

PIOTR SEWERNIAK

Wpływ właściwości gleb piaszczystych na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. I. Odczyn, zawartość CaCO_3 i cechy związane z głębokością gleby*

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

I. pH, content of CaCO_3 , and properties concerning soil depth

ABSTRACT

Sewerniak P. 2012. Wpływ właściwości gleb piaszczystych na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. I. Odczyn, zawartość CaCO_3 i cechy związane z głębokością gleby. Sylwan 156 (6): 427-436.

The research was conducted in 268 Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands, separately on soils of different moisture – non-gleyic (215 plots) and gleyic (53). The site index (B) of every Scots pine stand was determined as mean height of the ten thickest trees per 0.1 hectare, recalculated for the base-age of 100 years. The results show clearly negative relationship between the pine site index and pH values, that is probably caused by positive impact of soil acidity on (i) mycorrhiza symbiosis and (ii) nutrients releasing from minerals in weathering processes. The optimum soil pH for Scots pine site index was defined as regarding ca. $4.5 \text{ pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ and $4.0 \text{ pH}_{\text{KCl}}$. There was not stated any impact of CaCO_3 content in soil parent material on pine growth. The soil depth was positively related to the site index only when non-gleyic soils were concerned. On gleyic soils any relation between soil depth and pine growth was found. The results showed that in different soil moisture conditions, properties of opposite soil zones play the key role for the pine growth. When pine was planted on non-gleyic soils, the site index was much more related to properties of deeper horizons and parent material than of topsoil, while on gleyic soils the site index was correlated to properties of surface soil layer mainly.

KEY WORDS

soil, *Pinus sylvestris*, pH, calcium carbonate, soil depth

ADDRESSES

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

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

Wstęp

W warunkach klimatu Polski właściwości gleby stanowią jeden z podstawowych czynników determinujących wzrost i cechy produkcyjne drzewostanów. Jest to fakt powszechnie znany, jednak mimo dużego znaczenia dla prowadzenia gospodarki leśnej, rozpoznanie wpływu poszczególnych właściwości gleby na bonitację sosny zwyczajnej w Polsce ma charakter bardzo powierzchowny. Ma to wyraz m.in. w opracowaniach monograficznych dotyczących tego gatunku, w których wpływ właściwości gleby na wzrost sosny został omówiony ogólnikowo [Obmiński 1970; Przybylski 1993]. W badaniach dotyczących wzrostu sosny w Polsce nawiązuje się najczęściej do typów

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

siedliskowych lasu, z całkowitym pominięciem bezpośredniego uwzględnienia właściwości gleby [Bruchwald, Kliczkowska 1997; Szwagrzyk, Szewczyk 2002].

Można spodziewać się, że w efekcie dalszej „ekologizacji” prowadzenia gospodarki leśnej, a także wyraźnych sygnałów świadczących o niepełnej efektywności ekonomicznej hodowli sosny zwyczajnej na siedliskach zasobnych [Bruchwald, Kliczkowska 1997; Sewerniak 2008, 2011a], w przyszłości wprowadzanie tego gatunku na gleby drobnoziarniste ulegnie w Polsce dalszemu zmarginalizowaniu. Niewątpliwie ważnym problemem praktycznym wciąż pozostanie natomiast typowanie do przebudowy drzewostanów sosnowych na glebach piaszczystych. Wiąże się to bezpośrednio z diagnozą typu siedliskowego lasu podczas prac glebowo-siedliskowych, która na glebach o uziarnieniu piasków jest uważana za wyraźnie niejednoznaczną [Biały 1999; Rutkowski 2002]. Doprecyzowania pozycji tych gleb w kartografii siedliskowej należy szukać m.in. w analizie relacji między właściwościami gleby a cechami produkcyjnymi drzewostanów, w tym bonitacji. Ze względu na to, a także biorąc pod uwagę rozległy areał gleb piaszczystych w polskich lasach, wyraźną dominację sosny w składzie gatunkowym oraz zdecydowanie niepełny stan dotychczasowej wiedzy, temat niniejszych badań należy uznać za ważny i aktualny dla prowadzenia racjonalnej gospodarki leśnej w Polsce.

Celem przeprowadzonych badań było zdiagnozowanie wpływu właściwości gleb piaszczystych na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. W niniejszej pracy skoncentrowano się na określeniu znaczenia odczynu, zawartości CaCO_3 i wybranych cech związanych z głębokością (miąższość solum oraz poszczególne poziomy genetycznych) gleb piaszczystych na bonitację sosny w tej części kraju.

Materiał i metody

Badania przeprowadzono na terenie nadleśnictw Bolesławiec, Głogów i Oława (RDLP we Wrocławiu) na 268 powierzchniach badawczych z glebami piaszczystymi. Za gleby takie uznano te, które w całym profilu zbudowane były z piasków lub z piaszczystych utworów szkieletowych, a domieszki materiałów drobnoziarnistych, jeśli występowały, to jedynie w formie niewielkich przewarstwień lub wkładek [Sewerniak 2011b].

Wzrost sosny zwyczajnej jest wyraźnie determinowany warunkami wilgotnościowymi gleby [Kuźniar 1935; Borowiec 1958; Szwagrzyk, Szewczyk 2002], co stwierdzono także na analizowanym terenie [Sewerniak 2008, 2011a]. Przeprowadzenie badań z łącznym uwzględnieniem gleb o wyraźnie różnej wilgotności mogłoby spowodować, że część zależności dotyczących relacji między właściwościami gleby a bonitacją sosny nie zostałyby zidentyfikowane. Z tego względu cel badań realizowano równolegle w dwóch wilgotnościowych grupach gleb – gleby nieoglejone (215 profili glebowych) oraz gleby oglejone (53). W nawiązaniu do kartografii siedlisk leśnych gleby pierwszej grupy związane były z siedliskami umiarkowanie świeżymi, a grupy drugiej z siedliskami silnie świeżymi i wilgotnymi.

W pracy wykorzystano wyniki pH, zawartości CaCO_3 oraz miąższości poziomów genetycznych gleb z operatów glebowo-siedliskowych opracowanych dla poszczególnych nadleśnictw [Operat 2003, 2004, 2005]. Charakterystykę analizowanych parametrów glebowych oraz wieku badanych drzewostanów sosnowych przedstawiono w tabeli 1. Ze względu na to, że węglan wapnia występował tylko w 2 profilach badanych gleb oglejonych, relację między obecnością tego związku a bonitacją sosny analizowano jedynie na powierzchniach z glebami nieoglejonymi. Węglan wapnia występował w 19 skałach macierzystych (C) tych gleb [Sewerniak 2011b]. W pracy nie analizowano relacji między bonitacją sosny a pH w poziomach wzbogacania (B) gleb oglejonych, gdyż poziom ten występował tylko w niektórych z tych gleb.

Tabela 1.

Charakterystyka badanych parametrów glebowych oraz wieku drzewostanów sosnowych
 Characteristics of the investigated soil parameters and age of pine stands

	Gleby nieoglejone		Gleby oglejone	
	średnia±SD	zakres	średnia±SD	zakres
Wskaźnik pH _{H₂O}	5,1±0,6	4,0-7,3	4,8±0,5	4,1-6,6
pH _{H₂O} w poziomie A lub (A)Ees	4,1±0,4	2,8-6,1	3,9±0,4	3,2-4,9
pH _{H₂O} w poziomie B	4,7±0,3	3,9-5,7	4,4±0,5	3,6-5,9
pH _{H₂O} w skale macierzystej	5,3±0,8	3,7-8,4	4,9±0,6	4,2-6,7
Wskaźnik pH _{KCl}	4,5±0,6	3,5-7,1	4,2±0,5	3,5-6,0
pH _{KCl} w poziomie A lub (A)Ees	3,4±0,4	2,5-5,4	3,1±0,4	2,4-4,2
pH _{KCl} w poziomie B	4,2±0,3	3,4-5,2	3,9±0,5	2,9-5,3
pH _{KCl} w skale macierzystej	4,7±0,9	3,3-8,1	4,3±0,5	3,7-6,1
Zawartość CaCO ₃ w C [%]	0,05±0,3	0,0-3,6	0,0±0,01	0,0-0,04
Miąższość poziomu A [cm]	8,9±4,7	0-30	12,9±7,3	3-35
Miąższość poziomu B [cm]	32,8±13,0	5-65	21,0±17,9	0-48
Miąższość poziomu BC [cm]	37,3±16,4	0-83	30,4±19,0	0-66
Miąższość solum [cm]	79,0±19,9	34-120	69,4±22,7	16-125
Wiek drzewostanów sosnowych	87,9±20,0	42-141	81,2±18,5	46-128

W celu uwzględnienia w badaniach miąższości całych profili glebowych, a nie jedynie wartości w poszczególnych poziomach genetycznych, obliczono średnie ważone pH dla analizowanych gleb (nazwane wskaźnikami), co może być kontrowersyjne z metodycznego punktu widzenia. Uwzględniając jednak fakt silnego związku między aktywnością jonów wodorowych w glebie wyrażoną w jednostkach pH a wieloma cechami ekologicznymi funkcjonowania ekosystemu (m.in. dostępność pedogenicznych składników pokarmowych dla roślin), wielu badaczy [m.in. Jackson 1958; Brożek 2001; Gruba i in. 2009] dopuszcza możliwość obliczania średnich wartości pH.

Dla każdej powierzchni badawczej określono wysokość górną drzewostanu sosnowego na podstawie pomiaru wysokości 10 najgrubszych drzew przypadających na 0,1 ha [Bruchwald, Kliczkowska 1997]. Bonitację każdego drzewostanu określono wykorzystując model Bruchwalda i in. [2000]:

$$H100 = \frac{h}{A}$$

gdzie:

- $H100$ – potencjalna wysokość drzewostanu sosnowego w wieku 100 lat,
- h – wysokość górna drzewostanu,
- A – standaryzowana wysokość drzewa.

Standaryzowaną wysokość drzewa w wieku ϖ obliczono dwoma sposobami [Bruchwald i in. 2000]:

$$A = \left(\frac{\varpi}{30 + 0,278675 \varpi^{1,2}} \right)^{0,00007 \varpi^2 - 0,0005 \varpi + 1,8} \quad [1]$$

$$A = \left(\frac{\varpi}{22,222222 + 0,777778 \varpi} \right)^2 \quad [2]$$

Bonitacje uzyskane z wykorzystaniem obu wzorów wykazały silną, ujemną zależność ($p < 0,001$) od wieku drzewostanu. W niniejszych badaniach wykorzystano wzór [1], gdyż bonitacje obli-

Tabela 2.

Współczynniki korelacji pomiędzy bonitacją drzewostanów sosnowych a pH gleb oraz cechami miąższości gleby
Correlation coefficients between site index class of Scots pine stands and pH of soils and properties concerning soil depth

Gleby	Wskaźnik pH (cały profil)		pH w poziomie A lub (A)Ees		pH w poziomie B		pH w skale macierzystej		Miąższość			
	H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl	A	B	BC	
Nieoglejone	-0,338*	-0,460*	-0,281*	-0,243*	-0,176*	-0,428*	-0,316*	-0,441*	-0,042	0,064	0,180*	0,174*
Oglejone	-0,349*	-0,439*	-0,522*	-0,552*	-	-	-0,209	-0,322*	0,244	-0,249	0,048	0,017

* istotne przy $p < 0,05$; significant at $p < 0,05$

czony z jego zastosowaniem, w porównaniu ze wzorem [2], cechowały się słabszą korelacją z wiekiem drzewostanów sosnowych. Wpływ wieku na wyniki modelu bonitacyjnego wyeliminowano wykorzystując poprawkę opartą na równaniu regresji, uzyskując wskaźnik bonitacji (B), który jest niezależny od wieku badanych drzewostanów sosnowych [Sewerniak 2011a].

Ze względu na odbiegający od normalnego rozkład zmiennych (test W Shapiro-Wilka) lub krzywoliniowy charakter zależności między zmiennymi, w analizach zależności wykorzystano korelację rang Spearmana. Istotność różnic między średnimi określono wykorzystując nieparametryczny test U Manna-Whitney'a. Obliczenia przeprowadzono wykorzystując pakiet Statistica 9.0 (StatSoft, Inc.).

Wyniki

ODCZYN. Na analizowanych powierzchniach badawczych stwierdzono występowanie ujemnej korelacji między pH gleby a bonitacją drzewostanów sosnowych, co odnosi się do obu analizowanych grup gleb piaszczystych. Stwierdzona zależność dotyczy zarówno wskaźników pH obliczonych dla całych profili glebowych, jak i wartości pH w poszczególnych poziomach genetycznych i skale macierzystej. Zależności te dotyczą wyników pH mierzonych zarówno w H₂O, jak i w KCl, jednak stwierdzone korelacje były przeważnie wyraźnie silniejsze dla pH w KCl (tab. 2).

Siła związku bonitacji sosny z pH jest dla obu analizowanych grup powierzchni badawczych przeciwstawna pod względem strefy głębokości gleby. Na powierzchniach z glebami nieoglejonymi korelacja między bonitacją a pH wyraźnie wzrasta wraz z uwzględnieniem głębszej strefy gleby. Na powierzchniach z glebami oglejonymi korelacja ta jest z kolei najsilniejsza dla powierzchniowego poziomu mineralnego, a dla skał macierzystych jest ona istotna statystycznie jedynie dla pH mierzonego w KCl (tab. 2).

ZAWARTOŚĆ CaCO₃. Różnica między bonitacją drzewostanów sosnowych na glebach nieoglejonych zawierających CaCO₃ i pozbawionych tego związku była nieistotna statystycznie ($p=0,32$; odpowiednio: $22,9 \pm 2,9$ m vs. $22,3 \pm 2,7$ m). Nieistotna statystycznie dla bonitacji sosny ($p=0,40$) była także ilość węgla wapnia w skale macierzystej.

CECHY ZWIĄZANE Z GŁĘBOKOŚCIĄ GLEBY. Na powierzchniach badawczych z glebami nieoglejonymi stwierdzono występowanie istotnej statystycznie ($p=0,011$) pozytywnej korelacji między bonitacją drzewostanów sosnowych a miąższością gleby. Podobną korelację stwierdzono dla miąższości poziomu przejściowego BC ($p=0,008$), natomiast miąższość poziomu próchnicznego (A) oraz poziomu wzbogacania (B) nie miała wpływu na bonitację drzewostanów sosnowych na glebach nieoglejonych (tab. 2).

Na powierzchniach badawczych z glebami oglejonymi żadna z analizowanych cech związanych z głębokością gleby nie miała istotnego wpływu na bonitację sosny przy prawdopodobieństwie 95%. Przyjętego progu istotności nieznacznie nie spełniła negatywna relacja między bonitacją sosny a miąższością poziomu B ($p=0,07$) oraz pozytywna ($p=0,08$) a dotycząca poziomu A (tab. 2).

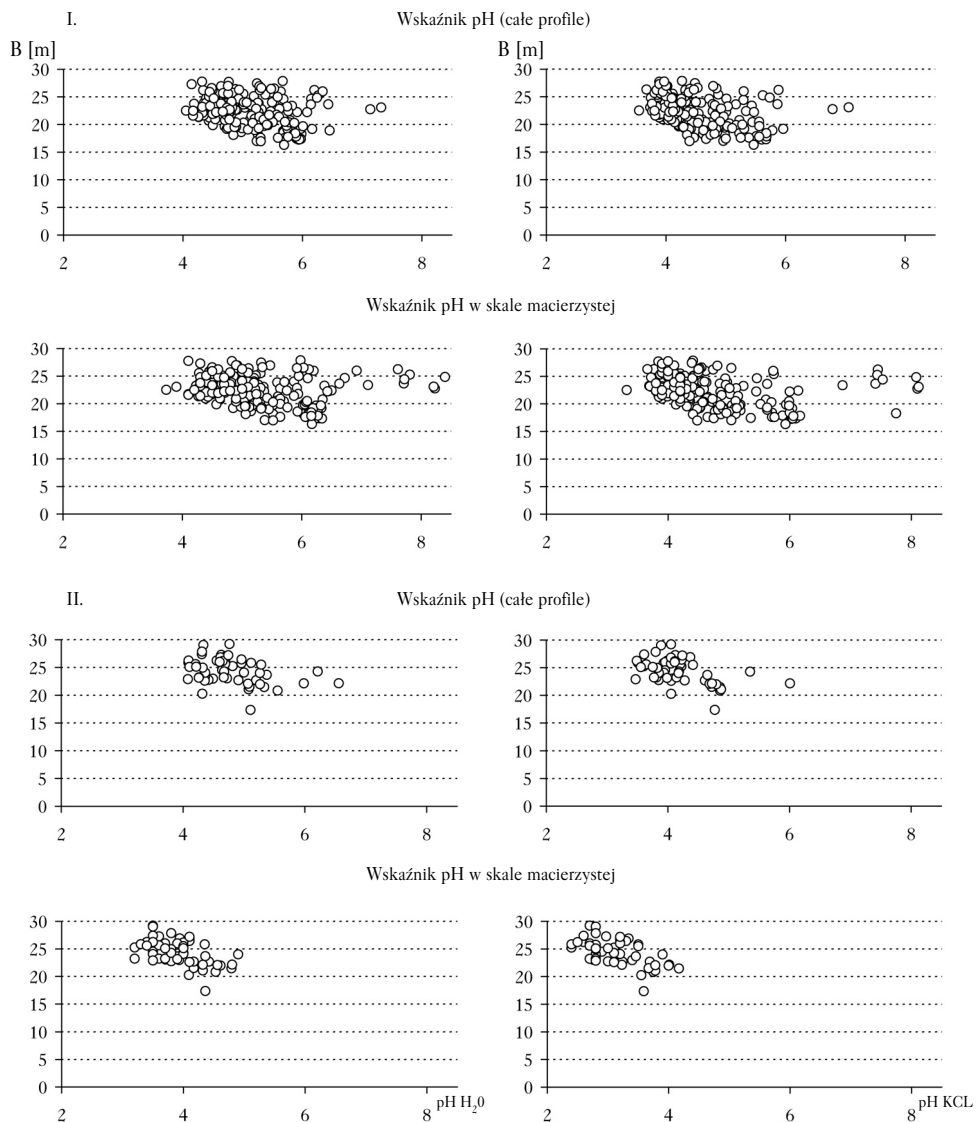
Dyskusja

Uzyskana wyraźna ujemna zależność między bonitacją drzewostanów sosnowych a pH może zaskakiwać, gdyż pH gleby leśnej jest pozytywnie związane z jej potencjałem troficznym [Brożek 2001]. W pracach siedliskowych natomiast bonitacja sosny jest dodatkowo korelowana z trofizmem siedliska [Siedliskowe... 2004]. Istotnie statystycznej zależności między bonitacją sosny a pH gleby nie stwierdzili Olszowska i in. [2005], co wynikać jednak może z wyraźnie mniejszej liczby analizowanych powierzchni (21) niż w niniejszych badaniach. Na terenie Finlandii stwierdzono natomiast odmienne relacje między pH gleby a bonitacją sosny. Tamminen [1993] stwierdził występowanie korelacji dodatniej, zaś w badaniach Lipasa [1985] relacja ta, podobnie jak w prezentowanych wynikach, miała charakter zależności ujemnej.

Uzyskana wyraźnie negatywna relacja między pH gleby a bonitacją sosny ma charakter zależności pośredniej. Wynika ona prawdopodobnie z wpływu odczynu na rozwój mikoryz oraz intensywności wietrzenia substratu glebowego. Co prawda uważa się, że optymalny zakres pH dla mineralnego odżywiania roślin wynosi od 5,5 do 6,5/7 [Brady, Weil 1996], jednak stan odżywienia sosny w niższym pH może być korzystniejszy dzięki zwiększonej powierzchni chłonnej korzeni, co uwarunkowane jest silniejszym rozwojem mikoryz w bardziej kwaśnym środowisku [Rudawska 1993]. W literaturze od dawna podkreśla się, że sosna zwyczajna dla prawidłowego rozwoju wymaga stałego współżycia z grzybami ektomikoryzowymi [Pachlewski 1967], a sosny z mikoryzą cechują się wyraźnie większą produkcją biomasy niż drzewka bez symbiozy z grzybami [Setälä 2000].

Efektom silniejszego rozwoju mikoryz jest m.in. zwiększenie poboru wody glebowej [Rudawska 1993; Behnke-Borowczyk, Kwaśna 2010]. Założyć więc można, że na powierzchniach z glebami nieoglejonymi woda opadowa w warunkach niższych wartości pH jest wydajniej wykorzystywana przez sosnę. Z pewnością ma to duże znaczenie dla bonitacji drzewostanów, gdyż wzrost sosny zwyczajnej jest wyraźnie zależny od warunków wilgotnościowych gleby [Kuzniar 1935; Borowiec 1958; Szwagrzyk, Szewczyk 2002]. Na bonitację tego gatunku może pozytywnie wpływać nawet relatywnie niewielkie zwiększenie sorpcji wody opadowej w profilu piaszczystej gleby nieoglejonej [Sewerniak 2011a].

Należy spodziewać się występowania granicy kwasowości, po przekroczeniu której bonitacja sosny maleje. Po pierwsze wynika to z negatywnego wpływu na funkcjonowanie mikoryz pH poniżej 3 [Rudawska 1993]. Wartości takie, głównie dla pH w KCl, występowały w niektórych poziomach próchnicznych badanych gleb (tab. 1). Wydaje się jednak, że dla interpretacji wyników niniejszej pracy duże znaczenie ma glin, który działa toksycznie na rośliny przy pH gleby niższym niż 4,0-4,5 [Pokojska 1994]. Wyraźny negatywny wpływ tego pierwiastka na korzenie sosny w warunkach silnie kwaśnego odczynu jest często sygnalizowany w pracach naukowych [Prusinkiewicz, Krzemień 1974; Prusinkiewicz i in. 1990; Konwińska 1995; Rudawska i in. 2000]. W literaturze zwraca się także bezpośrednio uwagę na możliwość obniżenia przyrostu drzew w efekcie toksycznego działania tego pierwiastka na korzenie [Gruba 2004]. Wydaje się, że obecność glinu ma negatywny wpływ na funkcjonowanie badanych drzewostanów. Przy niższej wartości pH zaznacza się osłabienie, a nawet nieznaczne odwrócenie negatywnej zależności między bonitacją sosny a pH gleby na trend pozytywny (ryc.). Z dużym prawdopodobieństwem,



Ryc.

Relacja między bonitacją drzewostanów sosnowych a pH gleb nieoglejących (I) i oglejących (II)
 Relation between Scots pine stands site index and pH of non-gleyic (I) and gleyic (II) soils

biorąc pod uwagę toksyczność glinu w odczynie silnie kwaśnym, można stwierdzić, że w przypadku dysponowania w badaniach większą liczbą gleb o odczynie bardzo kwaśnym trend ten byłby bardziej widoczny.

Interpretacja zależności pomiędzy pH gleby a bonitacją sosny jako korelacji ujemnej ze zmianą na zależność dodatnią w bardzo kwaśnym odczynie ma potwierdzenie w wynikach badań Prusinkiewicza i in. [1990]. Badacze ci zaobserwowali zwiększenie dynamiki wzrostu sadzonek sosny w pierwszym etapie zakwaszania gleby. Wzrost sosny na glebach piaszczystych uległ zahamowaniu dopiero kiedy wartość pH była niższa niż około 4,5 w H_2O i 4,0 w KCl.

Uzyskane wyniki badań potwierdziły opinię, że sosna zwyczajna jest gatunkiem acidofilnym [Przybylski 1993]. Obmiński [1970] stwierdził, że opinia ta jest zbyt ogólnym uogólnieniem, gdyż w stadium kiełkowania nasion sosna ulega silnym uszkodzeniom w odczynie zarówno kwaśnym, jak i alkalicznym. Przybylski [1993] jest zdania, że nie można zbyt dokładnie określić optymalnej wartości pH gleby dla wzrostu sosny. Wydaje się jednak, że w świetle wyników niniejszych badań, a także negatywnego wpływu glinu na korzenie sosny w warunkach odczynu silnie kwaśnego, optimum takie, biorąc pod uwagę odczyn w całym profilu glebowym, występuje około wartości pH 4,0 w KCl oraz 4,5 w H₂O. Ma to potwierdzenie w wynikach badań Prusinkiewicza i in. [1990]. Wartości te wyraźnie różnią się od optimum odczynu gleby dla sosny proponowanego przez autorów cytowanych w opracowaniu Obmińskiego [1970] oraz Puchalskiego i Prusinkiewicza [1990], który określany był jako przedział pH około wartości 5-6. Na nieco niższe fizjologiczne optimum pH gleby dla sosny (około 4,5-5,7) wskazują Brady i Weil [1996]. Uzyskane w niniejszej pracy wyniki najbardziej zbliżone są do poglądu Baule i Frickera [1971], którzy stwierdzili, że idealne warunki dla drzew iglastych występują przy pH gleby między 4,5 a 5,0, zastrzegając jednocześnie, że dolna granica tego zakresu może być znacznie niższa.

Warto zwrócić uwagę, że analizowane zależności były przeważnie znacznie bardziej wyraźne dla pH mierzonego w KCl niż w H₂O (tab. 2). Sugeruje to, że pełniejszy obraz zależności pomiędzy pH gleby a wzrostem sosny umożliwi uwzględnienie, poza jonami H⁺ aktywnymi w roztworze, także kationów wodorowych, które są wymiennie zaadsorbowane przez sorbenty glebowe.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że elementem pomocniczym podczas diagnozy typu siedliskowego lasu na glebach piaszczystych może być obecność węglanu wapnia w profilu glebowym. W świetle pozytywnego związku pomiędzy zawartością węglanu wapnia w glebie a wzrostem eutroficznych gatunków drzew liściastych [Pritchett 1979], co szczególnie dotyczy buka [Baule, Fricker 1971; Dzwonko 1990], można stwierdzić, że hodowla drzewostanów sosnowych na glebach zawierających węglan wapnia jest kontrowersyjna, pomijając aspekt zgodności fitocenozy z biotopem, także z ekonomicznego punktu widzenia, gdyż wiąże się z niepełnym wykorzystaniem potencjału produkcyjnego siedliska. Zgodnie z siedliskowymi podstawami hodowli lasu [2004] na glebach piaszczystych zawierających niewielkie ilości CaCO₃ możliwa jest diagnoza siedliska nawet jako boru mieszanego. W świetle uzyskanych wyników wydaje się jednak, że takie gleby powinny być związane przynajmniej z siedliskiem lasu mieszanego świeżego.

Wzrost sosny jest pozytywnie wiązany z głębokością gleby [Obmiński 1970; Przybylski 1993]. Uzyskane wyniki potwierdziły tę opinię, ale jedynie w odniesieniu do piaszczystych gleb nieoglejonych, co ma wyraz w pozytywnej korelacji między bonitacją sosny a miąższością solum oraz poziomem BC tych gleb (tab. 2). Głębokość genetyczna gleby jest związana ze strefą najintensywniejszego wietrzenia krzemianów, którego intensywność wzrasta wraz ze wzrostem kwasowości [Landeweert i in. 2001]. W efekcie wietrzenia uwalniane są do roztworu glebowego pierwiastki pokarmowe ze struktury krystalicznej minerałów, co poprawia warunki troficzne wzrostu sosny. Może to być dodatkową przyczyną wyjaśniającą występowanie stwierdzonej ujemnej korelacji między bonitacją drzewostanów sosnowych a pH gleby.

Wyniki badań sugerują, że dla wzrostu sosny na badanych piaszczystych glebach oglejonych, w przeciwieństwie do nieoglejonych, większe znaczenie mają właściwości powierzchniowych poziomów gleby niż skały macierzystej. Świadczy o tym przeciwstawną pod względem strefy głębokości gleby siła związku bonitacji sosny z pH dla obu analizowanych grup powierzchni badawczych (tab. 2). Ma to także potwierdzenie w odmiennej relacji między bonitacją a cechami

głębokości gleby. Na glebach oglejonych bonitacja sosny wykazała najsilniejszy związek z miąższością poziomów powierzchniowych (A i B), natomiast nie była ona determinowana miąższością solum ani poziomu BC. Na powierzchniach z glebami nieoglejonymi zaznaczyła się natomiast tendencja odwrotna (tab. 2). Różnice te wiążąc należy prawdopodobnie z odmiennym ukształtowaniem systemu korzeniowego sosny na glebach o różnej wilgotności.

Wnioski

- ✚ Wpływ odczynu gleby na wzrost sosny zwyczajnej ma charakter pośredni. Stwierdzona ujemna zależność między bonitacją tego gatunku a wartościami pH jest prawdopodobnie spowodowana pozytywnym wpływem większej kwasowości na rozwój mikoryzy, a także pozytywną zależnością między kwasowością a intensywnością uwalniania pierwiastków pokarmowych ze struktury krystalicznej krzemianów.
- ✚ Optimum odczynu gleby dla bonitacji sosny na terenie badań odpowiada wartościom pH około 4,5 w H₂O i 4,0 w KCl. Wartości te dotyczą średniego pH dla całego profilu glebowego.
- ✚ Pełniejszy obraz zależności pomiędzy pH gleby a wzrostem sosny umożliwia uwzględnienie, poza jonami H⁺ aktywnymi w roztworze, także kationów wodorowych, które są wymienne zaadsorbowane przez sorbenty glebowe. Ma to odzwierciedlenie w silniejszej korelacji między bonitacją sosny a pH mierzonym w KCl niż w H₂O.
- ✚ Cechą gleby, która może być pomocna w diagnozowaniu siedlisk na piaszczystych glebach nieoglejonych, jest obecność węglanu wapnia w profilu glebowym. Występowanie tego związku powinno być silnym argumentem do diagnozy siedliska przynajmniej jako las mieszany świeży.
- ✚ Pozytywna zależność między bonitacją sosny a głębokością genetyczną gleby występuje jedynie na glebach cechujących się niewielkim uwilgotnieniem.
- ✚ Dla wzrostu sosny na piaszczystych glebach oglejonych, w przeciwieństwie do nieoglejonych, większe znaczenie mają właściwości górnej strefy gleby niż jej spągu.

Literatura

- Baule H., Fricker C. 1971. Nawożenie drzew leśnych. PWRiL, Warszawa.
- Behnke-Borowczyk J, Kwaśna H. 2010. Grzyby glebowe i ich znaczenie. Sylwan 154 (12): 846-850.
- Biały K. 1999. Dowolność wyróżniania typów siedliskowych lasu i projektowania składów docelowych drzewostanów w obrębie gleb bielicoziemnych. Sylwan 143 (5): 65-72.
- Borowiec S. 1958. Zależność właściwości gleb wytworzonych z piasków luźnych oraz bonitacji i runa od głębokości wody gruntowej. Sylwan 102 (2): 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., Kliczkowska 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
- Dzwonko Z. 1990. Ekologia W: Białobok S. [red.]. Buk zwyczajny *Fagus sylvatica* L. PWN, Warszawa-Poznań. 237-328.
- Gruba P. 2004. Toksyczność glinu (Al) w glebach leśnych. Sylwan 148 (1): 50-56.
- Gruba P., Hejdał M., Koryl O. 2009. Przestrzenna zmienność pH w wierzchnich poziomach gleb leśnych. Sylwan 153 (6): 406-412.
- Jackson M. J. 1958. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, INC. Englewood Cliffs, N.J.
- Konwińska A. 1995. Objawy toksyczności glinu u drzew. Sylwan 139 (4): 73-78.
- Kuźniar K. 1935. Wpływ mechanicznego składu gleby, poziomu wody wglębnej oraz zawartości próchnicy na wzrost drzewostanów sosnowych w Puszczy Sandomierskiej. Sylwan 53 (4): 141-175.
- Landeweert R., Hoffland E., Finlay R. D., Kuyper T. W., van Breemen N. 2001. Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. Trends in Ecology&Evolution 16 (5): 248-254.

- Lipas E. 1985. Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. *Folia Forestalia* 618: 1-16.
- 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. *Leśn. 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.
- Pachlewski R. 1967. Mikotrofizm systemu korzeniowego. W: Białobok S., Żelawski W. [red.]. Zarys fizjologii sosny zwyczajnej. PWN, Warszawa-Poznań. 307-328.
- Pokojska U. 1994. Nowe poglądy na toksyczność różnych form glinu. *Rocz. Glebozn.* 45 (1/2): 109-117.
- Pritchett W. L. 1979. Properties and management of forest soils. John Wiley & Sons. New York, Chichester, Brisbane, Toronto.
- Prusinkiewicz Z., Krzemień K. 1974. Toksyczny wpływ wolnego glinu z orsztynowego poziomu bielicy na rozwój sadzonek sosny pospolitej *Pinus sylvestris* L. *Rocz. Glebozn.* 25 (3): 207-222.
- Prusinkiewicz Z., Kwiatkowska A., Pokojska U. 1990. Wpływ kwaśnych deszczy i rodzajów gleby (podłoża) na stężenia pierwiastków biofilnych w organach asymilacyjnych i korzeniach oraz na cechy biometryczne sadzonek kilku gatunków drzew leśnych. W: Bernadźki E. [red.]. Ekologiczne podstawy gospodarki leśnej i kształtowania zdolności lasu do pełnienia wielostronnych funkcji. Wyd. SGGW-AR, Warszawa. 31-51.
- 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.
- Rudawska M. 1993. Mikoryza. W: Białobok S., Boratyński A., Bugała W. [red.]. Biologia sosny zwyczajnej. Sorus, Poznań-Kórnik. 137-182.
- Rudawska M., Kieliszewska-Rokicka B., Leski T. 2000. Effect of aluminium on *Pinus sylvestris* seedlings mycorrhizal with aluminium-tolerant and aluminium-sensitive strains of *Suillus luteus*. *Dendrobiology* 45: 89-96.
- Rutkowski P. 2002. Badania nad różnicowaniem typów siedliskowych lasu na glebach piaszczystych. *Acta Sci. Polon. Silv. Col. Ratio et Industria Lignaria* 1 (1): 73-85.
- Setälä H. 2000. Reciprocal interactions between *Scots pine* and soil food web structure in the presence and absence of ectomycorrhiza. *Oecologia* 125: 109-118.
- Sewerniak P. 2008. Wstępne wyniki badań nad wpływem uziarnienia gleby na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. *Rocz. Glebozn.* 54 (3/4): 256-262.
- Sewerniak P. 2011a. Wpływ uziarnienia gleby na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. *Leśn. Pr. Bad.* 72 (4): 311-319.
- Sewerniak P. 2011b. Różnicowanie wybranych właściwości gleb drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. *Rocz. Glebozn.* 62 (1): 142-151.
- Siedliskowe podstawy hodowli lasu. Załącznik do Zasad hodowli lasu. 2004. ORWLP, Bedoń.
- Szwagrzyk J., Szewczyk J. 2002. Wpływ trofizmu i wilgotności siedliska na wzrost i pokrój sosen i dębów w Puszczy Niepołomickiej. *Sylvan* 146 (12): 23-38.
- 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.

SUMMARY

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

I. pH, content of CaCO₃, and properties concerning soil depth

The aim of the study was to determine the impact of soil pH, CaCO₃ soil content and properties concerning soil depth (thickness of solum and of particular genetic horizons) 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 the Bolesławiec, Głogów and Oława forest district (SW Poland) in 268 pine stands. The research was performed separately on soils of different moisture – non-gleyic (215 plots) and gleyic (53). Soil determinations were already available from the forest service of the State Forest National Forest Holding. 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 (B) was calculated (for a base-age of 100 years) by a model of Bruchwald et al [2000].

For both moisture groups the distinct negative relationship between the pine site index and pH values was found. The relation was named to be indirect, probably it results from positive impact of soil acidity on (i) mycorrhiza symbiosis and (ii) nutrients releasing from minerals in weathering processes. The optimum reaction of soil for Scots pine site index was defined as regarding ca. 4.5 $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ and 4.0 pH_{KCl} . The values concerned the weight mean of pH recalculated for the thickness of whole soil profile.

Calcium carbonate occurred in parent material of 2 gleyic soils solely. Thus, the impact of soil CaCO_3 content on the site index was investigated for plots of non-gleyic soils only. Because any relationship was stated, Scots pine was found to be the species that, on the contrary to some hardwood trees, do not react positively in growth on CaCO_3 occurrence in a soil. That is why the occurrence was defined as a good indicator for selection of pine monocultures in Poland for converting into mixed and broadleaved forests in silviculture and forest management.

The soil depth was positively related to the site index only when non-gleyic soils were concerned. On gleyic soils any relation between soil depth and pine growth was found. The results showed that in different soil moisture conditions, properties of opposite soil layers play the key role for pine growth. When pine was planted on non-gleyic soils, the site index was much more related to properties of deeper horizons and of parent material than of topsoil, while on gleyic soils the site index was correlated to properties of surface soil layer mainly. Probably, the differences resulted from contrasting root allocation in soil of different moisture conditions.