- i mikrośladników wykazano w poziomach organicznych i próchnicznych. W poziomach mineralnych zawartość śladników pokarmowych gwałtownie malała i wielu przypadkach znajdowała się poza granicą oznaczalności.

- ✦ Różnice w stopniu odżywienia sosny zwyczajnej uwidoczniły się przede wszystkim w wartościach sumy składników akumulowanych w igliwiu, która wahała się od 736,5 do 850,7 mmol/kg. Makroskładniki stanowiły od 98,6 do 99,1% składników odżywczych. Akumulacja makro- i mikroskładników w badanym igliwiu malała w szeregu Bśw>Bw>Bs.
- ✦ W igliwiu *P. sylvestris* stwierdzono skrajny niedobór azotu, fosforu i potasu, wystarczające ilości magnezu, cynku, niklu, żelaza i manganu oraz nadmiar wapnia.
- ✦ Największy udział w puli mikroskładników wykazywały mangan (42,5-61,1%) i żelazo (29,8-45,6%). Znacznie mniejszym udziałem charakteryzowały się cynk (8,7-12,6%) i nikiel (0,4-0,8%).
- ✦ Porównanie akumulacji makro- i mikroskładników w igliwiu wskazuje, że w niekorzystnych warunkach glebowych i klimatycznych panujących na Mierzei Łebskiej Słowińskiego Parku Narodowego sosna ma nieco lepsze warunki do rozwoju na siedlisku Bśw niż Bs i Bw.

## Literatura

- Astel A., Parzych A., Trojanowski J. 2009. Comparison of litterfall and nutrient return in a *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* and a *Empetro nigri-Pinetum* forest stands in northern Poland. *Forest Ecology and Management* 257: 2331-2341.
- Bobowicz M. A., Korczyk A. F. 1994. Interpopulational variability of *Pinus sylvestris* L. in eight Polish localities expressed in morphological and anatomical traits of needles. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 63: 67-76.
- Čeburnis D., Stennes E. 2000. Conifer needles as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: comparison with mosses and precipitation, role of the canopy. *Atmospheric Environment* 34: 4265-4271.
- Forest Foliar Condition in Europe. 1997. Forest Foliar Coordinating Centre in cooperating with the Australian Federal Forest Research Centre. EC-UN/ECE-FBV A. Brussels, Geneva, Vienna.
- Jonczak J., Parzych A. 2012. Impact of Scots pine admixture European beech stand on the dissolved organic carbon and nitrogen leaching from organic and humic horizons of Dystric Arenosols in Northern Poland. *Journal of Forest Science* 58 (6): 278-286.
- Jonczak J., Parzych A. 2015. Porównanie zasobów materii organicznej oraz wybranych wskaźników stanu ekochemicznego gleb w zespołach *Empetro nigri-Pinetum* i *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* Słowińskiego Parku Narodowego. *Leś. Prac. Bad.* 76 (4): 360-369.
- Jonczak J., Parzych A., Sobisz Z. 2012. Gleby i flora wyrocisk w zespole *Empetro nigri-Pinetum ericetosum* Słowińskiego Parku Narodowego. *Słupskie Prace Geograficzne* 12: 33-42.
- Jonczak J., Parzych A., Sobisz Z. 2015. Decomposition of four leaf litters in headwater riparian forest. *Baltic Forestry* 21 (1): 133-143.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- Kluczyński B., Kreft A. 2003. Ilościowy oraz biologiczny stan starodrzewów sosnowych (*Pinus sylvestris* L.) w Słowińskim Parku Narodowym. *Parki Narodowe i Rezerваты Przyrody* 22 (2): 197-226.
- Malzahn E. 2002. Monitoring zagrożeń i zanieczyszczenia środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej. *Kosmos* 51 (4): 435-441.
- Matuszkiewicz J. M. 2002. Zespoły leśne Polski. Warszawa, PWN.
- Ociepa-Kubička A. 2012. Toksyczne oddziaływanie metali ciężkich na rośliny, zwierzęta i ludzi. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 15 (2): 169-180.
- Operat Ochrony Ekosystemów Leśnych na lata 2002-2021. 2002. T. 9/1. Opis taksacyjny lasu – Obręb lądowy, Oddziały 1-63. Jeleniogórskie Biuro Planowania i Projektowania.
- Ostrowska A. 1987. Application of ANE value and shares of individual elements in this value for determining the difference between various plant species. *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*. 27-43.
- Ostrowska A., Porębska G. 2002. Skład chemiczny roślin, jego interpretacja i wykorzystanie w ochronie środowiska. Monografia. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Ostrowska A., Porębska G., Sienkiewicz J., Borzyszkowski J. 2001. Opracowanie chemiczno-biologicznych wskaźników oceny stanu nizinnych siedlisk leśnych. Opracowanie końcowe – monografia. Maszynopis. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa.
- Ostrowska A., Porębska G., Sienkiewicz J., Borzyszkowski J., Król H. 2006. Właściwości gleb i roślin w monitoringu środowiska leśnego. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Parzych A. 2011. Contents of nitrogen and phosphorus compounds in groundwaters of selected forest associations in the Słowiński National Park. *Archives of Environmental Protection* 37 (4): 95-105.
- Parzych A. 2014. Heavy metals accumulation in moss *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. and *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. in the Słowiński National Park. *Journal of Elementology* 2: 471-482.

- Parzych A., Astel A., Trojanowski J. 2008. Fluxes of biogenic substances in precipitation and throughfall in woodland ecosystems of the Słowiński National Park. Archives of Environmental Protection 34 (2): 13-24.
- Parzych A., Joneczak J. 2013. Content of heavy metals in needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in selected of pine forest in the Słowiński National Park. Archives of Environmental Protection 1 (39): 41-51.
- Parzych A., Joneczak J. 2014. Pine needles (*Pinus sylvestris* L.) as bioindicators in the assessment of urban environmental contamination with heavy metals. Journal of Ecological Engineering 15 (3): 29-38.
- Parzych A., Mochacký S., Sobisz Z., Kurhaluk N., Polláková N. 2017a. Accumulation of heavy metals in needles and bark of *Pinus* species. Folia Forestalia Polonica, Ser. A, Forestry 59 (1): 34-44.
- Parzych A., Sobisz Z. 2012. Zawartość makro- and mikroprzewodników w igliwiu *Pinus sylvestris* L. i *Pinus nigra* Arn. w Słowińskim Parku Narodowym. Leś. Pr. Bad. 73 (4): 295-303.
- Parzych A., Sobisz Z., Mochacký S., Kurhaluk N., Polláková N., Šimanský V. 2017b. Akumulacja makrośladników w igliwiu drzew różnych gatunków *Pinus*. Śląskie Prace Biologiczne 14: 83-106.
- Parzych A., Trojanowski J. 2011. The effect of abundance of litterfall on retention of nitrogen and phosphorus in organic horizons of forest soils in Slovinski National Park. Baltic Coastal Zone 15: 67-83.
- Polláková N., Šimanský V., Ložek O., Hanáčková E., Candráková E. 2015. The changes of nutrient and risk elements of top soil layers under canopy of different tree species and grassland in Arboretum Mlyňany, Slovakia. Folia Oecologica 42 (1): 29-34.
- Rautio P., Fürst A., Stefan K., Raitio H., Bartels U. 2010. Sampling and analysis of needles and leaves. W: Manual and methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects to air pollution on forests. Hamburg, UNECE ICP Forest Programme Co-ordinating Centre.
- Rutkowska-Czaplinek E. 2000. Ochrona środowiska przyrodniczego – Słowiński Park Narodowy. Przegląd Zachodniopomorski 15 (2): 173-199.
- Smal H., Salomons W. 1995. Acidification and its long-term impact on metal mobility. W: Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments. Springer-Verlag, Berlin. 193-212.
- Staszewski T., Kubiesa P., Łukasik W., Uziębło A. K. 2009. Reakcja borów sosnowych na antropopresję w różnych typach siedlisk w Kampinoskim Parku Narodowym. W: Andrzejewska A., Lubański A. [red.]. Trwałość i efektywność ochrony przyrody w polskich parkach narodowych. 289-298.
- Szeligowski H., Buraczyk W., Drozdowski S., Studnicki M., Bolibok L. 2016. Zmienność sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w doświadczeniu serii IUFRO 1982 w Nadleśnictwie Rogów. Sylwan 160 (3): 230-237.
- Świercz A. 2003. Zawartości pierwiastków metalicznych w glebie, igliwiu i korze sosny po zmniejszeniu imisji alkalicznej. Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego 4: 107-113.
- Tobolski K., Mocek A., Dzieciotowski W. 1997. Gleby Słowińskiego Parku Narodowego w świetle historii roślinności i podłoża. Homini. Bydgoszcz – Poznań.
- Urbaniak L. 2009. Badania porównawcze cech morfologicznych igieł populacji *Pinus sylvestris* L. z terenów Wielkopolskiego i Słowińskiego Parku Narodowego oraz Borów Tucholskich. W: Walna B., Karczmarek L., Lorens M., Dondajewska R. [red.]. Wielkopolski Park Narodowy w badaniach przyrodniczych. Poznań-Jeziory. 135-142.
- Urbaniak L., Karlinski L., Popielarz R. 2003. Variation of morphological needle characters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations in different habitats. Acta Societatis Botanicorum Poloniae 72 (1): 37-44.
- Wang G. G., Klinka K. 1997. White spruce foliar nutrient concentrations in relation to tree growth and soil nutrients amounts. Forest Ecology Management 98: 89-99.
- Woziwoda B., Parzych A., Kopeć D. 2014. Species diversity, biomass accumulation and carbon sequestration in the understory of post-agricultural Scots-pine forests. Silva Fennica 48 (5), id 1119, 23p.
- Żółko K. 2010. Udział i rola sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w zbiorowiskach roślinnych Słowińskiego Parku Narodowego na tle dawnych przemian roślinności. Acta Botanica Cassubica 7-9: 99-121.