

JAROSŁAW SOCHA

Ocena dokładności stałych krzywych wysokości dla drzewostanów świerkowych

Assessment of the accuracy of uniform height curves for spruce stands

ABSTRACT

The paper presents assessment results of the accuracy of uniform height curves developed for mountain spruce stands of Poland [Bruchwald, Wróblewski 1994]. The empirical material was collected in 171 spruce stands in Beskid Zachodni. Moreover, the relationship between the errors of uniform height curves and dendrometric characteristics of stands was also analysed. The research results demonstrated that the accuracy of uniform height curves is close to the accuracy obtained by applying the height curve developed for a given stand.

KEY WORDS

tree height, height curve, uniform height curves, Norway spruce

Wstęp

Jedną z czynności przy pomiarze lasu jest określanie wysokości. Z uwagi na dużą pracochłonność, pomiar wysokości wszystkich drzew w drzewostanie wykonywany jest zazwyczaj tylko w przypadku niektórych badań naukowych [Bruchwald 1995]. Na ogół mierzy się część wysokości i wykreśla krzywą, z której odczytywane są wysokości wyrównane poszczególnych stopni grubości. Liczbę pomiarów można jeszcze bardziej ograniczyć przez zastosowanie stałych krzywych wysokości. Stałe krzywe wysokości umożliwiają określenie krzywej wysokości danego drzewostanu na podstawie jego pewnych cech dendrometrycznych takich jak: przeciętna pierśnica i wysokość, wysokość górna [Hui 1993], bonitacja i powierzchnia pierśnicowego przekroju drzewostanu [Ek i in. 1984]. Prekursorami zastosowania stałych krzywych wysokości byli niemieccy dendrometrycy Wiedemann i Lang [za: Van Laar i Akça 1997]. Wymienieni autorzy opracowali tablice, z których na podstawie przeciętnej pierśnicy i średniej wysokości dokonywano wyboru krzywej służącej do określenia wysokości poszczególnych stopni grubości. W Polsce pierwsze stałe krzywe wysokości w postaci tablic zostały opracowane przez Trampler [1974]. Wyboru danej krzywej dokonywano na podstawie stopnia grubości, na który przypada 70% liczby drzew licząc od stopni najcieńszych. Zarówno stałe krzywe wysokości opracowane przez Wiedemanna jak i Trampiera nie znalazły jednak powszechnego zastosowania w leśnictwie. W ostatnich dziesiątkach lat podejmowano badania nad opracowaniem stałych krzywych wysokości w postaci wzorów empirycznych, z myślą o ich zastosowaniu z użyciem techniki komputerowej. Krzywe takie opracowali m.in. Hui, Ek, Zakrzewski, Gaffrey, Pienaar i Nagel [Van Laar i Akça 1997]. Dla drzewostanów sosnowo-świerkowych północnej Polski stałe krzywe wysokości opracowane zostały przez Bruchwalda i Rymer-Dudzińską [1981]. Nowe stałe krzywe wysokości dla świerka zostały opracowane przez Bruchwalda i Wróblewskiego [1994].

JAROSŁAW SOCHA

Katedra Dendrometrii
Wydział Leśny, Akademia Rolnicza
Al. 29-listopada 46
31-425 Kraków
rsocha@cyf-kr.edu.pl

4 Jarosław Socha

Powstały również stałe krzywe wysokości dla innych gatunków. Zostały one wykorzystane w opracowanych modelach wzrostu podstawowych gatunków lasotwórczych Polski [Bruchwald, Wirowski 1994, Bruchwald i in. 2001]. Z uwagi na znaczne ograniczenie prac pomiarowych (mała liczba wymaganych pomiarów wysokości) jak i uproszczenie prac obliczeniowych (nie zachodzi konieczność szacowania parametrów krzywej wysokości) stałe krzywe wysokości mogą znaleźć szerokie zastosowanie zarówno w praktyce leśnej (inventaryzacji lasu, szacunkach brakarskich itp.), jak i badaniach naukowych.

Dla praktycznego zastosowania omawianego rozwiązania konieczna jest znajomość jego dokładności. Celem niniejszej pracy jest ocena dokładności stałych krzywych wysokości opracowanych dla drzewostanów świerkowych Polski [Bruchwald, Wróblewski 1994] w odniesieniu do górskich drzewostanów świerkowych.

Materiał badawczy

Materiał badawczy, wykorzystany w badaniach został już częściowo opisany we wcześniejszych pracach poświęconych badaniom górskich drzewostanów świerkowych [Orzeł 1993; Rieger 1968; Socha 1998]. W głównej mierze pochodzi ze stałych i czasowych powierzchni badawczych Zakładu Dendrometrii Wydziału Leśnego AR w Krakowie, zakładanych w drzewostanach świerkowych Beskidów Zachodnich (166 powierzchni). Poza powierzchniami badawczymi w pracy wykorzystano również wyniki pomiarów wykonanych na 5 zrębach założonych w Nadleśnictwach Ujsoły i Wiśla [Socha 2002]. Drzewostany stanowiące materiał badawczy położone były w zakresie od 400 do 1300 m n.p.m., ich wiek wynosił od 47 do 144 lat. W poszczególnych drzewostanach (poza zrębami) mierzono na ogół wysokość około 25% drzew. Liczba pomierzonych wysokości mieści się w interwale od 14 do 356 (średnio 55 drzew).

Metodyka badań

W pierwszym etapie w obliczeniach wykorzystywano pierśnice wszystkich drzew, pomierzone na powierzchniach próbnych oraz wysokości drzew, na których cecha ta była określona. Na podstawie tych wielkości określono przeciętną pierśnicę i wysokość poszczególnych drzewostanów. Dla każdego drzewostanu oszacowano parametry krzywej wysokości, którą wyrównano za pomocą równania Näslunda:

$$h = \left(\frac{d_{1,3}}{\alpha + \beta \cdot d_{1,3}} \right)^2 + 1,3 \quad [1]$$

W dalszych obliczeniach uwzględniono tylko drzewa z pomierzonymi wysokościami. Dla tych drzew na podstawie ich pierśnic oraz przeciętnej pierśnicy i wysokości drzewostanu określono wysokość według wzoru na stałe krzywe wysokości [Bruchwald, Wróblewski 1994]:

$$h_i = \frac{d_i^2 (H - 1,3)}{[D - 0,331 \cdot H^{-0,2344} \sqrt{H - 1,3} \cdot (D - d_i)]^2} + 1,3 \quad [2]$$

Podstawiając wartości przeciętnej pierśnicy i przeciętnej wysokości do powyższego wzoru otrzymano modelowe krzywe wysokości dla poszczególnych drzewostanów. Wysokość każdego drzewa określono również korzystając z estymowanej dla każdego drzewostanu krzywej wysokości (rzeczywistej krzywej wysokości drzewostanu). Kolejnym etapem badań było porównanie rzeczywistych krzywych wysokości z krzywymi modelowymi (wyliczonymi na podstawie wzoru [2]). W tym celu dla każdego drzewa określono wysokość według tych dwu rodzajów krzywych i określono ich procentową różnicę [3].

$$\delta v = \frac{h_{skw} - h_{kw}}{h_{kw}} \cdot 100\% \quad [3]$$

gdzie:

h_{skw} – wysokość drzewa określona według stałej krzywej wysokości,

h_{kw} – wysokość drzewa określona z krzywej wysokości drzewostanu.

Wysokości określone według stałych krzywych wysokości i krzywej wyrównanej według równania [1] porównano również z wartościami rzeczywistymi, za które uznano wysokość określoną za pomocą wysokościomierza lub określoną po ścięciu na drzewach leżących.

$$\delta h = \frac{\hat{h} - h}{h} \cdot 100\% \quad [4]$$

gdzie:

h – oznacza rzeczywistą wysokość drzewa,

\hat{h} – oznacza wysokość wyznaczoną na podstawie stałych krzywych wysokości lub krzywej wysokości.

Wpływ błędu określenia wysokości na określanie miąższości drzew rozpatrywano przy założeniu, że pozostałe elementy miąższości (powierzchnia przekroju i liczba kształtu) określone są bezbłędnie.

Ponieważ:

$$v = hgf \quad [5]$$

gdzie:

v – miąższość drzewa (drzewostanu),

g – powierzchnia przekroju,

h – wysokość,

f – liczba kształtu,

to przy założeniu, że g i f zostały określone bezbłędnie błąd procentowy wtórny określenia miąższości spowodowany błędem pomiaru wysokości jest równy:

$$\delta v = \frac{g \hat{h} f - ghf}{ghf} \cdot 100\% \quad [6]$$

upraszczając otrzymujemy:

$$\delta v = \frac{\hat{h} - h}{h} \cdot 100\% \quad [7]$$

Błąd procentowy wtórny określenia miąższości spowodowany zastosowaniem krzywej wysokości bądź stałych krzywych wysokości jest więc równy błędowi procentowemu określenia wysokości

$$\delta_v = \delta_h \quad [8]$$

W badaniach przeanalizowano również związek dokładności stałych krzywych wysokości z przeciętną pierśnicą i wysokością drzewostanu, wiekiem, jakością siedliska (klasą bonitacji) oraz wysokością położenia n.p.m. Zbadano także zależność pomiędzy błędem określenia wysokości drzew a współczynnikiem zmienności pierśnic i wysokości.

Wyniki badań

Przeciętna wysokość analizowanych drzewostanów określona według Lorey'a wahała się w granicach od 11,30 m do 39,87 m, a przeciętna pierśnica przekrojowa od 18,6 cm do 50,0 cm.

6 Jarosław Socha

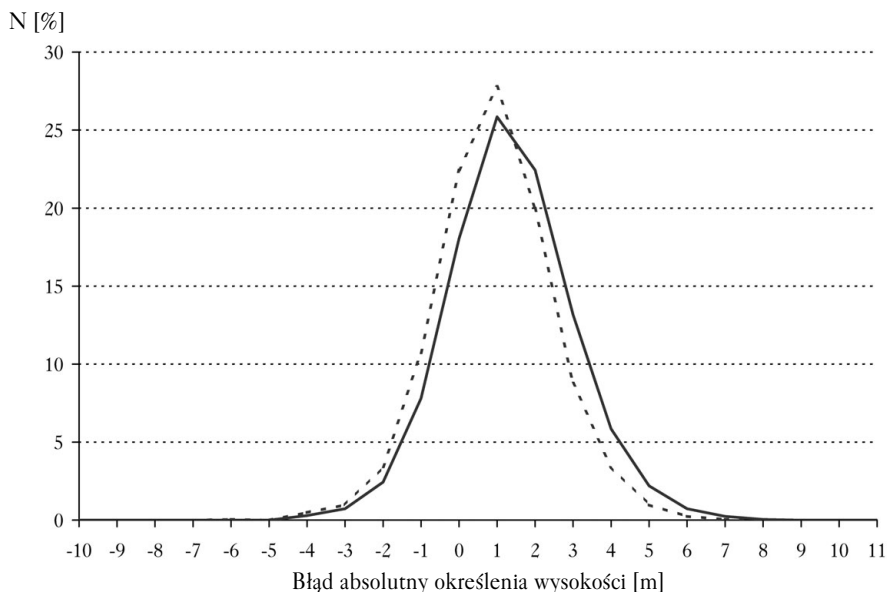
Bonitacja wzrostowa przyjmowała wartości z zakresu od klasy Ib do klasy V. Błąd określenia wysokości pojedynczego drzewa za pomocą stałych krzywych wysokości wyniósł średnio 0,34 m. Wartości błędów wahały się w granicach od -10,29 m do 9,36 m, przy odchyleniu standardowym równym 1,66 m. W celu porównania błędy określenia wysokości wynikające z zastosowania krzywej wysokości wynosiły od -10,26 m do 8,66 m, przy średniej równej -0,075 m i odchyleniu standardowym wynoszącym 1,56 m.

Rozkład błędów określenia wysokości wynikających z zastosowania stałych krzywych wysokości jest w porównaniu z rozkładem błędów powstałych przy zastosowaniu krzywej wysokości nieznacznie przesunięty w kierunku wartości dodatnich (ryc. 1).

Istotną informację stanowi błąd procentowy wtórny określenia wysokości. Jest on bowiem równy błędowi procentowemu określenia miąższości wynikającemu z niedokładnego określenia wysokości.

Błąd procentowy wtórny wysokości (miąższości) przy zastosowaniu stałych krzywych wysokości wynosił średnio dla całości materiału badawczego 1,73%, a jego wartość wahała się dla pojedynczych drzew od -35,4% do 65,4%, przy odchyleniu standardowym równym 7,30%. Również wielkości błędów miąższości powstałych na skutek zastosowania krzywych wysokości wyliczanych dla każdego drzewostanu na podstawie pomierzonych wysokości są dość duże. Wahały się one w granicach od -33,29% do 65,79%, ze średnią wynoszącą 0,11% i odchyleniem standardowym równym 6,65%. Krzywa frekwencji błędów stałych krzywych wysokości w porównaniu z krzywą frekwencji błędów krzywych wysokości jest przesunięta w kierunku wartości dodatnich (ryc. 2).

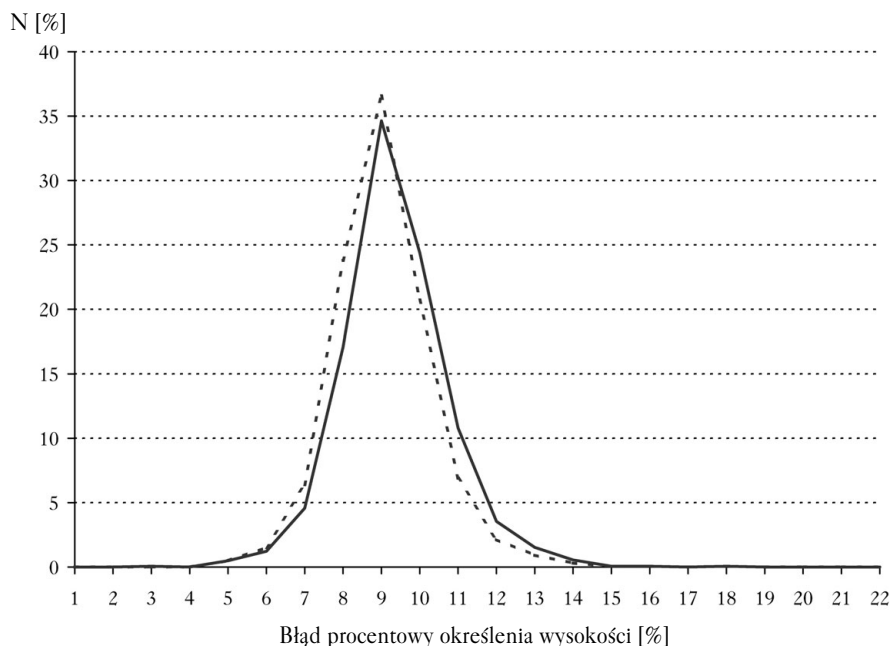
Z punktu widzenia użytkowników ważne jest czy stosowane rozwiązanie nie powoduje błędów systematycznych dla pewnych zakresów grubości. Sprawdzono to analizując zależność



Ryc. 1.

Porównanie rozkładu błędów absolutnych określenia wysokości pojedynczego drzewa za pomocą stałych krzywych wysokości oraz krzywych wysokości

Comparison of the distribution of absolute errors for the determination of a single tree height using uniform height curves and height curves



Ryc. 2.

Porównanie rozkładu błędów procentowych określenia wysokości pojedynczego drzewa za pomocą stałych krzywych wysokości oraz krzywych wysokości

Comparison of the distribution of secondary percentage errors for the determination of a single tree height using uniform height curves and height curves

pomiędzy błędem stałych krzywych wysokości, a grubością względną drzew charakteryzującą położenie drzewa w strukturze grubości drzewostanu.

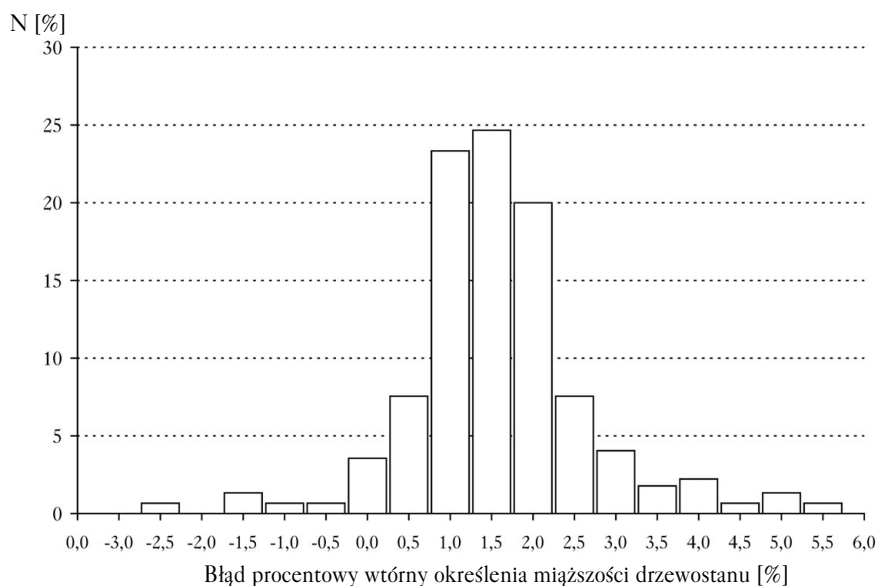
Współczynnik korelacji pomiędzy błędem procentowym wtórnym wysokości pojedynczego drzewa określonego za pomocą stałych krzywych wysokości a względną pierśnicą dla całości danych wynosił $-0,02$. Na tej podstawie można stwierdzić, że błąd stałych krzywych wysokości nie jest związany z grubością drzew, co mogłoby być źródłem błędów systematycznych.

W pojedynczych przypadkach stosowanie stałych krzywych wysokości może jednak prowadzić do znacznych błędów określenia wysokości (miąższości). W rozpatrywanych drzewostanach wartości błędów określenia wysokości drzewostanu wynosiły od $-0,51$ m ($-3,23\%$) do $+1,20$ m ($+4,83\%$) z pewną przewagą błędów dodatnich (ryc. 3).

Na podstawie analizy korelacji sprawdzono jakie cechy dendrometryczne wpływają na wielkość błędu określenia wysokości za pomocą stałych krzywych wysokości (tab.).

Stwierdzono, że błąd procentowy wtórny wysokości określonych na podstawie stałych krzywych wysokości jest związany w największym stopniu ze współczynnikiem zmienności wysokości (V_h) i pierśnicy (V_d) drzew w drzewostanie. Duży wpływ wywiera również wzniesienie nad poziom morza i wiek drzewostanu. Nie stwierdzono natomiast korelacji pomiędzy błędem procentowym stałych krzywych wysokości a przeciętną pierśnicą (D_g) i przeciętną wysokością drzewostanu (H_L). Błąd absolutny określenia wysokości na podstawie stałych krzywych wysokości był związany natomiast w największym stopniu ze wzniesieniem drzewostanu nad poziomem morza (NPM), na jego wielkość istotnie wpływają również: współczynnik zmienności pierśnic i wysokości oraz wysokość drzew.

8 Jarosław Socha



Ryc. 3.

Rozkład błędów procentowych określenia miąższości drzewostanu wynikających z zastosowania stałych krzywych wysokości

Distribution of secondary percentage errors for stand volume determination using uniform height curves

Tabela.

Współczynniki korelacji pomiędzy błędem absolutnym (ΔH) i błędem procentowym wtórnym (P_H) określenia średniej wysokości drzewostanu a wybranymi czynnikami (D_g – przeciętna pierśnica, H_L – przeciętna wysokość, NPM – wzniesienie nad poziom morza, V_d – współczynnik zmienności pierśnicy, V_h – współczynnik zmienności wysokości drzew w drzewostanie)

Correlation coefficients between the absolute error (ΔH) and secondary percentage error (P_H) for the determination of average stand height and the selected factors (D_g – average DBH, H_L – average height, NPM – height above sea level, V_d – DBH variability coefficient, V_h – tree variability coefficient)

| | D_g | H_L | NPM | Wiek | V_d | V_h |
|------------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| PH | -0,06 | 0,09 | -0,27* | -0,23* | 0,40* | 0,43* |
| ΔH | 0,10 | 0,30* | -0,39* | -0,17* | 0,37* | 0,32* |

* współczynnik korelacji istotny przy $\alpha=0,05$

* correlation coefficient, intrinsic for $\alpha=0,05$

Podsumowanie wyników i wnioski

- ✚ Dokładność określenia wysokości za pomocą stałych krzywych wysokości jest zbliżona do dokładności określenia wysokości za pomocą krzywej sporządzonej dla danego drzewostanu.
- ✚ Krzywa frekwencji błędów wysokości określonych na podstawie stałych krzywych wysokości w porównaniu z krzywą frekwencji błędów wysokości określonych na podstawie krzywej wysokości jest przesunięta w kierunku wartości dodatnich. Świadczy to o tym, że stałe krzywe wysokości w porównaniu z krzywymi wysokości wykreślonymi dla drzewostanu powodowały nieznacznie więcej błędów dodatnich. Różnice w rozkładzie błędów tych rozwiązań są jednak minimalne.
- ✚ Błędy procentowe określenia wysokości nie są skorelowane z pierśnicą drzew i ich wysokością, co świadczy o tym, że stałe krzywe wysokości nie powodują występowania błędów systematycznych dla określonych zakresów grubości i wysokości drzew.

- ✚ W pojedynczych przypadkach błąd określenia miąższości drzewostanu spowodowany zastosowaniem stałej krzywej wysokości może być duży i sięga nawet 5%. Ma to miejsce w przypadku drzewostanów charakteryzujących się dużą zmiennością pierśnic i wysokości drzew. Wówczas zamiast stałych krzywych wysokości, z punktu widzenia dokładności określenia wysokości, korzystniej jest stosować krzywą sporządzoną dla danego drzewostanu na podstawie pomiarów pewnej liczby drzew.
- ✚ Czynnikiemami decydującymi o dokładności stałych krzywych wysokości są w głównej mierze: zmienność pierśnicy i wysokości drzew, wiek, bonitacja i wzniesienie nad poziom morza.
- ✚ Duża dokładność oraz łatwość zastosowania sprawiają, że analizowane stałe krzywe wysokości są narzędziem przydatnym do określania wysokości drzew w drzewostanach świerkowych.

Literatura

- Bruchwald A. 1995. Dendrometria. Wydawnictwo SGGW. Warszawa.
- Bruchwald A., Dmyterko E., Dudzińska E., Wirowski M. 2001. Stałe krzywe wysokości dla drzewostanów olszy czarnej. Sylwan 11: 71-79.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T. 1981. Zastosowanie funkcji Näslunda do budowy stałych krzywych wysokości dla drzewostanów świerkowych. Sylwan 6: 21-29.
- Bruchwald A., Wróblewski L. 1994. Uniform Height Curves for Norway Spruce Stands. FFP. Series A, No36: 43-47.
- Bruchwald A., Wirowski M. 1993. Stałe krzywe wysokości dla grabu. Sylwan 6: 45-47.
- Ek A. R., Birdsall E. T., Spears R. J. 1983. A simple model for estimating total and merchantable height. USDA For. Serv. Res. Note NC-309.
- Hui G. Y. 1993. Developing a height-diameter model for Cunninghamia. AFJZ 164/12: 218-220.
- Orzeł S. 1993. Ocena dynamiki przyrostu grubości górskich drzewostanów świerkowych na przykładzie wybranych obiektów w lasach Beskidu Śląskiego i Żywieckiego. Acta Agr. et Silv., s. Silv., Vol. XXXI, 3-15.
- Rieger R. 1968. Rozwój i zasobność wybranych drzewostanów świerkowych regla dolnego w Beskidach Zachodnich. Acta Agr. et Silv., s. Silv., Vol. VIII, 75-134.
- Socha J. 1998. Zależność bonitacji drzewostanów świerkowych od wysokości położenia nad poziomem morza. Sylwan 9: 25-32
- Socha J. 2002. A taper model for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Forestry, Volume 5, Issue 2. Available Online <http://www.ejpau.media.pl/series/volume5/issue2/forestry/art-03.html>.
- Trampler T. 1974. Drzewostanowe tablice miąższości dla sosny, świerka, jodły, buka i dębu. Prace IBL 451: 40-41.
- Van Laar A., Akça A. 1997. Forest Mensuration. Göttingen, Cuvillier.

SUMMARY

Assessment of the accuracy of uniform height curves for spruce stands

The aim of the paper is to assess the accuracy of uniform height curves developed for mountain spruce stands of Poland [Bruchwald, Wróblewski 1994]. The empirical material was collected in 171 spruce stands in Beskid Zachodni. Parameters of the height curve used to determine heights of individual trees were calculated for each stands analysed. The height of individual trees was calculated on the basis of uniform height curves. The errors of uniform height curves and the errors of the height curve were calculated by comparing real (measured) heights of individual trees with heights calculated from uniform height curves and from the height curve developed for a given stand. Moreover, the relationship between the errors of uniform height curves and the average DBH and height, height above sea level and variability coefficient of DBHs and tree heights in a stand was also analysed.

The research results demonstrate that the accuracy of uniform height curves is close to the accuracy obtained by applying the height curve developed for a given stand. The major factors deciding about the accuracy of uniform height curves are: tree DBH and height variability, age, site quality (bonitet) and height above sea level.