

MODELOWANIE STRUKTURY WYBRANYCH DRZEWOSTANÓW SOSNOWYCH W NADLEŚNICTWIE SULĘCIN Z ZASTOSOWANIEM ROZKŁADÓW TEORETYCZNYCH

Cezary Beker[✉], Rafał Sobczak, Mieczysław Turski, Roman Jaszczak

Katedra Urządzenia Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

ABSTRAKT

Celem pracy była aproksymacja rozkładów empirycznych pierśnicy, wysokości i długości korony z wykorzystaniem rozkładów teoretycznych: normalnego, log-normalnego, Weibulla, mieszanki Gaussa, SB Johnsona. Dla rozkładu wszystkich cech w drzewostanach na siedlisku lasu mieszanego świeżego i dodatkowo dla długości korony na siedlisku boru mieszanego świeżego najlepiej dopasowany okazał się rozkład mieszanki Gaussa, w pozostałych przypadkach najdokładniej aproksymował rozkład SB Johnsona. Uzyskane zależności mogą być pomocne w prognozowaniu rozwoju drzewostanu i planowaniu działań gospodarczych, a w przyszłości być ważnym etapem w opracowaniu lokalnego modelu wzrostu drzewostanu.

Słowa kluczowe: drzewostan sosnowy, rozkład empiryczny, rozkład teoretyczny, pierśnica, wysokość, długość korony

WSTĘP

Struktura drzewostanu jest układem dynamicznym. W wyniku przebiegających permanentnie, sprzężonych zwrotnie procesów wzrostu i konkurencji różnicują się wymiary i pokrój drzew oraz struktura biologiczna i wymiarowa drzewostanu. W kolejno następujących fazach rozwojowych w drzewostanie zmieniają się: liczba drzew, przestrzeń wzrostu czy pozycja drzew w hierarchii biosocjalnej i klas wymiarowych. W wyniku tych oddziaływań w procesie samoregulacji z drzewostanu wydzielają się drzewa najslabsze, a z kolei w drzewostanach gospodarczych pewna pula drzew jest usuwana cyklicznie w trakcie zabiegów pielęgnacyjnych. Assmann (1968) opisuje strukturę jako rozkład liczby drzew w odpowiednich stopniach lub klasach cech drzewostanu: grubości i wysokości. Brzeziecki (2005) zauważa możliwość

rozpatrywania budowy drzewostanu na trzech różnych poziomach. Wyróżnia zróżnicowanie przestrzenne, wymiarowe oraz pod względem bogactwa gatunkowego. W uwzględnianiu zróżnicowania przestrzennego i relacji międzyosobniczych można użyć odpowiednich wskaźników, dzięki którym jest możliwa interpretacja struktury drzewostanu. *Struktura lasu podlega nieustannym zmianom w wyniku naturalnych procesów sukcesyjnych i demograficznych (wzrost, zamieranie i odnawianie drzew) oraz występowania naturalnych zaburzeń*, jak stwierdził Sławski (2014). Praktycznym instrumentem, który oddziałuje na przyrost miąższości i jakość drzew są zabiegi hodowlane, dzięki którym istnieje możliwość wyprzedzenia procesu naturalnego wydzielania się drzew. Zapobiegamy w ten sposób zniekształcaniu struktury

[✉]bekerc@up.poznan.pl

drzewostanu poprzez usuwanie osobników niepożądanych. Dogłębne poznanie procesów mających wpływ na wzrost, zamieranie czy odnawianie drzew może skutkować w przyszłości efektywniejszym prowadzeniem gospodarki leśnej.

Celem pracy była ocena zgodności rozkładów empirycznych pierśnicy, wysokości i długości korony wybranych drzewostanów sosnowych, rosnących na terenie Nadleśnictwa Sulęcín, z rozkładami teoretycznymi. Do aproksymacji wybrano następujące rozkłady: normalny, log-normalny, Weibulla, mieszanka Gaussa, SB Johnsona. Uzyskane zależności mogą być pomocne w prognozowaniu rozwoju drzewostanu i planowaniu działań gospodarczych, a w przyszłości być ważną częścią opracowania lokalnego modelu wzrostu drzewostanu (Beker i Andrzejewski, 2013a; 2013b).

MATERIAŁ I METODY

Nadleśnictwo Sulęcín znajduje się w III Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej, Mezonegionie Ziemi Lubuskiej (Trampler i in., 1990). Zaznacza się w nim klimat przejściowy, z dużym wpływem klimatu atlantyckiego i okresowym wpływem klimatu kontynentalnego. O oddziaływaniu klimatu kontynentalnego świadczą: stosunkowo niska ilość opadów w ciągu roku (530 mm), mała wilgotność powietrza oraz cyklicznie powtarzające się wiosenne susze, ponadto często spóźnione przymrozki. Nadleśnictwo cechuje się bardzo zmiennym i szerokim spektrum warunków glebowych. Wyróżniono bowiem aż 27 typów i podtypów gleb. Dominującym typem są gleby rdzawe (59,61%), a następnym – gleby brunatne (15,99%) i płowe (8,86%). Właśnie na wymienionych trzech typach gleb lokalizowano drzewostany z powierzchniami doświadczalnymi. Konsekwencją zróżnicowania gleb jest różnorodność siedlisk. W Nadleśnictwie Sulęcín (Program..., 2003) dominuje BMśw (41,8%) oraz LMśw (37,4%).

Dane empiryczne, które posłużyły analizie statystycznej, zostały zebrane w 10 drzewostanach podczas pełnej taksacji wybranych cech. Powierzchnie próbne były wybrane według sprecyzowanych kryteriów. Drzewostan musiał być jednogatunkowy, ze 100-procentowym udziałem sosny, w klasie wieku od II do VI, o wskaźniku zadrzewienia co najmniej 1,0. Zarówno na BMśw (wiek od 36 lat do 106 lat), jak

i LMśw (wiek od 28 lat do 104 lat) wybrano po pięć powierzchni próbnych, ich wielkość była dostosowana do wieku. W drzewostanach II klasy wieku, ze względu na dużą liczbę drzew, powierzchnia próbna wyniosła 0,10 ha, a w pozostałych 0,25 ha. Za pomocą wysokościomierza SUUNTO z dokładnością do 0,25 m pomierzono wysokości drzew oraz miejsce osadzenia korony (ostatnia żywa gałąź mająca bezpośrednią styczność z pozostałymi okółkami w kierunku wierzchołka drzewa). Pomiar pierśnicy został wykonywany na wysokości 1,30 m od powierzchni ziemi, w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach, z dokładnością do 1 mm. Za ostateczną pierśnicę przyjmowano średnią arytmetyczną tych pomiarów. Prace kameralne polegały na wyznaczeniu wartości minimalnych i maksymalnych danej cechy, rozstępu, wartości średniej, odchylenia standardowego, współczynników zmienności oraz skośności. Za pomocą testu *W* Shapiro-Wilka zbadano normalność rozkładu pierśnicy, wysokości i długości korony, a następnie zrealizowano aproksymację rozkładów empirycznych z wykorzystaniem rozkładów teoretycznych: normalnego, log-normalnego, Weibulla, mieszanki Gaussa i SB Johnsona. Wybrane rozkłady mają następującą postać funkcji gęstości prawdopodobieństwa:

- rozkład normalny

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1)$$

- rozkład logarytmicznie normalny

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2)$$

gdzie (dla wzoru 1 i 2):

- x – zmienna losowa,
- μ – średnia arytmetyczna,
- σ – odchylenie standardowe,
- σ^2 – wariancja;

- rozkład Weibulla

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (3)$$

gdzie:

- x – zmienna losowa,

α – parametr kształtu,
 β – parametr skali;

- mieszanka Gaussa

$$f_{\text{mix}}(x; \Theta, \pi) = \sum_{k=1}^K \pi_k f(x; \theta_k) \quad (4)$$

gdzie:

x – zmienna losowa,
 Θ, π – parametry rozkładu,
 θ – parametry rozkładu składowego,
 k – waga rozkładu składowego;

- rozkład SB Johnsona

$$f(x; \xi, \lambda, \gamma, \delta) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi}} \frac{\lambda}{(\xi + \lambda - x)(x - \xi)} \exp - \frac{1}{2} \left(\gamma + \delta \ln \left(\frac{x - \xi}{\xi + \lambda - x} \right) \right)^2 \quad (5)$$

gdzie:

x – zmienna losowa,
 γ, δ – parametry kształtu,
 ξ – parametr położenia,
 λ – parametr skali.

WYNIKI

Na każdej powierzchni próbnej analizowano pierśnice, wysokości oraz długości korony. Cechy te poddano testowi normalności rozkładu W Shapiro-Wilka. Jeśli chodzi o pierśnicę, należy stwierdzić, że każda z powierzchni, z wyjątkiem drzewostanu na siedlisku BMśw w III klasie wieku, wykazuje się wysoką wartością W ($p \geq 0,01$), świadcząca o przybliżeniu do rozkładu normalnego.

Następnie przeprowadzono analizę zgodności rozkładów empirycznych z pięcioma rozkładami teoretycznymi na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. W celu oceny modelu najlepiej charakteryzującego rozkład empiryczny użyto rang, w których 5 jest oceną najwyższą, a 1 – oceną najniższą. Rangi przyznano według wartości statystyk testu Kołmogorowa-Smirnowa: D_n ($D_{n_{\min}}$ – ranga 5, $D_{n_{\max}}$ – ranga 1), co odpowiada p (p_{\max} – ranga 5, p_{\min} – ranga 1). Kiedy rozkład nie wystąpił, przyznawano 0.

Stwierdzono, że rozkład Johnsona SB najlepiej aproksymował rozkłady pierśnicy na siedlisku BMśw (tab. 1, rys. 1). Natomiast na siedlisku LMśw najlepiej dopasowana okazała się mieszanka Gaussa (tab. 2,

rys. 2). W rozkładach empirycznych wysokości, podobnie jak w pierśnicy, na siedlisku BMśw okazał się najlepszy rozkład SB Johnsona (tab. 3, rys. 3), a na siedlisku LMśw – mieszanka Gaussa (tab. 4, rys. 4). Po zastosowaniu teoretycznych rozkładów dla długości korony stwierdzono, że w obu przypadkach największą sumę rang uzyskała mieszanka Gaussa (tab. 5, 6; rys. 5, 6).

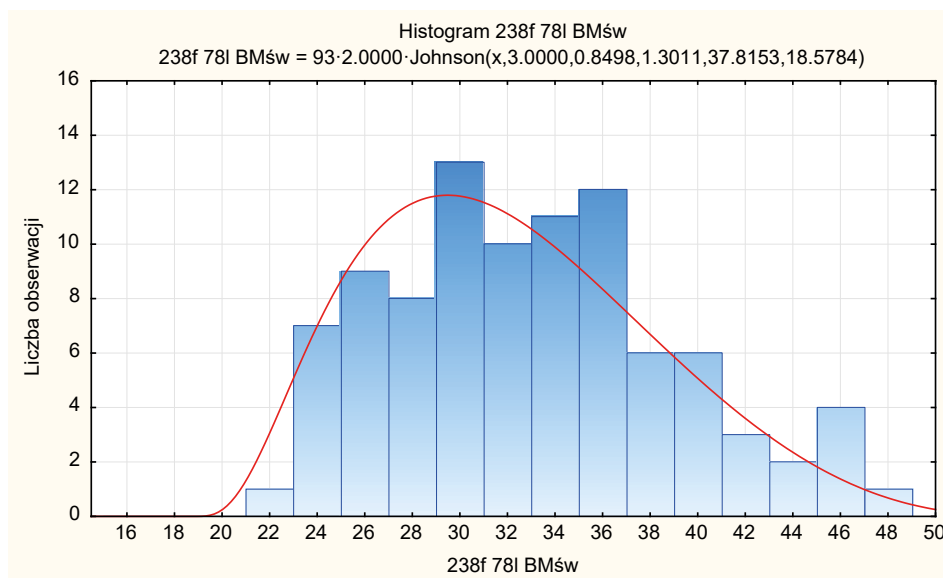
PODSUMOWANIE

Aproksymacja empirycznych rozkładów cech tak-sacyjnych z użyciem rozkładów teoretycznych jest narzędziem, którym można się posłużyć przy opracowaniu modeli struktury drzewostanów. W pracy przedstawiono aproksymację rozkładów pierśnicy, wysokości i długości korony z wykorzystaniem rozkładów: normalnego, log-normalnego, Weibulla, mieszanki Gaussa i SB Johnsona. Dla rozkładu wszystkich cech w drzewostanach na siedlisku lasu mieszanego świeżego i dodatkowo dla długości korony na siedlisku boru mieszanego świeżego najlepiej dopasowany okazał się rozkład mieszanki Gaussa, w pozostałych przypadkach najwierniej aproksymował rozkład SB Johnsona. Dla wymienionych analizowanych cech, w 127-letnich drzewostanach sosnowych rosnących na siedlisku lasu mieszanego świeżego w Nadleśnictwie Kwidzyń, Beker i Wudarczyk (2007) uzyskali dobrą aproksymację z wykorzystaniem rozkładu normalnego. Jagiełło i Beker (2017) po raz pierwszy zastosowali teoretyczny rozkład zmiennej dyskretnej w celu modelowania rozkładu pierśnic drzew w niepielęgowanych drzewostanach sosnowych. Przedstawione wyniki wskazują, iż rozkład gamma Poissona nie jest gorszy niż rozkład Weibulla, uznawany za bardzo dobry i użyty między innymi w modelu rozkładu pierśnic drzewostanów bukowych. To właśnie rozkład Weibulla jest jednym z podstawowych rozkładów funkcji teoretycznych. Za pomocą tego rozkładu Zasada (2013) analizował rozkład pierśnic brzozy brodawkowatej, a jego wyniki wskazywały na dużą zmienność badanej cechy. Podobną zależność zauważyli również Jagiełło i in. (2016) podczas modelowania rozkładu pierśnic drzewostanów bukowych. Monokultury bukowe charakteryzują się bardziej złożoną strukturą pierśnic. Dlatego średnia wartość błęd (indeks e) aproksymacji rozkładu Weibulla i SB

Tabela 1. Wartość statystyk D_n oraz P Kołmogorowa-Smirnowa w rozkładach pierśnic analizowanych drzewostanów na siedlisku BMśw

Table 1. Values of Kolmogorov-Smirnov statistics of D_n and P in diameter at breast height distributions for analyzed stands in fresh mixed coniferous forest site

Rozkład teoretyczny i wartość statystyk Theoretical distribution and values of statistics		Powierzchnia badawcza (wiek) Experimental site (age)					Suma rang rozkładu Distribution of rank sums
		207g (36)	284a (55)	238f (78)	293g (86)	281h (106)	
Normalny Normal	D_n	0,095	0,098	0,063	0,042	0,059	12
	P	0,893	0,123	0,834	0,992	0,929	
Log-normalny Log-normal	D_n	0,076	0,065	0,043	0,044	0,067	12
	P	0,981	0,565	0,993	0,889	0,837	
Weibulla Weibull	D_n	0,119	0,118	0,079	0,061	0,065	6
	P	0,681	0,035	0,572	0,541	0,860	
Mieszanka Gaussa Gaussian mixture	D_n	0,076	0,49	0,038	0,034	0,047	21
	P	0,981	0,872	0,999	0,986	0,989	
SB Johnsona Johnson's SB	D_n	0,060	0,056	0,033	0,033	0,041	24
	P	0,999	0,747	1,000	0,989	0,998	



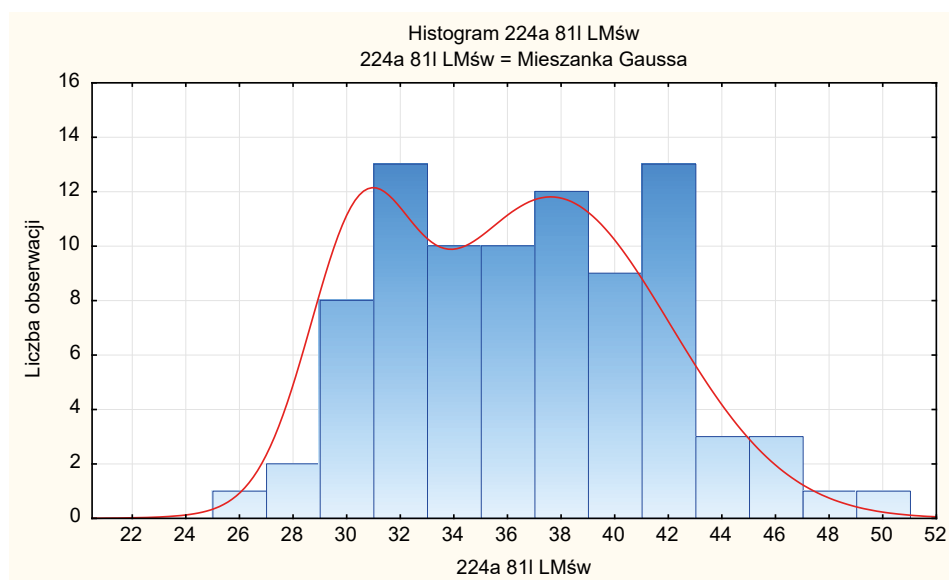
Rys. 1. Histogram pierśnic i rozkładu teoretycznego SB Johnsona (linia czerwona) w drzewostanie IV klasy wieku na siedlisku BMśw

Fig. 1. Histogram of diameter at breast height and Johnson's SB theoretical distribution (red line) in stands of age class 4 in fresh mixed coniferous forest site

Tabela 2. Wartość statystyk D_n oraz P Kolmogorowa-Smirnowa w rozkładach pierśnic analizowanych drzewostanów na siedlisku LMśw

Table 2. Values of Kolmogorov-Smirnov statistics of D_n and P in diameter at breast height distributions for analysed stands in fresh mixed forest site

Rozkład teoretyczny i wartość statystyk Theoretical distribution and values of statistics		Powierzchnia badawcza (wiek) Experimental site (age)					Suma rang rozkładu Distribution of rank sums
		215f (28)	294f (53)	265i (66)	224a (81)	201c (101)	
Normalny Normal	D_n	0,130	0,77	0,093	0,070	0,077	7
	P	0,362	0,680	0,346	0,768	0,841	
Log-normalny Log-normal	D_n	0,082	0,058	0,061	0,067	0,135	15
	P	0,880	0,930	0,834	0,816	0,207	
Weibulla Weibull	D_n	0,129	0,090	0,111	0,068	0,077	9
	P	0,374	0,494	0,165	0,799	0,844	
Mieszanka Gaussa Gaussian mixture	D_n	0,046	0,055	0,060	0,034	0,074	24
	P	1,000	0,955	0,850	1,000	0,870	
SB Johnsona Johnson's SB	D_n	0,070	0,063	0,079	0,051	0,074	19
	P	0,958	0,881	0,554	0,968	0,877	



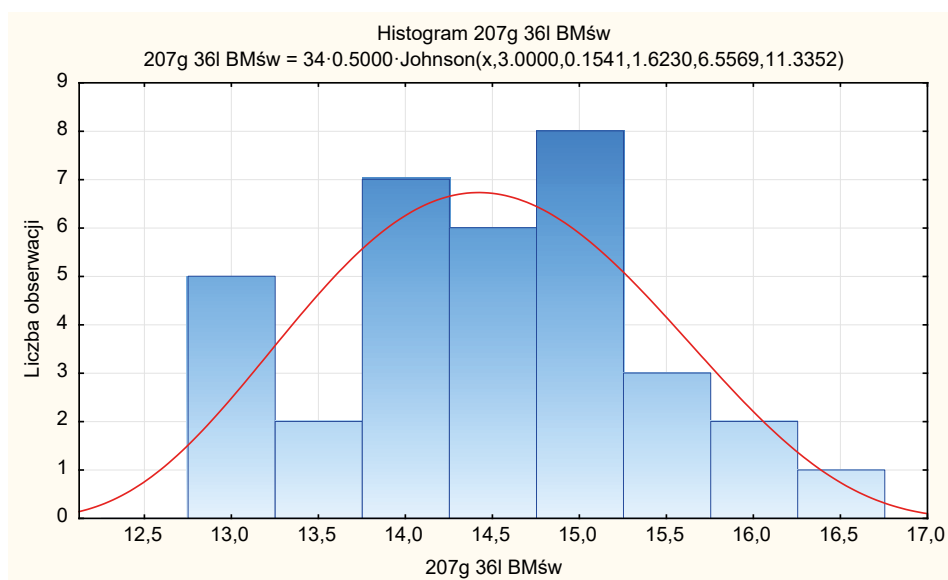
Rys. 2. Histogram pierśnic i rozkładu teoretycznego mieszanki Gaussa (linia czerwona) w drzewostanie V klasy wieku na siedlisku LMśw

Fig. 2. Histogram of breast height diameters and theoretical distribution of Gaussian mixture (red line) in stands of age class 5 in fresh mixed forest site

Tabela 3. Wartość statystyk D_n oraz P Kołmogorowa-Smirnowa w rozkładach wysokości analizowanych drzewostanów na siedlisku BMśw

Table 3. Values of Kolmogorov-Smirnov statistics of D_n and P in height distributions for analysed stands in fresh mixed coniferous forest site

Rozkład teoretyczny i wartość statystyk Theoretical distribution and values of statistics		Powierzchnia badawcza (wiek) Experimental site (age)					Suma rang rozkładu Distribution of rank sums
		207g (36)	284a (55)	238f (78)	293g (86)	281h (106)	
Normalny Normal	D_n	0,127	0,131	0,141	0,098	0,096	12
	P	0,594	0,014	0,044	0,074	0,415	
Log-normalny Log-normal	D_n	0,134	0,146	0,156	0,093	0,096	10
	P	0,530	0,004	0,020	0,104	0,422	
Weibulla Weibull	D_n	0,151	0,113	0,112	0,137	0,130	10
	P	0,382	0,048	0,177	0,003	0,116	
Mieszanka Gaussa Gaussian mixture	D_n	0,131	0,111	0,089	0,082	0,093	21
	P	0,562	0,055	0,425	0,202	0,453	
SB Johnsona Johnson's SB	D_n	0,119	0,123	0,103	0,079	0,086	22
	P	0,681	0,026	0,263	0,231	0,555	



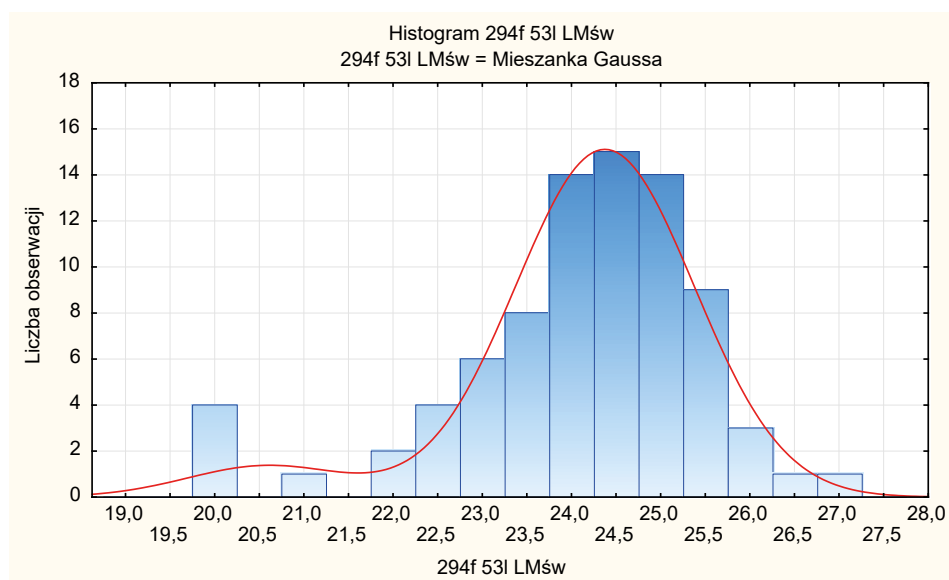
Rys. 3. Histogram wysokości i rozkładu teoretycznego SB Johnsona (linia czerwona) w drzewostanie II klasy wieku na siedlisku BMśw

Fig. 3. Histogram of height and theoretical Johnson's SB distribution (red line) in stands of age class 2 in fresh mixed coniferous forest site

Tabela 4. Wartość statystyk D_n oraz P Kolmogorowa-Smirnowa w rozkładach wysokości analizowanych drzewostanów na siedlisku LMśw

Table 4. Values of Kolmogorov-Smirnov statistics of D_n and P in height distributions for analysed stands in fresh mixed forest site

Rozkład teoretyczny i wartość statystyk Theoretical distribution and values of statistics		Powierzchnia badawcza (wiek) Experimental site (age)					Suma rang rozkładu Distribution of rank sums
		215f (28)	294f (53)	265i (66)	224a (81)	201c (101)	
Normalny Normal	D_n	0,210	0,141	0,129	0,121	0,244	14
	P	0,024	0,044	0,072	0,149	0,001	
Log-normalny Log-normal	D_n	0,215	0,156	0,139	0,135	0,297	10
	P	0,020	0,020	0,042	0,078	0,000	
Weibulla Weibull	D_n	0,186	0,112	0,141	0,130	0,188	16
	P	0,063	0,177	0,036	0,099	0,025	
Mieszanka Gaussa Gaussian mixture	D_n	0,188	0,089	0,115	0,099	0,124	20
	P	0,059	0,425	0,141	0,340	0,294	
SB Johnsona Johnson's SB	D_n	–	0,103	0,109	0,120	–	13
	P	–	0,263	0,180	0,153	–	



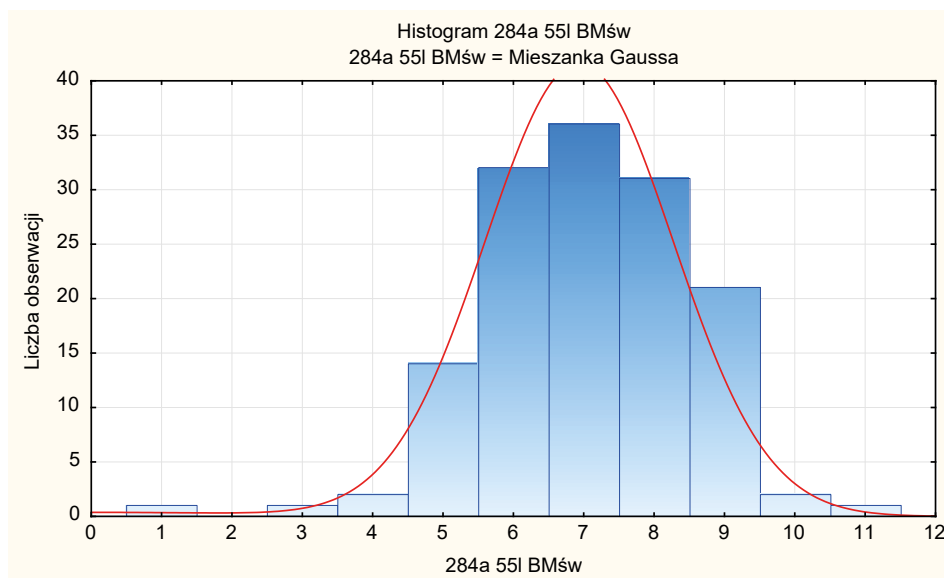
Rys. 4. Histogramm wysokości i rozkładu teoretycznego mieszanki Gaussa (linia czerwona) w drzewostanie III klasy wieku na siedlisku LMśw

Fig. 4. Histogram of height and theoretical distribution of Gaussian mixture (red line) in stands of age class 3 in fresh mixed forest site

Tabela 5. Wartość statystyk D_n oraz P Kołmogorowa-Smirnowa w rozkładach długości korony analizowanych drzewostanów na siedlisku BMśw

Table 5. Values of Kolmogorov-Smirnov statistics of D_n and P in crown length distributions for analysed stands in fresh mixed coniferous forest site

Rozkład teoretyczny i wartość statystyk Theoretical distribution and values of statistics		Powierzchnia badawcza (wiek) Experimental site (age)					Suma rang rozkładu Distribution of rank sums
		207g (36)	284a (55)	238f (78)	293g (86)	281h (106)	
Normalny Normal	D_n	0,184	0,136	0,129	0,102	0,118	17
	P	0,179	0,010	0,083	0,056	0,194	
Log-normalny Log-normal	D_n	–	–	0,093	0,104	0,131	9
	P	–	–	0,374	0,049	0,112	
Weibulla Weibull	D_n	–	–	0,154	0,109	0,133	3
	P	–	–	0,022	0,035	0,105	
Mieszanka Gaussa Gaussian mixture	D_n	0,115	0,104	0,094	0,097	0,126	22
	P	0,720	0,086	0,355	0,078	0,140	
SB Johnsona Johnson's SB	D_n	0,153	0,136	0,096	0,088	0,131	18
	P	0,365	0,010	0,334	0,141	0,115	



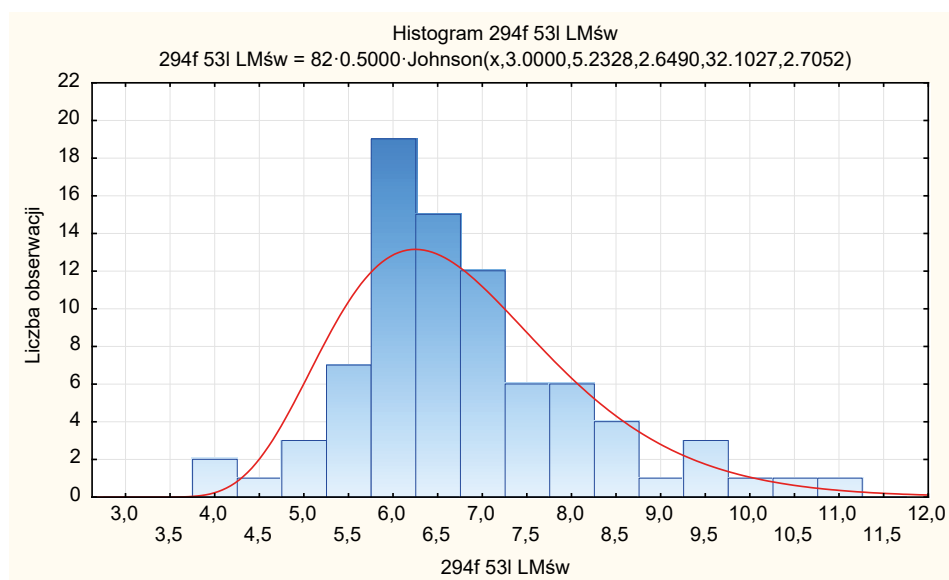
Rys. 5. Histogram długości korony i rozkładu teoretycznego mieszanki Gaussa (linia czerwona) w drzewostanie III klasy wieku na siedlisku BMśw

Fig. 5. Histogram of crown length and theoretical distribution of Gaussian mixture (red line) in stands of age class 3 in fresh mixed coniferous forest site

Tabela 6. Wartość statystyk D_n oraz P Kolmogorowa-Smirnowa w rozkładach długości korony analizowanych drzewostanów na siedlisku LMśw

Table 6. Values of Kolmogorov-Smirnov statistics of D_n and P in crown length distributions for analysed stands in fresh mixed forest site

Rozkład teoretyczny i wartość statystyk Theoretical distribution and values of statistics		Powierzchnia badawcza (wiek) Experimental site (age)					Suma rang rozkładu Distribution of rank sums
		215f (28)	294f (53)	265i (66)	224a (81)	201c (101)	
Normalny Normal	D_n	0,212	0,161	0,097	0,120	0,181	16
	P	0,022	0,026	0,394	0,154	0,035	
Log-normalny Log-normal	D_n	–	0,133	–	0,094	–	10
	P	–	0,100	–	0,413	–	
Weibulla Weibull	D_n	–	0,179	–	0,130	–	2
	P	–	0,009	–	0,098	–	
Mieszanka Gaussa Gaussian mixture	D_n	0,154	0,128	0,084	0,099	0,099	25
	P	0,185	0,123	0,461	0,343	0,565	
SB Johnsona Johnson's SB	D_n	0,137	0,146	0,079	0,089	0,135	22
	P	0,297	0,054	0,550	0,471	0,204	



Rys. 6. Histogram długości korony i rozkładu teoretycznego SB Johnsona (linia czerwona) w drzewostanie III klasy wieku na siedlisku LMśw

Fig. 6. Histogram of crown length and theoretical Johnson's SB distribution (red line) in stands of age class 3 in fresh mixed forest site

Johnsona, który w tym przypadku okazał się najlepiej dopasowany, jest wyższa o około 10% w porównaniu z drzewostanami sosnowymi. W badaniach nad drzewostanami dwugeneracyjnymi Podlaski i Roesch (2013) sugerują, iż w tym przypadku nie powinno się stosować rozkładu Weibulla. Inne badania na temat tego rozkładu dowodzą, iż wspomniany już rozkład teoretyczny nie nadaje się do opisu rozkładu pierśnic w plantacjach drzew (Nanang, 1998). Podlaski (2011) zauważa możliwość analizowania klas biosocjalnych drzew w drzewostanach za pomocą modeli złożonych (Weibulla, log-normalnego). Badania Kaczmarzkiego (2005) w borach świerkowych Beskidu oraz Tatr i otrzymane przez niego wyniki sugerują użycie w tych przypadkach rozkładu normalnego. Z liczbą 45 rang okazał się on najlepszy, na drugim miejscu znalazł się rozkład Weibulla z 35 rangami, a na samym końcu został sklasyfikowany rozkład log-normalny.

PIŚMIENNICTWO

- Assmann, E. (1968). *Nauka o produktywności lasu*. Warszawa: PWRiL.
- Beker, C., Wudarczyk, M. (2007). Health condition and structure of pine stands on permanent experimental plots in the Kwidzyn Forest District. *Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar.*, 6(4), 5–16.
- Beker, C., Andrzejewski, T. (2013a). Model wzrostu niepielęgowanych drzewostanów sosnowych. I. Lokalny model referencyjny PINUS ZIELONKA. *Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar.*, 12(3), 5–13.
- Beker, C., Andrzejewski, T. (2013b). Model wzrostu niepielęgowanych drzewostanów sosnowych. II. Lokalny model bonitacyjny PINUS. *Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar.*, 12(3), 15–23.
- Brzeziecki, B. (2005). Wpływ trzebieży na zróżnicowanie strukturalne drzewostanów sosnowych. *Sylvan*, 10, 11–19.
- Jagiello, R., Beker, C., Jagodziński, A. M. (2016). Ocena zgodności rozkładów empirycznych pierśnic drzewostanów bukowych różnych klas wieku z wybranymi rozkładami teoretycznymi. *Sylvan*, 2, 107–119.
- Jagiello, R., Beker, C. (2017). Uproszczony model rozkładu pierśnic jednowiekowych, niepielęgowanych drzewostanów sosnowych (*Pinus sylvestris* L.). *Sylvan*, 10, 822–830.
- Kaczmarzki, J. (2005). Struktura rozkładów pierśnic w naturalnych górnoreglowych borach świerkowych Tatr i Beskidów Zachodnich w zależności od stadiów i faz rozwojowych lasu o charakterze pierwotnym. *Sylvan*, 3, 12–23.
- Nanang, D. M. (1998). Suitability of the Normal, Log-Normal and Weibull distributions of for fitting diameter distributions of neem plantations in Northern Ghana. *For. Ecol. Manag.*, 231, 218–252.
- Podlaski, R. (2011). Modelowanie rozkładów pierśnic drzew z wykorzystaniem rozkładów mieszanych I. Definicja, charakterystyka i estymacja parametrów rozkładów mieszanych. *Sylvan*, 4, 244–252.
- Podlaski, R., Roesch, F. (2013). Aproksymacja rozkładów pierśnic w dwugeneracyjnych drzewostanach za pomocą rozkładów mieszanych. I. Estymacja parametrów. *Sylvan*, 8, 587–596.
- Program ochrony przyrody dla Nadleśnictwa Sulęcín (2003). Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej Oddział Gorzów Wielkopolski.
- Sławski, M. (2014). *Zmiana struktury lasu w szeregu rozwojowym drzewostanów sosnowych zagospodarowanych sposobem zrębowym*. Warszawa: Wyd. SGGW.
- Trampler, T., Kliczkowska, A., Dmyterko, E., Sierpińska, A. (1990). *Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizjograficznych*. Warszawa: PWRiL.
- Zasada, M. (2013). Modelowanie rozkładów pierśnic młodocianych drzewostanów brzozy brodawkowatej na gruntach porolnych za pomocą dwuparametrowego rozkładu Weibulla. *Sylvan*, 4, 268–277.

MODELING THE STRUCTURE OF SELECTED PINE STANDS IN THE SULĘCIN FOREST DISTRICT USING THEORETICAL DISTRIBUTIONS

ABSTRACT

The aim of the study was to approximate the empirical distribution of diameter at breast height, height and crown length using theoretical distributions: normal, log-normal, Weibull, Gaussian mixture and Johnson's SB. For the distribution of all characteristics in the stands in the fresh mixed forest site and additionally for crown length in the fresh mixed coniferous forest site, the distribution of the Gaussian mixture was best matched, in other cases the most accurate approximation was provided by Johnson's SB distribution. The obtained relationships may be helpful in predicting stand development and in forest management planning, while in the future they may be an important step in the development of a local model of pine stand growth.

Keywords: pine stands, empirical distribution, theoretical distribution, diameter at breast height, height, crown length