

JAROSŁAW SOCHA, IZABELA KUBIK

Model zbieżystości strzał dla górskich drzewostanów świerkowych średnich klas wieku

A taper model for mountain spruce stands in medium age classes

ABSTRACT

The taper model presented in this paper was built for the mountain spruce stands in medium age classes. The model was described by multiple regression equations determining the thickness of a tree stem at different relative heights. Three variants of equations were proposed. In the simplest equation, d.b.h. and tree height were the explanatory variables while in the remaining equations height and thickness at half of the stem height were additional variables. The solution proposed in the paper allows for a precise estimation of the volume of stems and stem sections. At the same time it is free from systematic errors. The developed taper model can find practical application in determining tree shape, volume and timber assortment classes in forest inventories, standing tree quality assessment and stand pricing.

KEY WORDS

stem shape, shape model, taper model, Norway spruce

Wstęp

Przekrój podłużny strzał drzew leśnych jest nieregularny, a jego określenie wymaga pomiarów sekcyjnych. Zastosowanie sekcyjnego pomiaru do określania kształtu strzał na drzewach rosnących jest jednak bardzo pracochłonne. Przybliżone informacje o przebiegu krzywej morfologicznej można uzyskać przez zastosowanie modeli kształtu strzał nazywanych również modelami zbieżystości [Siekierski 1992]. Istnieje szereg sposobów opisywania przebiegu krzywej morfologicznej strzał. W większości rozwiązań jest on określany na podstawie pojedynczego, na ogół dość skomplikowanego równania [Bi 2000; Fang i in. 2000; Flewelling, Raynes 1993; Korol, Gadow 2003; Kozak 1988; Wensel, Olson 1995]. Kształt przekroju podłużnego strzały opisać można również wyliczając grubości na różnych jej wysokościach. Takie rozwiązanie zaproponował Bruchwald [1980] w opracowanym dla sosny modelu kształtu strzał, w którym grubość na wysokościach względnych wyliczana jest na podstawie udziału 15 sekcji w miąższości strzały. Rozwiązanie tego typu stosowali również Siekierski [1992] dla sosny oraz Dudzińska [2003b] dla buka.

W przypadku polskich drzewostanów świerkowych istnieją dotychczas dwa rozwiązania pozwalające na określenie kształtu strzał dla drzew stojących. Pierwszym są „Tablice miąższości i zbieżystości dłużyć, kłód i wyrzynków strzały dla świerka” opracowane przez Radwańskiego [1957]. Wynikiem prowadzonych w ostatnich latach badań w rębnych górskich drzewostanach świerkowych było opracowanie modelu zbieżystości strzał [Socha 2002]. Z uwagi na materiał

JAROSŁAW SOCHA

Katedra Dendrometrii
Wydział Leśny AR
Al. 29-listopada 46
31-425 Kraków
e-mail: rsocha@cyf-kr.edu.pl

IZABELA KUBIK

Katedra Dendrometrii
Wydział Leśny AR
Al. 29-listopada 46
31-425 Kraków

badawczy wykorzystany do opracowania modelu, jego zastosowanie jest możliwe w przypadku rębnych drzewostanów świerkowych z terenów górskich. Jak wynika z dotychczasowych badań kształt strzał drzew leśnych jest zróżnicowany w zależności od warunków wzrostu drzewostanów i jest nieco inny w terenach górskich oraz na nizinach [Dudzińska 2000; Ciosmak 2002]. Zależny jest on również od wieku, co było podstawą opracowania przez Baura [1890] tablic miąższości drzew stojących dla świerka z podziałem na grupy wiekowe drzewostanów. Wzory empiryczne do określania miąższości i kształtu strzał powinny być więc opracowane oddzielnie dla terenów górskich i terenów nizinnych z uwzględnieniem wieku drzewostanów.

Celem pracy jest opracowanie modelu kształtu strzał dla górskich drzewostanów świerkowych średnich klas wieku oraz ocena jego dokładności.

Materiał badawczy i metodyka badań

Materiał badawczy stanowią wyniki pomiarów wykonanych w 57 drzewostanach świerkowych w wieku od 56 do 104 lat zlokalizowanych w Nadleśnictwach: Ujsoły, Węgierska Górka, Jeleśnia, Wisła i Ustroń. Drzewostany, w których prowadzono badania wzrastały w szerokim przedziale wysokości n.p.m. wynoszącym od 600 m do 1300 m. W każdym trwale zastabilizowano powierzchnie próbne o wielkości od 0,25 do 1,0 ha. Na podstawie pomiarów dla poszczególnych powierzchni określono przeciętne wartości: pierśnicy, wysokości i 5-letniego przyrostu grubości. Z kolei w każdym z drzewostanów wybrano po 3 drzewa próbne charakteryzujące się przeciętnymi wartościami wymienionych cech. Wybrane drzewa próbne ścięto i pomierzono sekcyjnie. Pomiary wykonano stosując pierwszą sekcję metrową, a pozostałe dwumetrowe.

Opracowany model zbieżystości oparty jest na równaniach służących do określania grubości względnych (d_{wj}) na 20 względnych wysokościach strzały (h_j). Względne grubości wyliczono zgodnie ze wzorem:

$$d_{wj} = \frac{d_j}{d} \quad [1]$$

gdzie:

- d_{wj} – względna grubość na wysokości h_j ($h_j=0,0125; 0,05; 0,10; 0,15; \dots; 0,95$),
- d_j – grubość w korze na względnej wysokości h_j ,
- d – pierśnica drzewa w korze.

Grubości na względnych wysokościach określono według równania regresji wielokrotnej [2], w którym zmiennymi wyjaśniającymi są cechy dendrometryczne drzew wyłonione na podstawie wykonanych uprzednio analiz korelacyjnych.

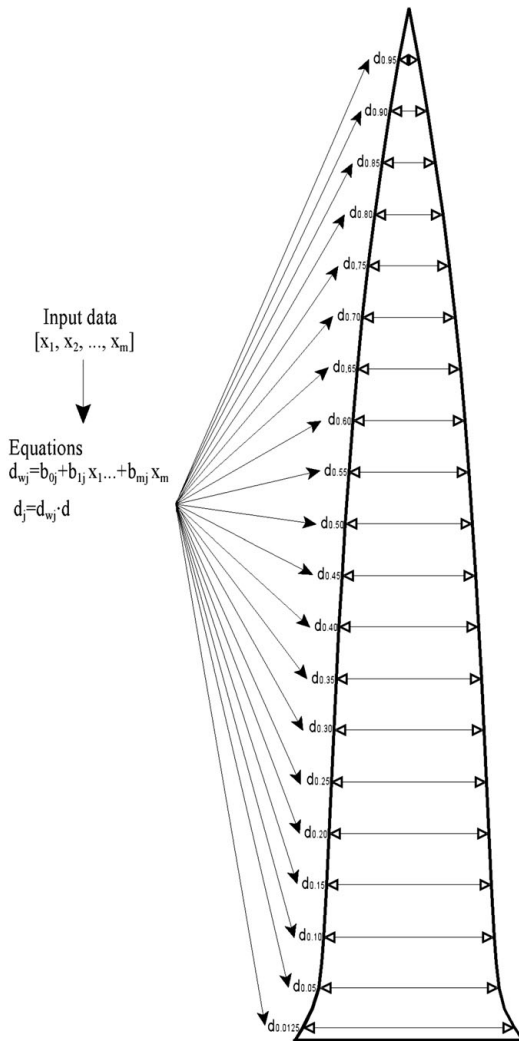
$$d_{wj} = \beta_{0j} + \beta_{1j} \cdot x_1 + \beta_{2j} \cdot x_2 + \beta_{3j} \cdot x_3 + \dots + \beta_{mj} \cdot x_m \quad [2]$$

w którym:

- $\beta_j \dots \beta_{mj}$ – oznaczają parametry równania do obliczenia grubości na względnej wysokości (h_j),
- $x_1, x_2, x_3 \dots x_m$ – są zmiennymi niezależnymi, skorelowanymi z wyznaczanymi grubościami (d – pierśnica, h – wysokość, $d_{0,5}$ – grubość w połowie wysokości),
- m – oznacza liczbę zmiennych niezależnych.

Sposób określania krzywej morfologicznej strzały na podstawie równań zbieżystości podano na ryc. 1.

Do oceny dokładności opracowanych w badaniach modeli zbieżystości wykorzystano dane z sekcyjnego pomiaru drzew wykonanego w roku 1953 w drzewostanach zlokalizowanych w Zawoi i Wigrach [Gieruszyński 1960] oraz dane pomiarowe zebrane w latach 1996-1998 w trzech drzewostanach z Nadleśnictwa Ujsoły i dwóch drzewostanach z Nadleśnictwa Wisła [Socha 2002] (tab. 1).



Ryc. 1.

Schemat określania krzywej morfologicznej strzały na podstawie równań zbieżności (d_{wj} – grubość względna na wysokości j ; d_j – grubość na wysokości j ; d – pierśnica drzewa)
 Diagram of determination of the morphological curve of a tree bole on the basis of taper equations (d_{wj} – relative diameter at height j ; d_j – diameter at height j ; d – d.b.h)

Tabela 1.

Charakterystyka drzewostanów wykorzystanych do oceny dokładności opracowanych modeli zbieżności
 Characterisation of stands used for the assessment of the accuracy of the developed taper models

Nadleśnictwo	Położenie	Powierzchnie próbne			Cechy taksacyjne					
		Nazwa powierzchni	Wzniesienie n.p.m.	Obszar [ha]	Wiek [cm]	D [cm]	H [cm]	Klasa bonitacji [m ³ /ha]	Zasobność [m ³ /ha]	Wskaźnik zadrzewienia
Ujszoły	Laliki	L600	600	0,75	111	42,4	35,0	I,0	478	0,60
Wisła	Besidek	B650	650	1,61	120	44,4	36,7	Ia,8	586	0,71
Wisła	Olecki	O800	800	1,19	103	40,8	30,1	I,9	413	0,62
Ujszoły	Petkowska	P830	830	1,08	113	50,1	38,2	Ia,3	590	0,66
Ujszoły	Petkowska	P1000	1000	1,36	122	48,8	36,1	Ia,9	494	0,62
Zawoja	Kolisty Groń	Zawoja	800	0,40	78	25,3	22,3	II,7	522	1,09
Wigry	Sobolewo	Wigry	140	0,50	86	28,9	24,8	II,5	445	0,82

Przydatność opracowanych modeli oceniono określając ich dokładność morfologiczną i dendrometryczną. Dokładność morfologiczna rozumiana jest jako zgodność grubości obliczonych za pomocą modelu z wielkościami rzeczywistymi, dokładność dendrometryczna to zgodność miąższości strzał z miąższością rzeczywistą [Gieruszyński 1948].

Wyniki badań

W najprostszym wariancie równań [3] zmienną wyjaśniającą jest pierśnica (d).

$$d_{wj} = \beta_{0j} + \beta_{1j} \cdot d$$

[3]

Dla równań opisujących zależność grubości na danej wysokości względnej od pierśnicy obliczono parametry oraz wartości prawdopodobieństwa określające ich istotność (tab. 2).

Wartości parametru β_0 są istotne we wszystkich równaniach. W górnej części strzały w zakresie od wysokości względnej 0,70 h do 0,85 h pierśnica w mniejszym stopniu wyjaśnia kształt strzały. Wartości parametru β_1 są bowiem w przypadku równań do określania grubości z tych wysokości nieistotne.

W drugim wariancie modelu (II) w równaniach do określania grubości z poszczególnych wysokości względnych [4] zastosowano dodatkową zmienną wyjaśniającą w postaci wysokości (h).

$$d_{wj} = \beta_{0j} + \beta_{1j} \cdot d + \beta_{2j} \cdot h \quad [4]$$

Na podstawie wyliczonych dla wzoru 4 wartości prawdopodobieństwa parametru β_2 , można stwierdzić, że w przypadku równania dla wysokości względnej 0,0125 h oraz równań dla grubości z zakresu od 0,15 h do 0,85 h (tab. 3) wysokość jest zmienną, która nie powoduje zwiększenia udziału wariancji wyjaśnionej, a zatem nie poprawia dokładności określenia grubości z tych wysokości względnych. Występujący w równaniu [4] parametr β_1 jest nieistotny w równaniach dla wysokości względnych z zakresu od 0,70 h do 0,80 h oraz w odziomkowej części pnia do 0,05 h. Świadczy to o tym, że w przypadku określania grubości z tych wysokości pierśnica jest zmienną wyjaśniającą, która nie powoduje zwiększenia udziału wariancji wyjaśnionej.

W trzecim wariancie modelu (III) oprócz pierśnicy i wysokości zmienną wyjaśniającą jest dodatkowo grubość w połowie wysokości strzały ($d_{0,5}$).

$$d_{wj} = \beta_{0j} + \beta_{1j} \cdot d + \beta_{2j} \cdot h + \beta_{3j} \cdot d_{0,5} \quad [5]$$

Tabela 2.

Parametry równań modelu I i ocena ich istotności

Model I equation parameters and evaluation of their significance

Grubość względna	Parametry		Prawdopodobieństwo	
	β_0	β_1	P(β_0)	P(β_1)
dw _{0,0125}	1,2379	-0,0026	0,000	0,012
dw _{0,05}	1,1144	-0,0036	0,000	0,000
dw _{0,10}	1,0263	-0,0028	0,000	0,000
dw _{0,15}	1,0051	-0,0031	0,000	0,000
dw _{0,20}	0,9841	-0,0032	0,000	0,000
dw _{0,25}	0,9548	-0,0030	0,000	0,000
dw _{0,30}	0,9244	-0,0029	0,000	0,000
dw _{0,35}	0,8999	-0,0031	0,000	0,000
dw _{0,40}	0,8736	-0,0034	0,000	0,000
dw _{0,45}	0,8320	-0,0031	0,000	0,000
dw _{0,50}	0,7878	-0,0029	0,000	0,000
dw _{0,55}	0,7372	-0,0027	0,000	0,000
dw _{0,60}	0,6809	-0,0024	0,000	0,000
dw _{0,65}	0,6156	-0,0021	0,000	0,005
dw _{0,70}	0,5436	-0,0016	0,000	0,050*
dw _{0,75}	0,4734	-0,0014	0,000	0,106*
dw _{0,80}	0,4106	-0,0018	0,000	0,034
dw _{0,85}	0,3212	-0,0014	0,000	0,052*
dw _{0,90}	0,2332	-0,0013	0,000	0,027
dw _{0,95}	0,1166	-0,0007	0,000	0,027

* parametr nieistotny przy $\alpha=0,0500$

* non-significant parameter at $\alpha=0,0500$

Tabela 3.

Parametry równań modelu II i ocena ich istotności

Model II equation parameters and evaluation of their significance

Grubość względna	Parametry			Prawdopodobieństwo		
	β_0	β_1	β_2	P(β_0)	P(β_1)	P(β_2)
dw _{0,0125}	1,2476	-0,0017	-0,0015	0,000	0,186*	0,170*
dw _{0,05}	1,1482	-0,0003	-0,0051	0,000	0,500*	0,000
dw _{0,10}	1,0410	-0,0013	-0,0022	0,000	0,024	0,000
dw _{0,15}	1,0126	-0,0023	-0,0011	0,000	0,001	0,059*
dw _{0,20}	0,9891	-0,0027	-0,0008	0,000	0,000	0,253*
dw _{0,25}	0,9578	-0,0027	-0,0005	0,000	0,001	0,489*
dw _{0,30}	0,9255	-0,0028	-0,0002	0,000	0,000	0,781*
dw _{0,35}	0,9004	-0,0031	-0,0001	0,000	0,000	0,899*
dw _{0,40}	0,8737	-0,0033	0,0000	0,000	0,000	0,979*
dw _{0,45}	0,8333	-0,0030	-0,0002	0,000	0,000	0,755*
dw _{0,50}	0,7898	-0,0027	-0,0003	0,000	0,001	0,654*
dw _{0,55}	0,7390	-0,0025	-0,0003	0,000	0,002	0,698*
dw _{0,60}	0,6804	-0,0025	0,0001	0,000	0,003	0,914*
dw _{0,65}	0,6139	-0,0022	0,0003	0,000	0,012	0,731*
dw _{0,70}	0,5423	-0,0017	0,0002	0,000	0,080*	0,812*
dw _{0,75}	0,4723	-0,0015	0,0002	0,000	0,150*	0,849*
dw _{0,80}	0,4090	-0,0019	0,0002	0,000	0,056*	0,780*
dw _{0,85}	0,3150	-0,0021	0,0009	0,000	0,022	0,222*
dw _{0,90}	0,2242	-0,0022	0,0014	0,000	0,002	0,026
dw _{0,95}	0,1121	-0,0011	0,0007	0,000	0,002	0,026

* parametr nieistotny przy $\alpha=0,0500$ * non-significant parameter at $\alpha=0,0500$

W modelu III parametr β_2 występujący przy wysokości nie jest istotny w przypadku równań regresji do określania grubości z wysokości 0,0125 (dw_{0,0125}) oraz w środkowej części strzały (dla grubości z zakresu 0,20 h do 0,85 h, z wyjątkiem grubości dw_{0,50}) (tab. 4). Natomiast parametry β_1 i β_2 nie są istotne w przypadku równań do określania grubości z wysokości względnej 0,0125 h (dw_{0,0125}).

Zastosowanie do określania grubości z poszczególnych wysokości względnych równań regresji wielokrotnej sprawia, że dla każdego z opracowanych modeli kształtu średni błąd określenia grubości na poszczególnych wysokościach względnych jest zbliżony do zera (ryc. 2a). W przypadku modelu I odchylenie standardowe błędów waha się w granicach od 0,44 cm na wysokości względnej 0,95 h do 1,58 cm na wysokości 0,0125 h. Przy rozbudowaniu modelu o dodatkową zmienną wyjaśniającą – wysokość (model II), odchylenie standardowe błędów określenia grubości zmniejsza się nieznacznie w części odziomkowej (dla grubości z zakresu 0,0125 h do 0,20 h) i w części wierzchołkowej strzały (w zakresie od 0,85 h do 0,95 h) (ryc. 2b). Wartości odchylenia standardowego błędów określenia grubości wynoszą od 0,43 cm do 1,57 cm. W przypadku trzeciego wariantu modelu (III) odchylenie standardowe błędów zmniejsza znacznie swoją wartość w środkowej części strzały, nawet o 0,7 cm i zawiera się w przedziale od 1,66 cm na wysokości 0,0125 h do 0,21 cm w połowie wysokości strzały (ryc. 2c).

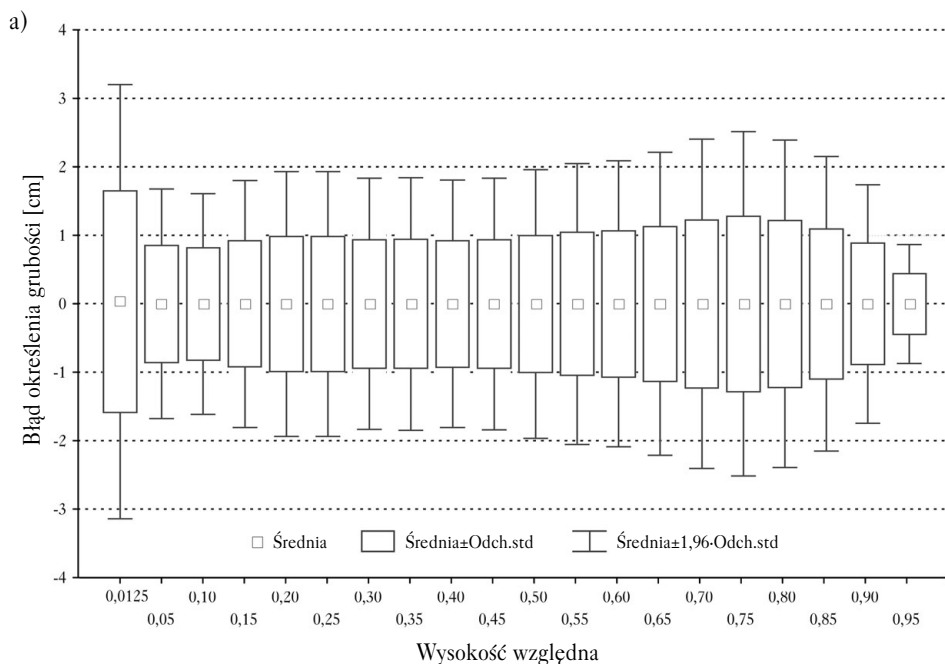
Średnie błędy absolutne i procentowe określenia miąższości pojedynczego drzewa dla wszystkich wariantów modelu są również zbliżone do zera (tab. 5). Odchylenie standardowe błędów absolutnych określenia miąższości ma największą wartość dla modelu II (0,057 m³), a najmniejszą dla modelu III (0,024 m³). Trzeci wariant modelu charakteryzuje się także naj-

Tabela 4.

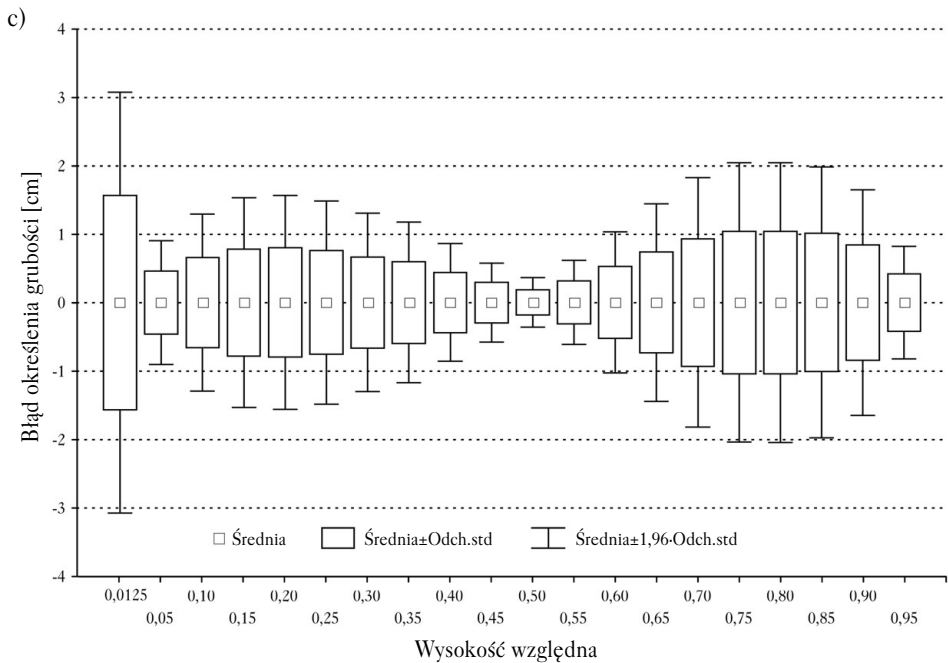
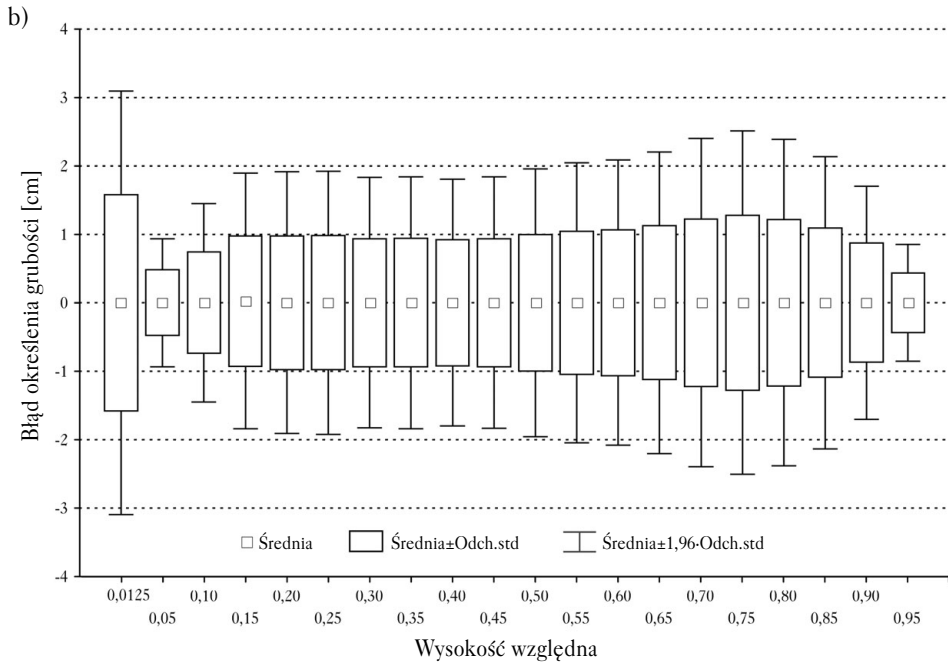
Parametry równań modelu III i ocena ich istotności

Model III equation parameters and evaluation of their significance

Grubość względna	Parametry				Prawdopodobieństwo			
	β_0	β_1	β_2	β_3	$P(\beta_0)$	$P(\beta_1)$	$P(\beta_2)$	$P(\beta_3)$
dw _{0,0125}	1,2409	-0,0034	-0,0015	0,0028	0,000	0,266*	0,169*	0,533*
dw _{0,05}	1,1387	-0,0027	-0,0051	0,0039	0,000	0,004	0,000	0,005
dw _{0,10}	1,0105	-0,0092	-0,0023	0,0128	0,000	0,000	0,000	0,000
dw _{0,15}	0,9713	-0,0130	-0,0012	0,0173	0,000	0,000	0,021	0,000
dw _{0,20}	0,9382	-0,0158	-0,0008	0,0213	0,000	0,000	0,124*	0,000
dw _{0,25}	0,9007	-0,0175	-0,0005	0,0239	0,000	0,000	0,292*	0,000
dw _{0,30}	0,8665	-0,0180	-0,0002	0,0247	0,000	0,000	0,583*	0,000
dw _{0,35}	0,8368	-0,0195	-0,0001	0,0266	0,000	0,000	0,709*	0,000
dw _{0,40}	0,8045	-0,0212	-0,0001	0,0290	0,000	0,000	0,766*	0,000
dw _{0,45}	0,7571	-0,0226	-0,0003	0,0319	0,000	0,000	0,158*	0,000
dw _{0,50}	0,7060	-0,0244	-0,0004	0,0351	0,000	0,000	0,001	0,000
dw _{0,55}	0,6554	-0,0241	-0,0004	0,0350	0,000	0,000	0,098*	0,000
dw _{0,60}	0,6036	-0,0223	0,0000	0,0322	0,000	0,000	0,996*	0,000
dw _{0,65}	0,5432	-0,0205	0,0002	0,0296	0,000	0,000	0,709*	0,000
dw _{0,70}	0,4751	-0,0191	0,0001	0,0282	0,000	0,000	0,837*	0,000
dw _{0,75}	0,4088	-0,0179	0,0001	0,0266	0,000	0,000	0,884*	0,000
dw _{0,80}	0,3544	-0,0160	0,0002	0,0228	0,000	0,000	0,802*	0,000
dw _{0,85}	0,2762	-0,0121	0,0009	0,0162	0,000	0,000	0,202*	0,000
dw _{0,90}	0,2016	-0,0080	0,0014	0,0094	0,000	0,000	0,022	0,000
dw _{0,95}	0,1008	-0,0040	0,0007	0,0047	0,000	0,000	0,022	0,000

* parametr nieistotny przy $\alpha=0,0500$ * non-significant parameter at $\alpha=0,0500$ 

Ryc. 2.



Ryc. 2.

Błędy absolutne określenia grubości na poszczególnych wysokościach względnych strzały uzyskane przy zastosowaniu w tym celu: modelu I – a), modelu II – b) i modelu III – c)

Absolute errors of thickness assessment at different relative heights of a tree bole using model I – a), model II – b) and model III – c)

Tabela 5.

Charakterystyka błędów absolutnych i procentowych określenia miąższości pojedynczego drzewa uzyskanych przy zastosowaniu trzech wariantów modeli zbieżystości

Characterisation of the absolute and percentage errors in determining the volume of a single tree using three variants of the taper models

Wariant modelu	Błąd absolutny			Błąd procentowy				
	Średni [m ³]	Błędy skrajne Ujemny [m ³]	Dodatni [m ³]	Odch. st. [m ³]	Średni [%]	Błędy skrajne Ujemny [%]	Dodatni [%]	Odch. st. [%]
Model I	0	-0,24	0,17	0,053	0,17	-25,77	17,08	6,511
Model II	0	-0,24	0,17	0,057	0,17	-26,01	17,16	6,835
Model III	0	-0,11	0,07	0,024	-0,05	-11,59	7,48	2,912

mniejszym odchyleniem standardowym błędów procentowych określenia miąższości pojedynczego drzewa. O ile dla dwóch pierwszych wariantów modeli (I, II) odchylenie standardowe błędów procentowych określenia miąższości wyniosło około 6-7% to dla modelu III jego wartość zmniejszyła się do około 3%.

Dokładność dendrometryczną modelu I i II oceniono również na niezależnym materiale empirycznym pochodzącym z Wigier, Zawoi, Wisły i Ujsoł (tab. 6). Dla poszczególnych modeli przeanalizowano dokładność określenia miąższości pojedynczych drzew, którą scharakteryzowano na podstawie średniej, odchylenia standardowego oraz wartości skrajnych błędów. Przy zastosowaniu modelu I najmniejsze średnie błędy procentowe określenia miąższości pojedynczego drzewa uzyskano w przypadku powierzchni Olecki (-0,38%) i Zawoja (-0,45%) (tab. 6). Model ten był najmniej dokładny w przypadku drzewostanu z Wigier, dla którego średni błąd procentowy wyniósł 4,30% oraz w drzewostanach najstarszych: Petkówka P1000 (-2,81%), Petkówka P800 (-2,08%) i Beskidku (-1,89%). Podobnie w przypadku modelu II najmniejszą dokładność określenia miąższości uzyskano dla danych z Wigier, model ten był natomiast najbardziej dokładny w przypadku drzewostanu z Zawoi (-0,22%) i Olecek (0,36%).

Dokładność miąższości drzewostanu oceniono porównując rzeczywistą sumę miąższości wszystkich drzew w drzewostanie z sumą miąższości wyliczoną według modeli. W przypadku dokładności określenia miąższości drzewostanu błędy procentowe modelu I wynoszą od -4,50% na powierzchni Petkówka P1000 do 4,19% dla powierzchni z Wigier (tab. 7). Zastosowanie mo-

Tabela 6.

Charakterystyka błędów procentowych określenia miąższości pojedynczego drzewa za pomocą opracowanych modeli zbieżystości na poszczególnych powierzchniach

Characterisation of percentage errors in determining the volume of a single tree on individual plots using the taper models

Drzewostan	Model I			Model II				
	Średni [%]	Błędy skrajne Ujemny [%]	Dodatni [%]	Odch. st. [%]	Średni [%]	Błędy skrajne Ujemny [%]	Dodatni [%]	Odch. st. [%]
Beskidek	-1,89	-19,35	18,18	6,94	-2,07	-18,23	17,17	6,86
Laliki	-1,16	-15,69	18,10	6,96	-1,25	-15,98	17,85	6,95
Olecki	-0,38	-13,64	19,78	6,54	0,36	-12,27	20,50	6,56
Petkówka (P1000)	-2,81	-20,90	24,38	8,03	-2,24	-20,63	24,33	7,95
Petkówka (P800)	-2,08	-16,36	14,66	6,97	-2,08	-16,36	14,66	6,97
Zawoja	-0,45	-17,07	14,65	4,93	-0,22	-16,12	15,22	4,87
Wigry	4,30	-11,86	31,21	7,25	4,62	-10,97	31,80	7,39

Tabela 7.

Błędy procentowe miąższości drzewostanu określone za pomocą modelu I i modelu II

Percentage errors of the stand volume determined by model I and model II

Powierzchnia	Błąd procentowy wtórny [%]	
	Model I	Model II
Beskidek	-3,07	-3,05
Laliki	-1,90	-1,88
Olecki	-1,28	-0,39
Petkówka (P1000)	-4,50	-3,70
Petkówka (P800)	-2,71	-2,29
Zawoja	-1,07	-0,73
Wigry	3,60	4,19

(wiek 123 lata) oraz Beskidek (wiek 120 lat), jak też dla drzewostanu pochodzącego z niżu (Wigry), błędy określenia miąższości drzewostanu osiągnęły największe wartości.

Na podstawie analiz dokładności można stwierdzić, że w przypadku górskich drzewostanów świerkowych znajdujących się w wieku do około 100-110 lat, opracowane modele charakteryzują się dużą dokładnością określenia miąższości. Zastosowanie opracowanych modeli do drzewostanów w wieku rębny oraz drzewostanu nizinnego spowodowało wystąpienie nieco większych błędów określenia miąższości.

Dyskusja wyników

Opracowane modele zbieżności strzał charakteryzują się stosunkowo dużą dokładnością określenia miąższości, którą potwierdziły analizy dokładności na niezależnym materiale empirycznym. Za interesujący można uznać fakt, że znaczna część drzew, które posłużyły do sprawdzenia opracowanych modeli charakteryzowała się wyraźnie większymi wymiarami w porównaniu z danymi wykorzystanymi do opracowania modelu. Świadczyć to może o tym, że rozwiązanie to nie jest podatne na błędy powstałe w wyniku ekstrapolacji, czyli nie powoduje systematycznych błędów określenia miąższości również wówczas, kiedy jest stosowane poza konkretnym zakresem grubości i wysokości drzew. W porównaniu z pozostałymi drzewostanami większe błędy określenia miąższości uzyskano stosując opracowane modele kształtu dla drzewostanu z Wigier. Powodem tego jest najprawdopodobniej inny kształt strzał świerka zasięgu północnego i południowego. Wskazują na to również badania Ciosmaka [2002], który stwierdził, że kształt przekroju podłużnego strzały powinien być określany odrębnymi modelami dla świerków z zasięgu północnego i południowego. Do podobnej konkluzji doszedł Socha [2003] sugerując, że modele powinny być dostosowane do lokalnych warunków wzrostu drzewostanów. Określanie kształtu i miąższości drzew i drzewostanów pochodzących z gór i nizin za pomocą tych samych wzorów empirycznych może powodować powstawanie błędów systematycznych. Istnieje zatem potrzeba zbudowania odrębnych modeli kształtu i wzorów empirycznych dla świerka z zasięgu górskiego i nizinnego. Tego typu podział dla buka zastosowała Dudzińska opracowując odrębne wzory dla buka nizinnego i górskiego [2002, 2003a].

Ocena dokładności opracowanych modeli wskazuje na to, że w przypadku drzewostanów w wieku rębny wyniki określenia miąższości mogą być nieco zaniżone. Stwierdzone dla najstarszych drzewostanów świerkowych rębnych ujemne błędy określenia miąższości świadczą o tym, że w porównaniu z drzewostanami młodszymi charakteryzują się one większą

delu II spowodowało nieznaczne zwiększenie dokładności. Błędy określenia miąższości wynosiły w tym przypadku od -3,70% dla drzewostanu Petkówka P1000 do 3,60% dla drzewostanu z Wigier. Analizując dokładność opracowanych modeli kształtu można stwierdzić związek wielkości błędów z wiekiem drzewostanu oraz jego położeniem. W przypadku drzewostanów górskich mniejsze błędy określenia miąższości, zarówno w przypadku modelu I jak i modelu II, uzyskano dla drzewostanów najmłodszych (Zawoja – 78 lat oraz Olecki – 103 lata). Dla drzewostanów starszych, Petkówka P1000

pełnością strzał. Można to uzasadnić tym, że z wiekiem przyrost na wysokość słabnie, na wysokim poziomie utrzymuje się natomiast przyrost grubości, dlatego strzały starszych drzew są pełniejsze od strzał drzew młodszych [Borowski 1974].

Wnioski

- ✦ Do określenia kształtu i miąższości strzał można zastosować równania regresji, w których zmiennymi wyjaśniającymi są: pierśnica lub pierśnica i wysokość drzewa. Równania te charakteryzują się zbliżoną dokładnością i nie powodują występowania systematycznych błędów określenia grubości na żadnej wysokości względnej. W przypadku pojedynczych drzew skrajne błędy określenia miąższości mogą jednak niekiedy sięgać nawet 25-30%.
- ✦ Znaczne zwiększenie dokładności określenia miąższości pojedynczego drzewa uzyskać można przez zastosowanie w modelu zbieżystości grubości z połowy wysokości strzały. Odchylenie standardowe błędów procentowych określenia miąższości zmniejszyło się wówczas do około 2,9%, a błędy skrajne wyniosły od -11,6% do 7,5%. Praktyczne zastosowanie takiego rozwiązania wymaga jednak zastosowania przyrządów do pośredniego pomiaru grubości na drzewach stojących.
- ✦ Na podstawie oceny dokładności opracowanych modeli kształtu strzał na niezależnym materiale empirycznym stwierdzono, że w przypadku górskich drzewostanów świerkowych średnich i starszych klas wieku, opracowane modele charakteryzują się dużą dokładnością. W przypadku drzewostanów rębnych w wieku powyżej 110 lat należy stosować inne rozwiązania.
- ✦ Opracowane modele zbieżystości zastosowane do drzewostanu z północno-wschodniego zasięgu świerka powodowały na ogół zawyżanie miąższości pojedynczych drzew. Można to uznać za potwierdzenie występowania różnic w kształcie strzał świerka z drzewostanów górskich i nizinnych.
- ✦ Ze względu na dużą dokładność oraz łatwość zastosowania z wykorzystaniem techniki komputerowej, opracowane modele zbieżystości mogą znaleźć praktyczne zastosowanie do określenia miąższości strzał oraz miąższości klas wymiarowych drewna w górskich drzewostanach świerkowych w wieku przedrębnym oraz w średnich klasach wieku.

Literatura

- Baur F. 1890. Formzahlen und Massentafeln für die Fichte. Verlag von Paul Parey.
- Bi H. 2000. Trigonometric Variable-Form Taper Equations for Australian Eucalyptus. For. Sci. 46 (3). 397-409.
- Borowski M. 1974. Przyrost drzew i drzewostanów. PWRiL. Warszawa 1974.
- Bruchwald A. 1980. Wykorzystanie badań nad pełnością strzał do budowy tablic zbieżystości dla drzewostanów sosnowych. FFP Seria A, 24: 101-109.
- Ciosmak P. 2002. Pełność strzał świerka bez kory. Sylwan 4: 81-88.
- Dudzińska M. 2000. Wzory empiryczne do określania miąższości drzewostanów bukowych. Rozprawa doktorska. Maszynopis w IBL. Warszawa.
- Dudzińska M. 2002. Wzory empiryczne do określania pierśnicowych liczb kształtu górskich drzewostanów bukowych. Sylwan 8: 31-39.
- Dudzińska M. 2003a. Wzory empiryczne do określania pierśnicowych liczb kształtu drzewostanów buka nizinnego. Sylwan 1: 35-40.
- Dudzińska M. 2003b. Model udziałów miąższości poszczególnych części strzały dla buka górskiego i nizinnego. Sylwan 4: 28-37.
- Fang Z., Borders B. E., Bailey R. L. 2000. Compatible Volume-Taper Models for Loblolly and Slash Pine Based on a System with Segmented-Stem Form Factors. For. Sci. 46(1):1-12.
- Flewelling J. W., Raynes L. M. 1993. Variable-shape stem-profile predictions for western hemlock. Part I. Predictions from DBH and total height. Can. J. For. Res. 23: 520-536.
- Gieruszyński T. 1948. O kształcie strzał drzew leśnych. Sylwan 2-4: 204-247.
- Gieruszyński T. 1960. O zmienności cech taksacyjnych drzew w dojrzałych drzewostanach świerkowych. Folia For. Pol. seria A, z.2: 5-44.

- Korol M, Gadow K. v. 2003. Ein Einheitschaftmodell für die Baumart Fichte. Forstwissenschaftliches Centralblatt. Vol.122, Issue 3:175-183.
- Kozak A., Smith J. G. H. 1993. Standards for evaluating taper estimating systems. The Forestry Chronicle, 1993, Vol. 69, No.4: 438-444.
- Radwański B. 1957. Tablice miąższości i zbieżystości dłużyc, kłód i wyrzynków strzały dla świerka. Roczniki Nauk Leśnych, tom XVII. Warszawa 1957.
- Siekierski K. 1992. Model zbieżystości strzał sosen. Sylwan, 10, 43-51.
- Socha J. 2002. A taper model for Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Forestry. Vol. 5, Issue 2.
- Socha J. 2003. Ocena dokładności wybranych sposobów określania miąższości drzew stojących w górskich drzewostanach świerkowych. Sylwan 4: 85-93.
- Wensel L. C., Olson C. M. 1995. Tree Taper Major Commercial California Conifers. Hilgardia, A Journal of Agricultural Science Published By the California Agricultural Experiment Station. Vol. 62, No 3: 1-16.

SUMMARY

A taper model for mountain spruce stands in medium age classes

The empirical material used in the studies contains measurement results from 57 mountain spruce forests ranging in age from 56 to 104 years.

The objective of the studies was to develop the model for mountain spruce stands in medium age classes describing the stems shape of trees. The longitudinal section was described by a multiple regression equations determining thickness of a tree stem at different relative heights. Three variants of equations were proposed. In the simplest equation, the variables were d.b.h. and tree height; while height and thickness at half of the stem height were additional variables used in other equations.

The accuracy of all the equations was similar. The equations were free from systematic errors in determining thickness at any relative height of a tree bole. However, for single trees the extreme errors of calculating tree volume can sometime be as high as 25-30%.

The analysis of the empirical material proved that the accuracy of models developed for the mountain spruce forests in the medium and older age classes was quite satisfactory. For stands above 110 years, the errors in calculating tree volume are slightly higher. Similarly for the north-eastern stands the proposed method overestimated the volume of single trees. This confirmed the differences in shape of spruce stems between the mountain and lowland stands.

Thanks to the relatively high accuracy and simplicity of use with the support of computer techniques, the developed taper models can be applicable in determining tree stem and timber assortment volumes in pre-commercial mountain spruce stands and stands in medium age classes.