

Katarzyna Bajorek-Zydroń*, Wojciech Krzaklewski*, Marcin Pietrzykowski*

OCENA ZAOPATRZENIA SOSNY ZWYCZAJNEJ (*PINUS SYLVESTRIS L.*) W SKŁADNIKI POKARMOWE W WARUNKACH ZWAŁOWISKA ZEWNĘTRZNEGO KWB „BEŁCHATÓW”

1. Wstęp, cel i zakres badań

Efekty rekultywacji leśnej można miarodajnie oceniać w długich interwałach czasowych. W ponad 50-letniej historii zorganizowanej działalności rekultywacyjnej w Polsce istnieje aktualnie możliwość badania stanu zalesień na terenach rekultywowanych dla leśnictwa z drzewostanami przechodzącymi z I do II i z II do III klasy wieku. Jednym z coraz częściej badanych zagadnień jest zaopatrzenie wprowadzanych gatunków drzew w składniki pokarmowe. Rozpoznanie stopnia tego zaopatrzenia ma podstawowe znaczenie dla projektowania właściwych zabiegów z zakresu rekultywacji, w tym szczególnie nawożenia mineralnego. Zawartość biogenów wyrażona w procentach suchej masy igieł stanowi jedno z kryteriów oceny stanu odżywienia drzew w konkretnych warunkach siedliskowych [5], w tym zdolności adaptacyjnych na rekultywowanych terenach pogórnich [3, 8]. Kryterium to może być również wykorzystywane pośrednio do oceny aktualnych właściwości siedliska glebowego odtwarzanego w procesie rekultywacji leśnej, w tym szczególnie żyzności. W dostępnej literaturze brakuje danych na temat składu chemicznego aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris L.*) w I klasie wieku na nieużytkach. W Niemczech (Dolnośląskie Zagłębie Węglowe) dla praktyki rekultywacyjnej opracowano odpowiednie stopnie odżywienia gatunków drzew leśnych wprowadzanych w ramach rekultywacji w oparciu o zawartość biogenów w aparacie asymilacyjnym [3]. Jednak dane te odnoszą się do specyficznych warunków siedliskowych zwałowisk Dolnośląskiego Zagłębia Węgla Brunatnego, zbudowanych z fitotoksycznych, trzeciorzędowych piasków, neutralizowanych w ramach rekultywacji głównie popiołami ze spalania węgla brunatnego. Jak dotąd w Polsce dla zwałowisk górnictwa węgla brunatnego nie opracowano analogicznych wskaźników.

* Wydział Leśny, Akademia Rolnicza, Kraków

W pracy przedstawiono wyniki oceny zaopatrzenia w składniki pokarmowe sosny zwyczajnej rosnącej na wierzcholinie zwałowiska zewnętrznego Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” na tle danych porównawczych z sosną rosnącą w drzewostanach gospodarczych w sąsiedztwie zwałowiska.

2. Obiekt badań i metodyka

Badania prowadzono w zalesieniach sosnowych w I klasie wieku w chronosekwencji 5–7, 9–11 i 12–14 lat na wierzcholinie zwałowiska zewnętrznego oraz porównawczo w drzewostanach gospodarczych zlokalizowanych w sąsiedztwie zwałowiska na siedlisku optymalnym dla sosny, tj. boru mieszanego świeżego (BMśw). Ogółem założono 60 stałych 1 ar powierzchni badawczych (10×10 m), 30 na wierzcholinie zwałowiska i 30 w lasach gospodarczych, po 10 powtórzeń dla każdej grupy wieku. Na powierzchniach wykonano dwukrotnie (w latach 2002–2004) pomiary dendrometryczne (h , $d_{1,3}$, d_0) oraz pobór próbek jednorocznych igieł sosny do pomiarów biometrycznych i dwu roczników do analiz laboratoryjnych. Na każdej powierzchni wykonano również badania glebowe, w tym opis morfologii gleb i pobór próbek do analiz laboratoryjnych. W laboratorium w próbkach glebowych oznaczono metodami ogólnie stosowanymi w gleboznawstwie: uziarnienie, pH, PEW, zawartość CaCO_3 . Następnie pomierzono długość igieł sosny i oznaczono w nich (uprzednio igły myto wodą destylowaną i suszono w 65°C) zawartości: C, N, S na aparacie Leco 2000; Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, oraz Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr metodą mineralizacji na mokro w mieszaninie kwasów HNO_3 i HClO_4 w stosunku 3 : 1 metodą ASA na aparacie Varian; zawartość P metodą molibdenianową kolorymetrycznie z wyciągu w HNO_3 i HClO_4 . Uzyskane wyniki w celu porównywania średnich wartości cech w analizowanych grupach poddano analizie statystycznej przy zastosowaniu odpowiednich procedur stosując program Statistica 6.1 ($\alpha = 0,05$).

3. Omówienie wyników i dyskusja

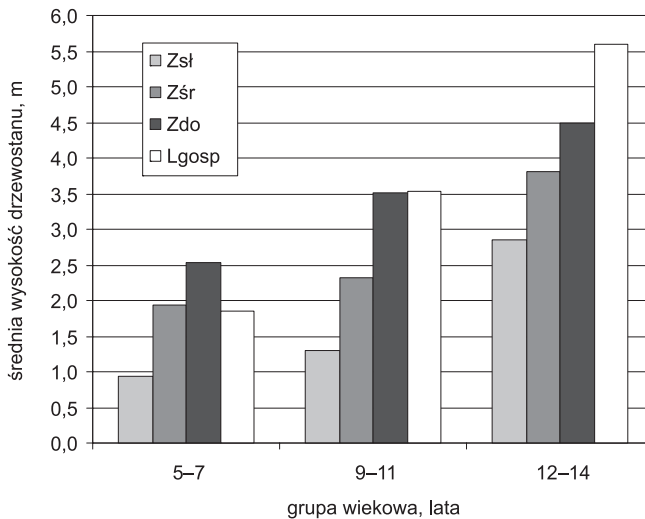
3.1. Ogólna charakterystyka gleb na powierzchniach badawczych

Inicjalne gleby na zwałowisku zaliczono do gleb industrioziemnych i urbanoziemnych o niewykształconym profilu i parareńzin antropogenicznych. Na powierzchniach porównawczych w lesie gospodarczym wystąpiły gleby bielicoziemne wytworzone na fluwioglacjalnych piaskach gliniastych, rzadziej piaskach gliniastych lekkich, nieodbiegające właściwościami od podobnych gleb na Niziu Polskim (Klasyfikacja Gleb Leśnych Polski 2000). Badane gleby na zwałowisku charakteryzowały się znacznym zróżnicowaniem uziarnienia, od piasków gliniastych do glin, glin średnich, pyłów zwykłych, a niekiedy nawet ilów. Odczyn gleb na zwałowisku był również bardzo zróżnicowany, od obojętnego i słabo alkalicznego ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ nawet ponad 8,3) do kwaśnego i bardzo silnie kwaśnego ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ do 3,5). Wartość PEW

badanych gleb była również zróżnicowana, od wartości niskich, właściwych dla naturalnych gleb leśnych (około $20 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), do stosunkowo wysokich (powyżej $1300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), głównie w głębszych poziomach glebowych. Zawartość CaCO_3 była również zróżnicowana. Na ogół nie przekraczała 5%, ale zdarzało się, że przekraczała 24, a nawet 49% w utworach z domieszką osadów węglanowych (kredy jeziornej). Tak duże zróżnicowanie właściwości gleb wynikało z mozaikowatego rozmieszczenia i przemieszania utworów nadkładu.

3.2. Długość igieł sosny i niektóre cechy dendrometryczne drzewostanów

Badane zalesienia sosnowe charakteryzowały się znacznym zróżnicowaniem pod względem wysokości (h). Wśród 3 grup wiekowych występowały powierzchnie z sosną charakteryzującą się wzrostem słabym, średnim i dobrym (rys. 1). Tylko w grupie najmłodszej 5–7 lat sosna na zwałowisku przewyższała wysokościowo sosnę z drzewostanów gospodarczych. Już jednak od wieku 9–11 lat sosna z drzewostanów gospodarczych przewyższała sosnę ze zwałowiska średnio o 1,0 m, a w wieku 12–14 lat 1,8 m (rys. 1).



Rys. 1. Wysokość sosny na zwałowisku zewnętrznym KWB „Bełchatów” w porównaniu do sosny w gospodarczych drzewostanach na siedlisku boru mieszanego świeżego (BMśw) w zależności od wieku z podziałem na grupy wzrostowe, gdzie: Zsł — powierzchnie na zwałowisku o wzroście słabym; Zśr — średnim; Zdo — dobrym; Lgosp — powierzchnie porównawcze w drzewostanach gospodarczych

Średnie długości igieł sosny z poszczególnych powierzchni na wierzchołku zwałowiska wykazywały zarówno w roku 2002, jak i 2003 większe zróżnicowanie niż średnie długości igieł z powierzchni w drzewostanie gospodarczym. Według skali troficzności gleb na podstawie średnich długości igieł podanej przez Wajcyszysa i Ratkauskasa [6] powierzch-

nie na zwałowisku zaliczono do stopni: od 2 (długość igieł 19,0÷26,9 mm) do 9 (długość igieł w przedziale 75,0÷82,5 mm), natomiast powierzchnie z lasu gospodarczego do stopni od 4 (długość igieł w przedziale 35,0÷42,9 mm) do 9 (długość jak powyżej). W porównaniu z powierzchniami na zwałowisku igły sosny pochodzące z lasu gospodarczego charakteryzowały się większą średnią długością.

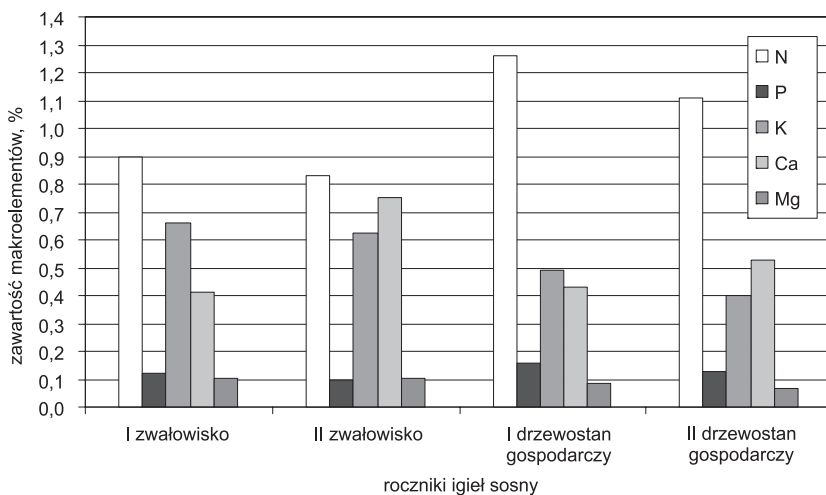
3.3. Skład chemiczny aparatu asymilacyjnego sosny

Najbardziej deficytowym pierwiastkiem w aparacie asymilacyjnym sosny był azot (N) (rys. 2). Sosna na zwałowisku zawierała wyraźnie mniej tego pierwiastka w igłach w porównaniu z sosną z powierzchni kontrolnych. Zawartość azotu (średnia z lat 2002 i 2003) w igłach I rocznika sosny rosnącej na zwałowisku wynosiła 0,90%, II rocznika 0,83%, a w igłach sosny z drzewostanów gospodarczych odpowiednio 1,26% i 1,11%. Sosna w każdej grupie wiekowej, w tym w grupach o najlepszym wzroście na powierzchniach zbudowanych z utworów potencjalnie zasobnych, zawierała w igłach poniżej 1,3% N, tj. zawartości uznawane za wystarczające zarówno dla lasów gospodarczych [1], jak i rekultywowanych terenów pogórnicych Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego [3]. Wraz ze wzrostem zawartości azotu w igłach sosny wzrastała jej średnia wysokość (*h*), jednak najwyraźniej dotyczyło to sosny w wieku 5–7 i 9–11 letniej. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że najbardziej przydatne do oceny ogólnego zaopatrzenia sosny w azot są igły I rocznika. Wynika to z faktu, że pierwiastek ten może podlegać translokacji z igieł dwuletnich do jednorocznych [2]. Uwzględniając relacje stanu zaopatrzenia igieł sosny w azot z jej cechami biometrycznymi można przyjąć, że wystarczającą zawartością tego pierwiastka w jednorocznych igłach sosny rosnącej na wierzchowinie zwałowiska jest co najmniej 1,0%.

W przypadku fosforu, pomimo niskich zawartości w formie przyswajalnej w glebach na zwałowisku, jego zawartość w igłach sosny była na większości powierzchni wystarczająca, choć wyraźnie niższa niż w igłach sosny z drzewostanów gospodarczych i wynosiła odpowiednio w I roczniku 0,12% i w II roczniku 0,10%, a sosny z drzewostanów gospodarczych odpowiednio 0,16% i 0,13%. Odnosząc te dane do stopni odżywienia się sosny ze zwałowisk w Dolnośląskim Zagłębiu Węgla Brunatnego [3] uznano, że zawartość fosforu w igłach sosny ze zwałowiska była wystarczająca. Przy czym zawartość tego pierwiastka w igłach była najniższa na powierzchniach charakteryzujących się słabym wzrostem drzew, a w grupie powierzchni 9–11 lat wystąpił istotny statystycznie, dodatni współczynnik korelacji pomiędzy wysokością sosny a zawartością fosforu w jej igłach, zarówno w I, jak i II roczniku.

W przypadku wapnia, potasu, magnezu i siarki wystąpiła tendencja odwrotna i wyraźnie sosna ze zwałowiska była lepiej zaopatrzona w te biogeny niż sosna z drzewostanów gospodarczych. Średnia zawartość Ca wynosiła w jednorocznych igłach 0,41% i w dwuletnich 0,75%, a w przypadku lasów gospodarczych odpowiednio 0,43% i 0,53%. Według kryteriów opracowanych dla terenów rekultywowanych [3] zaopatrzenie w wapń często było „luksusowe” lub nawet wyższe od „luksusowego”, tj. IV i V stopień odżywienia. Wyraźnie wyższe (statystycznie istotne) zawartości wapnia stwierdzano w igłach dwuletnich i było to zgodne z wynikami podawanymi w literaturze [9]. Średnia zawartość potasu w jednorocz-

nych igłach sosny ze zwałowiska wynosiła 0,66%, a w dwuletnich 0,62%. Sosna z drzewostanów gospodarczych zawierała w I roczniku 0,49%, a w drugim 0,40%. Wysoka zawartość potasu w igłach ze zwałowiska występowała zwykle na powierzchniach z dobrym zaopatrzeniem gleb w potas przyswajalny, nie były to jednak korelacje istotne statystycznie. Według niemieckich stopni odżywienia dla sosny [3] drzewostany ze zwałowiska posiadały „luksusowe” zaopatrzenie w ten pierwiastek. W przypadku Mg igły sosny ze zwałowiska zawierały w I roczniku średnio 0,11%, a w drugim 0,10%, natomiast igły sosny z lasu gospodarczego zawierały w I roczniku 0,08%, a w II roczniku 0,07%. Średnia zawartość magnezu w igłach sosny na zwałowisku wynosiła 0,11% i można ją uznać za wystarczającą [1]. Według cytowanych stopni odżywienia sosny [3] zawartość magnezu mieściła się w stopniu IV, co odpowiada „luksusowemu” zaopatrzeniu w ten pierwiastek. Podobne wyniki zawartości magnezu w igłach podawał [9] w drzewostanach gospodarczych. W większości przypadków na wierzchołku najwyższą zawartość magnezu stwierdzono w igłach z powierzchni charakteryzujących się dobrym wzrostem drzew. Wyniki te w pełni potwierdzają ogólnie dobrą zasobność gleb pogórnicych w magnez [4, 10, 12]. Średnia zawartość siarki w jednorocznych igłach sosny z wierzchołku zwałowiska wynosiła 0,100%, a w II roczniku 0,109%. Igły sosny z lasów gospodarczych zawierały w I roczniku 0,088%, a w II roczniku 0,081%, co wskazywało na II stopień odżywienia dla terenów rekultywowanych [3] i niedobór tego pierwiastka.



Rys. 2. Zawartość makroelementów w igłach sosny zwyczajnej ze zwałowiska zewnętrznego KWB „Bełchatów” w porównaniu z sosną z drzewostanów gospodarczych na siedlisku (BMśw)

W ocenie stanu zaopatrzenia drzew w składniki pokarmowe ważne są nie tylko zawartości w suchej masie, ale i proporcje pomiędzy nimi. Stosunek azotu do fosforu (N:P) w igłach sosny dla rozpatrywanych grup powierzchni w większości przypadków wykazywał wartość

optymalną. Była ona zbliżona do wartości podawanych przez innych autorów [9]. Podobnie stosunek azotu do potasu (N:K) i azotu do magnezu (N:Mg) w igłach sosny z wierzchowiny zwałowiska mieścił się w zakresie optymalnym, natomiast proporcja N : Ca na ogół była, szczególnie w igłach II rocznika, niższa od optymalnych. Średni stosunek potasu zarówno do wapnia, jak i magnezu, w większości przypadków mieścił się w zakresie optymalnym. Średnie wartości proporcji K : Mg były wyrównane i zbliżone do podawanych dla młodnika sosnowego przez Czaplę (1978). Wyraźnie wyższą od podawanych średnią wartość proporcji wapnia do magnezu (Ca:Mg), wynoszącą 8,07, stwierdzono w igłach dwuletnich. Średni stosunek tych pierwiastków w igłach jednorocznych wykazywał wartość optymalną.

W przypadku badanej sosny szereg ilościowy głównych biogenów zawartych w aparacie asymilacyjnym był następujący: $N > K > Ca > P > Mg$, i był zgodny z wynikami podawanymi w innych badaniach prowadzonych w młodnikach sosnowych [7] oraz w drzewostanach starszych klas wieku [9].

Średnia zawartość żelaza w igłach sosny z wierzchowiny zwałowiska w I roczniku igieł wynosiła 58,8 $\mu\text{g/g}$, a w II roczniku 80,3 $\mu\text{g/g}$ i była wyższa od średniej zawartości tego pierwiastka dla sosny w drzewostanie gospodarczym, która wynosiła odpowiednio 48,4 $\mu\text{g/g}$ i 59,3 $\mu\text{g/g}$. Zawartości te odpowiadają II i III stopniowi odżywienia sosny na terenach rekultywowanych [3]. Średnia zawartość manganu w igłach sosny ze zwałowiska wynosiła w I roczniku 144,9 $\mu\text{g/g}$, a w II roczniku 240,1 $\mu\text{g/g}$, i była niższa niż otrzymana dla igieł z lasu gospodarczego, która wynosiła odpowiednio 265,7 $\mu\text{g/g}$ i 451,7 $\mu\text{g/g}$. Ogólnie igły dwuletnie zawierały więcej tego pierwiastka niż jednoroczne, a według stopni odżywienia [3] średnia zawartość manganu odpowiadała II stopniowi zaopatrzenia w ten pierwiastek, co wskazuje na jego niedobór. Zawartość cynku w igłach sosny z wierzchowiny zwałowiska dla I rocznika wynosiła 42,8 $\mu\text{g/g}$, a dla II rocznika 68,9 $\mu\text{g/g}$, i była podobna do wartości uzyskanych w drzewostanie gospodarczym, odpowiednio 41,4 $\mu\text{g/g}$ i 61,4 $\mu\text{g/g}$. Wyższe zawartości cynku stwierdzono w II roczniku igieł. Były one wyraźnie niższe od wartości podawanych dla terenów znajdujących się pod wpływem przemysłowych zanieczyszczeń powietrza [11]. Zawartość cynku w igłach sosny zarówno na wierzchowinie zwałowiska, jak i w drzewostanach gospodarczych nie przekraczała wartości uznawanych za toksyczne dla roślin (Balsberg-Påhlsson 1989). Średnia zawartość miedzi w igłach z wierzchowiny zwałowiska wynosiła 5,0 $\mu\text{g/g}$, a w drzewostanie gospodarczym 5,6 $\mu\text{g/g}$. Zawartości te można uznać za normalne dla sosny [11].

4. Podsumowanie i wnioski

- 1) Uzyskane wyniki wskazują, że inicjalne gleby zwałowiska zapewniają sosnie zwyczajnej większość składników pokarmowych z wyjątkiem azotu, który był wyraźnie deficytowym pierwiastkiem.
- 2) Przeprowadzone badania wykazały, że zawartość azotu w igłach sosny rosnącej na zwałowisku była deficytowa i znacznie niższa (0,8 do 0,9%) niż sosny rosnącej w drzewostanach gospodarczych na optymalnym dla tego gatunku siedlisku boru mieszanego

świeżego (1,3 do 1,1%). Sosna rosnąca na zwałowisku charakteryzowała się dobrym wzrostem przy zawartości co najmniej 1,0% N i choć wartości te były znacznie niższe od optymalnych podawanych w literaturze dla tego gatunku, można uznać je za dolne wystarczające w warunkach bełchatowskiego zwałowiska.

- 3) Zawartość fosforu w igłach sosny rosnącej na zwałowisku była niższa niż sosny z porównawczych powierzchni w drzewostanach gospodarczych, jednak w porównaniu do danych literaturowych były to w większości przypadków zawartości uznane za wystarczające.
- 4) Zawartość wapnia, magnezu i potasu w igłach sosny rosnącej na zwałowisku była optymalna, a w przypadku K i Mg wyraźnie wyższa niż sosny rosnącej w porównywanych drzewostanach gospodarczych na siedlisku BMśw.
- 5) Proporcje pierwiastków N:P, N:K, N:Ca, N:Mg były w badanych próbkach igieł w większości przypadków optymalne, a średnie zawartości badanych makroelementów w igłach sosny układały się w charakterystyczny dla tego gatunku, podawany przez innych autorów malejący szereg ilościowy: $N > K > Ca > P > Mg$.
- 6) Liczby graniczne zawartości biogenów w aparacie asymilacyjnym opracowane dla drzewostanów gospodarczych nie są miarodajne dla obiektów pogórnicych i zwykle są znacznie w stosunku do nich zawyżone. Dlatego uzasadnione są dalsze badania w tym kierunku, dzięki którym będzie możliwe opracowanie stopni odżywienia drzewostanów wprowadzanych w ramach rekultywacji w warunkach polskich. Ma to znaczenie dla rozwoju wiedzy z zakresu rekultywacji terenów pogórnicych, w tym szczególnie żywienia mineralnego wprowadzonych drzewostanów.

LITERATURA

- [1] *Fober H.*: Żywnienie mineralne, (w): *Biologia sosny zwyczajnej* pod red. Białobok S., Boratyński A., Bugała W., PAN, Instytut Dendrologii, Wydaw. Sorous, Poznań-Kórnik, 1993, 182–193
- [2] *Hagen-Thorn A., Callesen I., Armolaitis K., Nihlgård B.*: The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*. 195 (3), 2004, 373–384
- [3] *Heinsdorf D.*: Düngung von Forstkulturen auf Lausitzer Kippen, Laubag, Eberswalde 1999
- [4] *Krzaklewski W.*: Roślinność spontaniczna jako wskaźnik warunków siedliskowych oraz podstawa do zalesienia skarp zwałowisk na przykładzie Kopalni Węgla Brunatnego „Adamów”, Materiały konferencyjne: Górnictwo Odkrywkowe — Środowisko — Rekultywacja ze szczególnym uwzględnieniem KWB „Bełchatów”, Vol. 2, Kraków 1999, 1–122
- [5] *Obmiński Z.*: Zarys Ekologii, [w:] *Nasze Drzewa Leśne, Monografie Popularnonaukowe, Sosna Zwyczajna (Pinus silvestris L.)* pod red. S. Białobok, PWN, Warszawa-Poznań, 1970, 203–231
- [6] *Puchalski T., Prusinkiewicz Z.*: Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. PWRiL Warszawa 1975
- [7] *Sienkiewicz A., Szymańska M., Cichocka I., Gałązka S.*: Wpływ zabiegów agrotechnicznych na zawartość makroelementów w igłach młodników sosny zwyczajnej. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych*, 69, 1987, 123–129
- [8] *Stolarska M., Stolarski R., Harabin Z., Krzaklewski W., Pietrzykowski M.*: Sosna zwyczajna (*Pinus Sylvestris L.*) z sukcesji na centralnym zwałowisku odpadów górnictwa węgla kamiennego. *Roczniki Gleboznawcze*, 57 (1/2), 2006, 183–191
- [9] *Szczubiałka Z.*: Zawartość azotu i składników mineralnych w igłach jako podstawa oceny stanu zaopatrzenia sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris L.*) w składniki pokarmowe. Ms. Zakład Gleboznawstwa i Nawożenia. Instytut Badawczy Leśnictwa. Warszawa 1981 (rozprawa doktorska)

- [10] *Węgorek T.*: Zmiany niektórych właściwości materiału ziemnego i rozwój fitocenozy na zwałowisku zewnętrznym kopalni siarki w wyniku leśnej rekultywacji docelowej. Rozprawy Naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie. Wydział Rolniczy, z. 275, 2003, 1–140
- [11] *Widera S.*: Skażenie gleb i organów asymilacyjnych sosny pospolitej w różnych odległościach od źródła emisji. Archiwum Ochrony Środowiska, 3–4, 1980, 147–152
- [12] *Wójcik J., Krzaklewski W.*: Kształtowanie się cech inicjalnej gleby w toku leśnej rekultywacji zwałowiska zewnętrznego KWB Adamów, materiały konferencyjne: Górnictwo Odkrywkowe — Środowisko — Rekultywacja, ze szczególnym uwzględnieniem KWB „Bełchatów”. Vol 1. S.C. Drukrol, Kraków 1999, 95–109