

Piotr Sewerniak¹

Wpływ uziarnienia gleby na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce

The influence of soil texture on the site index of Scots pine stands in south-west Poland

Abstract. The study was conducted in 349 Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands comprising two soil moisture groups – non-gleyic (273 plots) and gleyic (76). In every plot, the site index of a Scots pine stand was determined as mean height of the ten thickest trees per 0.1 hectare, called the “top height”. The top height was recalculated for a base-age of 100 years (H_{100}), however this indicator was biased in relation to stand age. The bias was removed using a regression model, and then the obtained site index (B) ceased to be related to stand age. Soil texture data was already available from the forest service of the State Forests National Forest Holding. For each stand the weighted mean value of every soil textural class was calculated.

The site index was positively correlated with the texture fraction <0.02 mm content but only when pine grew on sandy soils. This relationship was stronger for non-gleyic than for gleyic soils. There was also a positive correlation between site index and texture fraction 0.02-0.1 mm, but only for non-gleyic soils. The content of the texture fraction >1 mm had the opposite effect on site index for each soil group (negative on non-gleyic and positive on gleyic soils).

The results (height growth) show that Scots pine most effectively utilizes soil nutrient resources when grows on sandy soils and that the species does not utilize the potentially greater nutrients retention by clay soils. On sandy soils the positive influence on pine growth of increasing the composition of fine fractions was caused more by the beneficial effect of their moisture retention (water sorption) than any nutritional role.

Key words: forest soil, *Pinus sylvestris*, nutrients, site humidity, tree growth.

1. Wstęp

Wśród elementów siedliska leśnego gleba ma szczególnie duże znaczenie. Właściwości gleby mają decydujący wpływ nie tylko na charakter roślinności naturalnej, lecz także, określając możliwości produkcji pod względem ilościowym i jakościowym, na warunki prowadzenia gospodarki leśnej. Mimo kluczowego znaczenia gleby dla leśnictwa wpływ jej właściwości na wzrost podstawowych gatunków lasotwórczych w Polsce jest wciąż relatywnie słabo rozpoznany. Dotyczy to także sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), gatunku dominującego w naszych lasach. W szczegółowym opracowaniu dotyczącym kształtowania się bonitacji drzewostanów sosnowych w Polsce odniesiono się jedynie do typów siedliskowych lasu, z całkowitym pominię-

ciem bezpośredniego nawiązania do właściwości gleby (Bruchwald, Kliczkowska 1997).

Uziarnienie ma kluczowe znaczenie dla wzrostu drzew, gdyż bardzo wyraźnie zależą od niego zarówno chemiczne, jak i fizyczne właściwości gleby (Pritchett 1979; Puchalski, Prusinkiewicz 1990). Zagadnienie wpływu uziarnienia na wzrost sosny było sygnalizowane w wielu opracowaniach naukowych (Kuźniar 1935, 1948; Borowiec 1961a,b; Pogrebniak 1961; Rząsa 1962; Dzieciołowski 1963; Obmiński 1970; Orlov, Košelkov 1971; Przybylski 1993). Z zagranicznej literatury na szczególną uwagę zasługują opracowania skandynawskie, w których dokonano kompleksowej analizy wpływu fizycznych i chemicznych właściwości gleby na bonitację sosny na terenie Finlandii (Lipas 1985; Tamminen 1993).

¹ Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Instytut Geografii, Zakład Gleboznawstwa, ul. Gagarina 9, 87–100 Toruń;
Fax: +48 566112586, e-mail: sewern@umk.pl

Zdefiniowanie relacji między cechami uziarnienia gleby a bonitacją sosny przysparza wiele trudności. Wydaje się, że analiza tej relacji wymaga uwzględnienia w badaniach wszystkich frakcji uziarnienia, a także interpretacji wyników w nawiązaniu do roli poszczególnych frakcji dla wzrostu sosny. Dodatkowo, poza uziarnieniem, na bonitację sosny wpływa szereg innych czynników związanych i niezwiązanych z cechami siedliska, co pociąga za sobą konieczność założenia wielu powierzchni badawczych w celu zdiagnozowania występujących zależności. W dotychczasowej bibliografii naukowej sosny zwyczajnej dla terenu Polski brak opracowania, które spełniałoby powyższe kryteria.

Celem niniejszej pracy jest dokonanie analizy wpływu uziarnienia gleby na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. Realizację tego celu przeprowadzono w ścisłym nawiązaniu do roli poszczególnych frakcji uziarnienia dla wzrostu sosny.

2. Materiał i metody badań

Badania wykonano na 349 powierzchniach badawczych położonych na terenie nadleśnictw Bolesławiec, Głogów i Oława (RDLP we Wrocławiu).

W badaniach uwzględniono jedynie gleby leśne, które nie były wcześniej użytkowane rolniczo, gdyż taka przeszłość gleby leśnej wyraźnie wpływa na jej właściwości (Maciaszek, Zwydak 1996a, b; Bednarek, Michalska 1998) oraz na wzrost sosny zwyczajnej (Dzięciołowski 1963; Prevosto et al. 2004). Lokalizację powierzchni badawczych konsultowano z pracownikami Lasów Państwowych w celu wyeliminowania z badań terenów leśnych o szczególnie silnej negatywnej presji czynników biotycznych, abiotycznych i antropogenicznych na wzrost sosny. Przy lokalizacji powierzchni badawczych preferowano duże kompleksy leśne, położone w miarę możliwości z dala od osad ludzkich. Wszystkie badane drzewostany sosnowe charakteryzowały się zwarciem umiarkowanym.

Wzrost sosny zwyczajnej jest silnie zależny od warunków wilgotnościowych gleby (Kuźniar 1935, 1948; Borowiec 1958; Pogrebniak 1961; Rząsa 1962; Szwa-grzyk, Szewczyk 2002). Z tego względu, w celu zminimalizowania wpływu wilgotności siedliska, badania realizowano oddzielnie dla dwóch grup gleb o odmiennych warunkach wilgotnościowych: gleby nieoglejone (273 powierzchnie badawcze) oraz gleby oglejone (76). W nawiązaniu do typologii siedlisk leśnych gleby pierwszej grupy związane były z siedliskami umiarkowanie świeżymi, a gleby drugiej grupy – z siedliskami silnie świeżymi i wilgotnymi.

Strukturę wiekową analizowanych drzewostanów sosnowych przedstawiono w tabeli 1. Rozkład wieku badanych drzewostanów obu wydzielonych grup gleb jest rozkładem normalnym o lekko prawoskośnym charakterze. W grupach tych zaznacza się dominacja drzewostanów w wieku od 71 do 90 lat (podklasa IVb i Va). Średnia wieku drzewostanów w obu grupach badawczych mieści się w jednej podklasie wieku.

W badaniach wykorzystano wyniki analizy uziarnienia z operatów glebowo-siedliskowych nadleśnictw Bolesławiec (2004), Głogów (2005) i Oława (2003)¹.

Dla każdego profilu glebowego wyliczono średnią ważoną zawartość poszczególnych frakcji uziarnienia według metodyki opisanej we wcześniejszym opracowaniu (Sewerniak 2008). Badania przeprowadzono w nawiązaniu do podziału na frakcje uziarnienia według "Systematyki gleb Polski" (1989): <0,02 mm (frakcje ilaste), 0,02–0,1 mm (pył), 0,1–1 mm (piasek), >1 mm (części szkieletowe). Podgrupy granulometryczne podano w pracy również za "Systematyką gleb Polski" (1989). Szczegółowa charakterystyka właściwości gleb analizowanych powierzchni badawczych, z uwzględnieniem wydzielonych grup gleb do badań, została przedstawiona w innej pracy autora (Sewerniak 2011).

Na każdej powierzchni badawczej, przy profilu glebowym, zmierzono wysokość 10 najgrubszych drzew przypadających na 0,1 ha. Przyjmuje się, że określona w ten sposób wysokość jest wysokością górną (Bruchwald,

Tabela 1. Liczba powierzchni badawczych w poszczególnych podklasach wieku drzewostanów sosnowych z uwzględnieniem analizowanych grup gleb

Table 1. Number of study plots in Scots pine stands age sub-classes in the analysed soil groups

Wariant uwilgotnienia gleby Soil humidity variant	Wiek [lata] / Age [years]										średni mean	
	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100	101–110	111–120	121–130	131–140		141–150
	Liczba powierzchni badawczych / Number of study plots											
Gleby nieoglejone Non-gleyic soils	3	19	22	55	46	43	39	22	16	7	1	89,3
Gleby oglejone Gleyic soils	4	5	9	24	13	6	7	4	4	0	0	88,0

¹ Autor artykułu brał udział we wszystkich etapach (prace terenowe, laboratoryjne i kameralne) wykonania tych prac.

Kliczkowska 1997). Wszystkie mierzone drzewa kwalifikowały się do I lub II klasy biosocjalnej Krafta (drzewa górujące i panujące).

Bonitację wzrostową każdego badanego drzewostanu określono na podstawie metody Bruchwalda i in. (2000). Wykorzystano model bonitacyjny pozwalający na przeliczenie wysokości w danym wieku na wysokość w wieku 100 lat, przyjętym jako wiek bazowy, według następującej formuły:

$$H_{100} = \frac{h}{A}$$

gdzie:

H_{100} – potencjalna wysokość drzewostanu sosnowego w wieku 100 lat,

h – średnia wysokość 10 najgrubszych drzew na powierzchni 0,1 ha w wieku rzeczywistym,

A – standaryzowana wysokość drzewa.

Standaryzowaną wysokość drzewa A obliczono wykorzystując wzór (Bruchwald et al. 2000):

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

gdzie: w – wiek drzewa.

Ze względu na silną ujemną korelację między wyliczonym wskaźnikiem H_{100} a wiekiem drzewostanu (ryc. 1), obliczono poprawkę pozwalającą wyeliminować wpływ wieku na wyniki wykorzystanego modelu bonitacyjnego. Poprawkę modelu eliminującą wpływ wieku na bonitację uzyskano w następujący sposób:

1) opracowano równanie regresji dla zależności wskaźnika H_{100} od wieku drzewostanu:

$$H_{100} = -9,3 \cdot \ln(\text{wiek drzewostanu}) + 65,96$$

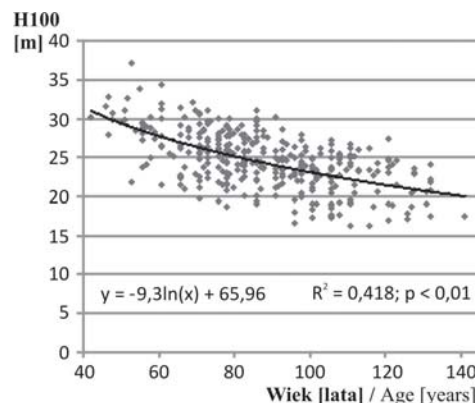
dla którego wartość współczynnika determinacji (R^2) wyniosła 0,418 ($p < 0,01$, ryc. 1).

2) zgodnie z równaniem z pkt. 1 wyliczono modelową wartość H_{100} dla każdego wieku drzewostanu ($H_{100(nlat)}$),

3) dla każdego wieku drzewostanu określono wskaźnik korekcyjny, jako stosunek $H_{100(100lat)}/H_{100(nlat)}$; modelowa wysokość drzewostanu w wieku 100 lat ($H_{100(100lat)}$) dla analizowanych powierzchni badawczych wyniosła 23,13 m,

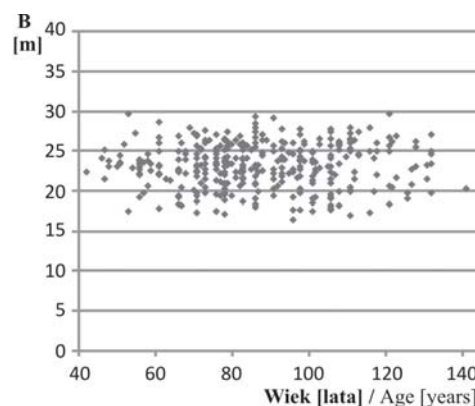
4) przemnożono wartość wskaźnika H_{100} każdego drzewostanu przez wskaźnik korekcyjny, odpowiedni dla danego wieku drzewostanu, uzyskując wskaźnik bonitacji B, który wykorzystano w dalszych analizach.

Wyliczony w przedstawiony sposób wskaźnik bonitacji jest niezależny od wieku drzewostanu (ryc. 2). Różnice między wartościami wskaźnika B w tym samym wieku drzewostanu na poszczególnych powierzchniach badawczych spowodowane są innymi czynnikami, w tym różnicami w uziarnieniu gleby. Uzyskany wskaźnik bonitacji potraktowano w niniejszej pracy jako bonitację



Rycina 1. Zależność wskaźnika H100 od wieku drzewostanu sosnowego

Figure 1. Relation between the H100 indicator and age of pine stands



Rycina 2. Wartość wskaźnika bonitacji B a wiek drzewostanu sosnowego

Figure 2. Values of the B indicator and age of pine stands

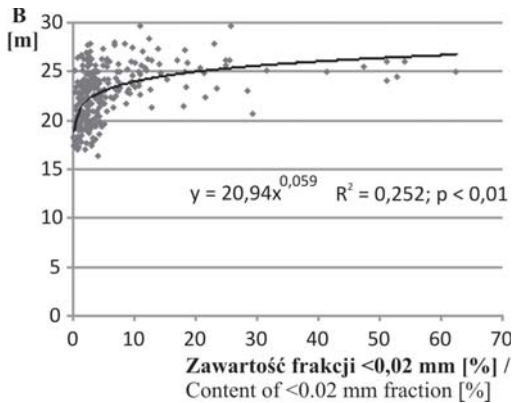
sosny. Podobnie bonitacja drzewostanów sosnowych została zdefiniowana w opracowaniu Bruchwalda i Kliczkowskiej (1997).

Analizę statystyczną wyników badań wykonano wykorzystując program Excel, STATGRAPHICS plus oraz STATISTICA. Na wykresach został zamieszczony ten typ linii trendu, dla którego wartość wskaźnika determinacji (R^2) była największa. Ze względu na odbiegający od normalnego rozkład wyników uziarnienia gleb, wartości korelacji (R) przedstawiono wykorzystując korelację rang Spearmana.

3. Wyniki

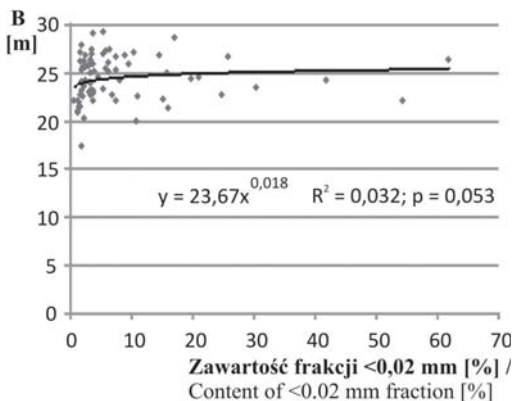
Zawartość frakcji <0,02 mm

Bonitacja drzewostanów sosnowych jest na analizowanych powierzchniach badawczych dodatkowo skorelowana z zawartością frakcji <0,02 mm w glebie, co



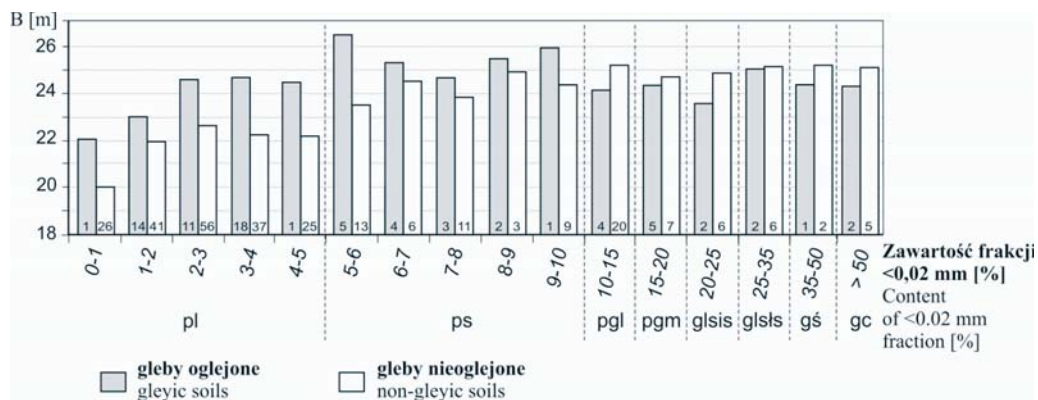
Rycina 3. Zależność między bonitacją drzewostanów sosnowych (B) a zawartością frakcji <0,02 mm w glebach nieoglejonych

Figure 3. Relation between site index class of Scots pine stands (B) and <0.02 mm fraction content in non-gleyic soils



Rycina 4. Relacja między bonitacją drzewostanów sosnowych (B) a zawartością frakcji <0,02 mm w glebach oglejonych

Figure 4. Relation between site index class of Scots pine stands (B) and <0.02 mm fraction content in gleyic soils



Rycina 5. Średnia bonitacja drzewostanów sosnowych (B) w przedziałach zawartości frakcji <0,02 mm w glebie: pl – piasek luźny, ps – piasek słabogliniasty, pgl – piasek gliniasty lekki, pgm – piasek gliniasty mocny, glsis – glina lekka silnie spiazczona, glsls – glina lekka słabo spiazczona, gś – glina średnia, gc – glina ciężka; liczby na słupkach wykresu oznaczają liczbę powierzchni badawczych

Figure 5. The mean values of site index class of Scots pine stands (B) for soil <0.02 mm fraction content ranges.

Abbreviations: pl – loose sand, ps – coarse sand, pgl and pgm – loamy sand, glsis and glsls – sandy loam, gś – sandy clay loam, gc – clay loam; numbers in diagram bars indicate number of study plots

dotyczy obu grup gleb (ryc. 3 i 4). Charakter tej relacji jest jednak wyraźnie zależny od uziarnienia gleby oraz jej uwilgotnienia, co szczegółowo zostało przedstawione na rycinie 5.

Na glebach oglejonych bonitacja sosny jest dodatnio skorelowana ($p < 0,01$) z zawartością frakcji <0,02 mm w glebie jedynie w zakresie zawartości tej frakcji odpowiadającym piaskom luźnym (0–5%), a co najwyżej także piaskom słabogliniastym (5–10%). W tym zakresie bonitacja rośnie od 22,1 do około 25–26 m. Zawartość frakcji <0,02 mm w glebach oglejonych wyższa niż 5–10% nie pociąga za sobą wzrostu bonitacji sosny. Na oglejonych glebach o uziarnieniu piasków gliniastych lekkich, piasków gliniastych mocnych oraz glin bonitacja sosny oscyluje wokół wartości 24 m (ryc. 5).

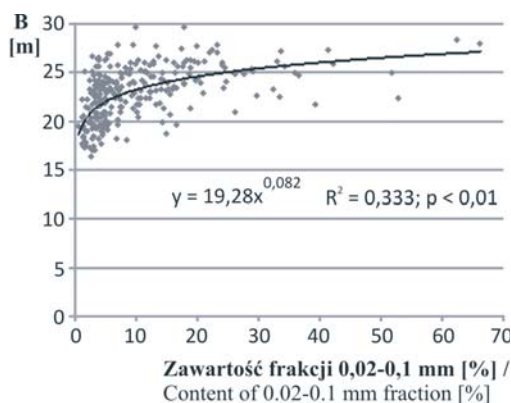
Podobnym, krzywoliniowym charakterem cechuje się relacja między zawartością frakcji <0,02 mm a bonitacją sosny na glebach nieoglejonych, jednak dotyczy ona szerszego zakresu zawartości tej frakcji. Dodatnia zależność ($p < 0,01$) między bonitacją sosny a zawartością frakcji <0,02 mm występuje tu w zakresie od 0% do ok. 15% zawartości tej frakcji, dotyczy więc piasków luźnych, piasków słabogliniastych i piasków gliniastych lekkich. W tym zakresie bonitacja rośnie od 20,0 do 25,2 m. Na glebach nieoglejonych o uziarnieniu piasku gliniastego mocnego i glin (>15% frakcji <0,02 mm) bonitacja utrzymuje się na wyrównanym poziomie (ok. 25 m, ryc. 5).

Różnice w bonitacji drzewostanów sosnowych na glebach nieoglejonych i glebach oglejonych są odmienne dla poszczególnych zakresów zawartości frakcji <0,02 mm. Na glebach o uziarnieniu piasków luźnych i piasków słabogliniastych bonitacja sosny jest przeciętnie około 2 m wyższa na glebach oglejonych ($p < 0,01$). Na glebach zawierających więcej niż 10%

omawianej frakcji bonitacja drzewostanów sosnowych jest natomiast wyższa na glebach nieoglejonych (ryc. 5), jednak różnica ta nie jest istotna statystycznie ($p=0,18$).

Zawartość frakcji 0,02–0,1 mm

Badane grupy powierzchni badawczych wyraźnie różnią się pod względem relacji między zawartością frakcji 0,02–0,1 mm w glebach a bonitacją drzewostanów sosnowych. Na powierzchniach z glebami nieoglejonymi występuje między tymi cechami istotna statystycznie ($p<0,01$) korelacja pozytywna. Zależność ta ma charakter podobny do relacji między zawartością frakcji $<0,02$ mm a bonitacją (ryc. 3), charakteryzuje się jednak mniejszą krzywoliniowością oraz większą wartością współczynnika determinacji (ryc. 6).



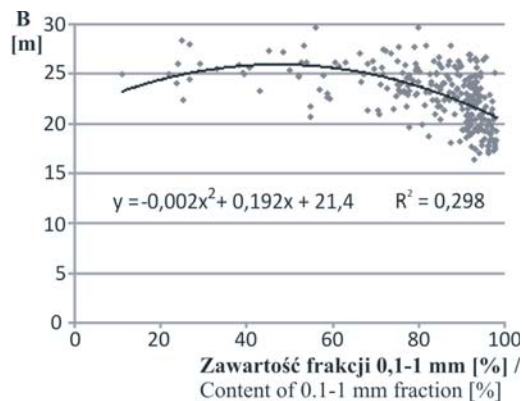
Rycina 6. Zależność między bonitacją drzewostanów sosnowych (B) a zawartością frakcji 0,02–0,1 mm w glebach nieoglejonych

Figure 6. Relation between site index class of Scots pine stands (B) and 0.02–0.1 mm fraction content in non-gleyic soils

Na powierzchniach badawczych z glebami oglejonymi zawartość frakcji 0,02–0,1 mm nie ma wpływu na bonitację drzewostanów sosnowych ($p=0,65$). Dotyczy to także gleb oglejonych o najmniejszej zawartości tej frakcji (0–5%, $p=0,91$). Średnia zawartość frakcji 0,02–0,1 mm w analizowanych glebach oglejonych wynosi 10,0% (Sewerniak 2011).

Zawartość frakcji 0,1–1 mm

Podobnie jak w przypadku zawartości pyłu, relacja między zawartością frakcji 0,1–1 mm a bonitacją sosny jest odmienna dla obu badanych grup gleb. W przypadku gleb nieoglejonych jest to wyraźna, istotna statystycznie ($p<0,01$), korelacja ujemna. Najlepiej dopasowaną linią trendu określającą tę zależność jest linia typu wielomianowego z maksymalną wartością wskaźnika B dla



Rycina 7. Zależność między bonitacją drzewostanów sosnowych (B) a zawartością frakcji 0,1–1 mm w glebach nieoglejonych

Figure 7. Relation between site index class of Scots pine stands (B) and 0.1–1 mm fraction content in non-gleyic soils

zawartości piasku około 50% (ryc. 7). Sugeruje to jednocześnie, że na terenie badań sosna uzyskuje najwyższą bonitację na takich glebach nieoglejonych, w których łączna zawartość frakcji ilastych i pyłu nie przekracza pozostałych 50%.

Relacja między zawartością frakcji 0,1–1 mm a bonitacją sosny na glebach oglejonych ma charakter zależności negatywnej, lecz jest ona nieistotna statystycznie ($p=0,30$).

Zawartość frakcji >1 mm

Zależność między zawartością frakcji >1 mm w glebach a bonitacją drzewostanów sosnowych jest przeciwna dla analizowanych grup gleb. Na glebach nieoglejonych zależność ta jest negatywna ($R=-0,218$, $p<0,01$), a na glebach oglejonych – pozytywna ($R=0,239$, $p<0,05$).

4. Dyskusja

Wpływ uziarnienia na wzrost drzew ma charakter głównie pośredni, poprzez kształtowanie warunków troficznych oraz wodnych i powietrznych gleby (Pritchett 1979). Wydaje się, że najpełniejszą interpretację uzyskanych wyników umożliwia ich analiza w nawiązaniu do znaczenia poszczególnych frakcji uziarnienia dla wzrostu sosny.

Frakcje ilaste są istotne dla roślin ze względu na ich rolę troficzną, gdyż obok próchnicy glebowej są głównym pedogenicznym źródłem składników pokarmowych. Ponadto, w glebach w których niedobór wody może być czynnikiem stresowym dla wzrostu drzew, obecność drobnych frakcji wpływa na poprawę warun-

ków wilgotnościowych poprzez sorpcję części przesiąkającej przez profil glebowy wody opadowej. Czynnikiem ten ma szczególnie duże znaczenie w glebach autogenicznych o uziarnieniu piasków, w których frakcje ilaste występują w domieszce w materiale piaszczystym, co sprawia że sorbowana przez nie woda jest w większości dostępna dla roślin.

Zakładając, że w glebach oglejonych niedobór wody nie jest czynnikiem ograniczającym wzrost sosny, można stwierdzić, że bonitacja drzewostanów rosnących na tych glebach jest ściśle związana z troficzną rolą frakcji $<0,02$ mm (Sewerniak 2008). Na powierzchniach badawczych z glebami oglejonymi zawartość tej frakcji jest dodatnio skorelowana z bonitacją sosny jedynie w przypadku gleb o uziarnieniu piasków luźnych, a co najwyżej także piasków słabogliniastych (ryc. 5). Świadczy to o tym, że rola troficzna frakcji $<0,02$ mm dla wzrostu sosny ogranicza się jedynie do gleb o uziarnieniu tych dwóch podgrup granulometrycznych. W tym świetle szersza pozytywna zależność między bonitacją sosny a zawartością frakcji $<0,02$ mm w glebach nieoglejonych (ryc. 5) prawdopodobnie w większym stopniu wynika z sorpcji wody przez tę frakcję, niż z jej roli troficznej.

Sosna zwyczajna jest gatunkiem zdolnym do wegetacji przy bardzo niewielkiej wilgotności siedliska (Obmiński 1970; Przybylski 1993). Uzyskane wyniki sugerują jednak, że nawet niewielka poprawa warunków wilgotnościowych w piaszczystych glebach autogenicznych, spowodowana sorpcją wody przez frakcje ilaste, wiąże się z kilkumetrowym wzrostem bonitacji drzewostanów sosnowych (ryc. 5). Uważa się (Czapla 1979), że wzrost sosny na ubogich siedliskach świeżych jest dodatnio skorelowany z ilością opadów atmosferycznych. Uzyskane wyniki świadczą o tym, że dzięki sorpcji wody przez frakcje ilaste, występujące w domieszce w nieoglejonych glebach piaszczystych, każdy dodatkowy procent zawartości tych frakcji może, poprzez poprawę warunków wilgotnościowych gleby, „zastępować” pewną ilość opadów. Nawiązuje to do opinii Pritchetta (1979), który stwierdził, że dla wzrostu drzew na glebach piaszczystych istotne znaczenie mają nawet bardzo niewielkie różnice w zawartości najdrobniejszych frakcji uziarnienia.

Prezentowane wyniki znajdują potwierdzenie w badaniach Borowca (1961b) oraz Dzieciółowskiego (1963), którzy także stwierdzili występowanie pozytywnej zależności między zawartością frakcji $<0,02$ mm w glebie a bonitacją sosny. Zależności takiej nie zaobserwował natomiast Rząsa (1962), analizując gleby wytworzone z piasków teresowych i wydmych w Kotlinie Toruńskiej. Na terenie Finlandii ujemną zależność między przeciętną średnicą ziarna dla gleby a bonitacją sosny stwierdził Lipas (1985) i Tamminen (1993). Na powierzchniach badanych przez tych auto-

rów bonitacja sosny była jednak silniej determinowana przez właściwości chemiczne gleby niż jej uziarnienie.

Uzyskane wyniki świadczą o kluczowym znaczeniu warunków wilgotnościowych gleby dla wzrostu sosny w południowo-zachodniej Polsce, co jest zbieżne z wynikami innych autorów (Kuzniar 1935; Borowiec 1958, 1961b; Pogrebnik 1961; Rząsa 1962). Potwierdzają one także przypuszczenie Szwagrzyka i Szewczyka (2002), że dla wysokości sosny warunki wilgotnościowe mogą mieć większe znaczenie niż trofizm siedliska. Przeprowadzone badania pozwalają dodatkowo stwierdzić, że uwilgotnienie gleby odpowiadające siedliskom silnie świeżym i wilgotnym korzystnie wpływa na bonitację drzewostanów sosnowych, jednak jedynie pod warunkiem, że gleba cechuje się uziarnieniem piaszczystym. Na glebach drobnoziarnistych bonitacja sosny może być nawet wyższa na siedliskach umiarkowanie świeżych niż na siedliskach silnie uwilgotnionych (ryc. 5). Świadczy to o tym, że sosna słabo znosi warunki wody mało ruchliwej, a przez to słabo natlenionej, która stagnuje w glebie. Z pewnością na relatywnie niską bonitację sosny na podmokłych glebach drobnoziarnistych może wpływać także ich zbyt mała aeracja. Czynnikiem ten stanowi poważną przyczynę hamowania wzrostu roślin (Michniewicz 1977).

Przedstawiona interpretacja roli troficznej i wodnej frakcji $<0,02$ mm dla wzrostu sosny ma potwierdzenie w charakterze zależności między bonitacją sosny a zawartością pyłu (0,02–0,1 mm). Frakcja ta cechuje się znacznymi możliwościami sorpcji wody glebowej siłami mniejszymi od siły ssącej korzeni drzew. Ponadto, gleby pyłowe cechują się warunkami powietrznymi korzystniejszymi dla rozwoju roślinności leśnej niż gleby o dużej zawartości frakcji ilastych (Puchalski, Prusinkiewicz 1990). Obecność w glebach autogenicznych domieszki pyłu powoduje zwiększenie ich pojemności wodnej, sorbowana woda jest dostępna dla roślin i stanowi zapas wody glebowej stopniowo wykorzystywany przez rośliny w okresach suchych. Powoduje to, że na glebach nieoglejonych bonitacja sosny jest pozytywnie skorelowana z zawartością pyłu (ryc. 6), a zależność ta jest silniejsza niż w przypadku frakcji $<0,02$ mm (ryc. 3).

Sorpcja wody przez frakcję 0,02–0,1 mm jest nieistotna dla wzrostu sosny na glebach oglejonych, gdyż z natury charakteryzują się one wysokim uwilgotnieniem, a poziom wody gruntowej w tych glebach znajduje się najczęściej w zasięgu korzeni drzew. Pył cechuje się znacznie mniejszymi właściwościami sorpcyjnymi w stosunku do makropierwiastków niż frakcje ilaste, tak więc odgrywa on relatywnie niewielką rolę w kształtowaniu warunków troficznych wzrostu sosny. W efekcie zawartość frakcji 0,02–0,1 mm w glebach oglejonych jest, w przeciwieństwie do zawartości frakcji $<0,02$ mm, w całym zakresie wartości nieistotna dla bonitacji sosny.

Przeciwstawność korelacji między zawartością frakcji 1 mm w glebie a bonitacją sosny dla obu badanych grup gleb logicznie nawiązuje do kształtowania się bonitacji sosny w odmiennych warunkach wilgotności siedliska. Obecność grubych frakcji uziarnienia poprawia drenaż wody w glebie, co jest zjawiskiem niekorzystnym dla wzrostu sosny na glebach relatywnie suchych, w których występuje deficyt wody. Wyjaśnia to, dlaczego zależność między bonitacją sosny a zawartością frakcji >1 mm w glebach nieoglejonych jest negatywna.

Sprawniejszy drenaż wody powodowany przez obecność grubych frakcji jest natomiast korzystny dla sosny w glebach o dużej wilgotności. Szczególnie dotyczy to gleb drobnoziarnistych, w których odpływ nadmiaru wody wiąże się z wyraźną poprawą aeracji w strefie korzenia się drzew. Taka interpretacja tłumaczy występowanie dodatniej korelacji między bonitacją sosny a zawartością frakcji >1 mm w glebach oglejonych.

Warto dodać, że w literaturze nie ma jednoznacznej opinii, co do wpływu zawartości frakcji >1 mm na wzrost drzew, jednak dotychczas nie analizowano tego zagadnienia w podziale na gleby o odmiennych warunkach wilgotnościowych. Przeważa pogląd, że zawartość tej frakcji jest ujemnie skorelowana z potencjalną żyznością siedliska (Pogrebniak 1961; Pritchett 1979; Brożek 2001). Na terenie Finlandii stwierdzono występowanie ujemnej zależności między zawartością najgrubszych frakcji uziarnienia a bonitacją sosny zwyczajnej (Lipas 1985; Tamminen 1990), natomiast w glebach Kotliny Toruńskiej badanych przez Rząsę (1962), domieszka części szkieletowych na ogół wpływała pozytywnie na bonitację tego gatunku.

Zawartość frakcji <0,02 mm jest pozytywnie skorelowana z trofizmem gleby (Brożek 2001). Dotyczy to także analizowanych profili glebowych, gdyż badane gleby drobnoziarniste cechują się większymi zasobami pierwiastków odżywczych dla roślin (Ca, Mg, K) niż gleby piaszczyste (Sewerniak 2011). Na badanym terenie bonitacja sosny na eutroficznych glebach drobnoziarnistych i glebach o uziarnieniu żyźniejszych podgrup piasków jest podobna (ryc. 5). Uzyskane wyniki świadczą o tym, że pod względem wzrostu na wysokość sosna na glebach drobnoziarnistych nie wykorzystuje w pełni zasobności gleby w składniki pokarmowe. Ma to potwierdzenie w wynikach Borowca (1961b) i Dziecińskiego (1963), którzy stwierdzili niewspółmiernie niską, na tle trofizmu gleby, bonitację sosny na glebach gliniastych. Rezultaty prezentowanych badań nawiązują także do wyników badań Bruchwalda i Kliczkowskiej (1997), którzy na siedlisku Lśw i LMśw stwierdzili bonitację sosny podobną jak na siedlisku BMśw. Stanowi to, obok sygnalizowanego w wielu publikacjach aspektu ekologicznego (m.in. Olaczek 1976; Puchalski, Prusinkiewicz

1990), argument ekonomiczny do przebudowy drzewostanów sosnowych porastających gleby drobnoziarniste na – klimaksowe dla nich – drzewostany liściaste.

Na podstawie obserwacji terenowych wydaje się, że na glebach drobnoziarnistych sosna wykorzystuje ich znaczną rezerwę troficzną do wytworzenia grubych gałęzi, co jest niekorzystne z punktu widzenia jakości technicznej drewna. Zagadnienie to nie było jednak szczegółowo analizowane w badanych drzewostanach sosnowych.

Krzywoliniowy charakter zależności między bonitacją drzewostanów sosnowych a zawartością frakcji <0,02 mm w glebach można tłumaczyć niekorzystnymi dla wzrostu sosny cechami fizycznymi gleb gliniastych, co potwierdza opinię Jaworskiego (1995), że dla wzrostu sosny właściwości fizyczne gleby odgrywają kluczową rolę. Materiał drobnoziarnisty cechuje się przeważnie dużą zwięzłością, co utrudnia, a czasami nawet uniemożliwia, rozwój korzeni drzew. Istotne znaczenie oporu materiału drobnoziarnistego dla rozwoju korzeni, a przez to dla wzrostu sosny, sygnalizowali Orlov i Košelkov (1971). Ponadto, w glebach gliniastych korzenie sosny cechują się wyraźnie mniejszą zdrowotnością niż w materiale piaszczystym (Domański, Dzieciński 1955; Dzieciński 1963).

Niekorzystne dla wzrostu drzewostanów sosnowych cechy fizyczne gleb gliniastych wiążą się także z właściwościami wodnymi tych gleb, o czym świadczą badania Dziecińskiego (1963). W glebach piaszczystych badanych przez tego autora zawartość wody w ciągu całego roku nigdy nie spadała poniżej granicy przyswajalności dla roślin, co zdarzało się w porównywanych glebach gliniastych.

W świetle dotychczasowych opracowań (Borowiec 1961b; Dzieciński 1963; Orlov, Košelkov 1971) można stwierdzić, że sosna zwyczajna charakteryzuje się większą dynamiką wzrostu na glebach o zróżnicowanym uziarnieniu niż na glebach o jednorodnej teksturze. Uzyskane wyniki pozwalają na podjęcie próby określenia optymalnego dla bonitacji sosny uziarnienia gleby. Optymalna gleba nieoglejona zawierałaby 10–15% frakcji <0,02 mm (ryc. 5), około 50% frakcji 0,1–1 mm (ryc. 7), a resztę (około 35–40%) stanowiłby pył (0,02–0,1 mm). Gleba taka cechowałaby się więc uziarnieniem piasku gliniastego lekkiego pylistego (Systematyka gleb Polski 1989). Dodatkowo, na podstawie przeprowadzonych badań, można stwierdzić, że gleba ta nie zawierałaby części szkieletowych.

Określenie optymalnego uziarnienia gleby oglejonej jest trudniejsze ze względu na nieistotność zależności analizowanych cech lub ich słabą korelację. Można ostrożnie stwierdzić, że taka gleba mogłaby mieć uziarnienie piasku słabogliniastego.

W kontekście uzyskanych wyników warto wspomnieć, że charakteryzująca się wysoką dynamiką wzrostu i ceniona ze względu na jakość drewna sosna taborska porasta gleby o uziarnieniu piasków słabogliniastych zalegających na piaskach luźnych (Borowiec 1961a). Uzyskane wyniki badań potwierdzają opinię Borowca (1961a), że optimum siedliskowe sosny występuje na glebach o lżejszym uziarnieniu, a nie, jak sugeruje Szymański (1996), na piaskach gliniastych i glinach spiaszczonych.

5. Wnioski

1. Relacje między cechami uziarnienia gleby a bonitacją drzewostanów sosnowych kształtują się zależnie od uwilgotnienia siedliska. Wskazane jest analizowanie wpływu uziarnienia na bonitację sosny z uwzględnieniem wilgotności gleby oraz w kontekście znaczenia (rola troficzna, kształtowanie właściwości fizycznych gleby) poszczególnych frakcji granulometrycznych dla wzrostu sosny.

2. Pozytywny wpływ drobnych frakcji uziarnienia na bonitację sosny na glebach piaszczystych wiąże się bardziej z poprawą warunków wilgotnościowych przez te frakcje (sorpcja wody) niż z ich rolą troficzną. Pozytywna zależność bonitacji sosny od troficznej roli drobnych frakcji uziarnienia ogranicza się do gleb o uziarnieniu piasków luźnych, a co najwyżej także piasków słabogliniastych.

3. Sosna zwyczajna, pod względem wzrostu na wysokość, najlepiej wykorzystuje potencjał troficzny siedliska na glebach o uziarnieniu piasków. Optymalne uziarnienie dla bonitacji sosny na terenie badań stanowi w przypadku gleb nieoglejonych piasek gliniasty lekki pylasty pozbawiony części szkieletowych, a w przypadku gleb oglejonych – piasek słabogliniasty.

4. Na glebach drobnoziarnistych obu analizowanych wariantów uwilgotnienia sosna osiąga bonitację nieadekwatną do potencjału troficznego tych gleb.

5. Badania przeprowadzono na terenie południowo-zachodniej Polski, jednak wydaje się, że ze względu na podobny charakter znaczenia udziału poszczególnych frakcji uziarnienia dla wzrostu sosny (rola troficzna i kształtowanie właściwości fizycznych gleby), wyniki badań można ekstrapolować na cały niżowy obszar środkowej Europy.

Podziękowania

Autor składa podziękowania pracownikom Nadleśnictwa Bolesławiec, Głogów i Olawa za pomoc w realizacji badań.

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

Literatura

- Bednarek R., Michalska M. 1998. Wpływ rolniczego użytkowania na morfologię i właściwości gleb rdzawych w okolicach Bachotka na Pojezierzu Brodnickim. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 460: 487–497.
- Borowiec S. 1958. Zależność właściwości gleb wytworzonych z piasków luźnych oraz bonitacji i runa od głębokości wody gruntowej. *Sylwan*, 2: 27–35.
- Borowiec S. 1961a. Gleby brunatne wylugowane siedlisk sosny taborskiej. *Sylwan*, 5: 31–41.
- Borowiec S. 1961b. Kryteria glebowe jako podstawa ustalenia siedliskowych typów lasu na obszarze o zniekształconym składzie gatunkowym drzewostanów na przykładzie nadleśnictwa Brynek. Szczecin, Szczecińskie Towarzystwo Naukowe, 6, 2.
- Brożek S. 2001. Indeks trofizmu gleb leśnych. *Acta Agraria et Silvestria, ser. Silvestria*, 39: 17–34.
- Bruchwald A., Kliczkowska A. 1997. Kształtowanie się bonitacji dla drzewostanów sosnowych Polski. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, ser. A*, 838: 63–73.
- Bruchwald A., Michalak K., Wróblewski L., Zasada M. 2000. Analiza funkcji wzrostu wysokości dla różnych regionów Polski. w: *Przestrzenne zróżnicowanie wzrostu sosny* (red. Bruchwald A.). SGGW, Warszawa: 84–91. ISBN 83-7274-005-4.
- Czapla J. 1979. Zależność przyrostu i składu chemicznego igliwia w nawożonym młodniku sosnowym od ilości opadów. *Sylwan*, 1: 1–6.
- Domański S., Dzieciółowski W. 1955. Zgnilizny odziomkowe sosny zwyczajnej i ich warunki rozwojowe. Część II. Wpływ warunków glebowych w leśnictwie Dobrygość (nadleśnictwo Rychtal). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 24, 1: 65–93.
- Dzieciółowski W. 1963. Warunki rozwojowe drzewostanów sosnowych na niektórych glebach bielcowych. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych PTPN, WNRiL*, 15, 1: 3–66.
- Jaworski A. 1995. Charakterystyka hodowlana drzew leśnych. Kraków, Gutenberg, ISBN 83-86310-03-0.
- Kuźniar K. 1935. Wpływ mechanicznego składu gleby, poziomu wody węgłnej oraz zawartości próchnicy na wzrost drzewostanów sosnowych w Puszczy Sandomierskiej. *Sylwan*, 53: 141–175.
- Kuźniar K. 1948. Kilka uwag o określaniu zdolności produkcyjnej gleby piaszczystej. *Sylwan*, 92: 33–40.
- Lipas E. 1985. Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. *Folia Forestalia*, 618, Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniale, Helsinki, (in Finnish with English summary).
- Maciaszek W., Zwydak M. 1996a. Przekształcanie górskich gleb porolnych przez przedplony sosnowe. Część I. Przemiany morfologii profilu i właściwości fizycznych gleb. *Acta Agraria et Silvestria, ser. Silvestria*, 34: 67–80.

- Maciaszek W., Zwydak M. 1996b. Przekształcanie górskich gleb porolnych przez przedplony sosnowe. Część II. Przemiany właściwości chemicznych gleb. *Acta Agraria et Silvicultura, ser. Silvestria*, 34: 81–92.
- Michniewicz M. 1977. Fizjologia organizmu – wzrost i rozwój. w: Fizjologia roślin (red. Zurzycki J., Michniewicz M.), Warszawa, PWRiL: 474–567.
- Obmiński Z. 1970. Zarys ekologii. w: Sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* L. (red. Białobok S.), Warszawa-Poznań, PWN: 152–231.
- Olaczek R. 1976. Zmiany w szacie roślinnej Polski od połowy XIX wieku do lat bieżących. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 177: 369–408.
- Orlov A., Košelkov S. 1971: Počvonnaja ekologija sosny. Moskva, Izdatelstvo Nauka.
- Pogrebnik P. 1961. Podstawy typologii leśnej. Warszawa, PWRiL.
- Prevosto B., Dambrine E., Moares C., Curt T. 2004. Effect of volcanic ash and former agricultural use on the soil and vegetation of naturally regenerated woodlands in the Massif Central, France. *Catena*, 56: 239–261.
- Pritchett W. L. 1979. Properties and management of forest soils. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, John Wiley & Sons. ISBN 0-471-03718-4.
- Przybylski T. 1993. Autekologia i synekologia. w: Biologia sosny zwyczajnej (red. Białobok S., Boratyński A., Bugała W.). Poznań-Kórnik, Sorus: 255–281. ISBN 83-85599-21-5.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1990. Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. Warszawa, PWRiL. ISBN 83-09-01423-6.
- Rząsa S. 1962. Badania terenowe i laboratoryjne nad produktywnością gleb leśnych wytworzonych z piasków luźnych w Nadleśnictwie Osiek. *Folia Forestalia Polonica, ser. A*, 1: 83–171.
- Sewerniak P. 2008. Wstępne wyniki badań nad wpływem uziarnienia gleby na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. *Roczniki Gleboznawcze*, 59, 3/4: 255–261.
- Sewerniak P. 2011. Zróżnicowanie wybranych właściwości gleb drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. *Roczniki Gleboznawcze*, 62, 1: 142–151.
- Systematyka gleb Polski. 1989. *Roczniki Gleboznawcze*, 40, 3/4: 1–62.
- Szwagrzyk J., Szewczyk J. 2002. Wpływ trofizmu i wilgotności siedliska na wzrost i pokrój sosien i dębów w Puszczy Niepołomickiej. *Sylwan*, 12: 23–38.
- Szymański S. 1996. Ekologia sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). w: Mat. na sesję naukową „Sosna w Polsce – stan, problemy, perspektywy”, Łągow Lubuski 29–31.05.1996. Warszawa, Fundacja Rozwój SGGW: 5–9. ISBN 83-86980-97-5.
- Tamminen P. 1993. Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South Finland using site properties. *Folia Forestalia* 819, Metsäntutkimuslaitos. Helsinki, Institutum Forestale Fenniale, (in Finnish with English summary).

Materiały źródłowe

- Operat glebowo-siedliskowy Nadleśnictwa Bolesławiec. 2004. Biuro Usług Ekologicznych i Urzędzeniowo-Leśnych „OPERAT” s. c. (maszynopis).
- Operat glebowo-siedliskowy Nadleśnictwa Głogów. 2005. Biuro Usług Ekologicznych i Urzędzeniowo-Leśnych „OPERAT” s. c. (maszynopis).
- Operat glebowo-siedliskowy Nadleśnictwa Oława. 2003. Biuro Usług Ekologicznych i Urzędzeniowo-Leśnych „OPERAT” s. c. (maszynopis).