

WOJCIECH KĘDZIORA, ROBERT TOMUSIAK, TOMASZ BORECKI

Zmienność wskaźnika bonitacji siedlisk leśnych Polski dla sosny zwyczajnej

Diversity of site index of forest sites in Poland for Scots pine

ABSTRACT

Kędziora W., Tomusiak R., Borecki T. 2021. Zmienność wskaźnika bonitacji siedlisk leśnych Polski dla sosny zwyczajnej. Sylwan 165 (2): 117-125. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2020125>.

In Polish forest conditions Scots pine deserves special recognition. This statement is based on the fact that because of the climate and soil properties it dominates Polish forests and is economically the most important species. A better understanding of factors affecting the growth of Scots pine will contribute to enriching our basic knowledge about this species, and thus will allow for more precise forest management. The objective of the study was to examine the relationship between growth conditions as well as stand characteristics and the Scots pine site index (SI) in Poland. Differentiation of site index from age was shown – the older the tree stands, the lower the value of the SI. At the same time, the impact of the site conditions on the SI was observed, the highest average values of the SI were observed in the mixed fresh forest, and the lowest in the coniferous swamp forest. Kruskal-Wallis χ^2 equal to 1313.1 for natural-forest regions and 2887.1 for forest site types, resulting in p-values lower than 0.001 for all of them. Therefore, Wilcoxon test was performed and showed no statistically significant difference between forest-natural regions I and II, as well as the among poorest and among the richest forest sites.

KEY WORDS

Pinus sylvestris, site index, variability

ADDRESSES

Wojciech Kędziora – e-mail: wojciech_kedziora@sggw.edu.pl

Robert Tomusiak – e-mail: robert_tomusiak@sggw.edu.pl

Tomasz Borecki – e-mail: tomasz_borecki@sggw.edu.pl

Katedra Urządzania Lasu, Dendrometrii i Ekonomiki Leśnictwa, SGGW w Warszawie;
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Wstęp

Oszacowanie możliwości produkcyjnych siedliska jest jednym z podstawowych elementów zmierzających do pełnego wykorzystania potencjału w ramach trwale zrównoważonej gospodarki leśnej [Skovsgaard, Vanclay 2008, 2013]. W praktyce leśnej łatwe, szybkie i precyzyjne określenie tego potencjału jest niezbędne dla celów hodowli lasu, planowania gospodarczego i regulacji użytkowania zarówno w skali lokalnej, jak i regionalnej [Pretzsch i in. 2008]. W skali lokalnej ważnym zagadnieniem dotyczącym tej problematyki jest próba scharakteryzowania bonitacji siedlisk leśnych. Bonitacja jest miarą potencjału siedliska, na którym wzrasta las, i w zależności od wybranego modelu wyrażana jest najczęściej jako średnia wysokość drzew danego gatunku w określonym wieku [Bruchwald, Kliczkowska 1997; Bruchwald i in. 1999; Socha i in. 2017b]. Określenie

bonitacji dla gatunku panującego w drzewostanie pozwala scharakteryzować potencjał wzrostowy siedliska [Chen, Klinka 2000; Kliczkowska, Bruchwald 2000; Socha 2005], aczkolwiek należy zwrócić uwagę na obserwowany w badaniach trend wiekowy [Elfving, Tegnhammar 1996; Bontemps i in. 2013]. Modelowanie tego potencjału przeprowadza się najczęściej dla jednego gatunku drzewa. Z badań Kędziory i in. [2020] wynika, że dla podstawowego gatunku lasotwórczego w Polsce, tj. sosny, brakuje wystarczających danych dotyczących zmienności bonitacji.

Celem pracy było zbadanie zależności między warunkami wzrostu i cechami taksacyjnymi a wskaźnikiem bonitacji siedlisk leśnych dla sosny pospolitej w Polsce, a także analiza jej zróżnicowania dla 6 nizinnych krain przyrodniczo-leśnych.

Material i metody

W ramach Wielkoobszarowej Inwentaryzacji Stanu Lasów w Polsce (WISL) rokrocznie dokonuje się pomiaru na 20% powierzchni próbnych. Na każdej z nich mierzy się lokalizację i grubość wszystkich drzew, których pierśnica przekracza wartość graniczną 7 cm. Następnie spośród pomierzonych drzew dokonuje się wyboru drzew reprezentatywnych, położonych najbliżej środka powierzchni, dla każdego gatunku oddzielnie. W zależności od różnorodności składu gatunkowego mierzy się wysokość jednego lub dwóch drzew spośród wybranych. Wiek badanego drzewostanu określany jest na podstawie opisów taksacyjnych lub, w przypadku ich braku albo stwierdzonych niezgodności w miejscu pomiaru, na podstawie szacunku taksatora.

Przeprowadzone w niniejszej pracy analizy opierały się na materiale empirycznym pochodzącym z 15 518 podpowierzchni próbnych założonych w ramach WISL na terenie całej Polski (tab. 1). W pracy wykorzystano powierzchnie próbne pochodzące z 6 krain przyrodniczo-leśnych (od I do VI). Nie analizowano wskaźnika bonitacji na siedliskach wyżynnych. Wyłączenie z analizy VII i VIII krainy przyrodniczo-leśnej wynikało z niewielkiej liczby powierzchni próbnych założonych w drzewostanach sosnowych, jak również z odmiennych warunków wzrostu w porównaniu z terenami nizinnymi w krainach od I do VI. Z materiału badawczego wyłączono też powierzchnie próbne założone na siedliskach wyżynnych w krainach V oraz VI. Łącznie usunięto w ten sposób 525 powierzchni próbnych z panującą na nich sosną. Po wyłączeniu z analizy powierzchni próbnych z krain VII i VIII oraz siedlisk wyżynnych w krainach V oraz VI, a także powierzchni próbnych WISL, na których sosna nie jest gatunkiem panującym, z łącznej liczby 28 739 powierzchni próbnych wykorzystano 15 518. Bonitacja wzrostowa definiowana była jako średnia wysokość 100 najgrubszych drzew na hektarze w wieku bazowym 100 lat [Assmann 1968; Bruchwald 1979; Socha, Orzeł 2013].

Bazując na danych pochodzących z bazy WISL, wyliczono wskaźnik bonitacji drzewostanów sosnowych, czyli wysokość górną drzewostanu w wieku 100 lat, na podstawie średniej wysokości

Tabela 1.

Średnia (M) i odchylenie standardowe (SD) wieku (W [lata]) i wysokości (H [m]) drzewostanów sosnowych (n) w krainach przyrodniczo-leśnych (I-IV)

Mean (M) and standard deviation (SD) of age (W [years]) and height (H [m]) of Scots pine stands (n) in natural-forest regions (I-VI)

	n	W_M	W_{SD}	H_M	H_{SD}
I	1754	64,6	31,0	21,2	6,17
II	1496	68,0	31,6	22,9	6,33
III	6062	61,0	26,9	19,0	5,83
IV	1891	60,7	24,9	19,5	5,51
V	1527	61,2	28,8	20,1	5,91
VI	2788	64,2	26,0	20,3	5,64

drzew na powierzchni próbnej. Został on obliczony jako średnia pomiarów wysokości sosny pospolitej, zgodnie z założeniami WISL [Michalak i in. 2004, 2010]. Do obliczenia bonitacji skorzystano z równania:

$$SI = H \frac{100^{b_1} \left\langle T^{b_1} \left\{ H - b_3 + \left[(H - b_3)^2 + \frac{2b_2 H}{T^{b_1}} \right]^{\frac{1}{2}} \right\} + b_2 \right\rangle}{T^{b_1} \left\langle 100^{b_1} \left\{ H - b_3 + \left[(H - b_3)^2 + \frac{2b_2 H}{T^{b_1}} \right]^{\frac{1}{2}} \right\} + b_2 \right\rangle}$$

gdzie:

- SI – wskaźnik bonitacji,
- H – średnia wysokość drzewostanu,
- T – wiek drzewostanu,
- b_1, b_2, b_3 – współczynniki równania.

Wzór został opracowany w ramach tematu badawczego zrealizowanego na zlecenie PGL LP [Socha i in. 2017a]. Zastosowano jego odmianę z podziałem na krainy przyrodniczo-leśne. Podjęto próbę opisanego statystycznego wskaźnika bonitacji w relacji do cech drzewostanowych i przestrzennych. Opracowano statystyki opisowe wskaźnika bonitacji drzewostanów sosnowych dla wszystkich podpowierzchni próbnych łącznie (układ ogólny) oraz w podziale na grupy: „krainy przyrodniczo-leśne”, „klasy wieku” i „typ siedliskowy lasu”. W badaniach nie uwzględniono siedlisk reprezentowanych przez mniej niż 15 spostrzeżeń. Istotność różnic między medianami grup w każdym analizowanym przypadku zbadano przy użyciu nieparametrycznego testu Kruskala-Wallis [Hollander i in. 2013]. W przypadku jego pozytywnego wyniku użyto testu porównań dla par Wilcoxon (Manna-Whitneya) z korekcją BH [Bauer 1972].

Wyniki

Wartość wskaźnika bonitacji zawierała się w przedziale od 7,1 do 44,5 m, ze średnią wartością na poziomie 28,0 m i medianą 28,1 m. Mediana i średnia o zbliżonej wielkości informowały o niewielkiej asymetrii rozkładu. Rozstęp wyniósł 37,4 m, a wskaźnik rozstępu kwartyłowego 6,5 m. Odchylenie standardowe wyniosło 4,6 m, co pozwoliło stwierdzić, że wartości typowe wskaźnika bonitacji (około 68,3% obserwacji) zawierały się w przedziale od 23,4 do 32,6 m. Ujemna skośność na poziomie $-0,19$ wskazywała na niewielką lewostronną asymetrię rozkładu, a wartość kurtozy bliska zeru (0,04) na rozkład mezokurtyczny, zbliżony do normalnego.

Liczba powierzchni próbnych zlokalizowanych w poszczególnych krainach przyrodniczo-leśnych była zróżnicowana: od 1496 w Krainie Mazursko-Podlaskiej do ponad 6000 w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej (tab. 2). Wiązało się to z powierzchnią drzewostanów sosnowych w tych krainach. We wszystkich krainach liczba analizowanych powierzchni próbnych przekroczyła 1000. Zaobserwowano podobieństwo w zmienności średniej i mediany: zmniejszenie jednej wartości wiązało się ze zmniejszeniem drugiej. Średnia zmieniała się w zakresie od 26,6 do 30,3 m, a mediana od 26,7 do 30,9 m. Wartość rozstępu zmniejszała się od 34,8 m w krainie I do 24,7 m w krainie V, a wartość rozstępu kwartyłowego od 7,6 m w krainie I do 4,7 m w krainie II. Skośność przyjmowała wyłącznie ujemne wartości, w zakresie od $-0,10$ do $-0,91$. Kurtoza wahała się od $-0,35$ do 1,95. Mediana wskaźnika bonitacji różniła się istotnie w krainach przyrodniczo-leśnych ($\chi^2=1313$, $p<0,0001$), z wyjątkiem krain I oraz II.

Liczba powierzchni próbnych zlokalizowanych w drzewostanach poszczególnych klas wieku różniła się i mieściła się w granicach od 845 w I klasie do 4400 w III klasie wieku (tab. 3). Drzewostany młode charakteryzowały się większymi wartościami wskaźnika bonitacji, zarówno w przypadku miar klasycznych, jak i pozycyjnych. Zmniejszenie się wraz z wiekiem dotyczyło wartości minimalnej, pierwszego kwartylu, mediany i średniej, trzeciego kwartylu oraz do pewnego stopnia wartości maksymalnej. Mediana wskaźnika bonitacji różniła się istotnie w klasach wieku ($\chi^2=3635$, $p<0,0001$).

Powierzchnie próbne były najczęściej zlokalizowane w drzewostanach wzrastających na typach siedliskowych lasu bór świeży (Bśw), bór mieszany świeży (BMśw) oraz las mieszany świeży (LMśw) – łącznie było ich 13 672 (88%) (tab. 4). Wskaźnik bonitacji sosny osiągał najmniejsze wartości minimalne w drzewostanach na siedliskach borowych (bór suchy, bór świeży oraz bór bagienny), natomiast największe wartości minimalne na siedliskach lasowych. Wartości średniej i mediany były ze sobą mocno powiązane i zmieniały się w podobny sposób. Większe zmiany można było zaobserwować w przypadku wartości maksymalnej, która dla każdej grupy żyźności przyjmowała największe wartości w świeżym wariacie siedliska. Wartość odchylenia standardowego w grupach o dużej liczebności utrzymywała się na stałym poziomie, a zwiększała wartość dla mało licznych grup. Wskaźniki skośności były dość zmienne: od $-0,82$ w przypadku boru wilgotnego (Bw) do $0,57$ w przypadku lasu mieszanego bagiennego (LMb). Kurtoza wahała się od $-1,39$ (Bb) do $1,24$ (Bw).

Mediana wskaźnika bonitacji różniła się istotnie na typach siedliskowych lasu ($\chi^2=2887$, $p<0,0001$). Nieistotne statystycznie różnice pojawiły się w grupie siedlisk borowych pomiędzy borem suchym (Bs) i bagiennym (Bb). Jednocześnie bór suchy nie różnił się w istotny statystycz-

Tabela 2.

Minimalna (Min) i maksymalna (Max) wartość, mediana (Me), średnia (M) i odchylenie standardowe (SD) wskaźnika bonitacji w krainach przyrodniczo-leśnych (I-VI)

Minimum (Min), maximum (Max), median (Me), mean (M) and standard deviation (SD) of site index in natural-forest regions

	n	Min	Max	Me	M	SD
I	1754	7,4	42,2	30,9	30,2	5,5
II	1496	9,5	38,5	30,8	30,3	3,6
III	6062	9,7	44,5	27,9	27,8	4,9
IV	1891	9,2	36,7	27,0	26,9	3,7
V	1527	13,4	38,1	29,0	28,4	4,2
VI	2788	7,1	37,9	26,7	26,6	3,8

Tabela 3.

Minimalna (Min) i maksymalna (Max) wartość, mediana (Me), średnia (M) i odchylenie standardowe (SD) wskaźnika bonitacji w klasach wieku

Minimum (Min), maximum (Max), median (Me), mean (M) and standard deviation (SD) of site index in age classes

	n	Min	Max	Me	M	SD
I	845	17,7	44,5	32,0	31,9	3,7
II	2191	15,5	41,8	31,0	30,6	4,2
III	4400	11,4	42,1	29,8	29,4	4,4
IV	3556	7,5	38,0	27,5	27,3	3,9
V	2847	7,4	38,9	26,2	26,0	3,8
≥VI	1679	7,1	35,6	24,4	24,1	4,0

Tabela 4.

Minimalna (Min) i maksymalna (Max) wartość, mediana (Me), średnia (M) i odchylenie standardowe (SD) wskaźnika bonitacji w typach siedliskowych lasu

Minimum (Min), maximum (Max), median (Me), mean (M) and standard deviation (SD) of site index in forest sites

	n	Min	Max	Me	M	SD
Bs	56	7,5	33,7	20,3	20,3	6,0
Bśw	5477	7,2	39,8	25,5	25,6	4,3
Bw	168	10,3	35,5	26,9	26,5	4,5
Bb	22	7,5	31,0	18,0	18,3	7,4
BMśw	5466	12,2	44,5	29,5	29,3	4,1
BMw	774	16,5	40,9	28,7	28,7	3,9
BMb	48	14,2	38,1	24,3	24,6	6,0
LMśw	2729	16,5	42,2	30,1	30,2	4,2
LMw	285	18,6	40,9	29,6	29,5	4,3
LMb	15	19,6	33,7	23,9	25,2	4,2
Lśw	429	14,8	41,0	29,8	29,8	4,0
Lw	29	19,1	37,2	28,2	29,3	4,4

nie sposób od boru mieszanego bagiennego (BMb) oraz lasu mieszanego bagiennego (LMb). Podobnie nie różniły się między sobą bór świeży (Bśw), bór mieszany bagienny i las mieszany bagienny. Bór wilgotny (Bw) nie różnił się jedynie od lasu mieszanego bagiennego (LMb), natomiast bór mieszany świeży (BMśw) od siedlisk wilgotnych lasów mieszanych (LMw) i lasów (Lw). Bór mieszany wilgotny (BMw) i las wilgotny nie różniły się w sposób istotny statystycznie, podobnie jak bór mieszany bagienny i las mieszany bagienny. Las mieszany świeży (LMśw) tworzył grupę jednorodną z lasem świeżym (Lśw) i lasem wilgotnym, tak jak las mieszany wilgotny. Las świeży nie wykazywał istotnych statystycznie różnic z lasem wilgotnym. Jedyne dwie grupy żyźności, wewnątrz których wykazano braki różnic istotnych statystycznie, to bory (Bs-Bb) oraz lasy (Lśw-Lw). W kolejnych grupach jedyne różnice występują między grupami.

Dyskusja

Historia badań dotyczących bonitowania gatunków leśnych sięga XVIII wieku. Wielu prekursorów tych badań słusznie uważało, że określenie jakości siedliska jest bardzo ważne z punktu widzenia racjonalnej gospodarki leśnej [Kędziora i in. 2020]. W ramach niniejszej pracy dokonano charakterystyki wskaźnika bonitacji. Przeciętna wielkość tej cechy dla reprezentowanych w niniejszych badaniach lasów Polski wynosiła 28,0 m, natomiast mediana kształtowała się na zbliżonym poziomie 28,1 m. Odpowiada to I klasie bonitacji według Schwappacha [Szymkiewicz 1961]. Wskaźnik bonitacji na badanych powierzchniach próbnych przyjmował wartości z szerokiego zakresu: od 7,1 do 44,5 m. Wartości odstające wskaźnika bonitacji (<15,3 m) występowały najczęściej na słabszych siedliskach (borowych – B), w starszych klasach wieku (IV-VI). Wartości odstające wskaźnika bonitacji, powyżej 41,0 m, wystąpiły głównie na terenach zarządzanych przez PGL LP, w klasach wieku od I do III, głównie na terenie krain przyrodniczo-leśnych I oraz III na siedliskach borów mieszanych świeżych (BMśw) i lasów mieszanych świeżych (LMśw).

Analiza wskaźnika bonitacji w krainach przyrodniczo-leśnych wykazała, że zmieniał się on w zależności od miejsca wzrostu, osiągając wartości największe w krainach I oraz II (odpowiednio 30,2 i 30,3 m średnio), najmniejsze zaś w krainie VI (26,6 m). Wartości mediany prezentowały ten sam trend. Wykazano istotne różnice w przeciętnej wielkości wskaźnika bonitacji pomiędzy

krainami – w skrajnym wypadku wynoszą one prawie 4 m, co stanowi zakres jednej klasy bonitacji określanej według Schwappacha dla stuletnich drzewostanów sosnowych. Podobne wyniki uzyskano w badaniach Bruchwalda i Kliczkowskiej [2000], gdzie największa wartość – 29 m – została uzyskana dla krainy II, najmniejsza zaś – 23 m – dla krainy V. W cytowanych badaniach w krainie VI uzyskano większe wartości wskaźnika bonitacji niż w krainie III. Różnice te mogą wynikać ze zbyt skromnego materiału badawczego lub użycia innego modelu bonitacyjnego.

Duża ujemna zależność występowała między wskaźnikiem bonitacji a klasą wieku drzewostanu. Średnie wielkości wskaźnika bonitacji dla wszystkich powierzchni próbnych wyniosły łącznie od 24 m w VI i starszych klasach wieku do 32 m w I klasie wieku. Podobne zależności, czyli zróżnicowanie bonitacji z wiekiem, uzyskali inni badacze: w Skandynawii [Elfving i in. 1996; Elfving, Tegnhammar 1996], Niemczech [Nothdurft i in. 2012; Yue i in. 2014], Polsce [Socha i in. 2016; Tymińska-Czabańska i in. 2021] czy Estonii [Kiviste 1999] – nie tylko dla sosny pospolitej, ale również dla pozostałych ważnych gospodarczo gatunków. Zmiany wskaźnika bonitacji w drzewostanach dębowych w Niemczech [Nothdurft i in. 2012] wskazywały na wzrost jej wartości o 2,1 m na każde 20 lat. W Estonii [Kiviste 1999] zwiększenie wskaźnika bonitacji wyniosło około 2 m w okresie ostatnich 40 lat. Ocenia się, że mogło na to wpływać prowadzenie prac melioracyjnych. Eriksson i Karlsson [1996] powiązali największe zmiany bonitacji ze zwiększonym dopływem azotu do środowiska w południowych regionach badanego obszaru. Podobne obserwacje innych badaczy łączone są ze zmianami warunków siedliskowych [Elfving, Tegnhammar 1996; Kiviste 1999; Bravo-Oviedo i in. 2010; Yue i in. 2014], które wydają się być powiązane ze wzrostem ilości azotu w glebie oraz koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze [Socha 2008; Sharma i in. 2012]. Niektórzy badacze podają jeszcze kilka możliwych czynników: zmiany temperatury, poprawę genotypów hodowanych drzew czy wpływ ulepszonych działań hodowlanych [Mensah i in. 2021]. Jednocześnie należy zauważyć, że starsze drzewostany wznoszą się na najbardziej ubogich glebach, co może również wpływać na ujemną korelację wskaźnika bonitacji z wiekiem drzewostanu [Tymińska-Czabańska i in. 2021]. Co więcej, zachodzące zmiany nie tylko wpływają na zwiększanie się wartości wskaźnika bonitacji (nawet o 60% na koniec XX wieku [Bontemps i in. 2013]), ale też zmiany nie są liniowe [Sharma i in. 2012] i „przyspieszają” na przełomie milenium [Mensah i in. 2021]. Wpływ na ujawnienie się trendu wiekowego przy badaniach nad wskaźnikiem bonitacji mogą mieć trzy elementy: (I) lokalne odchylenia od przyjętych modeli wzrostu, (II) nieodpowiednie metody przyjęte w czasie budowania modeli bonitacyjnych lub (III) zmiany warunków siedliskowych [Socha i in. 2016]. Wydaje się że w przypadku niniejszej pracy, w której wykorzystano najnowsze modele bonitacyjne [Socha i in. 2017a], oparte o położenie drzewostanów w krainach przyrodniczo-leśnych, należałoby założyć, że za większą część tej zmienności odpowiadają właśnie zmiany siedliskowe. Niektórzy autorzy sugerują, że powtarzający się w wielu pracach nad bonitacją trend wiekowy świadczy o słabości tej cechy w charakteryzowaniu warunków wzrostu drzewostanów [Bontemps, Bouriaud 2014]. Obserwowane zmiany wydają się być podstawą do opracowania założeń polityk adaptacyjnych wobec zmieniającego się otoczenia [Albert, Schmidt 2010].

Wielkość wskaźnika bonitacji okazała się powiązana również z żyznością siedlisk. Najmniejszymi wartościami wskaźnika bonitacji charakteryzowały się siedliska borowe (25,5 m), największymi zaś lasy mieszane (30,1 m). W pracy zaobserwowano też wpływ wilgotności siedliska na wielkość wskaźnika bonitacji drzewostanów sosnowych. Największymi wartościami tej cechy charakteryzowały się siedliska świeże i wilgotne (średnio 28,0 i 28,6 m), najmniejszymi siedliska suche (średnio 20,3 m) oraz bagienne (średnio 23,8 m). W przypadku typów siedliskowych lasu zaobserwować można było rosnącą wartość wskaźnika bonitacji wraz ze wzrostem żyzności, a wew-

nątrż tych grup największe wartości osiągał on dla siedlisk świeżych i wilgotnych. W grupie siedlisk najmniej żyznych (B) można było zaobserwować, że bór świeży charakteryzował się mniejszą średnią wartością wskaźnika bonitacji od boru wilgotnego (25,6 vs. 26,5 m). W przypadku siedlisk bardziej żyznych sytuacja była odwrotna – siedliska świeże wykazywały wyższe wartości wskaźnika bonitacji niż wilgotne: na borze mieszanym świeżym 29,3 m, a na borze mieszanym wilgotnym 28,7 m; na lesie mieszanym świeżym 30,2 m, a na lesie mieszanym wilgotnym 29,5 m; na lesie świeżym 29,8 m, a na lesie mieszanym wilgotnym 29,3 m. W pracy Sewerniaka [2013], bazując na modelu Bruchwalda i Kliczkowskiej [2000], uzyskano dla siedlisk świeżych w gradiencie troficznym Bśw – BMśw – LMśw odpowiednio: 19,4, 23,1 i 25,3 m. Oznacza to niższe wartości samej bonitacji (należy zaznaczyć, że w tej pracy wykorzystano materiał badawczy pochodzący z drzewostanów sosnowych południowo-zachodniej Polski oraz o innym modelu bonitacyjnym), ale podobny trend wzrostu jej wartości. W badaniach Sewerniaka [2013], podobnie jak w niniejszej pracy, bonitacja lepiej różnicowała siedliska świeże niż wilgotne i była lepszym wskaźnikiem do rozróżniania siedlisk relatywnie ubogich niż żyznych.

Stosowane dziś w taksacji lasu klasy bonitacji dla sosny według Schwappacha (modyfikacja Szymkiewicza) często nie odzwierciedlają rzeczywistości. Z przeprowadzonych badań wynika, że istnieją drzewostany osiągające wysokość znacznie powyżej 34 m w wieku 100 lat, co odpowiada górnej granicy klasy bonitacji Ia dla sosny według Szymkiewicza [1961].

Możliwości prowadzenia badań bazujących na wiarygodnym i obszernym materiale empirycznym dały wielkoobszarowe inwentaryzacje lasu, rozpoczęte pod koniec XIX wieku, kiedy to w sposób szczególny rozwinęły się one w krajach skandynawskich [Zöhner 1980]. Dynamiczny rozwój metod inwentaryzacji lasu nastąpił w dobie rozwoju technik komputerowych oraz zdobywania i gromadzenia informacji. Obecnie coraz powszechniej wykorzystywane są w leśnictwie inwentaryzacje wielkopowierzchniowe prowadzone metodami statystycznymi przy wspomaganiu teledetekcji i innych technik [Fridman i in. 2014; Gschwantner i in. 2016]. Dane z tych inwentaryzacji dają bardzo szerokie możliwości zastosowania praktycznego, ale również wykorzystania dla potrzeb badawczych [McRoberts, Tomppo 2007; Fattorini 2015; Socha i in. 2017b]. Te cyklicznie zbierane informacje cechuje wysoka dokładność, a metodycznie prowadzona kontrola określonej liczby powierzchni eliminuje możliwość popełniania błędów systematycznych i pomiarowych [Michalak i in. 2004, 2010]. Biorąc pod uwagę, że w metodyce inwentaryzacji WISL istnieją pewnie nieścisłości i braki, za zasadny uważa się postulat poszerzenia zakresu pomiarów na powierzchniach próbnych. Bardzo ważna jest dokładna ocena wieku każdego drzewa na powierzchni próbnej oraz poszerzenie informacji dotyczących gleby, w szczególności w zakresie porolności i wariantu uwilgotnienia. Znajomość tych informacji poszerzyłaby możliwość prowadzenia badań i wyciągania bardziej precyzyjnych wniosków mających wpływ na decyzje podejmowane w ekosystemach leśnych.

Podsumowanie

Badania przeprowadzone na podstawie 15 518 powierzchni próbnych założonych na potrzeby Wielkoobszarowej Inwentaryzacji Stanu Lasów w Polsce dają możliwość analizowania bonitacji w zależności od wielu czynników. Pozwalają one na stwierdzenie, że istnieje zróżnicowanie wartości wskaźnika bonitacji w krainach przyrodniczo-leśnych (największe wartości osiągnęły drzewostany w krainach II oraz I, najmniejsze zaś w krainie VI). Wykazano, że istnieje zależność bonitacji od wieku: im starsze drzewostany, tym niższa wartość wskaźnika bonitacji. Jednocześnie zaobserwowano wpływ siedliska na wskaźnik bonitacji. Zależność ta jest obserwowana tylko do pewnych granic żyzności i wilgotności – wzrost żyzności powyżej lasu mieszanego lub też wilgotności powyżej

stopnia „wilgotny” nie powodował dalszego zwiększania się wskaźnika bonitacji. Największe średnie wartości wskaźnika bonitacji zaobserwowano na siedlisku lasu mieszanego świeżego, najmniejsze zaś na borze bagiennym. Analizując wskaźnik bonitacji na poszczególnych siedliskach, zauważono znaczne zróżnicowanie jego wartości.

Literatura

- Albert M., Schmidt M. 2010. Climate-sensitive modelling of site-productivity relationships for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forest Ecology and Management* 259 (4): 739-749. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.04.039>.
- Assmann E. 1968. Nauka o produktywności lasu. PWRiL, Warszawa.
- Bauer D. F. 1972. Constructing Confidence Sets Using Rank Statistics. *Journal of the American Statistical Association* 67 (339): 687-690. DOI: <https://doi.org/10.1080/01621459.1972.10481279>.
- Bontemps J., Bouriaud O. 2014. Predictive approaches to forest site productivity: recent trends, challenges and future perspectives. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 87 (1): 109-128. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpt034>.
- Bontemps J. D., Hervé J. C., Dhôte J. F. 2013. Long-Term Changes in Forest Productivity: A Consistent Assessment in Even-Aged Stands. *Forest Sciences* 55 (6): 549-564.
- Bravo-Oviedo A., Gallardo-Andres C., del Río M., Montero G. 2010. Regional changes of *Pinus pinaster* site index in Spain using a climate-based dominant height model. *Canadian Journal of Forest Research* 40 (10): 2036-2048. DOI: <https://doi.org/10.1139/X10-143>.
- Bruchwald A. 1979. Zmiana z wiekiem wysokości górnej w drzewostanach sosnowych. *Sylvan* 123 (2): 1-11.
- Bruchwald A., Dudek A., Michalak K., Rymer-Dudzinska T., Wroblewski L., Zasada M. 1999. Model wzrostu dla drzewostanów świerkowych. *Sylvan* 143 (1): 19-31.
- Bruchwald A., Kliczkowska A. 1997. Kształtowanie się bonitacji dla drzewostanów sosnowych Polski. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa* 838: 63-73.
- Bruchwald A., Kliczkowska A. 2000. Kształtowanie się bonitacji dla drzewostanów sosnowych Polski. W: Bruchwald A., Jakubczyk H. [red.]. *Przestrzenne zróżnicowanie wzrostu sosny*. Fundacja Rozwój Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa.
- Chen H. Y. H., Klinka K. 2000. Height Growth Models for High-Elevation Subalpine Fir, Engelmann Spruce, and Lodgepole Pine in British Columbia. *Western Journal of Applied Forestry* 15 (2): 62-69. DOI: <https://doi.org/10.1093/wjaf/15.2.62>.
- Elfving B., Tegnhammar L. 1996. Trends of tree growth in Swedish forests 1953-1992: An analysis based on sample trees from the national forest inventory. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827589609382909>.
- Elfving B., Tegnhammar L., Tveite B. 1996. *Studies on Growth Trends of Forests in Sweden and Norway*. W: *Growth Trends in European Forests*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-61178-0_6.
- Eriksson H., Karlsson K. 1996. Long-Term Changes in Site Index in Growth and Yield Experiments with Norway Spruce (*Picea abies* [L.] Karst) and Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Sweden. W: *Growth Trends in European Forests*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-61178-0_8.
- Fattorini L. 2015. Design-based methodological advances to support national forest inventories: a review of recent proposals. *iForest – Biogeosciences and Forestry* 8 (1): 6-11. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifer1239-007>.
- Fridman J., Holm S., Nilsson M., Nilsson P., Ringvall A., Ståhl G. 2014. Adapting National Forest Inventories to changing requirements – the case of the Swedish National Forest Inventory at the turn of the 20th century. *Silva Fennica* 48 (3). DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.1095>.
- Gschwantner T., Lanz A., Vidal C., Bosela M., Di Cosmo L., Fridman J., Gasparini P., Kuliešis A., Tomter S., Schadauer K. 2016. Comparison of methods used in European National Forest Inventories for the estimation of volume increment: towards harmonisation. *Annals of Forest Science* 73 (4): 807-821. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0554-5>.
- Hollander M., Wolfe D. A., Chicken E. 2013. *Nonparametric statistical methods*. John Wiley & Sons, New Jersey. 752.
- Kędziora W., Tomusiak R., Borecki T. 2020. Site index research: a literature review. *Forest Research Papers* 81 (2): 91-98.
- Kiviste A. 1999. Site index change in the 1950s-1990s according to Estonian forest inventory data. W: Karjalainen T., Spiecker H., Laroussinie O. [red.]. *Causes and consequences of accelerating tree growth in Europe*. EFI. 87-100.
- Kliczkowska A., Bruchwald A. 2000. Kształtowanie się bonitacji drzewostanów świerkowych na terenach górskich. *Sylvan* 144 (9): 5-15.

- McRoberts R., Tomppo E. 2007. Remote sensing support for national forest inventories. *Remote Sensing of Environment* 110 (4): 412-419. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.034>
- Mensah A. A., Holmström E., Petersson H., Nyström K., Mason E. G., Nilsson U. 2021. The millennium shift: Investigating the relationship between environment and growth trends of Norway spruce and Scots pine in northern Europe. *Forest Ecology and Management* 481: 118727. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118727>.
- Michalak R., Broda J., Głaz J., Jabłoński M., Mionskowski M., Lech P., Smykała J., Wawrzoniak J., Zajęczkowski S. 2004. Instrukcja wykonywania wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu. Warszawa.
- Michalak R., Broda J., Głaz J., Jabłoński M., Mionskowski M., Lech P., Smykała J., Wawrzoniak J., Zajęczkowski S. 2010. Instrukcja wykonywania wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu. Warszawa.
- Nothdurft A., Wolf T., Ringeler A., Böhner J., Saborowski J. 2012. Spatio-temporal prediction of site index based on forest inventories and climate change scenarios. *Forest Ecology and Management* 279: 97-111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.05.018>.
- Pretzsch H., Grote R., Reineking B., Rotzer Th., Seifert St. 2008. Models for Forest Ecosystem Management: A European Perspective. *Annals of Botany* 101: 1065-1087. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcm246>.
- Sewerniak P. 2013. Bonitacja drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce w odniesieniu do typów siedliskowych lasu i taksenów gleb. *Sylvan* 157 (7): 516-525. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2013028>.
- Sharma R. P., Brunner A., Eid T. 2012. Site index prediction from site and climate variables for Norway spruce and Scots pine in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27 (7): 619-636. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2012.685749>.
- Skovsgaard J. P., Vanclay J. K. 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 81 (1): 13-31. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpm041>.
- Skovsgaard J. P., Vanclay J. K. 2013. Forest site productivity: a review of spatial and temporal variability in natural site conditions. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 86 (3): 305-315. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpt010>.
- Socha J. 2005. Zależność pomiędzy wysokością górną a wysokością przeciętną w górskich drzewostanach świerkowych. *Sylvan* 149 (8): 10-17. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.9200518>.
- Socha J. 2008. Effect of topography and geology on the site index of *Picea abies* in the West Carpathian, Poland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23: 203-213. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827580802037901>.
- Socha J., Bruchwald A., Neroj B., Gruba P., Wertz B., Ochał W., Pierzechalski M. 2017a. Sprawozdanie końcowe z realizacji usługi badawczej pod nazwą „Aktualna i potencjalna produktywność siedlisk leśnych Polski dla głównych gatunków lasotwórczych”. Raport dla PGL LP. Dostępny: https://tbr.lasy.gov.pl/apex/f?p=102:3:::NO::P3_TEMAT:3701. Data dostępu: 15 marca 2021 r.
- Socha J., Coops N. N. C., Ochał W. 2016. Assessment of age bias in site index equations. *iForest – Biogeosciences and Forestry* 55: 1-7. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor1548-008>.
- Socha J., Orzeł S. 2013. Dynamiczne krzywe bonitacyjne dla sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z południowej Polski. *Sylvan* 157 (1): 26-38. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2012094>.
- Socha J., Pierzechalski M., Bałazy R., Ciesielski M. 2017b. Modelling top height growth and site index using repeated laser scanning data. *Forest Ecology and Management* 406: 307-317. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.039>.
- Szymkiewicz B. 1961. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów ważniejszych gatunków drzew leśnych zestawione na podstawie tablic niemieckich, radzieckich i polskich. PWRiL, Warszawa.
- Tymińska-Czabańska L., Socha J., Maj M., Cywicka D., Hoang Duong X. V. 2021. Environmental Drivers and Age Trends in Site Productivity for Oak in Southern Poland. *Forests* 12: 209. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12020209>.
- Yue C., Mäkinen H., Klädtke J., Kohnle U. 2014. An approach to assessing site index changes of Norway spruce based on spatially and temporally disjunct measurement series. *Forest Ecology and Management* 323: 10-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.031>.
- Zöhner F. 1980. Forstinventur: ein Leitfaden für Studium und Praxis. Parey, Hamburg.