

PIOTR SEWERNIAK, AGNIESZKA PIERNIK

Ujęcie wpływu właściwości gleb piaszczystych na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce w modelach regresji*

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

ABSTRACT

Sewerniak P., Piernik A. 2012. Ujęcie wpływu właściwości gleb piaszczystych na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce w modelach regresji. Sylwan 156 (8): 563-571.

The research was conducted in 268 pine stands on soils of sandy texture. In the paper 6 regression models for site index of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) were presented. The soil properties enclosed in the models explained to 40-60% of the site index variability. In the regression analyses, the following soil properties were found to be the best variables that described the site index: pH_{KCl} , contents of fine textural fractions, content of K and N, CaCO_3 content, soil moisture conditions reflected in gleying occurrence in a soil profile and a thickness of a solum or of a humus horizon (depending on the site moisture). The CaCO_3 content was found to be a useful variable for the site index models only unless other chemical soil parameters were available. In such cases occurrence of CaCO_3 in models reflects an impact of K and Mg soil content on pine growth that results from strong intercorrelations between Ca, K and Mg contents in the investigated soils. The site index was higher when pine stands were overgrowing gleyic than non-gleyic soils. In the presented regression models the difference was estimated to be about 1.5 m.

KEY WORDS

soil, *Pinus sylvestris*, site index, tree growth, regression models

ADDRESSES

Piotr Sewerniak ⁽¹⁾ – e-mail: sewern@umk.pl

Agnieszka Piernik ⁽²⁾ – e-mail: piernik@umk.pl

⁽¹⁾ Zakład Gleboznawstwa; Uniwersytet Mikołaja Kopernika; ul. Gagarina 9; 87-100 Toruń

⁽²⁾ Pracownia Modelowania Procesów Ekologicznych; Uniwersytet Mikołaja Kopernika; ul. Gagarina 9; 87-100 Toruń

Wstęp

W poprzednich pracach dotyczących wpływu gleby na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce skoncentrowano się na omówieniu zależności między bonitacją sosny a poszczególnymi właściwościami gleby [Sewerniak 2011a, 2012a, b]. W artykułach tych cechy gleby traktowane były oddzielnie, a ich wpływ na bonitację sosny był analizowany głównie z zastosowaniem analizy korelacji. W niniejszej pracy właściwości gleby ujęto w modelach regresji, co umożliwiło jednoczesne i łączne uwzględnienie wpływu kilku różnych cech gleby na bonitację sosny.

Modele regresji opisujące wpływ właściwości gleby na bonitację sosny zwyczajnej zostały opracowane dla drzewostanów wzrastających w warunkach skandynawskich [Lipas 1985; Tamminen

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

1993]. Jak dotąd nie przedstawiono natomiast takich modeli dla drzewostanów występujących w Polsce. W rodzimej bibliografii naukowej dotychczasowe opracowania na temat łącznego ujęcia wybranych właściwości gleby leśnej dotyczą głównie indeksów glebowych, za pomocą których możliwe jest oszacowanie trofizmu gleby jedną liczbą [Prusinkiewicz, Kowalkowski 1964; Brożek 2001, 2007]. Przedmiotem badań była także analiza kształtowania się wartości siedliskowego indeksu glebowego (SIG) [Brożek 2007] dla gleb występujących w borach sosnowych [Lasota i in. 2011; Zwydak i in. 2011], jednak bez szczegółowego nawiązania do cech produkcyjnych drzewostanów.

Celem niniejszej pracy było opracowanie modeli regresji opisujących wpływ właściwości gleb piaszczystych na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. Dodatkowo oszacowano orientacyjny udział gleby w kształtowaniu bonitacji sosny wśród ogółu czynników wpływających na produktywność drzewostanów tego gatunku. Powszechnie podkreśla się silną zależność cech wzrostowych drzew od właściwości gleby, jednak wpływ „cząstkowy” czynnika pedogenicznego nie został dotychczas dla warunków Polski nawet orientacyjnie określony.

Materiał i metody

Materiał badawczy stanowiło 268 drzewostanów sosnowych porastających gleby o uziarnieniu piasków [Sewerniak 2011b], położonych na terenie nadleśnictw Bolesławiec, Głogów i Oława (RDLP we Wrocławiu). Na podstawie zmierzonej w terenie wysokości górnej drzewostanu sosnowego, dla każdej analizowanej powierzchni wyliczono bonitację sosny (B). Wykorzystano do tego model Bruchwalda i in. [2000], zgodnie z którym zmierzona w terenie wysokość górna drzewostanu przeliczono do potencjalnej wysokości sosny w wieku 100 lat. Metodyka prowadzenia pomiarów w terenie, a także sposobu obliczenia wskaźnika bonitacji dla analizowanych drzewostanów, została przedstawiona we wcześniejszych pracach Sewerniaka [2011a, 2012a].

Charakterystyki gleb analizowanych drzewostanów zaczerpnięto z operatów glebowo-siedliskowych poszczególnych nadleśnictw [Operat... 2003, 2004, 2005]. Właściwości badanych gleb zostały przedstawione w innym opracowaniu [Sewerniak 2011b]. Ze względu na to, że relacja między bonitacją drzewostanów sosnowych a właściwościami gleby kształtuje się odmiennie w różnych warunkach uwilgotnienia siedliska [m.in. Sewerniak 2011a, 2012a, b], badania zostały przeprowadzone z uwzględnieniem dwóch grup wilgotnościowych – powierzchni z glebami nieoglejonymi oraz z glebami oglejonymi. W odniesieniu do typologii siedlisk leśnych gleby pierwszej grupy reprezentowały siedliska umiarkowanie świeże, a grupy drugiej siedliska silnie świeże oraz wilgotne.

W badaniach wykorzystano urządzeniowe powierzchnie podstawowe (diagnostyczne) oraz wzorcowe (typologiczne), które różnią się zakresem analiz laboratoryjnych gleby wykonywanych podczas sporządzania operatów glebowo-siedliskowych [Instrukcja... 2003]. Dla wszystkich badanych gleb dysponowano wynikami pH, zawartości węgla wapnia, uziarnienia, a także miąższością poszczególnych poziomów genetycznych. W przypadku powierzchni wzorcowych dodatkowo dysponowano także zawartością węgla organicznego (Corg.), azotu ogółem (Nt) oraz wartością proporcji C:N w poziomach próchnicznych, a także cechami kompleksu sorpcyjnego w poszczególnych mineralnych poziomach glebowych: zawartością wymiennych kationów kwasowych ($H^+ + Al^{3+}$) oraz zasadowych (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), sumą kationów zasadowych, pojemnością wymienną kationów oraz stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi. Na podstawie zawartości kationów w poziomach genetycznych gleb, do pięciu głębokości (25, 50, 100, 150 i 200 cm), wyliczono ich zasoby [Sewerniak 2012b]. Ogółem badaniami objęto 215

powierzchni z glebami nieoglejonymi (w tym 51 z urzędziowymi profilami „wzorcowymi”) oraz 53 powierzchni z glebami oglejonymi (16 profili „wzorcowych”).

Przedstawione w pracy modele opracowano na podstawie wielokrotnych analiz ze wszystkimi cechami gleby, którymi dysponowano. Wykorzystano metodę standardową oraz metody krokowe (postępującą i wsteczną) w module „regresja wieloraka” pakietu Statistica 9.0 (StatSoft, Inc.). Brano pod uwagę zarówno zawartości poszczególnych kationów w poziomach genetycznych, jak i ich zasoby obliczone do głębokości 25, 50, 100, 150 i 200 cm, wartości pH w poszczególnych poziomach oraz średnie wartości ważone pH dla całych profili glebowych [Sewerniak 2012a]. Podczas tworzenia modeli metodą standardową wybierano właściwości gleby, które w analizie korelacji miały istotny wpływ na bonitację drzewostanów sosnowych na terenie badań [Sewerniak 2008, 2011, 21012a, b], unikając jednocześnie uwzględniania w tym samym modelu zmiennych niezależnych silnie skorelowanych między sobą. W doborze właściwości gleby do tych modeli brano również pod uwagę wyniki regresji krokowej (postępującej i wstecznej) na testowanych zbiorach. Rezultaty selekcji cech gleby w tej procedurze stanowiły materiał pomocniczy w doborze zmiennych niezależnych do modeli zaprezentowanych w niniejszym artykule. Wszystkie przedstawione w pracy modele zostały wykonane z wykorzystaniem standardowej metody regresji. Zaprezentowane modele charakteryzują się normalnym rozkładem składnika losowego (reszt), co stwierdzono na podstawie testu W Shapiro-Wilka. Autokorelacje reszt dla opracowanych modeli analizowano wykorzystując test Durбина-Watsona.

Wartości parametrów glebowych, które cechowały się wyraźnie krzywoliniową relacją z bonitacją sosny, zostały zlogarytmowane (log) przed analizą, co zwiększyło liniowość zależności. Podczas logarytmowania wyników zawartości CaCO_3 , ze względu na występowanie wartości zerowych, transformacji dokonano zgodnie ze wzorem: $Y' = \log(10 \cdot Y + 1)$ [ter Braak, Šmilauer 2002; Piernik 2008]. W modelach uwzględniających łącznie obie analizowane wilgotnościowe grupy gleb zawarto, obok zmiennych ilościowych, obecność oglejenia (G) w profilu glebowym, jako zmienną o charakterze jakościowym (0, 1). Charakteryzując modele, przedstawiono „skorygowane” współczynniki determinacji (R^2) [Stanisz 2007]. Wartości ΔR^2 dla zmiennych niezależnych zawartych w modelach określono na podstawie różnicy między R^2 pełnego modelu a R^2 dla analogicznego modelu bez danej zmiennej.

Wyniki

Opracowane modele dla powierzchni z glebami o węższym zakresie dokumentacji analitycznej (tab. 1-3) wyjaśniają około 40% zmienności bonitacji sosny badanych drzewostanów. Wśród tych modeli największą wartością współczynnika determinacji ($R^2=0,41$) cechuje się ten, w którym uwzględniono wszystkie 268 analizowanych powierzchni, a obecność oglejenia potraktowano jako niezależną zmienną jakościową (tab. 1). Wartość współczynnika determinacji w modelu dotyczącym jedynie powierzchni z glebami nieoglejonymi lub oglejonymi była niewiele mniejsza, wynosiła odpowiednio 0,38 (tab. 2) i 0,40 (tab. 3). Uwzględnienie w modelach dodatkowo dostępnych w operatach glebowo-siedliskowych właściwości chemicznych gleby spowodowało wyraźne zwiększenie objaśnianej zmienności bonitacji sosny w badanych zbiorach powierzchni. Odzwierciedlają to relatywnie wysokie wartości współczynnika determinacji (0,52-0,59) modeli opracowanych dla poletek z glebami o szerszej dokumentacji analitycznej (tab. 4-6).

Bonitacja sosny opisana jest przez opracowane modele z błędem standardowym około 2 m, co odpowiada około 9% średniej wartości bonitacji analizowanych drzewostanów. Najmniejszy błąd standardowy (1,3 m) charakteryzuje model dla powierzchni z urzędziowymi „wzorcowymi” profilami gleb oglejonych (tab. 6), zaś największy (2,1 m) – model 1 (tab. 1) oraz 2 (tab. 2).

Wartość testu Durбина-Watsona jest dla prezentowanych modeli zbliżona do 2, co świadczy o relatywnie niewielkiej autokorelacji reszt dla prezentowanych regresji.

Wyniki regresji krokowej potwierdziły kluczowe znaczenie zawartości drobnych frakcji uziarnienia, odczynu gleby, a także zawartości azotu i potasu dla bonitacji sosny na glebach piaszczystych terenu badań [Sewerniak 2011a, 2012a, b]. Podczas wielokrotnych analiz z dostępnymi w badaniach charakterystykami gleby parametry te były najczęściej w pierwszej kolejności dobierane do modelu przy zastosowaniu regresji krokowej postępującej oraz w ostatniej kolejności usuwane z procedury podczas zastosowania metody wstecznej. Z tego względu przynajmniej jeden z tych parametrów ujęty został w każdym z prezentowanych modeli.

Dyskusja

Bonitacja drzewostanów sosnowych jest determinowana przez wiele czynników, które mają charakter zarówno *stricte* przyrodniczy, jak i antropogeniczny. Na tym tle, biorąc pod uwagę, że przed-

Tabela 1.

Model regresji przedstawiający wpływ właściwości gleby na bonitację sosny – wszystkie badane powierzchnie

Site index model for pine based on soil properties – all the analyzed plots

Model 1:		
B=-1,75 pH _{KCl} + 2,516 log 0,05-0,02 mm + 3,946 log CaCO ₃ + 1,47 G + 29,38		
R ² =0,41; p<0,001; d=1,51; s.e.=2,1 m; n=268		
	ΔR ²	p
Wyraz wolny	-	<0,001
pH _{KCl}	0,07	<0,001
log 0,05-0,02 mm	0,06	<0,001
log CaCO ₃	0,04	<0,001
G	0,04	<0,001

pH_{KCl} – średnia ważona wartość pH_{KCl} dla profilu glebowego; log 0,05-0,02 mm – log ze średniej ważonej zawartości frakcji uziarnienia 0,05-0,02 mm dla profilu glebowego; log CaCO₃ – log 10×zawartość CaCO₃ w skale macierzystej gleby+1; G – obecność oglejenia (0, 1); ΔR² – różnica między R² pełnego modelu a R² dla analogicznego modelu bez danej zmiennej

pH_{KCl} – soil profile weight mean of pH_{KCl}; log 0,05-0,02 mm – log of a soil profile weight mean of the texture fraction 0,05-0,02 mm content; log CaCO₃ – log of the value 10×CaCO₃ content in the soil parent material+1; G – occurrence of gleying in a soil profile (0, 1); ΔR² – the difference between R² of the full model and R² of the model without a variable

Tabela 2.

Model regresji przedstawiający wpływ właściwości gleby na bonitację sosny – wszystkie powierzchnie z glebami nieoglejonymi

Site index model for pine based on soil properties – all the analyzed plots of non-gleyic soils

Model 2:		
B=-1,98 pH _{KCl} + 4,602 log CaCO ₃ + 2,366 log 0,1-0,02 mm – 0,020 > 1mm + 0,015 solum + 28,46		
R ² =0,38; p<0,001; d=1,58; s.e.=2,1 m; n=215		
	ΔR ²	p
Wyraz wolny	-	<0,001
pH _{KCl}	0,11	<0,001
log CaCO ₃	0,07	<0,001
log 0,1-0,02 mm	0,05	<0,001
>1 mm	0,02	0,01
solum	0,01	0,04

log 0,1-0,02 mm – log ze średniej ważonej zawartości frakcji uziarnienia 0,1-0,02 mm dla profilu glebowego; >1 mm – średnia ważona zawartości frakcji uziarnienia > 1 mm dla profilu glebowego; solum – miąższość solum gleby [cm]; pozostałe oznaczenia jak w tabeli 1

log 0,1-0,02 mm – log of a soil profile weight mean of the texture fraction 0,1-0,02 mm content; >1 mm – a soil profile weight mean of the texture fraction >1 mm content; solum – thickness of a soil solum [cm]; other descriptions as in the table 1

stawione modele zostały opracowane jedynie na podstawie właściwości gleby dostępnych w operatorach glebowo-siedliskowych, wydaje się, że uzyskane wartości współczynnika determinacji (0,38-0,59) można uznać za satysfakcjonujące. Wynik ten oznacza, że około 40-60% zmienności bonitacji w badanych grupach powierzchni wyjaśniana jest przez nieujęte w modelach glebowe i pozaglebowe czynniki wpływające na produktywność drzewostanów sosnowych. Uzyskany w niniejszej pracy procent wyjaśnianej zmienności bonitacji przez modele jest niższy w porównaniu z wynikami Lipasa [1985] i Tamminena [1993]. Jednak wymienieni autorzy uwzględnili w badaniach, poza właściwościami gleby, także cechy ekosystemu niezwiązane z glebą bezpośrednio (typ zbiorowiska sosnowego określony charakterem runa oraz warunki termiczne regionu). Współczynnik determinacji modelu Lipasa [1985], w którym zawarto 6 zmiennych niezależnych (w tym 3 zmienne glebowe), wynosił 0,76. Autor ten analizował wzrost sosny na 47 powierzchniach badawczych zlokalizowanych na obszarze niemal całego fińskiego zasięgu tego gatunku. Z kolei Tamminen [1993], na podstawie badań 415 drzewostanów sosnowych położonych w południowych regionach Finlandii, zaproponował model opisujący bonitację sosny, dla którego wartość współczynnika determinacji wynosiła 0,70. W modelu tym zawartych zostało 10 zmiennych niezależnych, w tym 6 dotyczących właściwości gleby. Większy procent tłumaczonej zmienności bonitacji przez model Lipasa, ze względu na bardziej rozległy geograficznie obszar bada-

Tabela 3.

Model regresji przedstawiający wpływ właściwości gleby na bonitację sosny – wszystkie powierzchnie z glebami oglejonymi

Site index model for pine based on soil properties – all the analyzed plots of gleyic soils

Model 3:		
B=-2,01 pH _{KCl} A + 3,438 log 0,02-0,005 mm + 30,21		
R ² =0,40; p<0,001; d=1,90; s.e.=1,8 m; n=53		
	ΔR ²	p
Wyraz wolny	–	<0,001
pH _{KCl} A	0,10	0,003
log 0,02-0,005 mm	0,10	0,004

pH_{KCl} A – wartość pH_{KCl} w poziomie próchnicznym; log 0,02-0,005 mm – log ze średniej ważonej zawartości frakcji uziarnienia 0,02-0,005 mm dla profilu glebowego; pozostałe oznaczenia jak w tabeli 1

pH_{KCl} A – pH_{KCl} value in a humus horizon; log 0,02-0,005 mm – log of a soil profile weight mean of the texture fraction 0,02-0,005 mm; other descriptions as in the table 1

Tabela 4.

Model regresji przedstawiający wpływ właściwości gleby na bonitację sosny – wszystkie powierzchnie o szerszej dokumentacji analitycznej gleb

Site index model for pine based on soil properties – all the analyzed plots determined, in addition, by more chemical soil variables

Model 4:		
B=3,233 log 0,05-0,02 mm + 6,295 log K w A + 1,79 G + 29,70		
R ² =0,57; p<0,001; d=2,01; s.e.=1,8 m; n=67		
	ΔR ²	p
Wyraz wolny	–	<0,001
log 0,05-0,02 mm	0,14	<0,001
log K w A	0,13	<0,001
G	0,07	0,001

log K w A – log z zawartości kationów K⁺ [mmol(+)/100 g gleby] w kompleksie sorpcyjnym poziomu próchnicznego; pozostałe oznaczenia jak w tabeli 1

log K w A – log of an exchange K⁺ [mmol(+)/100 g of soil] content in a humus horizon; other descriptions as in the table 1

niami, wynikał prawdopodobnie z większej zmienności warunków termicznych na badanych przez tego autora powierzchniach.

Na tle modeli skandynawskich nowym elementem niniejszych badań było uwzględnienie w analizie regresji obecności oglejenia w glebie, jako jednej ze zmiennych niezależnych. W cytowanych modelach fińskich [Lipas 1985, Tamminen 1993] wilgotność siedliska była co prawda pośrednio ujęta, ale jedynie w kontekście występowania określonego typu zbiorowiska leśnego (*Calluna*; *Oxalis-Myrtillus*), co było traktowane w modelach również jako zmienna jakościowa (0, 1). Z przedstawionych w niniejszej pracy modeli (tab. 1 i 4) wynika, że większe uwilgotnienie gleby, wyrażające się występowaniem oglejenia w profilu, wiąże się z około 1,5-1,8 m wyższą bonitacją sosny. Z modeli opracowanych dla terenu Finlandii wynika z kolei, że obecność związanego z glebami relatywnie suchymi zbiorowiska typu *Calluna*, wiązała się z niższą potencjalną wysokością sosny w wieku 100 lat rzędu 3,5-4 m [Lipas 1985, Tamminen 1993]. Relacja taka mogła jednak wynikać także z przyczyn niezwiązanych z wilgotnością siedliska.

Rezultaty prezentowanych badań mają potwierdzenie w wynikach badań Szwagrzyka i Szweczyka [2002], którzy na podstawie badań przeprowadzonych w Puszczy Niepołomickiej stwierdzili wyraźny pozytywny związek między wysokością sosen a wilgotnością gleby. Relacja między bonitacją sosny a uwilgotnieniem siedliska kształtowała się natomiast odmiennie w poszczególnych częściach Polski w drzewostanach analizowanych przez Bruchwalda i Kliczkowską [1997].

Tabela 5.

Model regresji przedstawiający wpływ właściwości gleby na bonitację sosny – wszystkie powierzchnie z glebami nieoglejonymi o szerszej dokumentacji analitycznej gleb

Site index model for pine based on soil properties – all the analyzed plots determined, in addition, by more chemical soil variables (plots of non-gleyic soils)

Model 5:		
B=-2,51 pH _{KCl} +3,688 log N w A - 0,035 >1 mm+38,89		
R ² =0,52; p<0,001; d=1,90; s.e.=1,9 m; n=51		
	ΔR ²	p
Wyraz wolny	-	<0,001
pH _{KCl}	0,20	<0,001
log N w A	0,06	0,009
>1 mm	0,05	0,02

log N w A – log z zawartości azotu ogółem [%] w poziomie próchnicznym; pozostałe oznaczenia jak w tabeli 1 i 2

log N w A – log of total nitrogen content [%] in a humus horizon; other descriptions as in the table 1 and 2

Tabela 6.

Model regresji przedstawiający wpływ właściwości gleby na bonitację sosny – wszystkie powierzchnie z glebami oglejonymi o szerszej dokumentacji analitycznej gleb

Site index model for pine based on soil properties – all the analyzed plots determined, in addition, by more chemical soil variables (plots of gleyic soils)

Model 6:		
B=7,161 log K w A+0,181 A+31,14		
R ² =0,59; p<0,001; d=2,28; s.e.=1,3 m; n=16		
	ΔR ²	p
Wyraz wolny	-	0,000
log K w A	0,53	0,001
A	0,18	0,02

A – miąższość poziomu próchnicznego [cm]; pozostałe oznaczenia jak w tabeli 2 i 5

A – thickness of a humus horizon [cm]; other descriptions as in the table 2 and 5

Autorzy ci nie badali jednak tego zagadnienia w odniesieniu do południowo-zachodniej części kraju.

Modele autorów fińskich cechowały się podobnym błędem do modeli zaprezentowanych w niniejszej pracy. Udział procentowy błędu standardowego estymacji w stosunku do średniej wartości bonitacji sosny stanowił w modelach zaproponowanych przez Lipasa [1985] i Tamminena [1993] około 10%.

Z uwagi na stwierdzony w analizie wariancji brak statystycznie istotnego ($p=0,32$) wpływu zawartości CaCO_3 w badanych glebach na bonitację sosny [Sewerniak 2012a], wyjaśnienia wymaga uwzględnienie tej zmiennej, przy wysokiej istotności statystycznej ($p<0,001$), w modelach 1 i 2. Zostały one opracowane na podstawie zakresu cech gleby, wśród których jedyną dostępną właściwością chemiczną była zawartość węgla wapnia. Wyraźna pozytywna relacja między zawartością CaCO_3 a bonitacją drzewostanów sosnowych w tych modelach prawdopodobnie odzwierciedla dodatni wpływ potasu i (w mniejszym stopniu) magnezu na wzrost sosny. Wielkość pedogenicznych zasobów tych pierwiastków (szczególnie potasu), w przeciwieństwie do wapnia, silnie determinuje bonitację sosny na terenie badań, a zawartość K, Mg i Ca jest w analizowanych glebach wyraźnie ze sobą skorelowana [Sewerniak 2012b]. Taka interpretacja ujęcia zawartości CaCO_3 w modelach 1 i 2 ma potwierdzenie w wynikach regresji krokowej dla zbiorów gleb z szerszą dokumentacją analityczną. W przypadku dysponowania szerszym zakresem właściwości chemicznych gleby w analizie regresji, metoda krokowa wskazywała niewielką przydatność zawartości CaCO_3 dla tworzonych modeli. Zawartość potasu była natomiast wskazywana jako jedna z najważniejszych zmiennych wpływających na bonitację sosny spośród wszystkich analizowanych właściwości gleby.

Wnioski

- ✦ Dla analizowanych drzewostanów sosnowych z południowo-zachodniej Polski zmiennymi o największym znaczeniu dla modelowania bonitacji tego gatunku na podstawie cech gleby są: wartość pH_{KCl} , zawartość drobnych frakcji uziarnienia, zawartość potasu i azotu, zawartość CaCO_3 , obecność oglejenia w profilu glebowym oraz miąższość solum lub poziomu próchnicznego (w zależności od uwilgotnienia siedliska).
- ✦ Uwzględnienie zawartości CaCO_3 w modelu jest zasadne jedynie w sytuacji braku do dyspozycji innych charakterystyk chemicznych gleby. Obecność tej zmiennej w modelu, ze względu na silne skorelowanie zawartości wapnia z ilością potasu i magnezu w glebie, umożliwia pośrednie uwzględnienie w analizie regresji, poza wapniem, także wpływu innych pierwiastków na bonitację sosny.
- ✦ Bonitacja sosny jest pozytywnie zależna od uwilgotnienia gleb piaszczystych. Obecność oglejenia w tych glebach, adekwatna do diagnozy siedliska jako silnie świeże lub wilgotne, wiąże się na terenie badań z około 1,5 m wyższą bonitacją drzewostanu sosnowego.
- ✦ Uwzględnione w badaniach właściwości gleby tłumaczą około 40-60% zmienności bonitacji analizowanych drzewostanów sosnowych. Sugeruje to, że wśród ogółu czynników wpływających na bonitację sosny wpływ właściwości gleby stanowi na terenie badań ponad 50%.

Podziękowania

Autorzy serdecznie dziękują prof. Stanisławowi Miścickiemu oraz prof. Wernerowi Ulrichowi za konsultacje dotyczące przeprowadzenia analiz statystycznych. Dziękujemy także pracownikom Nadleśnictw Bolesławiec, Głogów i Oława za pomoc na etapie prac terenowych wykonywania tematu badawczego.

Literatura

- ter Braak C. J. F., Šmilauer P. 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power (Ithaca, NY, USA).
- Brożek S. 2001. Indeks trofizmu gleb leśnych. Acta Agr. Silv. ser. Silv. 39: 17-34.
- Brożek S. 2007. Liczbowa wycena „jakości” gleb – narzędzie w diagnozowaniu siedlisk leśnych. Sylwan 151 (2): 35-42.
- 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
- Instrukcja urzędowania lasu. 2003. Część II. Instrukcja wyróżniania i kartowania siedlisk leśnych. PGL Lasy Państwowe, Warszawa.
- Lasota J., Zwydak M., Wanic T., Brożek S. 2011. Różnorodność gleb zespołów borów mieszanych. Rocz. Glebozn. 62 (4): 54-72.
- Lipas E. 1985. Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. Folia Forestalia 618: 1-16.
- 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.
- Piernik A. 2008. Metody numeryczne w ekologii na przykładzie zastosowania pakietu MVSP do analiz roślinności. Wyd. UMK, Toruń.
- Prusinkiewicz Z., Kowalkowski A. 1964. Studia gleboznawcze w Białowieckim Parku Narodowym. Rocz. Glebozn. 15 (2): 161-304.
- 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. 4: 311-319.
- Sewerniak P. 2011b. Zróżnicowanie wybranych właściwości gleb drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. Rocz. Glebozn. 62, 1: 142-151.
- Sewerniak P. 2012a. 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.
- Sewerniak P. 2012b. Wpływ właściwości gleb piaszczystych na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. II. Wybrane właściwości chemiczne. Sylwan 156 (7): 518-525.
- Stanisz A. 2007. Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 2. Modele liniowe i nieliniowe. StatSoft Polska Sp. z o. o., Kraków.
- Szwagrzyk J., Szewczyk J. 2002. Wpływ trofizmu i wilgotności siedliska na wzrost i pokrój sosen i dębów w Puszczy Niepołomickiej. Sylwan 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.
- Zwydak M., Lasota J., Brożek S., Wanic T. 2011. Różnorodność gleb zespołów borów sosnowych. Rocz. Glebozn. 62 (4): 39-53.

SUMMARY

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

The main aim of the study was to compile regression models for site index of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in south-western Poland basing on soil parameters. The additional objective of the research was to estimate the part of pine growth variation explained by soil properties in relation to the whole impact of different factors. The study concerned soils of sandy texture only.

The research was conducted in 268 pine stands in the Bolesławiec, Głogów and Oława forest district. The statistical analyses were performed in the multiple regression application of the Statistica package v. 9.0, with consideration to two different site moisture groups – forest sites characterized by non-gleyic (215 plots) and gleyic soils (53). In each plot, the stand ‘top height’ was determined as a mean height of ten the thickest pines per 0.1 hectare. For every plot the site index (B), as the stand ‘top height’ recalculated for a base-age of 100 years, was obtained by a model of Bruchwald et al [2000]. Soil analytical determinations were derived from data resources of the State Forest National Forest Holding. The range of the soil characteristics was different for particular plots. For all of the 268 plots following soil parameters were available: pH, content of CaCO_3 , content of textural fractions and thicknesses of soil horizons. For 67 of the analyzed plots, extended soil characteristics were accessible. For these plots, in addition, following soil parameters were available: OC and Nt content as well as C:N ratio value in humus horizon, properties of absorbing complex for particular mineral soil horizons: contents of exchangeable acid ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) and basic (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) cations, sum of basic cations, exchange capacity and base saturation.

Six regression models were presented in the paper. In the models that concerned both analyzed moisture groups (tab. 1 and 4) an occurrence of gleyic soil in a plot (G) was treated as a qualitative variable (0, 1). Selection of variables for all the presented models were performed following the results of stepwise regression methods (forward as well as backward method).

The soil properties enclosed in the models explained about 40-60% of the pine site index variability. It suggests that the part of a soil influence in the whole impact of different factors on pine growth can be estimated in the investigated region at more than 50%. In the regression analyses, the following soil properties were found to be the best variables that described the site index: pH_{KCl} , contents of fine textural fractions, content of K and N, CaCO_3 content, soil moisture conditions reflected in gleying occurrence in a soil profile and a thickness of a solum or of a humus horizon (depending on the site moisture). The CaCO_3 content was found to be a useful variable for site index models only unless other chemical soil parameters were available. In such cases occurrence of CaCO_3 in models reflects an impact of K and Mg on pine growth. It results from strong intercorrelations between Ca, K and Mg contents in the investigated soils. The site index was higher when pine stands were overgrowing gleyic than non-gleyic soils. In the presented regression models the difference was estimated to be about 1.5 m.