

**Marcin Pietrzykowski\*, Bartłomiej Woś\*, Szymon Huma\***

**ZAWARTOŚĆ MAKROPIERWIASTKÓW (N, P, K, Ca, Mg) I NIEKTÓRE  
CECHY BIOMETRYCZNE APARATU ASYMILACYJNEGO SOSNY  
ZWYCZAJNEJ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) WZRASTAJĄCEJ  
W WARUNKACH SIEDLISKOWYCH WYBRANYCH OBIEKTÓW  
POGÓRNICZYCH W POLSCE**

**MACROELEMENT CONTENT AND SELECTED BIOMETRIC  
CHARACTERISTICS NEEDLES OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS*  
L.) GROWING ON RECLAIMED POST MINING SITES IN POLAND**

**Słowa kluczowe:** tereny pogórnice, sosna zwyczajna, makroelementy, stan odżywienia.

**Key words:** post-mining sites, Scots pine, macroelements, nutritional status.

*The work presents an assessment of nutritional status and selected biometric characteristics of pine needles growing on reclaimed post mining sites in Poland. There were established total of 28 research areas (after 4 repetitions for each type of site) on post-mining sites and 4 control plots in managed forest in the vicinity of post-mining sites. Nutritional status of pines was assessed based on chemical composition of needles of the first (I) vintage. Based on length and weight of needles (average for repeats of 100 pairs) indicates the approximate degree of nutritional status. Pine growing in Carboniferous rocks (Kn) were these with top supply of macronutrients, while the smallest supply occur in Quaternary loamy sands (Pcz1) in spoil heap of KWB "Bełchatów". Relate to the literature deficient element in pine needles on the post-mining sites was nitrogen. However to date, there were no negative symptoms in the form of chlorosis and discoloration of the needles. The results of this work indicate that the optimum ranges of the contents of macroelements in pine needles related to the literature of the natural habitats do not include the ranges which have an application to pine of post-mining sites. Work complements data of ecology of Scots pine and confirms its very high adaptability and opportunities to use in the afforestation post-mining sites.*

---

\* *Dr inż. Marcin Pietrzykowski, mgr inż. Bartłomiej Woś, mgr inż. Szymon Huma – Katedra Ekologii Lasu, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków; tel.: 12 662 53 02; e-mail: rpietrz@cyf-kr.edu.pl*

## 1. WPROWADZENIE

Jednym z głównych gatunków wprowadzanych w zalesienia na terenach pogórnicych w Europie Środkowej jest sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) [Baumann i in. 2006, Pietrzykowski 2010]. Wpływa na to szeroka amplituda wymagań ekologicznych i zdolności przystosowawcze tego gatunku do warunków pionierskich. Na rekultywowanych dla leśnictwa terenach pogórnicych sosna wprowadzana jest na siedliska odznaczające się całkowicie odmiennymi warunkami w stosunku do „naturalnych” siedlisk leśnych [Pająk i in. 2004, Pietrzykowski 2006, 2010]. Przejawia się to m.in. odmiennymi właściwościami gleb, które nie zawsze są w stanie spełnić sprawnie rolę harmonijnego zaspokojenia potrzeb pokarmowych fitocenozy [Pietrzykowski 2006; Pietrzykowski, Krzaklewski 2009, Ochał i in. 2010, Pietrzykowski i in. 2010].

Podstawowym kryterium oceny stanu odżywienia drzew jest zawartość poszczególnych pierwiastków w aparacie asymilacyjnym [Baule, Fricker 1973, Bajorek 2006, Pietrzykowski i in. 2010]. Pośrednio kryterium to może być wykorzystywane do oceny strategii żywieniowej oraz zdolności przystosowawczych drzew w warunkach glebowo-siedliskowych odtwarzanych w procesie rekultywacji [Heinsdorf 1999, Bajorek 2006, Pietrzykowski i in. 2010]. Kryteriami pomocniczymi w ocenie warunków troficznych na siedliskach leśnych mogą być charakterystyki biometryczne igieł (długość i masa) [Wajcys, Rutkaskas 1969 za: Puchalski, Prusinkiewicz 1990] oraz cechy wzrostowe drzewostanu (pierśnica i wysokość) [Baule, Fricker 1973]. Często w warunkach naturalnych zachodzi korelacja pomiędzy składem chemicznym igieł a ich cechami biometrycznymi [Prusinkiewicz i in. 1974]. Mimo dużego znaczenia problemu w dostępnej literaturze wciąż brakuje prac poświęconych cechom przystosowawczym gatunków drzewiastych, w tym strategii odżywiania w warunkach siedlisk pogórnicych. Dane z tego zakresu w odniesieniu do sosny zwyczajnej publikowali m.in. Heinsdorf [1999], Pietrzykowski [2005], Bajorek [2006], Baumann i in. [2006], Bajorek-Zydroń i in. [2007], Pietrzykowski, Krzaklewski [2009]. Z prac tych wynika, że dane literaturowe dotyczące zakresów zawartości makropierwiastków w igłach sosny z „naturalnych” siedlisk leśnych [Fober 1993] niewykazujących symptomów niedoboru powinny być uzupełnione o dane z terenów pogórnicych. Dotychczasowe badania potwierdzają duże zdolności adaptacyjne tego gatunku [Harabin i in. 1980, Pietrzykowski 2005, Bajorek 2006, Stolarska i in. 2006, Bajorek-Zydroń 2007, Ochał i in. 2010]. Wskazują także, że najbardziej deficytowym pierwiastkiem w stosunku do podanych w literaturze liczb granicznych jest azot.

Przedstawiona praca uzupełnia i wzbogaca istniejące dane na temat autoekologii gatunku i przystosowania do ekstremalnych warunków siedliskowych na terenach przemysłowych. Ma to duże znaczenie dla rekultywacji leśnej w aspekcie stabilności drzewostanów i dynamiki odtwarzania ekosystemu leśnego.

## 2. OBIEKTY BADAŃ I METODYKA

Badania przeprowadzono na 4 rekultywowanych dla leśnictwa obiektach pogórnicych w Polsce: wierzchowinie zwałowiska zewnętrznego odkrywkowej kopalni węgla brunatnego KWB „Bełchatów” (Województwo łódzkie), centralnym zwałowisku odpadów skał karbońskich towarzyszących górnictwu węgla kamiennego „Smolnica” (rejon GOP), wyrobisku kopalni piasków podsadzkowych „Szczakowa” (rejon GOP) oraz zewnętrznym zwałowisku nadkładu Kopalni Siarki „Piaseczno” (tarnobrzeski rejon eksploatacji siarki). Powierzchnie badawcze (kwadraty 10×10 m) lokalizowano w litych drzewostanach sosnowych (*Pinus sylvestris* L.) w wieku od 12 do 30 lat, wzrastających na różnych wariantach substratów glebowych (po 4 powtórzenia dla wariantu). Na 3 obiektach wybierano 2 różne przykłady utworów różniących się wyraźnie rodzajem i gatunkiem, a wyjątkowo na zwałowisku „Smolnica” wybrano tylko 1 wariant siedliskowy ze względu na jednorodność litologiczną obiektu. Ponadto założono powierzchnie kontrolne w lasach gospodarczych (po jednej powierzchni kontrolnej w sąsiedztwie obiektu) na siedlisku borów mieszanych świeżych (BMśw) i lasów mieszanych świeżych (LMśw) (jednostki siedliskowe według obowiązującej w Lasach Państwowych IUL 2003). Ogólną charakterystykę terenu badań, wyróżnionych wariantów glebowych oraz wybranych cech drzewostanów podano w tabeli 1.

Na każdej powierzchni badawczej z 3 drzew o przeciętnej pozycji biosocjalnej (II klasa Krafta) pobrano dwukrotnie w latach 2008–2009 próbki pędów z górnej części korony z wystawy SW.

W laboratorium z pędów wydzielono igły pierwszego (I) rocznika i utworzono próbki podstawowe, reprezentatywne dla każdej powierzchni. Z nich wybrano trzy próbki po 100 par igieł każda i określono masę (w stanie suchym) ( $M_{100}$ ) z dokładnością do 0,01 g oraz długość ( $D_{100}$ ) z dokładnością do 0,1 cm. Po zmierzeniu parametrów biometrycznych igły opłukano wodą destylowaną, wysuszono w temp. 65°C i zmielono, a następnie z tak przygotowanego materiału pobrano jednogramowe naważki do analiz chemicznych.

Zawartość azotu (N) oznaczono na aparacie Leco CNS 2000 (spalanie w tlenie i oznaczenie zawartości na zasadzie pomiaru przewodności cieplnej); potas (K), wapń (Ca), magnez (Mg) – metodą mineralizacji na mokro w mieszaninie kwasów  $\text{HNO}_3$  i  $\text{HClO}_4$  w stosunku 3:1 metodą AAS na spektrofotometrze Varian; fosfor (P) – metodą molibdenianową kalorymetrycznie z uzyskanego wyciągu w  $\text{HNO}_3$  i  $\text{HClO}_4$  [Ostrowska i in. 1991] aparatem CARY 300 Conc UV-Visible Spectrometr firmy Varian.

Uzyskane wyniki cech biometrycznych i zawartości makroskładników w igłach poddano analizie statystycznej przy zastosowaniu odpowiednich procedur, stosując program Statistica 8.1 (hipotezy badawcze testowano przy prawdopodobieństwie  $p=0,05$ ). Istotność różnic pomiędzy wartościami średnimi analizowano z zastosowaniem testu RIR Tukeya.

**Tabela 1.** Ogólna charakterystyka wariantów siedliskowych na analizowanych obiektach pogórnicznych (podano za opracowaniem Pietrzykowski i in. [2010])**Table 1.** General characteristic of the site variants on the analyzed post-mining facilities [cited by Pietrzykowski et al. 2010]

Obiekt	Wariant	Opis substratu glebowego	Pył (0,05-0,002 mm), % (11,44)*	Ił (<0,002 mm), % (2,94)	Sumaryczna akumulacja biogenów w glebach, kg·ha <sup>-1</sup> ·110 cm <sup>-1</sup>					Wiek drzew, lata	Dg, cm	H <sub>L</sub> , m
					N	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>+</sup>			
Bełchatów	Gcz	gliny piaszczyste czwartorzędowe	31,75 (1,73)	3,00 (2,94)	5020,0	282,0	883,4	94915,0	1288,4	17	5,6	5,7
	Pt	piaski zawierające trzeciorzędowe	7,50 (1,73)	2,75 (1,89)	3047,0	470,0	329,6	9312,2	308,6	12	2,9	3,3
Smolnica	Kn	utwory karbońskie	36,00 (2,16)	23,50 (1,91)	61281,0	22,8	944,2	21328,5	3027,8	30	13,8	12,3
Szczakowa	PGcz	piaski gliniaste czwartorzędowe	8,25 (2,63)	3,50 (0,58)	4888,8	17,7	412,3	6846,3	730,5	21	11,3	10,5
	Pcz1	czwartorzędowe piaski luźne	4,50 (1,29)	1,25 (0,96)	4082,3	20,9	103,9	2298,1	287,3	23	9,3	9,3
Piaseczno	Pczlt	piaski czwartorzędowe z wkładkami glin i ilow trzeciorzędowych	10,50 (5,74)	8,50 (2,08)	3832,8	64,6	355,4	25720,7	667,6	30	19,1	16,2
	Pcz2	piaski luźne czwartorzędowe	3,75 (1,71)	3,50 (1,29)	3093,3	29,9	134,4	7784,8	115,6	30	15,8	15,4

**Objaśnienia:** \*31,75 (11,44) – średnia (odchylenie standardowe); Dg – przeciętna pierśnica drzewostanu; HL – przeciętna wysokość drzewostanu.

### 3. WYNIKI BADAŃ

#### 3.1. Wyniki pomiarów biometrycznych aparatu asymilacyjnego sosny

Średnia masa igieł sosny ( $M_{100}$ ) wynosiła od 1,75 g na utworach karbońskich (Kn) do 3,47 g na piaskach czwartorzędowych (Pcz1). Masa igieł sosen rosnących na terenach rekultywowanych była ogólnie niższa od masy stwierdzonej na powierzchniach kontrolnych (K) na siedliskach „naturalnych”, gdzie wynosiła 3,53 g. Istotnie mniejsza masa igieł w porównaniu do powierzchni kontrolnych (K) wystąpiła na powierzchniach wariantach: Kn – na utworach karbońskich i Pcz2 – na piaskach czwartorzędowych (tab. 2).

Średnia długość igieł ( $Dl_{100}$ ) wynosiła od 42,3 mm na piaskach czwartorzędowych (Pcz1) do 56,8 mm na piaskach czwartorzędowych przemieszanych z łąkami trzeciorzędowymi (Pczłt). Stwierdzona długość igieł na terenach rekultywowanych była, podobnie jak długość ( $Dl_{100}$ ), niższa niż na powierzchniach kontrolnych (K) na siedliskach „naturalnych” (59,3 mm) (tab. 2).

#### 3.2. Zawartość makroelementów w igłach sosny

Zawartość azotu (N%) w igłach sosny zwyczajnej (w suchej masie) kształtowała się średnio od 0,98% na glinach czwartorzędowych (Gcz) do 1,52% na utworach karbońskich (Kn). Wyższą od powierzchni kontrolnych (K) zawartość azotu w igłach stwierdzono jedynie w igłach sosny wzrastających na zwałowisku „Smolnica” (wariant Kn), natomiast istotnie niższą zawartość azotu w porównaniu z powierzchniami kontrolnymi (K) stwierdzono dla: glin czwartorzędowych (Gcz) (0,98%), piasków trzeciorzędowych (Pt) (1,07%), piasków gliniastych czwartorzędowych (PGcz) (1,21%) i piasków czwartorzędowych (Pcz1) (1,15%) (tab. 2).

Zawartość potasu (K%) w igłach sosny kształtowała się średnio od 0,45% na czwartorzędowych piaskach luźnych (Pcz1) do 0,76% na nawożonych utworach karbońskich (Kn). W porównaniu z powierzchniami kontrolnymi (K) (K – 0,52%) istotnie wyższą zawartość potasu stwierdzono w przypadku piasków czwartorzędowych (Pcz2) (0,73%) i nawożonych utworów karbońskich (Kn) (0,76%) (tab. 2).

Zawartość wapnia (Ca%) w igłach sosny wynosiła średnio od 0,23% na glinach czwartorzędowych (Gcz) do 0,49% na piaskach gliniastych czwartorzędowych (PGcz). W porównaniu z powierzchniami kontrolnymi (K) (Ca – 0,33%) zawartość wapnia była wyższa we wszystkich wariantach siedliskowych z wyjątkiem Gcz na zwałowisku „Bełchatów”, a istotnie wyższą średnią zawartość wapnia stwierdzono w wariantach siedliskowych na piaskach czwartorzędowych (Pcz1) i piaskach gliniastych czwartorzędowych (PGcz) na wyrobisku „Szczakowa” (tab. 2).

Najniższą zawartością fosforu (P%) (0,10%) odznaczały się sosny wzrastające na glinach czwartorzędowych (Gcz), a najwyższą (0,15%) – sosny na utworach karbońskich

(Kn). W porównaniu z powierzchniami kontrolnymi (K) (P – 0,13%) wyższą zawartość fosforu (0,15%) w igłach sosny stwierdzono jedynie w wariancie Kn na zwałowisku „Szczakowa”. Istotnie niższą zawartość tego pierwiastka stwierdzono w wariantach siedliskowych na glinach czwartorzędowych Gcz (0,10%), piaskach trzeciorzędowych Pt (0,11%), piaskach gliniastych czwartorzędowych (PGcz) (0,12%) i piaskach czwartorzędowych Pcz1 (0,11%) (tab. 2).

Zawartość magnezu (Mg%) w igłach sosny wynosiła średnio od 0,09% na piaskach trzeciorzędowych (Pt) i piaskach czwartorzędowych (Pcz2) do 0,13% na utworach karbońskich (Kn). Istotnie wyższą zawartość Mg w porównaniu z powierzchniami kontrolnymi na siedliskach „naturalnych” (Mg – 0,10%) stwierdzono w igłach sosen wzrastających na utworach karbońskich (Kn) (tab. 2).

**Tabela 2.** Zawartość makropierwiastków oraz długość ( $D_{100}$ ) i masa igieł ( $M_{100}$ ) sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wzrastającej na zrehabilitowanych obiektach pogórnictwa oraz na siedliskach naturalnych na powierzchniach kontrolnych

**Table 2.** Macroelements content, length (DL 100) and the mass of needles (M 100) of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing on reclaimed post-mining sites and control plots on natural forest sites

Obiekt	Wariant	N	K	Ca	P	Mg	$D_{100}$ , mm	$M_{100}$ , g
		%						
Bełchatów	Gcz	<b>0,98</b> (0,89-1,09)	0,49 (0,27-0,64)	0,23 (0,19-0,32)	<b>0,10</b> (0,10-0,11)	0,11 (0,08-0,14)	49,8 (44-60)	2,37 (1,97-2,88)
	Pt	<b>1,07</b> (0,92-1,39)	0,61 (0,41-0,77)	0,33 (0,28-0,42)	<b>0,11</b> (0,10-0,12)	0,09 (0,08-0,11)	48,3 (44-54)	2,56 (2,29-2,86)
Smolnica	Kn	1,52 (1,38-1,68)	<b>0,76</b> (0,62-0,90)	0,34 (0,23-0,48)	0,15 (0,13-0,17)	<b>0,13</b> (0,11-0,15)	51,0 (50-54)	<b>1,75</b> (1,63-1,98)
Szczakowa	PGcz	<b>1,21</b> (1,02-1,35)	0,50 (0,42-0,62)	<b>0,49</b> (0,28-0,64)	<b>0,12</b> (0,10-0,14)	0,10 (0,09-0,11)	53,0 (48-60)	3,10 (2,51-4,03)
	Pcz1	<b>1,15</b> (0,99-1,15)	0,45 (0,40-0,54)	<b>0,46</b> (0,27-0,65)	<b>0,11</b> (0,10-0,15)	0,10 (0,09-0,11)	<b>42,3</b> (31-55)	3,47 (2,69-4,18)
Piaseczno	Pcz1t	1,42 (1,32-1,65)	0,56 (0,43-0,77)	0,39 (0,27-0,60)	0,13 (0,12-0,15)	0,10 (0,08-0,12)	56,8 (51-60)	2,66 (2,19-2,96)
	Pcz2	1,26 (1,18-1,35)	<b>0,73</b> (0,52-0,91)	0,37 (0,28-0,52)	0,13 (0,12-0,13)	0,09 (0,07-0,11)	54,8 (50-58)	<b>2,15</b> (1,98-2,29)
Powierzchnie kontrolne	K	1,44 (1,16-1,80)	0,52 (0,40-0,66)	0,33 (0,25-0,63)	0,13 (0,11-0,16)	0,10 (0,07-0,12)	59,3 (55-67)	3,53 (2,62-4,35)

**Objaśnienia:** 0,98 (0,89–1,09) – średnia i zakres. \* – zaznaczone wartości średnie są istotnie różne w porównaniu z wartościami podawanymi z powierzchni kontrolnych (przy  $p=0,05$ ).  
Objaśnienia i charakterystykę wariantów siedliskowych podano w „Metodyce”;  $D_{100}$  – średnia długość igieł;  $M_{100}$  – średnia masa igieł.

#### 4. DYSKUSJA

Uzyskane wyniki uzupełniają dane literaturowe dotyczące zakresów zawartości makropierwiastków w igłach, przy których sosny nie wykazują oznak deficytów. Potwierdza to duże zdolności adaptacyjne tego gatunku do nowo powstających siedlisk na obiektach pogórnicznych. Na przykład, zawartość azotu w igliwiu sosny według stopni odżywienia, opracowanych dla rekultywowanych zwałowisk w Dolnośląskim Zagłębiu Węgla Brunatnego, odpowiadała pierwszemu (I) (silny deficyt) i drugiemu (II) (niedobór) stopniowi odżywienia [Heinsdorf 1999]. Z kolei według zakresów zawartości podawanych z siedlisk „naturalnych”, dla których sosny wykazują prawidłowy wzrost i rozwój (1,17–2,91%) [Fober 1993] zawartość azotu była niższa w przypadku glin czwartorzędowych (Gcz) i piasków trzeciorzędowych (Pt) na zwałowisku „Bełchatów” oraz piasków czwartorzędowych (Pcz1) na wyrobisku „Szczakowa”. Niedobór azotu na terenach rekultywowanych jest jednym z najważniejszych czynników mogących wpływać na wzrost i rozwój drzewostanów w następnych fazach rozwojowych [Bajorek 2006, Bajorek-Zydroń i in. 2007, Kuznetsova i in. 2010]. Aktualnie jednak nie stwierdzono wyraźnych i typowych oznak niedoboru tego pierwiastka w postaci charakterystycznych przebarwień i chloroz aparatu asymilacyjnego [Baule, Fricker 1973]. Drugim pierwiastkiem, który często występuje w niedoborze na terenach pogórnicznych, jest fosfor [Bajorek 2006; Bajorek i in. 2007; Pietrzykowski i in. 2010]. W przypadku badanych wariantów siedliskowych w odniesieniu do stopni odżywienia sosny zwyczajnej [Heinsdorf 1999] zaopatrzenie w fosfor było wystarczające (III stopień) lub nawet luksusowe (IV stopień) w przypadku nawożonych utworów karbońskich (Kn). Przyjmując zakresy i stopnie odżywienia zaproponowane przez Heinsdorfa [1999], zaopatrzenie w potas, wapń i magnez również można uznać za wystarczające. Podobnie w odniesieniu do wartości z siedlisk „naturalnych” podawanych przez Fobera [1993] zawartość fosforu, potasu, wapnia i magnezu we wszystkich badanych wariantach mieściła się w przedziale optymalnym podawanym z siedlisk „naturalnych”, przy których sosna wykazywała prawidłowy wzrost i rozwój.

Z przedstawionych badań wynika, że porównywanie zawartości makroelementów w igłach sosny porastającej wybrane obiekty pogórniczne w Polsce ze stopniami odżywienia sosny opracowanymi dla terenów zwałowisk w Zagłębiu Dolnośląskim można traktować orientacyjnie. Wynika to ze specyficznych warunków siedliskowych w Zagłębiu Dolnośląskim, gdzie np. zasiarczone trzeciorzędowe piaski są neutralizowane popiołami elektrownianymi po spalaniu węgla brunatnego. W warunkach polskich dla terenów pogórnicznych nie opracowano dotąd liczb granicznych dla sosny zwyczajnej [Pietrzykowski, Krzaklewski 2009, Pietrzykowski i in. 2010].

Porównując całościowo obiekty i warianty siedliskowe, stwierdzić można jednoznacznie, że najlepiej zaopatrzonymi w makroskładniki pokarmowe były sosny wzrastające na skałach karbońskich, z przewagą łupków ilastych, na zwałowisku „Smolnica” (Kn). Są to

utwory potencjalnie żyzne dla sosny. Sosnę na tych powierzchniach charakteryzowała najwyższa zawartość azotu (N), fosforu (P), potasu (K) i magnezu (Mg) spośród wyróżnionych wariantów siedliskowych na terenach pogórnicznych. Natomiast w porównaniu z powierzchniami kontrolnymi na siedliskach „naturalnych” sosny na tym obiekcie charakteryzowały: wyższa (nieistotnie) zawartość azotu (N), wapnia (Ca) potasu (P) i istotnie wyższa potasu (K) i magnezu (Mg). Za najgorzej zaopatrzone w składniki pokarmowe można uznać sosny wzrastające na glinach czwartorzędowych (Gcz) na zwałowisku „Bełchatów”. Odnaczały się one najniższą zawartością azotu (N), wapnia (Ca) i fosforu (P) spośród wyróżnionych wariantów siedliskowych oraz niską zawartością potasu (K). W porównaniu z powierzchniami kontrolnymi na siedliskach „naturalnych” (K) igły sosen wzrastających w wariacie Gcz na zwałowisku KWB „Bełchatów” odnaczały się nieistotnie wyższą zawartością magnezu (Mg), nieistotnie niższą zawartością potasu (K), wapnia (Ca) i istotnie niższą azotu (N) i fosforu (P). Jest to zastanawiające, ponieważ utwory budujące skałę macierzystą gleby w wariacie siedliskowym Gcz na zwałowisku bełchatowskim można uznać za zasobne. Utwory te charakteryzuje korzystny skład granulometryczny (głina piaszczysta) oraz często wyższa zawartość składników pokarmowych (N, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) niż inne badane warianty siedliskowe (tab. 1). Pomimo tego zasobność substratu glebowego nie przekłada się na stan zaopatrzenia drzew w składniki pokarmowe. Wynika to z faktu, że zasobność gleb pogórnicznych nie jest jednoznaczna z żyznością, a więc zdolnością do całościowego zaspokajania potrzeb pokarmowych fitocenoz. Często warunki siedliskowe na terenach pogórnicznych są odmienne niż na siedliskach „naturalnych” i mogą występować inne czynniki zakłócające odżywianie mineralne drzew. Są to np. niekorzystne stosunki powietrzno-wodne i sprawność biologiczna gleb, mająca decydujące znaczenie w tzw. procesie samożywienia drzewostanów [Puchalski, Prusinkiewicz 1990]. Z kolei według wartości 10-stopniowej skali przybliżonej troficzności, opracowanej na podstawie średniej długości igieł przez Wajczysa i Rutkaskasa [1969, za: Puchalski, Prusinkiewicz 1990], najgorsze warunki troficzne dla sosny występowały na piaskach czwartorzędowych (Pcz1) na wyrobisku „Szczakowa” (stopień 4), natomiast najlepsze na utworach karbońskich (Kn), piaskach gliniastych czwartorzędowych (PGcz), piaskach czwartorzędowych z domieszką ilów trzeciorzędowych (Pczłt) oraz piaskach czwartorzędowych (Pcz2) (stopień 6). Wartości te jednak nie korelowały z zawartością makroskładników pokarmowych w igłach, dlatego możliwości użycia takiej oceny troficzności na siedliskach powstałych na obiektach pogórnicznych wydaje się ograniczone.

W ocenie stanu odżywiania drzewostanów ważne są nie tylko zawartości poszczególnych makroelementów w igłach, ale także wzajemne proporcje pomiędzy nimi [Baule, Fricker 1973]. Harmonijne zaopatrzenie roślin w składniki pokarmowe oznacza, że każdy składnik występuje w wyrównanym stosunku do koncentracji pozostałych składników pokarmowych. Dzięki temu pobieranie składników pokarmowych nie jest zakłócanie i zapewnia optymalny wzrost [Baule, Fricker 1973]. Nie oznacza to jednak, że stosunki ilościowe



pierwiastków w biomase roślin są ściśle określone, ponieważ występują one w pewnym naturalnym zakresie zmienności. Przy założeniu, że dane z powierzchni kontrolnych założonych na siedliskach „naturalnych” są wzorcowe można ogólnie stwierdzić, że stosunki ilościowe w badanych substratach na siedliskach pogórnicych są zaburzone. W porównaniu z powierzchniami kontrolnymi na siedliskach naturalnych stosunek N:P podwyższony był jedynie w przypadku piasków czwartorzędowych zmieszanych z łałami trzeciorzędowymi (Pczłt) na zwałowisku „Piaseczno”, natomiast w pozostałych wariantach siedliskowych był niższy. Stosunki N:K, N:Ca, i N:Mg były niższe we wszystkich wariantach siedliskowych na obiektach pogórnicych. Potwierdza to zaburzenia w harmonijnym zaopatrzeniu w składniki pokarmowe oraz niedobór azotu na siedliskach badanych obiektów pogórnicych. Jednak warunki wzrostu na terenach pogórnicych są odmienne niż na siedliskach „naturalnych”, dlatego wymuszają inną strategię pokarmową drzew [Hüttl 1998, Pietrzykowski 2010]. Dysharmonijne zaopatrzenie w składniki pokarmowe może w konsekwencji prowadzić do zakłóceń fizjologicznych i wzrostowych drzew [Baule, Fricker 1973]. Podkreślić jednak należy, że aktualnie jednak nie stwierdzono żadnych negatywnych symptomów we wzroście sosen na badanych obiektach pogórnicych.

Prawidłowe rozpoznanie stopnia zaopatrzenia drzew w składniki pokarmowe ma podstawowe znaczenie dla projektowania właściwych zabiegów z zakresu rekultywacji, w tym szczególnie nawożenia mineralnego [Baule, Fricker 1973, Bajorek 2006], a także w monitorowaniu stabilności wzrastających drzewostanów, stanowiących główny składnik powstających biocenozy. Występujące niedobory w zaopatrzeniu w azot mogłyby skłaniać do przeprowadzenia nawożenia mineralnego. Podkreślić należy jednak, że zabieg ten na rekultywowanych terenach pogórnicych powinien być rozważany tylko w przypadkach najcięższych deficytów. Aktualnie uważa się, że dążenie do maksymalnego przyrostu drzewostanów, a tym samym biomasy zbiorowisk poprzez osiągnięcie luksusowego stopnia odżywienia drzew, nie powinno być celem najważniejszym na terenach rekultywowanych [Knoche i in. 2002; Pietrzykowski i in. 2010]. Po okresie dobrego wzrostu drzew i przyrostu biomasy w fazach młodocianych może nastąpić spadek przyrostu w fazach późnych. Ostatnio obserwuje się nawet zjawisko wymierania i przeredzania drzewostanów sosnowych wskutek infekcji korzeniowcem wieloletnim *Heterobasidion annosum* (Fr.) [Knoche, Ertle 2010]. W tym kontekście najistotniejszym celem jest osiągnięcie przez powstający ekosystem sprawnego obiegu biogenów [Knoche i in. 2002] i stabilności drzewostanów, stanowiących główny element modyfikujący tworzące się siedliska leśne.

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Stan odżywienia sosny zwyczajnej oceniony na podstawie zawartości makroelementów w igliwiu może być potwierdzeniem jej dużych zdolności adaptacyjnych w warunkach rekultywowanych obiektów pogórnicych;

2. Najbardziej deficytowym pierwiastkiem w warunkach badanych obiektów pogórnicych w porównaniu z powierzchniami kontrolnymi na siedliskach „naturalnych” był azot, natomiast zaopatrzenie w pozostałe składniki pokarmowe można uznać za wystarczające;
3. Najlepiej zaopatrzonymi w składniki pokarmowe były sosny wzrastające na utworach karbońskich zwałowiska Smolnica (Kn), natomiast najgorzej sosny wzrastające na glinach czwartorzędowych zwałowiska Bełchatów (Gcz). Zasobność utworów stanowiących skałę macierzystą gleb pogórnicych nie zawsze przekłada się na stan zaopatrzenia. W tym kontekście zasobność utworów nie jest najważniejszą cechą składową żyzności, czyli zdolności do zaspokajania potrzeb pokarmowych zbiorowisk roślinnych. Istnieją bowiem inne czynniki na siedliskach terenów przemysłowych ograniczające pobieranie składników pokarmowych przez drzewa, co wymaga odrębnych badań.

**Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2009 jako projekt badawczy w ramach Grantu N 309 013 32/2076, Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego RP, a następnie badanie kontynuowane w ramach DS 3420 Katedry Ekologii Lasu UR w Krakowie.**

## PIŚMIENNICTWO

- BAJOREK K. 2006. Ocena zaopatrzenia w składniki pokarmowe sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w I klasie wieku, rosnącej na wierzchowinie zwałowiska zewnętrznego Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” i w lasach gospodarczych nadleśnictwa Bełchatów. Rozprawa doktorska, Katedra Ekologii Lasu UR, Kraków.
- BAJOREK-ZYDROŃ K., KRZAKLEWSKI W., PIETRZYKOWSKI M. 2007. Ocena zaopatrzenia sosny zwyczajnej w składniki pokarmowe w warunkach zwałowiska zewnętrznego KWB „Bełchatów”. *Górnictwo i Geoinżynieria* 31 (2): 67–74.
- BAULE H., FRICKER C. 1973. Nawożenie drzew leśnych. PWRiL, Warszawa.
- BAUMANN K., RUMPELT A., SCHNEIDER B.U., MARSCHNER P., HÜTTL R.F. 2006. Seedling biomass and element content of *Pinus sylvestris* and *Pinus nigra* grown in sandy substrates with lignite. *Geoderma* 136: 573–578.
- FOBER H. 1993. Żywność mineralna. [w:] *Biologia sosny zwyczajnej*. S. Białobok (red.). Sorus, Poznań-Kórnik: 182–193.
- HARABIN Z., ORDON S., WĘGIEREK S. 1980. Wzrost i rozwój samosiewu sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na zwałowisku odpadów węgla kamiennego „Smolnica”. *Archiwum Ochrony Środowiska* 2: 193–201.
- HEINSDORF D. 1999. Düngung von Forstkulturen auf Lausitzer Kippen. Laubag, Eberswalde.

- HÜTTL R.F. 1998. Ecology of post strip-mining landscapes in Lusatia, Germany. *Environmental Science and Policy* 1: 129–135.
- Instrukcja Urządzenia Lasu. 2003. PGL Lasy Państwowe.**
- KNOCHE D., ERTLE C. 2010. Infection of Scots pine afforestations (*Pinus sylvestris* L.) by annosum root rot (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) in the Eastern German Lignite District. *Civil and Environmental Engineering Reports* 4: 35–45.
- KNOCHE D., EMBACHER A., KATZUR J. 2002. Water and element fluxes of red oak ecosystems during stand development on post-mining sites (Lusatian Lignite District). *Water, Air, and Soil Pollution* 141: 219–231.
- KUZNETSOVA T., MANDRE M., KLŐŠEIKO J., PÄRN H. 2010. A comparison of the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in a reclaimed oil shale post-mining area and in a *Calluna* site in Estonia. *Environmental Monitoring and Assessment* 166: 257–265.
- OCHAŁ W., PAJAŁ M., PIETRZYKOWSKI M. 2010. Struktura grubości wybranych drzewostanów sosnowych wzrastających na rekultywowanych dla leśnictwa terenach pogórnich. *Sylvan* 154 (5): 323–332.
- OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI S., SZCZUBIAŁKA Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Instytut Ochrony Środowiska: 241–244.
- PAJAŁ M., FORGIEL M., KRZAKLEWSKI W. 2004. Growth of trees used in reforestation of a northern slope of the external spoil bank of the “Bełchatów” Brown Coal Mine. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Series Forestry* 7(2).
- PIETRZYKOWSKI M. 2005. Charakterystyka wybranych cech roślinności drzewiastej na terenach rekultywowanych oraz pozostawionych procesowi sukcesji na przykładzie powierzchni badawczych na wyrobisku kopalni piasku „Szczakowa”. *Acta Agraria et Silvestria, Series Silvestris* 43: 1–26.
- PIETRZYKOWSKI M. 2006. Właściwości gleb powstających na rekultywowanych i pozostawionych sukcesji terenach wyrobiska po eksploatacji piasków podsadzkowych. *Roczniki Gleboznawcze* 57 (3/4): 97–105.
- PIETRZYKOWSKI M., KRZAKLEWSKI W. 2009. Rekultywacja leśna terenów wyrobisk po eksploatacji piasków podsadzkowych na przykładzie Kopalni „Szczakowa”. Monografia. Katedra Ekologii Lasu UR, Kraków.
- PIETRZYKOWSKI M., 2010. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) ecosystem macronutrients budget on reclaimed mine sites stand trees supply and stability. *Natural Science* 2 (6): 590–599.
- PIETRZYKOWSKI M., KRZAKLEWSKI W., PAJAŁ M., SOCHA J., OCHAŁ W. 2010. Analiza i optymalizacja metod klasyfikacji siedlisk i kryteriów oceny rekultywacji leśnej na wybranych terenach pogórnich w Polsce. Red. M. Pietrzykowski, Monografia, Wydawnictwo UR Kraków, ss. 214.
- PRUSINKIEWICZ Z., BIAŁY K., CHRAPKOWSKI B. 1974. Skład chemiczny i cechy biometryczne organów asymilacyjnych jako wskaźniki warunków glebowych oraz mine-

ralnego odżywiania i potrzeb nawozowych drzewostanów sosnowych. Roczniki Gleboznawcze 25 (3): 223–236.

PUCHALSKI T., PRUSINKIEWICZ Z. 1990. Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. PWRiL, Warszawa.

STOLARSKA M., STOLARSKI R., HARABIN Z., KRZAKLEWSKI W., PIETRZYKOWSKI M. 2006. Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) z sukcesji na centralnym zwałowisku odpadów węgla kamiennego. Roczniki Gleboznawcze 57 (1/2): 183–191.