ARKADIUSZ BRUCHWALD, TERESA RYMER-DUDZIŃSKA

Badania nad zmiennością geograficzną kształtu sosny

A Research on Geographical Variability of Pine Tree Shape

Abstract. The report discusses one of the most important of the trunk shape – the **fullness**. Its measure, the shape exponent, was defined with the method proposed by Bruchwald (1980). The size variability, and the mean value of the tree stand shape exponent were studied as dependent on the stand age, stand quality class, location within the forest natural region and forest site type. The research based on an empirical material from 1422 pine stands from over the territory of Poland.

Keywords: pine, shape exponent, spatial diversity of the shape exponent.

Wstęp

Badania nad kształtem strzał należą do najważniejszych problemów dendrometrii [2-6]. Od zmienności kształtu zależy bowiem dokładność wzorów określających miąższość drzewa, a także miąższość i przyrost miąższości drzewostanu.

Analizę kształtu strzał przeprowadza się porównując przebieg krzywej morfologicznej z przebiegiem tworzącej regularnych brył obrotowych, których równanie tworzącej ma postać

$$y^2 = px^r$$

gdzie:

y – promień bryły na dowolnej wysokości,
x – odległość promień od wierzchołka,
p – parametr kształtu,
r – wykładnik kształtu.

Zauważmy, że parametr kształtu decyduje o wartości średnicy na danej wysokości. O charakterze przebiegu tworzącej decyduje natomiast wykładnik kształtu. W zależności od wartości wykładnika kształtu tworząca może być wypukła ($0<r<2$) lub wklęsła ($r>2$), a w szczególnych przypadkach prosta ($r = 0$ lub $r = 2$).

Celem niniejszych badań jest ocenienie jak zmienia się w różnych regionach Polski, w drzewostanach sosnowych, jedna z najważniejszych cech kształtu strzał – pełność. Jej miernik, a jest nim wykładnik kształtu, będzie określony sposobem zaproponowanym przez Bruchwalda [2].

Materiał i metodyka badań

Badania opierają się na materiale empirycznym zebranym w 1422 drzewostanach położonych na terenie całej Polski – w sześciu krainach przyrodniczo-leśnych:

I.	Bałtyckiej	– 100 drzewostanów,
II.	Mazursko-Podlaskiej	– 177 drzewostanów,
III.	Wielkopolsko-Pomorskiej	– 590 drzewostanów,
IV.	Mazowiecko-Podlaskiej	– 151 drzewostanów,
V.	Śląskiej	– 86 drzewostanów,
VI.	Wyżyn Środkowopolskich	– 318 drzewostanów.

Drzewostany te rosły na różnych siedliskach od Bs do LMśw. Wiek ich wahał się od 15 do 174 lat. Przeciętna pierśnica wynosiła od 3,9 do 58,8 cm, zaś średnia wysokość od 3,7 do 31,1 m. Klasa bonitacji określona sposobem Bruchwalda [1] wahała się od 26,3 do 41,7 m.

W każdym drzewostanie, oprócz typowych pomiarów dendrometrycznych wykonanych na drzewach stojących, ścięto pewną liczbę drzew próbnych i określono m. in. ich wiek oraz miąższość sposobem sekcyjnym. Liczba ściętych drzew w poszczególnych drzewostanach wahała się od 20, 50 do kilkuset na zrębach badawczych (12).

W każdym drzewostanie określono przeciętną wartość wykładnika kształtu strzały. Do jego wyznaczenia zastosowano jeden z najprecyzyjniejszych sposobów, a mianowicie sposób Bruchwalda [2]. Zgodnie z nim wykładnik kształtu wyznacza się z wzoru:

$$r = \frac{\lg 2}{\lg l - \lg (l - l_{0,5v})} - 1$$

gdzie:

l – długość strzały,

$l_{0,5v}$ – długość odziomkowej części strzały, której miąższość jest równa połowie miąższości całej strzały.

Na podstawie wielkości r dla poszczególnych drzewostanów wyznaczono przeciętne wartości wykładnika kształtu dla poszczególnych krain przyrodniczoleśnych. W zestawieniach pominięto przypadki, w których liczba drzewostanów była mniejsza od 10.

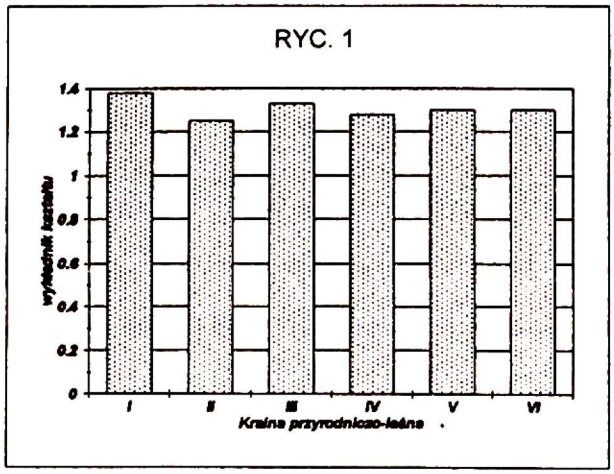
Wyniki badań

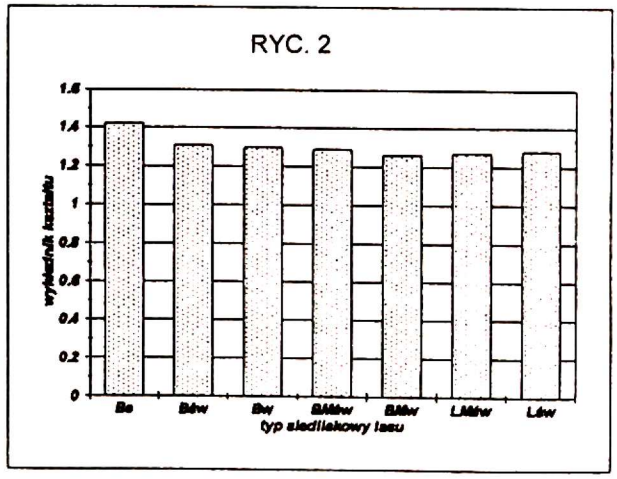
W badanych drzewostanach przeciętna wartość wykładnika kształtu strzały w korze (r) wynosi 1,31, odchylenie standardowe 0,139, a współczynnik zmienności 10,6%.

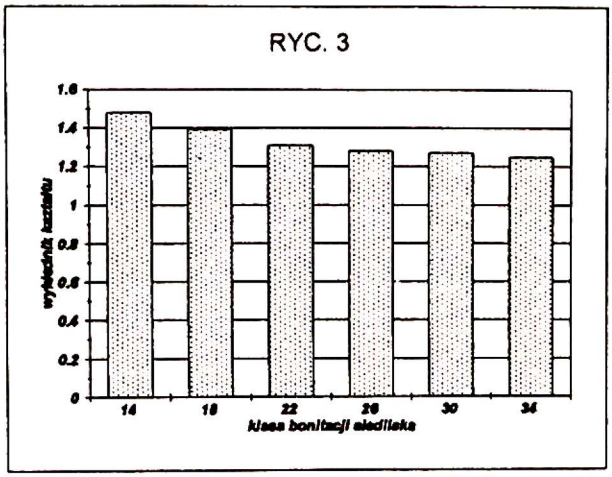
TABELA 1

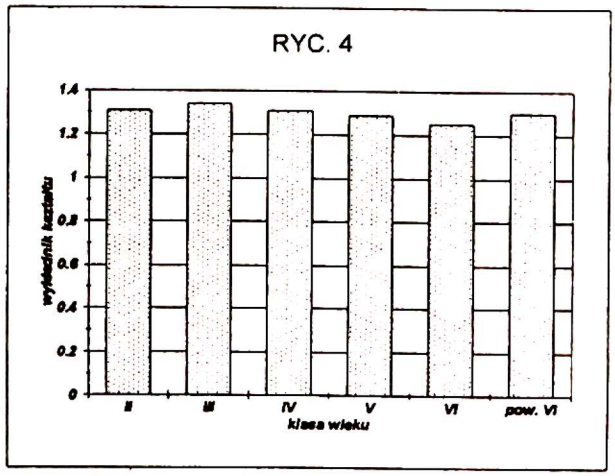
Średnie wartości wykładnika kształtu strzał w korze w drzewostanach sosnowych w zależności od ich położenia w poszczególnych krainach przyrodniczo-leśnych Polski

Kraina	r_K
I	1,38
II	1,25
III	1,33
IV	1,28
V	1,30
VI	1,30
Średnio	1,31









RYC. 1. Wykładnik kształtu strzały dla krain przyrodniczo-leśnych
RYC. 2. Wykładnik kształtu strzały dla siedlisk leśnych
RYC. 3. Wykładnik kształtu strzały dla bonitacji
RYC. 4. Wykładnik kształtu strzały dla klas wieku

TABELA 2
Średnie wartości wykładnika kształtu strzał w korze w drzewostanach sosnowych rosnących na różnych siedliskach

Siedlisko	*r*
Bs	1,42
Bśw	1,31
Bw	1,30
BMśw	1,29
BMw	1,26
Lśw	1,28

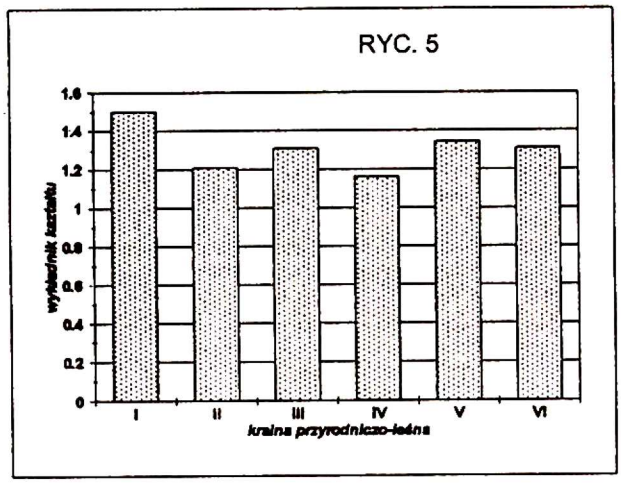
TABELA 3
Średnie wartości wykładnika kształtu strzał w korze w drzewostanach sosnowych w zależności od klasy bonitacji drzewostanu

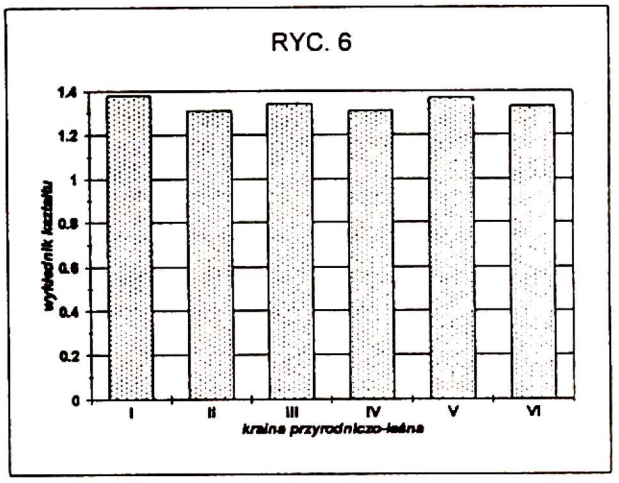
Bonitacja	*r*
10-16	1,48
16-20	1,39
20-24	1,31
24-28	1,28
28-32	1,27
32-40	1,25

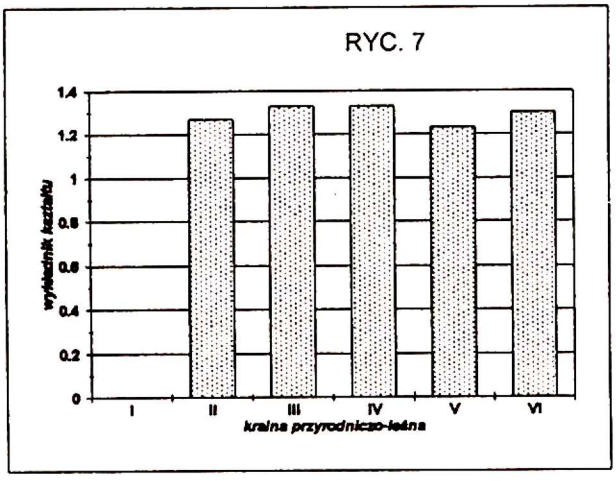
TABELA 4
Średnie wartości wykładnika kształtu strzał w korze w drzewostanach sosnowych w zależności od wieku drzewostanu

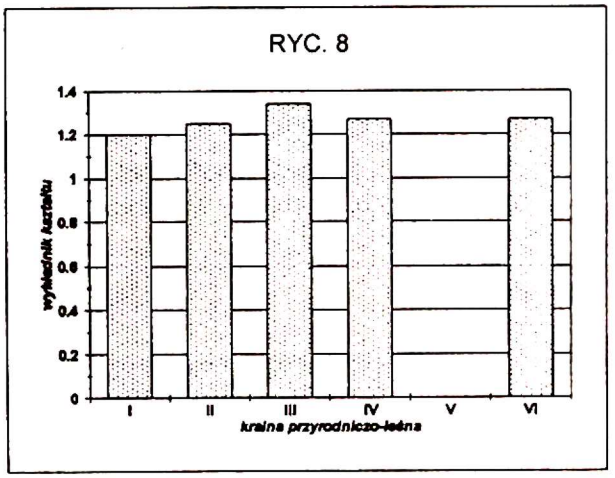
Wiek	*r*
1-40	1,31
40-60	1,34
60-80	1,31
80-100	1,29
100-120	1,25
pow. 120	1,30

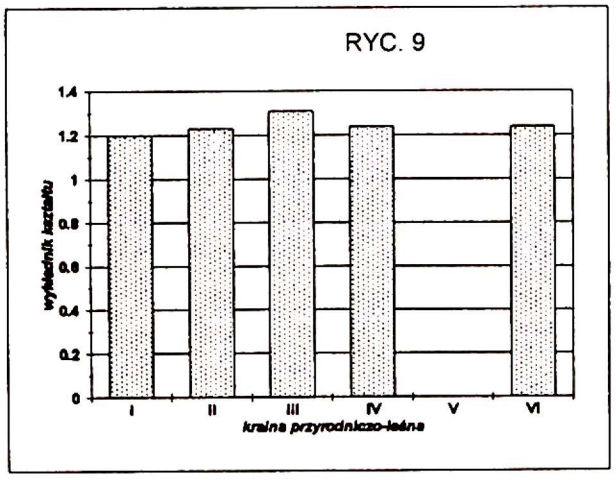
Największą przeciętną wartością wykładnika kształtu strzał w korze charakteryzują się drzewostany z Krainy I – Bałtyckiej (r = 1,38), a odpowiednio mniejszymi z krain: III – Wielkopolsko-Pomorskiej (1,33), V i VI – Śląskiej i Wyżyn Środkowopolskich (1,30), IV – Mazowiecko-Podlaskiej (1,28) i II – Mazursko-Podlaskiej (1,25). Z tego wynika, że

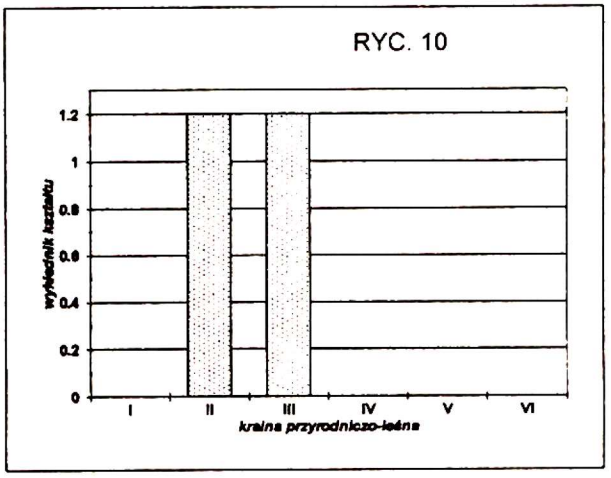












RYC. 5. Wykładnik kształtu dla krain przyrodniczo-leśnych – drzewostany II klasy wieku
RYC. 6. Wykładnik kształtu dla krain przyodniczo.-leśnych – drzewostany III klasy wieku
RYC. 7. Wykładnik kształtu dla krain przyodniczo-leśnych – drzewostany IV klasy wieku
RYC. 8. Wykładnik kształtu dla krain przyrodniczo-leśnych – drzewostany V klasy wieku
RYC. 9. Wykładnik kształtu dla krain przyrodniczo-leśnych – drzewostany VI klasy wieku
RYC. 10. Wykładnik kształtu dla krain przyrodniczo-leśnych – drzewostany pow. VI klasy wieku

TABELA 5

Średnie wartości wykładnika kształtu strzał w korze w drzewostanach sosnowych położonych w poszczególnych krainach przyrodniczo-leśnych w zależności od klasy bonitacji drzewostanu

Bonitacja	Kraina					
	I	II	III	IV	V	VI
10-16	1,49		1,48			1,51
16-20			1,39		1,24	1,46
20-24	1,24	1,24	1,33	1,32	1,26	1,31
24-28	1,29	1,23	1,28	1,29	1,31	1,28
28-32	1,32	1,26	1,29	1,24	1,32	1,26
pow. 32		1,27	1,26	1,19		1,23

TABELA 6

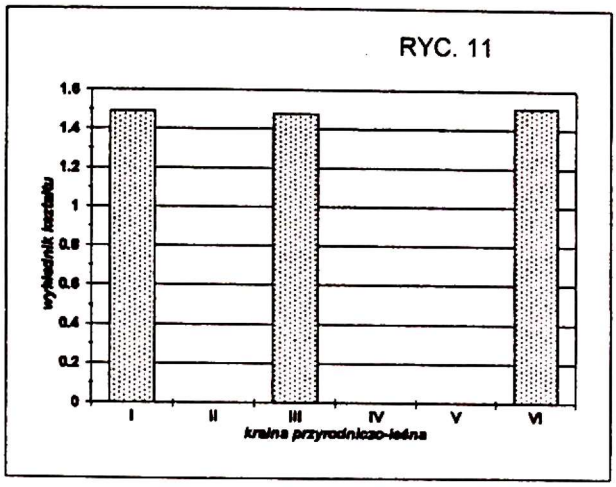
Średnie wartości wykładnika kształtu strzał w korze w drzewostanach sosnowych położonych w poszczególnych krainach przyrodniczo-leśnych w zależności od wieku drzewostanu

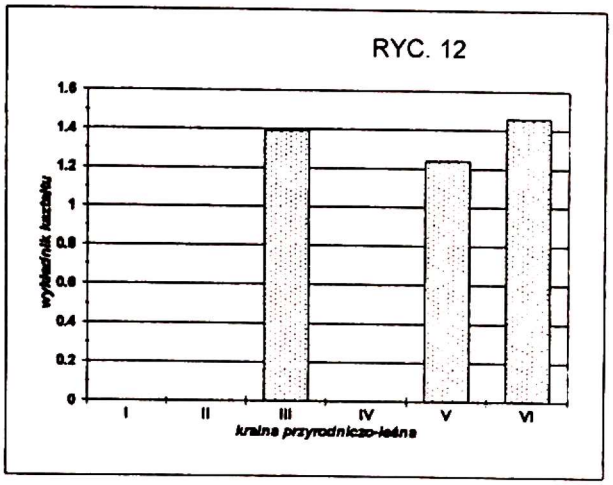
Klasa wieku	Kraina					
	I	II	III	IV	V	VI
II	1,50	1,21	1,31	1,16	1,34	1,31
III	1,38	1,31	1,34	1,31	1,37	1,33
IV	-	1,27	1,33	1,33	1,23	1,30
V	1,20	1,25	1,34	1,27	-	1,27
VI	1,20	1,23	1,31	1,24	-	1,24
pow. VI		1,20	1,20	-	-	-

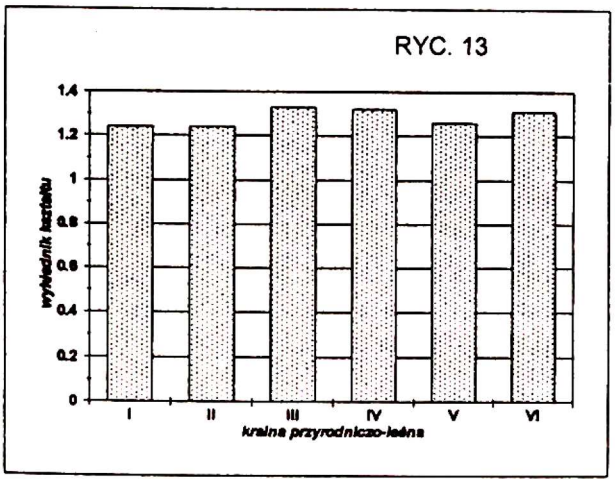
TABELA 7

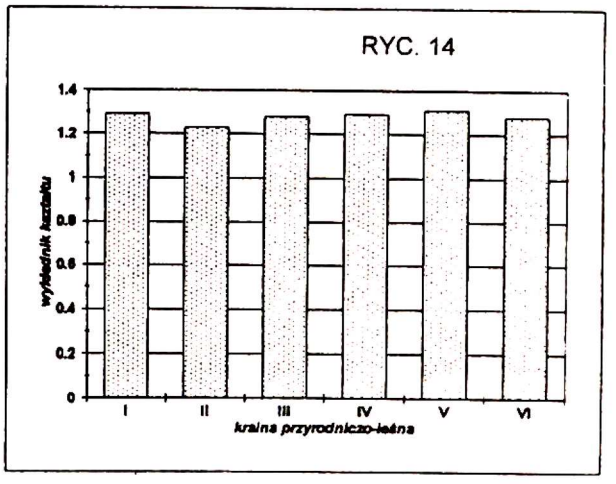
Średnie wartości wykładnika kształtu strzał w korze w drzewostanach sosnowych położonych w poszczególnych krainach przyrodniczo-leśnych w zależności od typu siedliskowego lasu

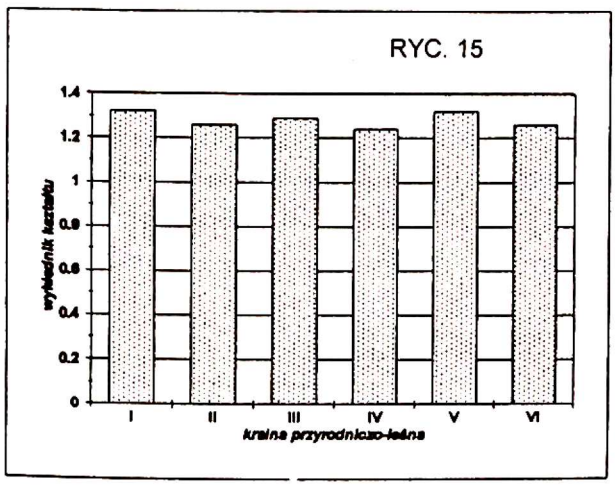
Siedlisko	Kraina					
	I	II	III	IV	V	VI
Bs			1,43			1,30
Bśw	1,28	1,22	1,33	1,32	1,38	1,25
Bw					1,42	1,34
BMśw	1,33	1,30	1,27	1,23	1,30	1,25
BMw						
LMśw			1,30	1,18		

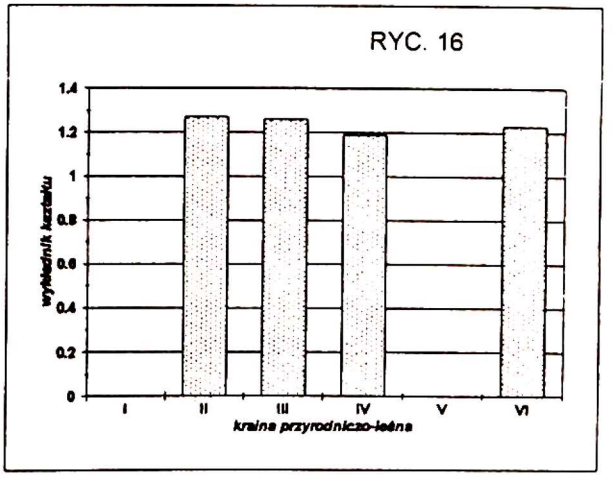




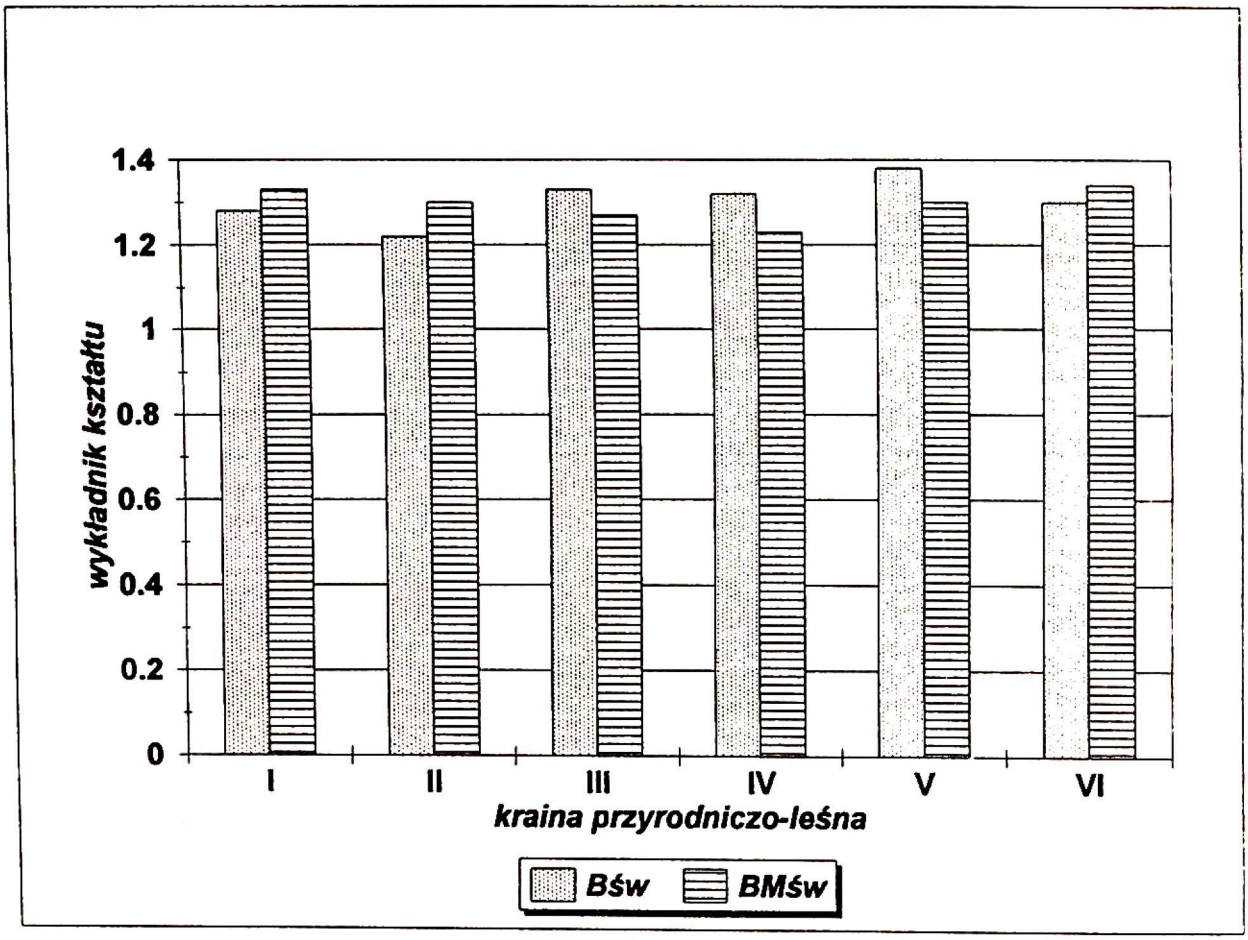








RYC. 11. Wykładnik kształtu dla krain przyrodniczo-leśnych – drzewostany o bonitacji 10-16
RYC. 12. Wykładnik kształtu dla krain przyrodniczo-leśnych – drzewostany o bonitacji 16-20
RYC. 13. Wykładnik kształtu dla krain przyrodniczo-leśnych – drzewostany o bonitacji 20-24
RYC. 14. Wykładnik kształtu dla krain przyrodniczo-leśnych – drzewostany o bonitacji 24-28
RYC. 15. Wykładnik kształtu dla krain przyrodniczo-leśnych – drzewostany o bonitacji 28-32
RYC. 16. Wykładnik kształtu dla krain przyrodniczo-leśnych – drzewostany o bonitacji pow. 32



RYC. 17. Wykładnik kształtu dla krain przyrodniczo-leśnych – siedliska Bśw i BMśw

największą pełnością odznaczają się drzewostany z Krainy II, a najmniejszą z Krainy I (tab. 1, ryc. 1). Różnice między przeciętnymi wartościami wykładnika kształtu w poszczególnych krainach nie są duże. Między skrajnymi wartościami dla Krainy Bałtyckiej i Mazursko-Podlaskiej różnica wynosi 0,13.

W dalszych częściach pracy starano się dociec przyczyn rozbieżności między wielkościami wykładnika kształtu w niektórych krainach. Zbadano jak kształtuje się wielkość wykładnika kształtu w zależności od typu siedliskowego lasu bez względu na położenie drzewostanów (tab. 2, ryc. 2). Z ryciny 2 wynika, że w miarę polepszania się siedliska od Bs do BMw wartość wykładnika *r* maleje, co oznacza, że wzrasta pełność drzew w tych drzewostanach. W miarę dalszego polepszania się siedliska wartość *r* nieznacznie rośnie.

Przeprowadzono też badania nad zależnością pełności strzał w korze od klasy bonitacji, określonej sposobem Bruchwalda (tab. 3, ryc. 3). W miarę wzrostu klasy bonitacji siedliska od 14 do 34 m wykładnik *r* maleje, czyli pełność drzew rośnie. W niższych klasach od 14 do 22 m wzrost pełności jest bardzo szybki, w miarę dalszego podwyższania klasy bonitacji już powolny.

W dalszych badaniach sprawdzono jak zmienia się przeciętna wartość *r* w zależności od wieku drzewostanu (tab. 4, ryc. 4). Jak wynika z ryciny 4, wykładnik kształtu *r* w

drzewostanach II klasy wieku przeciętnie wynosi 1,31, w drzewostanach III klasy trochę wzrasta (1,34), a następnie z wiekiem drzewostanu, aż do VI klasy maleje (1,25). W drzewostanach o wieku powyżej 120 lat ponownie wzrasta do poziomu mniej więcej drzewostanów V klasy wieku. Zatem przeciętnie najmniejszą pełnością charakteryzują się drzewa z drzewostanów III klasy wieku oraz I, II i IV klasy, a najmniejszą z VI klasy wieku.

Z prezentowanych badań wynika, że wielkość wykładnika kształtu zależy od typu siedliska na jakim rośnie drzewostan, klasy bonitacji oraz wieku drzewostanu. Stwierdzone zróżnicowanie przeciętnych wartości wykładnika kształtu drzewostanów w poszczególnych krainach przyrodniczo-leśnych niekoniecznie musi wynikać z położenia drzewostanów. Przyczyną jego może być także wpływ wymienionych czynników na wielkość *r*. Aby wyjaśnić to zagadnienie, zbadano wielkości wykładników kształtu w obrębie poszczególnych krain w zależności od klasy wieku, bonitacji i typu siedliska, a także w obrębie poszczególnych klas wieku, bonitacji i typy siedliskowego lasu w zależności od krainy.

W tabeli 5 zaprezentowano średnie wielkości wykładnika kształtu dla drzewostanów z jednoczesnym podziałem drzewostanów na krainy i klasy bonitacji. Przypomnijmy, że ogólnie dla całego materiału, ze wzrostem klasy bonitacji wartość *r* malała. Zależność ta znalazła potwierdzenie tylko w drzewostanach z III, IV i VI krainy, w pozostałych krainach ze wzrostem klasy bonitacji *r* początkowo maleje, a później wzrasta (kraina I, II), albo w sposób ciągły rośnie (kraina V).

Prześledźmy teraz jak zmienia się wielkość r w drzewostanach o tej samej klasie bonitacji w zależności od ich położenia w poszczególnych krainach (tab. 5, ryc. 11-16).

Na wstępie należy zaznaczyć, że drzewostany o najniższych klasach bonitacji występują tylko w niektórych krainach. I tak drzewostany o klasie 10-16 m występują wyłącznie w I, III i VI krainie, a o klasie 16-20 m w krainach III, V i VI.

Przeciętne wartości wykładnika kształtu w drzewostanach o najniższej klasie bonitacji 10-16 m są bardzo wysokie i w poszczególnych krainach kształtują się mniej więcej na tym samym poziomie (1,48-1,51) (ryc. 11). W następnej klasie bonitacji (16-20 m) wartości *r* są bardziej zróżnicowane i wynoszą od 1,24 do 1,46 (ryc. 12). W obu klasach najwyższe wartości *r* osiągnęły drzewostany z VI krainy. W klasie 20-24 m (ryc. 13) w trzech krainach – III, IV, VI występują wyższe wartości *r* (od 1,31 do 1,33) niż w pozostałych (od 1,24 do 1,26). W klasie 24-28 m (ryc. 14) wartości r w poszczególnych krainach osiągają mniej więcej wyrównany poziom (1,28-1,31), wyjątek stanowią tu tylko drzewostany z krainy II, w których r wynosi 1,23. W klasie 28-32 (ryc. 15) wartości *r* dla poszczególnych krain są bardziej zróżnicowane i kształtują się na poziomie 1,24 do 1,32. Podobnie jest w klasie powyżej 32 m (ryc. 16), z tym że wartości *r* są generalnie niższe (1,19-1,27).

Z rozważań tych wynika, że najbardziej stabilna jest wartość r w drzewostanach o klasach bonitacji 10-16 i 24-28 m. W pozostałych klasach wielkość *r* osiąga różny poziom w zależności od położenia drzewostanu. Nie dostrzeżono jednak w tym zróżnicowaniu jakiejś prawidłowości, którą można by odnieść do wszystkich klas bonitacji.

Analiza wielkości *r* w klasach bonitacji pozwala na wyjaśnienie, co jest przyczyną większych albo mniejszych wartości *r* w niektórych krainach. Otóż w krainach, w których przeciętne wartości *r* były większe niż w innych (I, III, VI) występowały drzewostany o

najniższej klasie bonitacji, odznaczające się największymi wartościami *r*. Z kolei w tych krainach, w których stwierdzono najniższe przeciętne wartości *r* (II, IV) w ogóle nie występowały drzewostany z dwu pierwszych klas bonitacji. Zatem występowanie lub nie występowanie drzewostanów o najniższych bonitacjach zadecydowało o ogólnym obrazie wielkości wykładnika kształtu w tych krainach

W dalszej części pracy zbadano jak zmienia się przeciętna wartość wykładnika kształtu z wiekiem drzewostanu w drzewostanach z tej samej krainy przyrodniczo-leśnej i jakie wartości *r* osiągają drzewostany tego samego wieku, położone w różnych krainach (tab. 6).

W obrębie krain zmiany wartości *r* z wiekiem drzewostanu przebiegają na ogół tak samo jak we wszystkich drzewostanach bez względu na ich położenie. Z wiekiem drzewostanu wartość *r* do III klasy wieku rośnie, a następnie do VI klasy wieku maleje i ponownie wzrasta. Natomiast w poszczególnych klasach wieku nie stwierdzono jakiegoś stałego porządku w wielkości *r* w zależności od położenia drzewostanów (ryc. 5-10).

Na podstawie wyników prezentowanych dla całości materiału można było się spodziewać, że we wszystkich klasach wieku w drzewostanach z I Krainy wystąpią większe, a w drzewostanach z II Krainy mniejsze wartości *r* niż w innych krainach. W rzeczywistości drzewostany z Krainy Bałtyckiej charakteryzują się największymi wykładnikami kształtu w II i III, a szczególnie II klasie wieku, a jednocześnie najmniejszymi w pozostałych klasach – V i VI. Można zatem sądzić, że największe przeciętne wartości *r* dla drzewostanów z krainy I wynikają z dużej reprezentacji młodych drzewostanów, odznaczających się wysokimi wartościami wykładnika kształtu.

Jeśli chodzi o wartości wykładnika kształtu w drzewostanach położonych w II Krainie Mazursko-Podlaskiej to wprawdzie nie są one najniższe w poszczególnych klasach wieku, w porównaniu z wartościami *r* w innych krainach, ale jedne z niższych. Porównano również wielkości wykładnika kształtu w drzewostanach rosnących na dwu typowych siedliskach dla sosny Bśw i BMśw, a położonych w różnych krainach przyrodniczo-leśnych (ryc. 17).

Przy badaniu zależności wielkości *r* od typu siedliska stwierdzono, że wraz z polepszaniem się jakości siedliska przeciętnie pełność drzew rośnie i wielkość *r* w drzewostanach rosnących na BMśw jest mniejsza niż na Bśw (ryc. 2). Niestety nie można tego powiedzieć porównując wielkości wykładnika kształtu w I, II i VI krainie (ryc. 17). W tych krainach przeciętne wartości *r* na siedlisku BMśw są większe niż na siedlisku Bśw. W pozostałych krainach (III, IV i V) wykładniki kształtu na BMśw są mniejsze, tak jak dla całości materiału. Jak stwierdzono, na wielkość *r* w dużym stopniu ma wpływ wiek drzewostanu, dlatego aby wyjaśnić czy faktycznie są takie relacje między *r* w drzewostanach rosnących na różnych siedliskach należałoby wyeliminować wpływ wieku drzewostanu.

Podsumowanie i wnioski

- W badanych drzewostanach sosnowych przeciętna wartość wykładnika kształtu strzał w korze wynosi 1,31, odchylenie standardowe 0,139, a współczynnik zmienności 10,6%.

- Wielkość wykładnika kształtu strzał drzew zależy od wieku drzewostanu. Wartość jego do III klasy wieku rośnie, osiąga kulminację, a następnie spada. Prawidłowość tę stwierdzono zarówno dla całości materiału jak również w obrębie poszczególnych krain przyrodniczoleśnych.

- Przeciętna wartość wykładnika kształtu dla drzewostanu zależy od jego bonitacji. Ze wzrostem klasy bonitacji *r* maleje. Zależność tę stwierdzono analizując łącznie wszystkie drzewostany. Nie dostrzeżono jej natomiast w obrębie poszczególnych krain.

- Bez względu na położenie drzewostanu przeciętne wartości wykładnika kształtu dla drzewostanu maleją w miarę polepszania się typu siedliska od Bs do BMw. Prawidłowość ta potwierdziła się tylko w obrębie trzech krain (III, IV i V).

- Przeciętne wielkości wykładnika kształtu w drzewostanach rosnących w poszczególnych krainach przyrodniczo-leśnych Polski osiągnęły różny poziom. Największą wartością charakteryzowały się drzewostany w I Krainie (1,38), odpowiednio mniejszymi w krainach III (1,33), V i VI (1,30), IV (1,28) i II (1,25). Taki układ wielkości *r* w zależności od położenia drzewostanów nie potwierdził się w drzewostanach o tym samym wieku, klasie bonitacji, czy typie siedliska. Można przypuszczać, że stwierdzone różnice są przypadkowe i wynikają z niezupełnej reprezentatywności materiału.

Literatura

1. **Bruchwald A.**: Change in top height of pine forest stands with age. Bull. Acad. Pol. Sci. ser. biol., 1977, No 5.
2. **Bruchwald A.**: Badania kształtu strzał drzew leśnych. FFP, A, 1980, z. 24.
3. **Gieruszyński T.**: O kształcie strzał drzew leśnych. Sylwan, 1948, nr 2-4.
4. **Grochowski J.**: Wykładnik kształtu strzały. Jego rola w dendrometrii i w doświadczalnictwie leśnym. RNRiL, 1933, t. XXIX.
5. **Wielgosz T.:** Metodyczne rozważania nad oznaczaniem elementów kształtu drzew leśnych. Prace I Polskiego Naukowego Zjazdu Leśniczego. Poznań 1935.
6. **Wielgosz T.**: Nowa metoda oznaczania elementów kształtu strzał drzew leśnych. Roczniki WSR Poznań, 1957, t. I.

Z Katedry Produkcji Lasu SGGW w Warszawie

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego Nr 5PO6MO1712 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 1997-1999.

Summary

A Research on Geographical Variability of Pine Tree Shape

The research aimed at assessing in pine stands of various regions of Poland, how does the fullness, one of the most important features of stem shape, vary. Its measure, the form exponent, was defined using the Bruchwald's method (1980).

The research based on a large empirical material from 1422 pine stands from all over Poland. The stands grew on different sites – from dry coniferous forest (Bs) to fresh deciduous mixed forest (LMśw). Their age ranged from 15 to 174 years. The average d.b.h. was 3.9-58.8 cm, and the average height 3.7-31.1 m. The site index class defined after the Bruchwald's method (1977) ranged from 26.3 to 41.7 m. The average value of the stem form exponent ® was assessed for each stand, basing on sample trees (20/50).

The following findings can be formulated on the basis of the research carried out:

- The average value of the stem-over-bark form exponent in the pine stands under study was 1.31, while standard deviation 0.139, and variability coefficient 10.6%.
- The size of the stem form exponent depended on the age of tree stands. Its value grew up to the III age class, reached its culmination, and then dropped down. That regularity was found not only in the entire material but also inside individual natural forest provinces.
- The average value of the form exponent for a stand depends on the site quality index. The *r* exponent decreased along the increase of the site index. That relationship was found when analysing jointly all stands. It has however not been found within individual provinces.
- Without regard to stand location, average values of the form exponent for stands decreased along the bettering of site types from dry coniferous forest (Bs) to moist mixed conifer forest (BMw). That regularity was confirmed only inside three provinces (III, IV, and V).
- The average values of the form exponent for stands growing in individual natural forest provinces of Poland reached different levels. The Province I stands got the greatest value (1.38), while those from other provinces had lesser magnitudes, and respectively: III (1.33), V and VI (1.30), IV (1.28), and II (1.25). Such a pattern of *r* exponent magnitudes depending on the location of stands was not confirmed throughout stands of the same age, stand quality class, or site type. Therefore a supposition can be made that the differences found out were casual, and they result from incomplete representativeness of the material.