



Modely výškových kriviek jedľovo-bukových porastov Východných Karpát

Models of height curves in fir-beech stands of the Eastern Carpathians

Tomáš Klouček¹, Igor Štefančík^{2*}, Rudolf Petráš², Julian Mecko², Martin Slávik¹

¹Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 1176, CZ – 165 21 Praha 6 - Suchbát, Česká republika

²Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 2175/22, SK – 960 92 Zvolen, Slovenská republika

Abstract

The models of height curves were derived from repeated measurements at six permanent research plots in the experimental object of Komárník situated in the Eastern Carpathians. During more than 50 years of investigation, the heights of 1,346 beech and 1,208 fir trees were measured. Tree heights had a great variability, but the stage-shift of height curves was not confirmed. The non-linear regression models of height curves for beech and fir were derived, where tree height is a function of tree diameter and model height for a selected diameter class. They are based on the Korf growth curve with three parameters. The models explained 90% and 94% of beech and fir height variability, respectively. The models confirmed the actual knowledge that fir had higher tree height increment than beech especially for trees with greater diameters. The comparison of our models to those developed by other authors showed that the shape of height curves slightly differed. Beech curve was characterised by greater, while fir curve by lesser curvature in comparison with other published models. Our models have only local validity due to the limited scope of experimental data. They can be applied under the local conditions in order to perform valuation and simulation of growing stock development and increments of uneven-aged and multistoried fir-beech stands.

Key words: height growth; mixed forests; *Fagus sylvatica* L.; *Abies alba* Mill.

Abstrakt

Odvodili sa modely výškových kriviek z experimentálneho materiálu opakovaných meraní šiestich trvalých výskumných plôch na výskumnom objekte Komárník vo Východných Karpatoch. Počas viac ako 50-ročného sledovania sa zmeralo 1 346 výšok pre buk a 1 208 pre jedľu. Výšky majú všeobecne veľkú variabilitu, ale nepreukázal sa štádiový posun výškových kriviek. Odvodili sa nelineárne regresné modely výškových kriviek pre buk a jedľu, kde výška stromu je funkciou jeho hrúbky a modelovej výšky pre zvolený hrúbkový stupeň. Ich základom je Korfova rastová krivka s tromi parametrami. Modelom je vysvetlených 90 % variability výšok pri buku a 94 % pri jedli. Modely potvrdili doterajšie poznatky, že jedľa má najmä pri hrubších stromoch vyššie výškové prírastky ako buk. V porovnaní k modelom iných autorov majú odvodené modely málo odlišný tvar výškových kriviek. Buk má väčšiu a jedľa menšiu krivosť ako porovnávané modely. Modely majú vzhľadom na obmedzený rozsah experimentálneho materiálu len lokálny charakter. Pre miestne pomery sa môžu aplikovať na bonitovanie a simulovanie vývoja zásob a prírastku nerovnovekých a viacetážových jedľovo-bukových porastov.

Kľúčové slová: výškový rast; zmiešané porasty; *Fagus sylvatica* L.; *Abies alba* Mill.

1. Úvod a problematika

Výšky a hrúbky stromov sú základné rastové veličiny, ktoré determinujú štruktúru a vývoj porastov. Vzťah medzi výškami h a hrúbkami stromov d v konkrétnom poraste najlepšie vyjadruje výšková krivka:

$$h = f(d) \quad [1]$$

Krivka je charakteristická pre jednotlivé dreviny alebo ich zmiešanie a pre konkrétne vývojové štádium porastov. Halaj (1963) popísal rozdiel medzi výškovými krivkami v rovnovekých a vo výberkových porastoch. Krivky v rovnovekých a zároveň jednoetážových porastoch z dvoch časových období nie sú identické. S vyšším vekom porastu sa posúvajú k vyšším výškam, sú strmšie a predlžujú sa k hrubším stromom. V mladých porastoch sú posuny kriviek väčšie ako v starších. Sú charakteristické pre každé vývojové štádium porastu, a preto sa nazývajú štádiové krivky. Výškové krivky v nerovnovekých, viacetážových, bohato štruktúrovaných alebo výberkových lesoch sú odlišné. V takýchto porastoch sa

krivky z viacerých časových období neposúvajú k vyšším výškam, ale majú stále rovnakú polohu a tvar. Pre každý porast existuje teoreticky len jedna výšková krivka. Najcharakteristickejšie sú tu krivky z vyrovnaného výberkového lesa, ktorý je v rovnovážnom stave. Rozdiely vo výškových krivkách medzi takými porastmi potom vyplývajú len z ich rozdielnej štruktúry a kvality stanovišta na ktorých porasty rastú. Kvalita stanovišta ovplyvňuje polohu a tvar kriviek. Krivky na lepšom stanovišti ležia nad krivkami horšieho stanovišta a sú zároveň strmšie. Táto jedinečná vlastnosť výškových kriviek výberkových porastov sa využíva na ich bonitovanie. V prípade, že výberkové porasty nie sú v rovnovážnom stave alebo zmiešané porasty nie sú priestorovo bohato štruktúrované, je ťažšie očakávať, že v priebehu dlhšieho časového obdobia bude existovať pre každý porast len jedna výšková krivka.

V zahraničí sú známe výškové krivky pre výberkové porasty približne z polovice minulého storočia. Sú odlišné podľa drevín, ale aj spôsobom ich odvodnenia. Pre výberkové porasty smreka a jedle zostavil vejár výškových kriviek Prodan (1961), Badoux (1949) a Kräuter (1958). Krivky slúžili

*Corresponding author. Igor Štefančík, e-mail: stefancik@nlcsk.org, phone: +421 45 5314 234

na praktickú bonitáciu porastov, a preto ich nazvali výškové tarify. Halaj (1963) zozbieral v Československu, ale väčšinou na Slovensku rozsiahly experimentálny materiál, z ktorého zostavil výškové tarify výberkových porastov pre smrek, jedľa a buk. Pozostával zo 157 výškových kriviek smreka, 254 jedle a 233 buka. Ako zdôrazňuje sám autor, materiál pochádza vo väčšine prípadov zo zmiešaných, viac menej rôznovekých a viacetážových porastov. Veľmi často sú tieto porasty prestarnuté alebo na prechode k výberkovému lesu. Výškové tarify skonštruoval graficko-počtársky. Ich výsledná zostava pozostáva z vyrovnaných tarifných kriviek v grafickej a tabuľkovej forme. Ich spojením s objemovými tabuľkami zostavil aj objemové tarify, ktoré slúžia na určovanie zásob a prírastku porastov.

V posledných rokoch sa zvyšuje spoločenský záujem o produkciu zmiešaných, rôznovekých, ale aj výberkových porastov. Východné Karpaty poskytujú nielen vhodné prírodné podmienky, ale aj cenné lesné spoločenstvá na ich výskum. Príkladom môžu byť chránené jedľovo-bukové porasty v Nižnom Komárniku, kde sa od konca päťdesiatych rokov minulého storočia realizoval výskum pre ich cieľené obhospodarovanie (Štefančík et al. 2012, 2013). Na podklade dlhodobých meraní výskumných plôch v tomto objekte sme sa pokúsili formou modelov výškových kriviek zovšeobecniť základné zákonitosti výškového rastu zmiešaných jedľovo-bukových porastov.

Cieľom práce je i) zhodnotiť existujúci experimentálny materiál výškových kriviek z opakovaných meraní trvalých výskumných plôch, ii) na jeho podklade odvodiť modely výškových kriviek zmiešaných jedľovo-bukových porastov, iii) navrhnúť výškové tarify pre bonitovanie zmiešaných jedľovo-bukových porastov.

2. Materiál a metódy

Experimentálny materiál tvoria výšky stromov z opakovaných meraní 6 trvalých výskumných plôch (TVP), ktoré sa založili v rokoch 1957 – 1964 vo výskumnom objekte Komárnik. Objekt je situovaný na slovenskej strane Východných Karpát v blízkosti hranice s Poľskom. Geologický pod-

klad je terciérny paleogénny flyš a tvoria ho prevažne pieskovce, ílovité a slieňovité bridlice. Pôdy sú hlinito-piesčité až ílovito-hlinité, veľmi bohaté na minerálne živiny. Oblasť je na klimatickom rozhraní medzi panónskou a baltickou klímou od mierne chladnej a vlhkej až po chladnú a vlhkú klímu. Priemerná ročná teplota je 6,1 – 6,8 °C, vo vegetačnom období 12,5 – 13,3 °C, ročné zrážky 810 – 880 mm, vo vegetačnom období 500 – 540 mm. Výskumné plochy ležia v nadmorskej výške približne 350 – 580 m. Podrobnejšie informácie o predmetnom výskumnom objekte uvádzajú Štefančík et al. (2012).

Vo výskumnom objekte Komárnik sa pôvodne založilo 13 TVP, ale po opakovanom silnom poškodení abiotickými faktormi (vietor, sneh, námraza) sa zachovalo, resp. pre účely analýzy bolo vhodných len 6 TVP. Na týchto TVP sa do roku 1995 v pravidelných 5-ročných intervaloch merali hrúbky stromov a hodnotila sa aj ich kvalita a poškodenie. Výšky stromov sa merali s dostupnými výškomermi. Zo začiatku s presnosťou na 1 m, neskôr na 0,5 m a pri poslednom meraní na 0,1 m. Výšky sa nemerali na všetkých stromoch, ale len na výberovom súbore potrebnom pre konštrukciu výškových kriviek (Tabuľka 1). Najviac výšok sa zmeralo pri založení jednotlivých TVP a pri poslednom opakovanom meraní v roku 2011 alebo 2013. Medzitým len 1 – 2-krát v intervale približne 10 – 30 rokov. V týchto prípadoch len na stromoch okolo strednej hrúbky. Vzhľadom na bohatšiu štruktúru porastov sa predpokladalo, že výškové krivky sa po kratšom čase výraznejšie nezmenia a ich prípadný posun sa identifikuje prostredníctvom strednej hrúbky a výšky pre každú drevinu.

Výmera TVP je v rozsahu 0,20 – 0,50 ha a vek porastov bol v čase založenia približne 120 – 125 rokov. Na všetkých plochách (okrem TVP 9) bol buk hlavnou drevinou so zastúpením z kruhovej základne v rozpätí 29 až 55 %. Nasleduje jedľa s podielom 13 až 65 % a ostatné drevo ako brest, javor a jaseň. Približne po 50 rokoch sledovania sa posilnilo zastúpenie buka najmä v menších hrúbkach po jeho prirodzenom zmladení. Základnú charakteristiku vybraných parametrov vyhodnotených TVP uvádzame v tabuľke 2. Na TVP 7 sa nevykonali úmyselné hospodárske zásahy a na ostatných to bolo diferencované. Na TVP 4 a TVP 10 to boli zásahy na pod-

Tabuľka 1. Počty meraných výšok podľa trvalej výskumnej plochy, dreveny a roku merania

Table 1. Number of heights measured at permanent research plots according to tree species and year of measurement.

Číslo ¹⁾ TVP	Drevina ²⁾	Rok merania ³⁾								Spolu ⁴⁾
		1957	1963	1964	1968	1990	1995	2011	2013	
4	Buk ⁵⁾	89			24	31		140		284
	Jedľa ⁶⁾	200			37			53		290
5	Buk ⁵⁾		40			4	12		23	79
	Jedľa ⁶⁾		107			6	9		30	152
6	Buk ⁵⁾		42				19		25	86
	Jedľa ⁶⁾		128				12		14	154
7	Buk ⁵⁾			52			6	133		191
	Jedľa ⁶⁾			190			9	49		248
9	Buk ⁵⁾			61		11	16		165	253
	Jedľa ⁶⁾			61		11	5		169	246
10	Buk ⁵⁾			93					360	453
	Jedľa ⁶⁾			81					37	118
Spolu ⁴⁾	Buk ⁵⁾	89	82	206	24	46	53	273	573	1 346
	Jedľa ⁶⁾	200	235	332	37	17	35	102	250	1 208

¹⁾Number of permanent research plot, ²⁾Tree species, ³⁾Year of measurement, ⁴⁾Total, ⁵⁾Beech, ⁶⁾Fir

Tabuľka 2. Vybrané charakteristiky na analyzovaných trvalých výskumných plochách
Table 2. Selected parameters on analysed permanent research plots.

Číslo ¹⁾ TVP	Výmera ²⁾ [ha]	Rok merania ³⁾	Vek ⁴⁾ [r.]	N ⁵⁾ [ks.ha ⁻¹]		d _g ⁸⁾ [cm]		Drevinové zloženie ⁹⁾ [%]		
				buk ⁶⁾	jedľa ⁷⁾	buk ⁶⁾	jedľa ⁷⁾	buk ⁶⁾	jedľa ⁷⁾	ostatné ¹⁰⁾
4	0,48	1957	119	186	477	40,2	20,1	52,1	33,8	14,1
		2011	173	381	117	28,5	36,0	57,7	30,2	12,1
5	0,20	1963	125	220	567	36,8	14,9	49,9	21,8	28,3
		2013	175	162	207	37,2	24,8	39,3	22,5	38,2
6	0,49	1963	125	89	315	51,7	18,1	28,7	12,8	58,5
		2013	175	710	23	21,2	37,8	79,8	8,2	12,0
7	0,24	1964	125	217	796	57,5	18,4	55,4	21,0	23,6
		2011	173	979	246	24,6	28,1	28,8	24,3	16,9
9	0,30	1964	120	187	190	35,4	48,3	34,5	65,2	0,3
		2013	169	530	657	20,9	16,4	55,9	42,8	1,3
10	0,50	1964	126	184	164	27,9	38,6	36,6	62,7	0,7
		2013	175	774	82	23,5	38,0	76,9	21,3	1,8

¹⁾Number of permanent research plot, ²⁾Area, ³⁾Year of measurement, ⁴⁾Stand age [yrs.], ⁵⁾Number of trees per hectare, ⁶⁾Beech, ⁷⁾Fir, ⁸⁾Mean diameter, ⁹⁾Tree species composition, ¹⁰⁾Other tree species

poru bohatej štruktúry a vyššej produkcie porastov. Na TVP 5, 6 a 9 na podporu produkcie javora, bresta a jedle. Pôvodný zámer výskumu sa po silnejších prírodných disturbanciách na niektorých TVP čiastočne narušil.

Na každej TVP sa porovnali výšky stromov z jednotlivých opakovaných meraní. Následne sa vyrovnali regresnou krivkou podľa vzťahu [1]. Použila sa k tomu trojparametrická Korfova (1939) funkcia:

$$h = 1,3 + A \cdot \exp\left(\frac{k}{1-n} \cdot d^{(1-n)}\right) \quad [2]$$

kde

h, d – výška, hrúbka stromu,

A, k, n – parametre funkcie.

Individuálne výškové krivky podľa vzťahu [1] a modelu [2] sa rozšírili na dvojrozmerný vzťah:

$$h = f(d, h_{80}) \quad [3]$$

kde

h, d – výška, hrúbka stromu,

h_{80} – výška stromu (m) pri hrúbke 80 cm.

Jeho matematický tvar sa odvodil tak, že vypočítané parametre Korfovej funkcie (2) z každej TVP sa vyrovnali osobitne pre buk a jedľu v závislosti od vyrovnannej výšky stromu h_{80} pri hrúbke stromu $d = 80$ cm podľa funkcií:

$$A = p_1 + p_2 \cdot h_{80} + p_3 \cdot h_{80}^2 + p_4 \cdot h_{80}^3 \quad [4]$$

$$k = p_5 + \frac{p_6}{h_{80}} \quad [5]$$

$$n = p_7 + \frac{p_8}{h_{80}} \quad [6]$$

kde

h_{80} – výška stromu (m) pri hrúbke 80 cm,

p_1-p_8 – parametre funkcií.

Jednoduchšie tvary funkcií [4] – [6] sa zvolili nielen kvôli potrebe menšieho počtu parametrov pri nelineárnom regresnom vyrovňovaní, ale aj kvôli ich dobrej flexibilita a skúsenostiam autorov pri regresnom modelovaní Korfovou krivkou.

Výsledný tvar dvojrozmerného modelu výškových kriviek podľa vzťahu [3] sa dosiahne tak, že funkcie [4] – [6] sa dosadia do Korfovej funkcie (2). Parametre tohto modelu p_1-p_8 sa odvodili nelineárnym regresným vyrovnaním výšok osobitne pre každú drevinu.

Pre prípad, že výškové krivky z odvodeného regresného modelu by mali prechádzať cez zvolené pevné body (zadané súradnice), napr. konštantné hrúbky a im odpovedajúce výšky stromov (dk, h_{dk}) (Šmelko et al. 1987; Nagel 1991; Sloboda et al. 1993; Petráš & Mecko 2005; Petráš et al. 2014), musí byť jeden z parametrov modelu touto požiadavkou viazaný. Ostatné parametre sú voľné a dosadia sa z vypočítanej regresnej závislosti od niektorých porastových veličín. Pre Korfovú funkciu [2], ktorá má 3 parametre je jeden parameter viazaný implicitnou podmienkou a dva sú voľné, závislé od niektorých porastových veličín. Pre prípad, keď je parameter A pevným a parametre k a n sú voľné (Petráš et al. 2014) má výsledný model tvar:

$$h(d, d_k, h_{dk}) = 1,3 + (h_{dk} - 1,3) \cdot \exp\left[\frac{k}{1-n} \cdot (d^{(1-n)} - d_k^{(1-n)})\right] \quad [7]$$

kde

h – výška stromu (m),

h_{dk} – výška stromu (m) pri konštantnej hrúbke dk (cm),

d – hrúbka stromu (cm),

d_k – konštantná hrúbka stromu (cm),

k, n – parametre Korfovej funkcie podľa vzťahu [4] a [5].

Konštantná hrúbka stromu dk a výška stromu pri konštantnej hrúbke h_{dk} sa môžu zvoliť v rozsahu reálnych hodnôt.

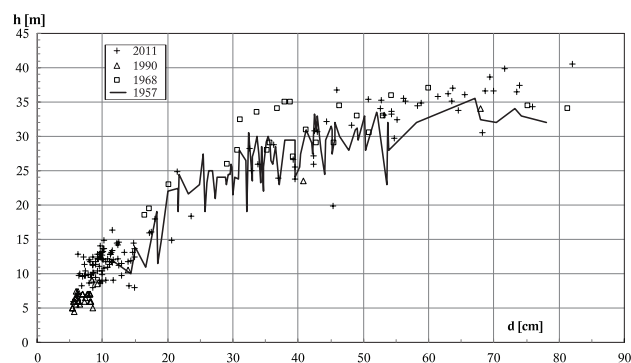
3. Výsledky

3.1. Výškové krivky na trvalých výskumných plochách

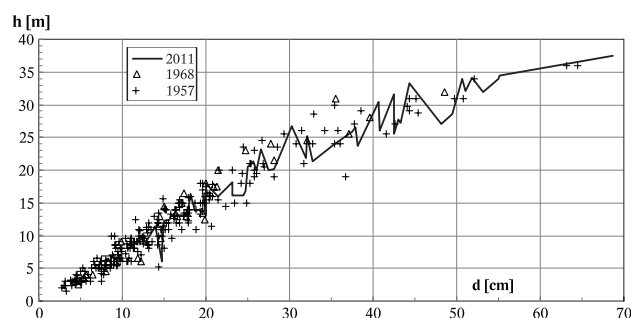
Pri konštrukcii modelov výškových kriviek sa hneď na začiatku rozhodlo, či sa vytvorí individuálna krivka pre každé meranie na TVP, model štádiových kriviek alebo model výškových kriviek pre bohato štruktúrované porasty výberkového typu. Najviac výšok sa zmeralo pri prvom a poslednom meraní, medzi ktorými je približne 50-ročný odstup. Ich vzájomná poloha a proporcie medzi nimi preto

významne rozhodovali o ďalšej konštrukcii výškových kriviek. Podľa bodového poľa buka a jedle, napr. na TVP 4, ktorá má najdlhší interval sledovania a aj najvyšší počet meraných výšok (Obr. 1 a 2) môžeme konštatovať, že obidve dreviny majú pomerne značnú variabilitu. Je viditeľná nielen pri každom opakovanom meraní, ale aj medzi nimi, pričom je väčšia pri buku ako pri jedli. Pri obidvoch drevinách nie je možné dokázať, že výšky z posledného merania sú systematicky väčšie ako z prvého. Pri jedli sa výšky zo všetkých troch meraní vzájomne pretínajú v celom hrúbkovom rozsahu a nie je dôvod, aby sa konštruovali samostatné krivky. Pri buku je zrejme aj nerovnomerné zastúpenie výšok v jednotlivých intervaloch hrúbok stromov. Prevládajú výšky pri najtenších a hrubších stromoch. Pri najväčších hrúbkach sa síce ukazuje, že výšky z posledného merania sú približne o 2–3 m vyššie ako z prvého, ale vyplýva to z posunu stromov zo stredných hrúbkových stupňov pri prvom meraní do najvyšších hrúbok pri poslednom meraní.

Podobné analýzy sa vykonali aj na ostatných TVP a pri všetkých sa potvrdili podobné poznatky ako pri TVP 4. Z tohto dôvodu sa odvodili modely výškových kriviek pre bohato štruktúrované porasty výberkového typu.



Obr. 1. Pole meraných výšok buka na TVP 4 v rokoch 1957–2011
Fig. 1. Scatter plot of measured beech heights at PRP 4 during the years of 1957–2011.



Obr. 2. Pole meraných výšok jedle na TVP 4 v rokoch 1957–2011
Fig. 2. Scatter plot of measured fir heights at PRP 4 during the years of 1957–2011.

3.2. Modely výškových kriviek

Pre každú drevinu sa vytvorili samostatné súbory trojice premenných. Pri buku to bolo 1 346 a jedli 1 208 prípadov. Hrúbky stromov d a výšky h_{80} pri hrúbkach $d_k = 80$ cm z individuálne vyrovnaných výškových kriviek tu vystupovali ako nezávislé premenné. Merané výšky h zo všetkých TVP

a meraní vystupovali ako závislé premenné. Nelineárnym regresným vyrovnaním meraných výšok stromov podľa vzťahu [3] a Korfovej funkcie s rozšírenými parametrami podľa funkcií [4–6] sa odvodil pre každú drevinu model s týmito parametrami (Tabuľka 3).

Tabuľka 3. Parametre modelov sledovaných drevín

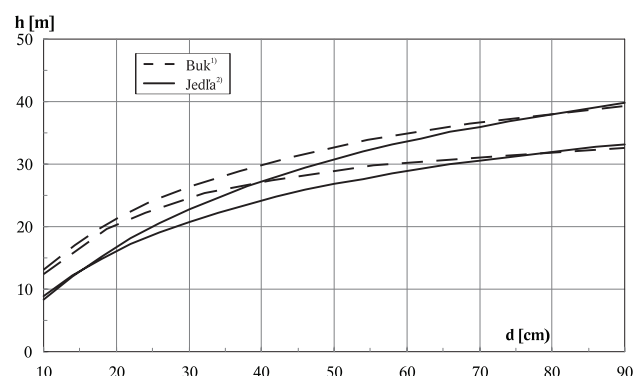
Table 3. Model parameters of investigated tree species.

Drevina ¹⁾	Parametre modelu ²⁾ p1–p8				
Buk ³⁾	p1 = 5 752,0 p6 = 424,1	p2 = -487,6 p7 = 0,477	p3 = 13,76 p8 = 41,59	p4 = -0,128	p5 = -7,55
Jedľa ⁴⁾	p1 = -469,3 p6 = -196,9	p2 = 27,39 p7 = 1,634	p3 = -0,343 p8 = -1,741	p4 = 0	p5 = 10,51
Parametre vyrovňania ⁵⁾		Buk ³⁾		Jedľa ⁴⁾	
Viacnásobný korelačný koeficient (R) ⁶⁾		0,950		0,968	
Koeficient determinácie (R ²) ⁷⁾		0,902		0,937	
Stredná kvadratická chyba (MEP) ⁸⁾		8,25		4,39	
Reziduálna smerodajná odchýlka ⁹⁾		2,87		2,08	
Počet stupňov voľnosti ¹⁰⁾		1 333		1 201	

¹⁾Tree species, ²⁾Model parameters, ³⁾Beech, ⁴⁾Fir, ⁵⁾Adjustment parameters, ⁶⁾Multiple coefficient of correlation (R), ⁷⁾Coefficient of determination, ⁸⁾Mean quadratic error, ⁹⁾Residual standard deviation (R), ¹⁰⁾Degrees of freedom

Viacnásobné korelačné koeficienty a koeficienty determinácie potvrdili všeobecne platné poznatky, že pri jedli je skúmaná závislosť tesnejšia ako pri buku. Z celkovej variability meraných výšok okolo modelových je možné prisúdiť obidvom nezávislé premenným približne 94 % pri jedli a 90 % pri buku. Prezentované rozdiely potvrdzujú aj stredné kvadratické chyby a reziduálne odchýlky. Majú menšie hodnoty pri jedli.

Z porovnania modelových kriviek (Obr. 3) je zrejme, že jedľa má výškové krivky strmšie ako buk. Príčinou je vyšší výškový prírastok jedľových stromov najmä v stredných a vyšších hrúbkových stupňoch.



Obr. 3. Modelové výškové krivky buka a jedle s výškami stromov 32 a 38 m v hrúbkovom stupni 80 cm

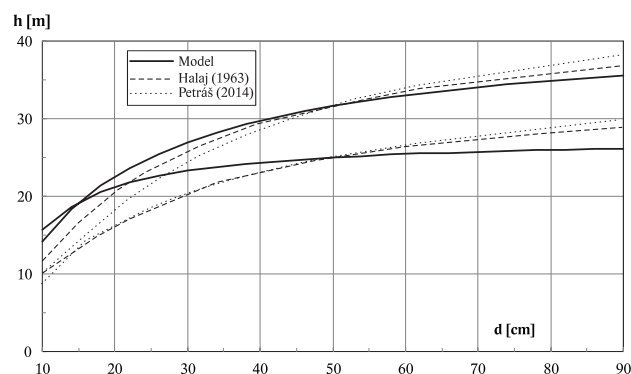
Fig. 3. Model height curves of beech and fir with tree heights of 32 and 38 m in diameter class of 80 cm.

¹⁾Beech, ²⁾Fir

3.3. Porovnanie modelov výškových kriviek

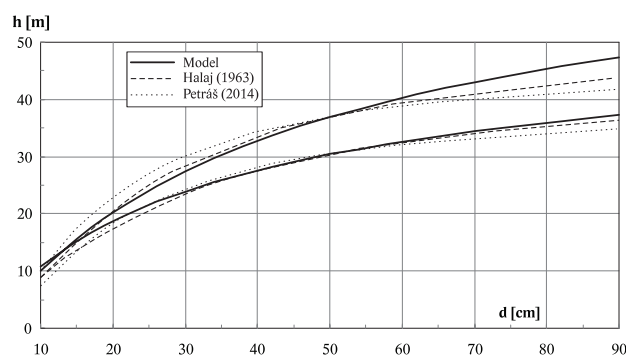
Na porovnanie odvodených modelov sa vybrali grafické modely výškových taríf výberkových porastov Halaja (1963) a modely výškových kriviek zmiešaných smrekovo-jedľovo-bukových porastov Petráša et al. (2014). Z Halajových modelov sa vybrala krivka č.10 a č.15 pre každú drevinu. Z 20

výškových kriviek v jeho modely reprezentujú vybrané krivky porasty na priemerných a nadpriemerných stanovištiach. K týmto krivkám sa vypočítali krivky podľa odvodených modelov a modelov zmiešaných smrekovo-jedľovo-bukových porastov Petráša et al. (2014). Krivky sa vypočítali tak, aby pretínali Halajove krivky vo výškach, ktoré odpovedajú hrúbkovým stupňom 30, 50 a 70 cm. Modelové krivky buka (Obr. 4) sa pretínajú pri hrúbke 50 cm a sú plochejšie ako pri ostatných modeloch. Tento rozdiel je výraznejší pri porastoch s nižšími výškami. Petrášové et al. (2014) modely zmiešaných smrekovo-jedľovo-bukových porastov majú krivky najstrmšie. Halajove krivky taríf výberkových porastov sú uložené medzi nimi. Pri jedli (Obr. 5) je to opačne. Krivky odvodených modelov sú najstrmšie. Približne rovnaké proporcie sú i pri krivkách, ktoré prechádzajú cez výšky v hrúbkových stupňoch 30 alebo 70 cm.



Obr. 4. Porovnanie výškových kriviek buka podľa odvodených modelov, výškových taríf výberkových porastov Halaja (1963) a modelov výškových kriviek Petráša et al. (2014)

Fig. 4. Comparison of derived beech height curves with height tariff rates of selection forests developed by Halaj (1963) and models of height curves developed by Petráš et al. (2014).



Obr. 5. Porovnanie výškových kriviek jedle podľa odvodených modelov, výškových taríf výberkových porastov Halaja (1963) a modelov výškových kriviek Petráša et al. (2014)

Fig. 5. Comparison of derived fir height curves with height tariff rates of selection forests developed by Halaj (1963) and models of height curves developed by Petráš et al. (2014).

4. Diskusia

Modely výškových kriviek sa odvodili z experimentálneho materiálu meraných výšok pri opakovaných meraniach trvalých výskumných plôch v oblasti Východných Karpát. Jeho rozsah je pomerne veľký, avšak jeho rozloženie je veľmi

nerovnomerné. Najviac, približne 90 % výšok pochádza z prvého merania v rokoch 1957–1964 a posledného merania v rokoch 2011 a 2013. Keďže ostatné merania sú relatívne málo zastúpené, nebolo možné spoľahlivo sledovať kontinuitu opakovaných meraní aj počas dlhého 50 ročného intervalu. Táto skutočnosť vzbudzuje určitú nedôveru k zmeraným výškam medzi prvým a posledným meraním. Určitým nedostatkom je aj hrúbková štruktúra porastov. Pri prvom meraní prevládali hrubé stromy a chýbali stredne hrubé a najmä tenké stromy. Pri obhospodarovaní porastov sa postupne alebo aj náhle vplyvom miestnych kalamít menila ich štruktúra. Z porastov ubudli najhrubšie stromy a na ich mieste vznikala prirodzená obnova, hlavne buka. Pri poslednom meraní sa potom výrazne zvýšilo zastúpenie najtenších stromov do hrúbky 10–15 cm, znížilo sa zastúpenie najhrubších, ale stále chýbajú stredne hrubé stromy. Tieto zmeny z hľadiska vývoja predmetných porastov konštatuje aj Štefančík et al. (2013). Na záver tohto kritického zhodnotenia experimentálneho materiálu je potrebné zdôrazniť, že hrúbková a výšková štruktúra porastov sa neformovala plynule v rovnovážnom horizontálnom a vertikálnom zastúpení drevín, vo vyrovnanom zastúpení hrúbok a výšok stromov podobnom výberkovému lesom. Halaj (1963) podrobne zhodnotil posun jeho výškových kriviek pre výberkové porasty podľa dovtedy známych poznatkov viacerých autorov (Flury 1929; Mitscherlich 1961; Prodan 1951; Badoux 1949) pričom konštatuje, že všetci ho podmieňujú len nerovnovážnym stavom lesa. Sám Halaj (1963) preskúmal posun výškových kriviek na experimentálnom materiáli Švajčiarskych výberkových lesov a konštatoval, že výškové krivky sa mierne posúvajú smerom hore i dole. Podľa Mitscherlicha (1961), Assmanna (1961) a Pretzscha (1992, 2009) majú stromy v hrúbkových triedach konštantné výšky, pokiaľ sa vertikálna štruktúra porastu a tým aj špecifické (konkurenčné) vzťahy medzi stromami v rôznych hrúbkových triedach nemenia. Takýto vzťah môže byť podľa nich len v rovnovážnom výberkovom lese a príležitostne v pralesových alebo v zmiešaných horských lesoch.

Odvodené modely výškových kriviek sa porovnali s modelmi Halaja (1963) pre výberkové lesy a modelmi Petráša et al. (2014), ktorí ich skonštruovali z opakovaných meraní trvalých výskumných plôch zmiešaných smrekovo-jedľovo-bukových porastov. Obidva porovnávané modely boli skonštruované z veľmi rozsiahleho experimentálneho materiálu. Halajov materiál je skutočne rozsiahly, pochádza nielen z celého bývalého Československa, ale je v ňom aj niekoľko porastov švajčiarskych výberkových lesov. Nami analyzované porasty nie sú výberkové, ale zmiešané, rôznoveké, viacetážové a maximálne len na prechode k výberkovému lesu. Ide teda o veľmi heterogénny materiál. Väčšina porastov mala počas dlhého obdobia sledovania len dve merania výšok, a preto sa nemohli vyhodnotiť plynulé posuny výškových kriviek. Rozdiel medzi obidvomi modelmi je aj v ich spracovaní. Halaj vytvoril graficko-číselný model Baurovou prúžkovou metódou. Preto tvar výškových kriviek môže byť poznačený rozložením experimentálneho materiálu, ktorý mal k dispozícii. Veľkou prednosťou jeho modelu je však vysoký rozsah výškových kriviek. Pri hrúbkovom stupni 50 cm má jedľa rozpätie výšok 19–43 m a buk 14–38 m. Z tohto dôvodu sa môže aplikovať v širokej lesníckej praxi.

Sám autor však zdôrazňuje, že vzhľadom na povahu experimentálneho materiálu treba počítať s tým, že výškové krivky skutočných porastov sa budú od modelových posúvať. Preto by sa pri opakovaných meraniach porastov mali revidovať aj krivky výškových taríf.

Modely Petráša et al. (2014) sú odvodené rovnako z veľmi početného experimentálneho materiálu. Tvorí ho opakované merania, ale len na 50 trvalých výskumných plochách zmiešaných a viac menej rovnovekých porastov. Pri opakovaných meraniach výskumných plôch sa výškové krivky posúvali do vyšších výšok a každý posun reprezentoval konkrétne štádium vo vývoji porastu. Každé štádium je charakteristické hrúbkovou a výškovou štruktúrou stromov. Z tohto dôvodu sú jeho štádiové výškové krivky vyjadrené aj v závislosti od stredných hrúbok a výšok.

Odvodené modely majú užší rozsah výškových kriviek. V stredných hrúbkových stupňoch je približne len 6–8 m. Ich extrapolácia k vyšším alebo nižším výškam je nespoľahlivá. Z tohto dôvodu je možná len ich lokálna aplikácia na zmiešané jedľovo-bukové porasty priemerných a nadpriemerných bonít, najviac v slovenskej časti Východných Karpát. V tejto oblasti sa môžu aplikovať na odvodenie zásob alebo prírastkov porastov. Keďže modely predstavujú sústavu výškových kriviek, v minulosti označované ako výškové tarify, môžu sa využiť aj na lokálnu aplikáciu pre stanovenie produkčného potenciálu existujúcich porastov alebo stanovišťa.

5. Záver

Modely výškových kriviek sa odvodili z experimentálneho materiálu opakovaných meraní šiestich trvalých výskumných plôch na výskumnom objekte Komárnik vo Východných Karpatoch. Objekt bol založený v 50. – 60. rokoch minulého storočia pre výskum hospodárskej úpravy prírodných, väčšinou jedľovo-bukových porastov a štúdia základných rastových zákonitostí pri uplatňovaní výberkového hospodárskeho spôsobu a jeho foriem. Pre experimentálny materiál, osobitne pri buku je príznačná veľká variabilita výšok takmer pri každom opakovanom meraní. Aj pri tejto variabilite je možné na niektorých plochách identifikovať malé systematické posuny výškových kriviek k menším, ale aj väčším výškam. Väčšia variabilita výšok buka sa potvrdila aj pri regresnom vyrovnávaní výšok. Podľa koeficienta determinácie je pri buku podchytená na 90 % a pri jedli na 94 %.

Odvodené modely determinujú závislosť výšky stromov od ich hrúbky diferencovane pre porasty s rôznym produkčným potenciálom. Ten je možné kvantifikovať nielen relatívnymi stupňami v rozsahu modelových výšok, ale aj výškou stromov pre niektorý zvolený hrúbkový stupeň. Pri konštrukcii modelov sa použila hrúbka 80 cm a pri porovnávaní s modelmi iných autorov 50 cm. Matematické modely sú spojené vo vzťahu k obidvom premenným. Poskytujú možnosť univerzálneho použitia pre klasifikáciu produkčného potenciálu porastov (bonitáciu), pre odhad výšok a objemového prírastku stromov v celom rozsahu ich hrúbkových stupňov. Môžu nahradiť doterajší systém výškových taríf pre bonitáciu výberkových porastov a metódu tarifových diferencií na určovanie objemových prírastkov stromov buka a jedle, tak ako ich vytvoril Halaj (1963). Avšak vzhľadom na menší rozsah

experimentálneho materiálu a aj jeho lokálny pôvod nie je možné uvažovať s ich širším využívaním.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv č. APVV-0608 -10, APVV-0255-10, APVV-0262-11 a APVV-0439-12.

Literatúra

- Assmann, E., 1961: Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. München-Bonn, Wien, BLV Verlagsgesellschaft, 490 p.
- Badoux, E., 1949: L'allure de l'acroissement dans la forêt jardinée. Mitt. der Schweiz. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 35:25–36.
- Flury, P., 1929: Über den Aufbau des Plenterwaldes. Mitt. der Schweiz. Anstalt für das Forstliche Versuchswesen, 15:305–357.
- Halaj, J., 1963: Tabuľky na určovanie hmoty a prírastku porastov. Bratislava, Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, 327 p.
- Korf, V., 1939: Príspevek k matematické definici vzrúťového zákona hmot lesných porostů. Lesnická práce, 18:339–379.
- Kräuter, G., 1958: Das Waldhöhentariffsystem, Berlin, Akademie – Verlag, 252 p.
- Mitscherlich, G., 1961: Untersuchungen in Plenterwäldern der Schwarzwaldes. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 132:61–73, 85–95.
- Nagel, J., 1991: Einheitshöhenkurvenmodell für Roteiche. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, 162:16–18.
- Petráš, R., Mecko, J., 2005: Ein Einheitshöhenmodell für Pappelklone. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 176:57–60.
- Petráš, R., Bošela, M., Mecko, J., Oszlányi, J., Popa, I., 2014: Height-diameter models for mixed-species forests consisting of spruce, fir, and beech. Folia Forestalia Polonica, series A, 56:93–104.
- Pretzsch, H., 1992: Zur Analyse der räumlichen Bestandesstruktur und der Wuchskonstellation von Einzelbäumen. Forst und Holz, 47:408–418.
- Pretzsch, H., 2009: Forest Dynamics, Growth and Yield. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 664 p.
- Prodan, M., 1951: Messung der Waldbestände. Frankfurt am Main, J. D. Sauerländer's Verlag, 260 p.
- Prodan, M., 1961: Forstliche Biometrie. München, BVL Verlagsgesellschaft, 432 p.
- Sloboda, B., Gaffrey, D., Matsumura, N., 1993: Regionale und lokale Systeme von Höhenkurven für gleichaltrige Waldbestände. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 164:225–228.
- Šmelko, Š., Pánek, F., Zanvit, B., 1987: Matematická formulácia systému jednotných výškových kriviek rovnovekých porastov. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 29:151–172.
- Štefančík, I., Priwitzer, T., Sitková, Z., 2012: Výskumno-účelový objekt „Komárnik“ a jeho význam v súčasnosti. Lesnícky časopis-Forestry Journal, 58:257–265.
- Štefančík, I., Pajtík, J., Bošela, M., Priwitzer, T., Čaboun, V., Klouček, T., 2013: Porovnanie vývoja vybraných jedľobukových porastov vo výskumno-účelovom objekte „Komárnik“. Lesnícky časopis – Forestry Journal, 59:229–239.

Summary

The aim of this work was i) to evaluate actual experimental data of height curves obtained by repeated measurements at six permanent research plots, ii) to derive the models of height curves for mixed fir and beech stands from these data, iii) to develop the height tariffs for the valuation of mixed fir and beech stands.

The experimental dataset consisted of tree heights obtained by repeated measurements at six permanent research plots (PRP), which were established in the years of 1957–1964 in the experimental object of Komárnik. The object is situated on the Slovak side of the Eastern Carpathian Mountains near the border with Poland. In the initial stage of the research, 13 PRPs were established, but after repeated severe damage by abiotic injurious factors (wind, snow, frost) only 6 PRPs have been preserved and/or were considered suitable for the purpose of the analysis. The area of PRPs ranged from 0.20 to 0.50 ha, and the stand age at the time of their establishment was approximately 120 to 125 years. Beech was the main tree species at all plots except for PRP 9, its proportion calculated from the basal area was from 29% to 55%. Beech was followed by fir with a share of 13–65% and other tree species such as elm, maple and ash. After about 50 years of investigation, beech proportion increased especially in small diameter classes as a result of successful natural regeneration. The main characteristics of the analysed PRPs are presented in Table 2.

Tree heights were not measured on all trees, but only on samples required for the construction of height curves (Table 1) and/or in some cases only on the trees with the diameter around the mean diameter of the stand. During more than 50 years of investigation, the heights of 1,346 beech and 1,208 fir trees were measured.

The non-linear regression models of height curves for beech and fir were derived, where tree height is a function of tree diameter and model height for a selected diameter class. As a base, the Korf growth curve with three parameters was chosen (formula 2). The derived models were compared with the graphical models of height tariffs for selection forests according to Halaj (1963) and the models of height curves for mixed spruce-fir-beech stands according to Petráš et al. (2014).

As shown in scatterplots for PRP 4 (Fig. 1 and 2), tree heights of both species exhibited a relatively high degree of variability. It was visible not only at repeated measurements, but also between them, while greater variability was found for beech compared to fir. Both multiple coefficients of correlation and determination confirmed a generally known fact that the investigated relationship is closer for fir than for beech. Out of the total variability of the heights around the model trees, 94% of variability for fir and 90% for beech was attributable to both independent variables. The presented differences were also confirmed by the mean square error and residual standard deviations which achieved lower values for fir.

The comparison of model curves (Fig. 3) showed a markedly steeper character of fir height curve in comparison to beech. This is due to a greater height increment of fir trees especially in the middle and higher diameter classes.

The results showed that due to the smaller range of experimental data, and their local origin it is not possible to recommend wider utilisation of the derived height curves.