

PIOTR SEWERNIAK

Wpływ właściwości gleb piaszczystych na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. II. Wybrane właściwości chemiczne*

Impact of soil properties on site index class of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in south-western Poland. II. Some chemical properties

ABSTRACT

Sewerniak P. 2012. Wpływ właściwości gleb piaszczystych na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. II. Wybrane właściwości chemiczne. Sylwan 156 (7): 518-525.

Impact of some chemical soil properties (OC and Nt content as well as C:N ratio in humus horizon; exchangeable cation stocks and base saturation) on site index class of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) was analyzed. The study was conducted in 67 plots, separately on sandy soils of different moisture – non-gleyic (51 plots) and gleyic soils (16). For every soil pit, stocks of particular cations were calculated to the five depths: 25, 50, 100, 150 and 200 cm. The distinct positive impact of N, K and Mg on the pine site index was stated. The strong influence of K was assumed to be caused by the strong effect of potassium on water economy of trees. The positive relation between Ca soil stocks and pine growth was also stated, however, the relation was described to be an indirect one. Probably it reflected the stated clear intercorrelation of Ca with K and Mg content. The only element that was determined as negative correlated to the site index was Na, that was especially distinct when topsoil Na stocks were concerned. The negative correlation was presumed to reflect sodium adverse effect on soil structure, that resulted in decreasing water sorption in topsoil and thus caused less favourable site moisture conditions for pine growth. The results showed that when refer to the soil depth, the strength of the correlation between stocks of particular cations and the pine site index was strictly dependent on soil moisture: on non-gleyic soils, on the contrary to gleyic, the correlation strength was directly proportional to soil thickness taking into consideration in statistical analysis.

KEY WORDS

soil, *Pinus sylvestris*, site index, tree growth, nutrients, chemical soil properties

ADDRESSES

Piotr Sewerniak – e-mail: sewern@umk.pl

Zakład Gleboznawstwa; Uniwersytet Mikołaja Kopernika; ul. Gagarina 9; 87-100 Toruń

Wstęp

Właściwości chemiczne gleby są ważnym czynnikiem warunkującym zaopatrzenie w składniki pokarmowe, stąd ich istotny wpływ na wzrost roślin jest niepodważalny. Ze względu m.in. na wysoką złożoność relacji gleba – roślina trudno jest jednak oszacować wpływ poszczególnych właściwości chemicznych gleby na cechy produkcyjne drzewostanów. Jak zauważa Przybylski [1993], określenie wymagań sosny zwyczajnej w stosunku do poszczególnych składników mineralnych jest trudne także ze względu na szeroką skalę adaptacji tego gatunku do gleb o różnej żyzności.

Z uwagi na duże znaczenie dla prowadzenia gospodarki leśnej, zagadnienie wpływu głównych makropierwiastków na wzrost sosny zwyczajnej było często poruszane w pracach nau-

* Badania zostały sfinansowane z funduszy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (projekt badawczy nr N309 007 32/1037).

kowych. Wśród nich dominują opracowania, w których temat ten był badany na podstawie doświadczeń nawozowych [m.in. Klimas, Luterek 1969; Janiszewski, Kowalkowski 1977; Uebel, Heinsdorf 1997; Valinger i in. 2000; Kocjan 2003; Røsbjerg i in. 2006; Saarsalmi i in. 2006; Prietzel i in. 2008]. Uzyskane rezultaty tych doświadczeń stosunkowo często były jednak sprzeczne [Fober 1993], co dodatkowo utrudnia określenie znaczenia poszczególnych składników pokarmowych dla wzrostu sosny.

Znacznie rzadsze są badania przeprowadzone na glebach nienawożonych. Zależność między wybranymi właściwościami chemicznymi gleb a bonitacją drzewostanów sosnowych na 21 powierzchniach badawczych położonych w środkowej Polsce analizowali Olszowska i in. [2005]. Relację między bonitacją sosny a kilkoma właściwościami górnej (30 cm) warstwy gleby badał na terenie Litwy Wajczis [1975]. Wpływ właściwości chemicznych nienawożonych gleb na bonitację sosny analizowali także w borealnych lasach Finlandii Lipas [1985] oraz Tamminen [1993]. W dotychczasowej bibliografii sosny zwyczajnej brak jednak publikacji, w której wpływ właściwości chemicznych gleby na bonitację tego gatunku przedstawiony zostałby z odrębnym uwzględnieniem gleb o różnej wilgotności. Tymczasem, jak wykazały wcześniejsze badania autora [Sewerniak 2011a, 2012], wpływ poszczególnych właściwości gleb na bonitację sosny może mieć odmienny charakter w zależności od uwilgotnienia siedliska.

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu wybranych właściwości chemicznych (zawartość węgla organicznego Corg. i azotu ogółem Nt, wartość proporcji C:N w poziomie próchnicznym oraz wielkość zasobów kationów wymiennych i stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi) gleb piaszczystych na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce.

Materiał i metody

Badaniami objęto 67 profili glebowych, które wykonane zostały podczas sporządzania operatów glebowo-siedliskowych dla nadleśnictw Bolesławiec, Głogów i Oława [Operat... 2003, 2004, 2005]. Były to urzędzeniowe profile wzorcowe (typologiczne), dla których w opracowaniach glebowo-siedliskowych wykonuje się, poza określeniem uziarnienia i odczynu, także dokumentację właściwości chemicznych. Charakterystykę analityczną badanych gleb przedstawiono we wcześniejszym opracowaniu [Sewerniak 2011b]. Ze względu na wyraźnie odmiennie kształtowanie się relacji między cechami gleby a bonitacją sosny w różnych warunkach uwilgotnienia siedliska [Sewerniak 2011a, 2012], badania przeprowadzone zostały równoległe dla gleb nieoglejonych (51 powierzchni badawczych) i oglejonych (16). W pracy nie analizowano relacji między bonitacją sosny a stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi w poziomach wzbogacania gleb oglejonych, gdyż poziom B występował tylko w części z tych gleb.

Dla wszystkich analizowanych profili glebowych wyliczono zasoby kationów kwasowych (H^+ oraz Al^{3+}), poszczególnych kationów zasadowych (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), sumy zasad (S) oraz sumy kationów ogółem (łącznie kwasowych i zasadowych). Zasoby poszczególnych kationów (Z) wyliczono na podstawie wzoru:

$$Z = \sum (x_1 \cdot y_1 \cdot D_1) + (x_2 \cdot y_2 \cdot D_2) + \dots + (x_n \cdot y_n \cdot D_n)$$

gdzie:

- x – zawartość kationu/kationów w poziomie genetycznym,
- y – miąższość poziomu genetycznego,
- D – gęstość objętościowa poziomu genetycznego,
- 1, 2, ... n – kolejne poziomy genetyczne w profilu glebowym.

Poszczególne zasoby kationów wyliczono dla każdego analizowanego profilu do głębokości 25, 50, 100, 150 i 200 cm. Niezbędną do wyliczeń gęstość objętościową (D) określono dla poszczególnych poziomów genetycznych na podstawie zawartości węgla organicznego (x) według wzoru Brozka [2001]:

$$D = 1,3773 \cdot e^{-0,0547 \cdot x}$$

Przy każdym badanym profilu glebowym dokonano pomiaru wysokości górnej drzewostanu sosnowego [Bruchwald, Kliczkowska 1997]. Na podstawie tych pomiarów, dla każdej powierzchni badawczej wyliczono bonitację sosny wykorzystując model Bruchwalda i in. [2000]. Metodyka uzyskania wskaźnika bonitacji została przedstawiona we wcześniejszych pracach Sewerniaka [2011a, 2012].

Analizy statystyczne przeprowadzono wykorzystując pakiet Statistica 9.0 (StatSoft, Inc.). Z uwagi na odbiegający od normalnego rozkład zmiennych (test W Shapiro-Wilka) lub krzywoliniowy charakter zależności między zmiennymi, w analizach zależności wykorzystano korelację rang Spearmana.

Wyniki

Na powierzchniach badawczych z glebami nieoglejonymi stwierdzono występowanie wyraźnego związku między analizowanymi właściwościami poziomu próchnicznego a bonitacją sosny. Była ona silnie pozytywnie skorelowana z zawartością azotu ogółem ($R=0,516$, $p<0,01$), a także (w mniejszym stopniu) z zawartością węgla organicznego ($R=0,322$, $p=0,02$). Na powierzchniach z glebami nieoglejonymi występowała istotna ujemna korelacja między bonitacją drzewostanów sosnowych a wartością proporcji C:N ($R=-0,437$, $p<0,01$). Pozytywny wpływ zawartości Corg. i Nt na bonitację sosny zaznaczył się także na powierzchniach z glebami oglejonymi. Relacje te nieznacznie nie spełniały jednak przyjętego 95% progu poziomu istotności ($p=0,053$ dla węgla oraz $p=0,10$ dla azotu). Wartość proporcji C:N okazała się wyraźnie nieistotna statystycznie dla bonitacji sosny na badanych glebach oglejonych ($p=0,95$).

Zależności między pedogenicznymi zasobami badanych kationów a bonitacją sosny kształtowały się odmiennie pod względem strefy głębokości gleby dla analizowanych grup powierzchni o różnej wilgotności. Dla powierzchni z glebami nieoglejonymi siła korelacji między wielkością zasobów kationów a bonitacją sosny wzrastała wraz z uwzględnieniem większej głębokości gleby. Z kolei na powierzchniach z glebami oglejonymi wielkości zasobów poszczególnych kationów wyliczone do głębokości 200 cm okazały się nieistotne dla bonitacji drzewostanów sosnowych. Na glebach tych większe znaczenie dla wzrostu sosny miała wielkość zasobów występujących w powierzchniowej warstwie gleby (tab.).

Spośród wszystkich analizowanych kationów największy wpływ na bonitację sosny miał potas i dotyczy to obu wilgotnościowych grup powierzchni (tab.). Na glebach oglejonych żaden inny kation zasadowy nie miał istotnie statystycznego wpływu na wzrost drzewostanów sosnowych. Na glebach nieoglejonych, poza potasem, istotny wpływ na bonitację sosny stwierdzono także dla magnezu oraz (słabszy) dla wapnia. Dla obu wilgotnościowych grup powierzchni wykazano występowanie pozytywnej korelacji między zasobami kationów kwasowych ($H^+ + Al^{3+}$) a bonitacją sosny (tab.).

Na uwagę zasługuje występowanie jedynej na glebach nieoglejonych korelacji ujemnej, która dotyczyła sodu. Relacja ta była najsilniejsza dla stropu gleby (zasoby do głębokości 25 cm). Wartość współczynnika korelacji wynosiła $-0,250$ i była bliska istotności statystycznej (tab.).

Jedyną stwierdzoną istotną statystycznie korelacją dotyczącą stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi była ujemna zależność ($R=-0,338$, $p=0,01$) pomiędzy

Tabela.

Współczynniki korelacji między bonitacją drzewostanów sosnowych a zasobami kationów wyliczonych do głębokości 25, 50, 100, 150 i 200 cm

Correlation coefficients between site index class of Scots pine stands and cation stocks determined till the depth of 25, 50, 100, 150 and 200 cm

Głębokość	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S	Kationy ogółem
Gleby nieoglejone							
do 25 cm	0,235	0,100	0,291*	-0,250	0,408*	0,117	0,223
do 50 cm	0,244	0,133	0,344*	-0,192	0,488*	0,121	0,257
do 100 cm	0,302*	0,223	0,430*	-0,077	0,511*	0,247	0,294*
do 150 cm	0,365*	0,312*	0,507*	0,002	0,533*	0,360*	0,376*
do 200 cm	0,415*	0,368*	0,544*	0,047	0,562*	0,423*	0,459*
Gleby oglejone							
do 25 cm	0,588*	0,197	0,132	-0,181	0,695*	0,344	0,559*
do 50 cm	0,612*	0,215	0,152	0,006	0,688*	0,259	0,626*
do 100 cm	0,612*	-0,035	-0,018	-0,035	0,391	0,032	0,615*
do 150 cm	0,506*	0,012	-0,018	-0,123	0,379	0,029	0,465
do 200 cm	0,403	0,032	-0,050	-0,173	0,403	0,068	0,403

* istotne przy $p < 0,05$

* significant at $p < 0,05$

bonitacją sosny a wartością tego wskaźnika w poziomach próchnicznych gleb nieoglejonych. Bliska istotności statystycznej była także negatywna relacja ($R = -0,394$) stwierdzona dla poziomów próchnicznych gleb oglejonych. Udział kationów zasadowych w kompleksie sorpcyjnym poziomów wzbogacania oraz skał macierzystych był wyraźnie nieistotny dla bonitacji sosny, co dotyczy obu wilgotnościowych grup gleb.

Dyskusja

Wyniki badań relacji między bonitacją drzewostanów sosnowych a zawartością azotu w glebie na powierzchniach nienawożonych nie są jednoznaczne. Wajczis [1975] oraz badacze fińscy [Lipas 1985; Tamminen 1993] stwierdzili występowanie silnej dodatniej korelacji między bonitacją sosny a zawartością azotu w glebie. Olszowska i in. [2005] natomiast nie zaobserwowali statystycznie istotnej korelacji pomiędzy wzrostem sosny a pedogeniczną zawartością tego pierwiastka. Stwierdzony w niniejszych badaniach pozytywny wpływ azotu na bonitację sosny ma potwierdzenie w licznych doświadczeniach nawozowych, w których sosna reagowała na nawożenie azotowe najczęściej zwiększeniem dynamiki wzrostu [Gunia 1967; Klimas, Luterek 1969; Obmiński 1970; Baule, Fricker 1971; Kocjan 2003; Røsborg i in. 2006; Saarsalmi i in. 2006; Prietzel i in. 2008]. W literaturze sygnalizuje się także pozytywną reakcję wzrostową sosny na zwiększenie zawartości azotu w glebie na skutek emisji przemysłowych [Mellert i in. 2008]. Wyniki doświadczeń cytowanych przez Baule i Frickera [1971] oraz Fobera [1993] świadczą o tym, że pozytywny wpływ azotu na wzrost sosny dotyczy głównie gleb relatywnie ubogich w składniki pokarmowe. Obserwowany w niektórych doświadczeniach negatywny wpływ nawożenia azotowego na wzrost sosny dotyczył natomiast gleb zasobnych w azot lub zastosowania zbyt wysokich dawek nawozowych [Fober 1993]. Warto zaznaczyć, że słynące z wysokiej dynamiki wzrostu oraz korzystnej jakości technicznej drewna sosny taborskie wzrastają na glebach piaszczystych zawierających 0,24-0,32% azotu w poziomach próchnicznych [Borowiec 1961]. Wartości te są wyraźnie wyższe niż przeciętna zawartość tego pierwiastka w badanych glebach [Sewerniak 2011b].

Występowanie dodatniej zależności między zawartością węgla organicznego w poziomach próchnicznych gleb nieoglejonych a bonitacją sosny spowodowane jest prawdopodobnie silną pozytywną korelacją zawartości węgla i azotu (dla badanych gleb nieoglejonych $R=0,8$; $p<0,01$). Zależność między ilością Corg. a bonitacją może także częściowo wynikać z poprawy warunków wzrostu sosny przez pozytywny wpływ próchnicy glebowej na sorpcję wody opadowej oraz uwalnianie składników pokarmowych w efekcie mineralizacji materii organicznej. Występowanie pozytywnej korelacji między bonitacją sosny a zawartością próchnicy w glebie stwierdził Wajczis [1975]. Z kolei na powierzchniach analizowanych przez Olszowską i in. [2005] zależność między bonitacją sosny a pedogeniczną zawartością węgla organicznego nie została stwierdzona, co wynika prawdopodobnie z uwzględnienia w badaniach zbyt małej liczby profili glebowych (21). Przyczyna ta wyjaśnia zapewne także nieistotność statystyczną pozytywnej relacji między bonitacją sosny a zawartością Corg. oraz Nt w analizowanych glebach oglejonych.

Ujemna zależność pomiędzy bonitacją sosny a wartością proporcji C:N w glebach nieoglejonych jest w pełni uzasadniona, gdyż niższa wartość tego wskaźnika świadczy o większej aktywności biologicznej gleby, co wiąże się ze sprawniejszym krążeniem składników pokarmowych w układzie gleba – roślina. Częściowo niweluje to negatywny wpływ na wzrost drzew relatywnie niewielkich zawartości składników pokarmowych w piaszczystych glebach leśnych [Puchalski, Prusinkiewicz 1990]. W tym kontekście zastanawiający może być brak zależności między wartością wskaźnika C:N a bonitacją sosny na glebach oglejonych. Prawdopodobnie zbyt mała liczba powierzchni badawczych, wobec zupełnego braku relacji ($p=0,95$), w tym przypadku nie może być wytłumaczeniem. Wydaje się, że na taki rezultat mogło wpłynąć występujące na rozległych obszarach Polski antropogeniczne obniżenie poziomu wód gruntowych, prowadzące m.in. do przyspieszenia procesu mineralizacji materii organicznej. Zmiany warunków uwilgotnienia, na które szczególnie silnie narażone są siedliska o względnie wysokiej wilgotności, mogły przyczynić się do zaniku występujących w normalnych warunkach relacji pomiędzy wartością stosunku C:N w poziomie próchnicznym a bonitacją sosny.

Uzyskane wyniki sugerują, że stopień uchwycenia zależności między bonitacją sosny a właściwościami piaszczystych gleb nieoglejonych jest wprost proporcjonalny do głębokości, do której analizowane są cechy gleby. Na glebach oglejonych natomiast bonitacja sosny jest najsilniej zależna od właściwości stropu gleby. Ma to potwierdzenie w badaniach dotyczących relacji między bonitacją drzewostanów sosnowych a pH oraz cechami związanymi z głębokością gleby [Sewerniak 2012].

Uzyskane wyniki potwierdzają także wcześniejsze badania przeprowadzone na analizowanym terenie pod kątem wpływu odczynu gleby na bonitację drzewostanów sosnowych. Stwierdzona w niniejszej pracy dodatnia korelacja dla zasobów kationów kwasowych (tab.), a także ujemna zależność między bonitacją sosny a stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi w stropie gleb, nawiązuje do stwierdzonej ujemnej zależności między wzrostem sosny a pH gleb [Sewerniak 2012].

Najsilniejszy spośród kationów zasadowych wpływ potasu na bonitację drzewostanów sosnowych, wobec wyraźnej pozytywnej relacji między bonitacją sosny a wilgotnością gleb piaszczystych [Sewerniak 2011a], wiązać należy z korzystnym wpływem tego pierwiastka na gospodarkę wodną roślin. Potas m.in. zwiększa odporność drzew na suszę [Brady, Weil 1996] i wpływa na zwiększenie wydajności poboru wody z gleby [Baule, Fricker 1971]. Uzyskane wyniki nie mają potwierdzenia w badaniach przeprowadzonych w Finlandii, w których odnotowano negatywną zależność między bonitacją sosny a zawartością potasu w glebie [Lipas 1985; Tamminen 1993]. Dodatni wpływ tego pierwiastka na bonitację sosny stwierdził natomiast Wajczis [1975]. Zależność

taką wykazano także w eksperymentach nawozowych [Baule, Fricker 1971; Uebel, Heinsdorf 1997]. Stwierdzony w niniejszej pracy pozytywny wpływ magnezu na bonitację sosny ma potwierdzenie w wynikach Tamminena [1993]. Korzystny wpływ tego pierwiastka na wzrost sosny był obserwowany także w doświadczeniach nawozowych [Fober 1993; Uebel, Heinsdorf 1997]. Istotne znaczenie magnezu dla drzewostanów sygnalizowali także Puchalski i Prusinkiewicz [1990], którzy stwierdzili, że niedobory tego pierwiastka, zwłaszcza w glebach o uziarnieniu piasków luźnych, są częstsze niż się uważa. Uzyskane wyniki badań potwierdzają opinię Baule i Frickera [1991], którzy wyraźnie podkreślali pozytywny wpływ potasu oraz magnezu na wzrost sosny zwyczajnej. Prusinkiewicz i in. [1974], analizując zawartości wielu pierwiastków w igłach sosny III klasy wieku, również stwierdzili kluczowy wpływ właśnie tych dwóch pierwiastków zarówno na wysokość, jak i masę drzew.

Wydaje się, że istotna pozytywna relacja dla powierzchni z glebami nieoglejonymi między bonitacją drzewostanów sosnowych a zasobami wapnia do głębokości 150 i 200 cm (tab.) spowodowana jest przez wyraźne ($p < 0,05$), pozytywne skorelowanie ilości tego pierwiastka z zawartością potasu i magnezu w badanych glebach. W warunkach skandynawskich stwierdzono co prawda pozytywny wpływ wapnia na bonitację sosny zwyczajnej [Lipas 1985; Tamminen 1993], jednak stosunkowo często podkreśla się występowanie niekorzystnego oddziaływania tego pierwiastka na wzrost i rozwój tego gatunku [Fober 1993; Przybylski 1993]. Pozytywny wpływ wapnia w doświadczeniach nawozowych wykazywano przeważnie po nawożeniu wieloskładnikowym [Janiszewski, Kowalkowski 1977; Biały, Czapiewski 1980; Przybylski 1993; Prietzel i in. 2008], jednak w takim przypadku określenie udziału poszczególnych pierwiastków w korzystnym wpływie na wzrost sosny jest dyskusyjne. Warto dodać, że Baule i Fricker [1971] określili sosnę zwyczajną jako gatunek bardzo wrażliwy na przewapnowanie i wysokie wartości pH, stwierdzając ogólnie, że gatunek ten nie lubi wapnia. Interpretacja pozytywnego wpływu wapnia na bonitację sosny jako zależności wtórnej ma potwierdzenie w roli tego pierwiastka w gospodarce wodnej roślin, gdyż, w przeciwieństwie do potasu, wapń hamuje pobieranie wody oraz zwiększa transpirację [Baule, Fricker 1971]. Zdaniem Puchalskiego i Prusinkiewicza [1990], z uwagi na wyraźną dominację wapnia wśród kationów zasadowych kompleksu sorpcyjnego gleb Polski, pedogeniczne zawartości tego pierwiastka są z reguły wystarczające dla zaspokojenia potrzeb większości gatunków roślin drzewiastych.

Wydaje się, że nieprzypadkowe są ujemne korelacje dotyczące sodu, które najsilniej uwidaczniają się dla stropu gleby (tab.). Prawdopodobnie wynik taki można tłumaczyć niekorzystnym wpływem tego pierwiastka na strukturę gleby. Negatywny wpływ na agregaty glebowe powoduje m.in. zmniejszenie ilości sorbowanej wody opadowej w poziomie próchnicznym [Brady, Weil 1996], co pogarsza wilgotnościowe warunki wzrostu sosny.

Wnioski

- ✦ Wykazano wyraźny pozytywny wpływ zawartości azotu, potasu oraz magnezu w glebie na bonitację drzewostanów sosnowych. Najsilniejszą spośród kationów zasadowych pozytywną relację dla potasu wiązać należy z korzystnym wpływem tego pierwiastka na gospodarke wodną sosny.
- ✦ Stwierdzona dodatnia korelacja między bonitacją sosny a glebowymi zasobami wapnia jest prawdopodobnie zależnością wtórną. Wynika ona ze skorelowania ilości tego pierwiastka w glebie z zawartością potasu i magnezu.
- ✦ Ujemną relację między zasobami pedogenicznego sodu a bonitacją sosny tłumaczyć można niekorzystnym wpływem tego pierwiastka na możliwość sorpcji wody opadowej w poziomie próchnicznym gleb.

- ✦ Zmiany warunków wodnych siedlisk silnie uwilgotnionych mogą przyczynić się do zaniku występujących w normalnych warunkach relacji pomiędzy właściwościami gleby a cechami produkcyjnymi drzewostanów. Odzwierciedla się to w braku zależności między bonitacją sosny a wartością stosunku C:N w poziomach próchnicznych badanych gleb oglejonych.
- ✦ Stopień uchwycenia zależności między bonitacją drzewostanów sosnowych a właściwościami piaszczystych gleb nieoglejonych jest, w przeciwieństwie do gleb oglejonych, wprost proporcjonalny do głębokości, do której analizowane są cechy gleby.

Literatura

- Baule H., Fricker C. 1971. Nawożenie drzew leśnych. PWRiL, Warszawa.
- Biały K., Czapiewski S. 1980. Badania nad czasem oddziaływania nawożenia mineralnego na wzrost uprawy sosny pospolitej. *Folia For. Polon.*, Ser. A, 24: 65-78.
- Borowiec S. 1961. Gleby brunatne wylugowane siedlisk sosny taborskiej. *Sylvan* 105 (5): 27-35.
- Brady N. C., Weil R. R. 1996. *The Nature and Properties of Soils*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Brożek S. 2001. Indeks trofizmu gleb leśnych. *Acta Agr. Silv. ser. Silv.* 39: 17-34.
- Bruchwald A., Kliezkowska A. 1997. Kształtowanie się bonitacji dla drzewostanów sosnowych Polski. *Prace IBL*, Ser. A, 838: 63-73.
- Bruchwald A., Michalak K., Wróblewski L., Zasada M. 2000. Analiza funkcji wzrostu wysokości dla różnych regionów Polski. W: Bruchwald A. [red.]. *Przestrzenne zróżnicowanie wzrostu sosny*. SGGW, Warszawa. 84-91
- Fober H. 1993. Żywienie mineralne. W: Białobok S., Boratyński A., Bugała W. [red.]. *Biologia sosny zwyczajnej*. Sorus, Poznań-Kórnik. 182-193.
- Gunia S. 1967. Mineralne odżywianie. W: Białobok S., Żelawski W. [red.]. *Zarys fizjologii sosny zwyczajnej*. PWN, Warszawa-Poznań. 115-144.
- Janiszewski B., Kowalkowski A. 1977. Wstępne wyniki badań nad wpływem nawożenia mineralnego na glebę i przyrost drzewostanu sosnowego w Nadleśnictwie Chojnów. *Rocz. Glebozn.* 28 (3/4): 103-113.
- Klimas F., Luterek R. 1969. Wstępne badania nad wpływem nawożenia mineralnego na wzrost i formowanie drewna u sosny zwyczajnej. *Pozn. Tow. Przyj. Nauk*, 28: 167-174.
- Kocjan H. 2003. Wpływ wapnowania i nawożenia mineralnego na wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w 25-letnim drzewostanie sosnowym w warunkach siedliskowych boru suchego. *Sylvan* 147 (8): 37-42.
- Lipas E. 1985. Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. *Folia Forestalia* 618: 1-16.
- Mellert K. H., Prietzel J., Straussberger R., Rehfuess K. E., Kahle H. P., Perez P., Spiecker H. 2008. Relationships between long-term trends of air temperature, precipitation, nitrogen nutrition and growth of coniferous stands in Central Europe and Finland. *Eur. J. Forest Res.* 127: 507-524.
- Obmiński Z. 1970. *Zarys ekologii*. W: Białobok S. [red.]. *Sosna zwyczajna*. PWN, Warszawa-Poznań. 152-231.
- 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. *Leś. Pr. Bad.* 66 (3): 17-37.
- Operat glebowo-siedliskowy Nadleśnictwa Bolesławiec. 2004. Biuro Usług Ekologicznych i Urzędzeniowo-Leśnych „OPERAT” s. c.
- Operat glebowo-siedliskowy Nadleśnictwa Głogów. 2005. Biuro Usług Ekologicznych i Urzędzeniowo-Leśnych „OPERAT” s. c.
- Operat glebowo-siedliskowy Nadleśnictwa Oława. 2003. Biuro Usług Ekologicznych i Urzędzeniowo-Leśnych „OPERAT” s. c.
- Prietzel J., Rehfuess K. E., Stetter U., Pretzsch H. 2008. Changes of soil chemistry, stand nutrition, and stand growth at two Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sites in Central Europe during 40 years after fertilization, liming, and lupine introduction. *Eur. J. Forest Res.* 127: 43-61.
- Prusinkiewicz Z., Biały K., Chrapkowski B. 1974. Skład chemiczny i cechy biometryczne organów asymilacyjnych jako wskaźniki warunków glebowych oraz mineralnego odżywiania i potrzeb nawozowych drzewostanów sosnowych. *Rocz. Glebozn.* 25 (3): 223-236.
- Przybylski T. 1993. Autekologia i synekologia. W: Białobok S., Boratyński A., Bugała W. [red.]. *Biologia sosny zwyczajnej*. Sorus, Poznań-Kórnik. 255-281.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1990. *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*. PWRiL, Warszawa.
- Røsbjerg I., Frank J., Stuanes A. O. 2006. Effects of liming and fertilization on tree growth and nutrient cycling in a Scots pine ecosystem in Norway. *For. Ecol. a. Manage.* 237: 191-207.
- Saarsalmi A., Kukkola M., Moilanen M., Arola M. 2006. Long-term effects of ash and N fertilization on stand growth, tree nutrient status and soil chemistry in a Scots pine stand. *For. Ecol. a. Manage.* 235: 116-128.
- Sewerniak P. 2011a. Wpływ uziarnienia gleby na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. *Leś. Pr. Bad.* 72 (4): 311-319.

- Sewerniak P. 2011b. Zróżnicowanie wybranych właściwości gleb drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. *Rocz. Glebozn.* 62 (1): 142-151.
- Sewerniak P. 2012. Wpływ właściwości gleb piaszczystych na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. I. Odczyn, zawartość CaCO₃ i cechy związane z głębokością gleby. *Sylwan* 156 (6): 427-436.
- Tamminen P. 1993. Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South Finland using site properties. *Folia Forestalia* 819: 1-26.
- Uebel E., Heinsdorf D. 1997. Results of long-term K and Mg fertilizer experiments in afforestation. *For. Ecol. a. Manage.* 91: 47-52.
- Valinger E., Elfving B., Mörling T. 2000. Twelve-year growth response of Scots pine to thinning and nitrogen fertilisation. *For. Ecol. a. Manage.* 134: 45-53.
- Wajczis M. W. 1975. Genesis i swojstwa liesnych poczw juźnoj Pribaltiki. *Iz. Mintis., Wilnjus.*

SUMMARY

Impact of soil properties on site index class of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in south-western Poland. II. Some chemical properties

The aim of the study was to determine the impact of some chemical soil properties (organic carbon and Nt content as well as C:N ratio in humus horizon; exchangeable cation stocks and base saturation) on site index class of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in south-western Poland. All the investigated soils were characterized of sand texture.

The study was conducted in 67 pine stands in the Bolesławiec, Głogów and Oława forest districts. The research was performed separately on soils of different moisture – non-gleyic (51 plots) and gleyic soils (16). Soil analytical determinations were already available from the forest service of the State Forest National Forest Holding. For every soil pit, stocks of particular cations were calculated for the five depths: 25, 50, 100, 150 and 200 cm. In each plot, the stand 'top height' was determined as mean height of the ten thickest pines per 0.1 hectare. For every plot the site index was calculated (for a base-age of 100 years) by a model of Bruchwald et al [2000].

In the investigated plots the distinct positive impact of N, K and Mg soil content on the pine site index was stated. The strong influence of K was assumed to be caused by the strong effect of potassium on water economy of trees (e.g. increasing plant resistance to drought and facilitating soil water uptake). The positive relation between Ca soil stocks and pine growth was also stated, however, the relation was described as an indirect one. Probably the relation reflected the clear intercorrelation of Ca to K and Mg content in the analyzed soils. The only element that was determined as negative correlated to the pine site index was Na, what was especially distinct when topsoil Na stocks were concerned. The negative correlation was presumed to reflect sodium adverse effect on soil structure, that resulted in decreasing water sorption in topsoil and thus caused less favourable site moisture conditions for pine growth.

The clearly negative correlation ($p=0.001$) between the site index and C:N values in humus horizon was stated in the research, but only when non-gleyic soils were concerned. On gleyic soils any impact of soil C:N ratio on pine growth was determined. It was found to be a result of anthropogenic site moisture decreasing that probably caused loss of some soil-plant interactions functioning in normal conditions.

The results showed that when refer to the soil depth, the strength of the correlation between the stocks of cations and the pine site index was strictly dependent on soil moisture. On non-gleyic soils, on the contrary to gleyic, the correlation strength was directly proportional to soil thickness taking into consideration in statistical analysis.