

SUBMODEL ŠTÁDIOVEJ VÝŠKOVEJ KRIVKY PRE KLIMATICKO-STANOVIŠTNÉ STRATÁ PRE MODEL PRIRODZENÉHO ZMLADENIA RASTOVÉHO SIMULÁTORA SIBYLA

Ján M E R G A N I Č – Marek F A B R I K A –
– Katarína M E R G A N I Č O V Á

Merganič, J., Fabrika, M., Merganičová, K.: Submodel of height-diameter function for climatic-site strata of the model of natural regeneration in the growth simulator SIBYLA. Acta Facultatis Forestalis Zvolens, 53(1): 155–168, 2011.

The work presents the methodology of the development of mean height-diameter functions based on Wolf's height-diameter model and derived for 45 tree species. The data come from the database of the National Forest Inventory and Monitoring of the Slovak Republic (NIML SR) performed during 2005 and 2006 as a representative sampling method. For tree species *Fagus sylvatica*, 14 mean height-diameter curves were derived for 14 climatic-site strata, which are determined on the base of the two main ecological variables: mean air temperature in vegetation season (from April to September), and mean precipitation sum in vegetation season (from April to September) taken from the rectified climatic rasters. The relationship between parameter *a* of height-diameter curve and site-climatic variables is non-linear and close at a global level. Parameter *a* primarily affects the asymptote of the height-diameter curve and is closely coupled to the influence of climatic and site factors. Its value decreases with increasing temperature until the inflexion point at temperature 15.67 °C, after which it begins to rise again. By implementing the height-diameter model into the growth simulator SIBYLA, its sensitivity to ecological conditions will be maintained and ensured in tree height estimation of new trees generated by the model of natural regeneration.

Key words: non-linear regression, stratification, growth simulator, SIBYLA, natural regeneration model

1 ÚVOD A ROZBOR PROBLEMATIKY

Výškový rast je jednou z najcharakteristickejších biologických vlastností dreívín. Pod týmto pojmom rozumieme zväčšovanie výšky stromu resp. porastu s vekom (HALAJ 1978). Rastovú krivku, ktorá určuje výšku stromu alebo porastu v závislosti od veku, nazývame veková výšková krivka. Špeciálnym typom výškových kriviek sú štádiové výškové krivky. Štádiové výškové krivky sú modely predikcie výšky stromu v závislosti od jeho hrúbky v 1,3 m výške. V rovnovekých porastoch mení štádiová výšková krivka s rastom výšky a hrúbky svoju polohu i tvar. V nerovnovážnych porastoch má táto krivka tvar S-krivky a je stacionárna, t.j. nedochádza k jej postupnému presunu ako je to

v rovnovekých porastoch (ŠMELKO *et al.* 1992). Kým hrúbka stromu sa dá ľahko a presne určiť, meranie výšky je časovo náročnejšie (ŠMELKO 2000, COLBERT *et al.* 2002). Preto sa výšky často určujú pomocou štádiových výškových kriviek, ktoré môžu byť buď lokálne alebo všeobecné (KERSHAW *et al.* 2008). Presné určenie výšky stromu je rozhodujúce pri stanovovaní objemu stromu, produkcie i štruktúry porastu (ŠMELKO 2000, YUANCAI a PARRESOL 2001, KERSHAW *et al.* 2008). V minulosti sa tieto modely vytvárali najmä pre tzv. „zrelé“ stromy (XIANGDONG *et al.* 2009), t.j. stromy s hrúbkou väčšou ako je hraničná hrúbka, napr. 7 cm. V súčasnosti existuje v literatúre veľké množstvo výškových kriviek navrhnutých pre rôzne dreviny a rôzne regióny. Viacero prác sa zaoberalo porovnaním existujúcich kriviek (BURGAN 1980, ŠMELKO 1981, HUANG *et al.* 1992, FANG a BAILEY 1998, SANCHEZ *et al.* 2003, TEMESGEN a GADOW 2004, SONMEZ 2009, XIANGDONG *et al.* 2009). Avšak len niekoľko z modelov bolo kalibrovaných pre mladé porasty (XIANGDONG *et al.* 2009). Niektoré práce prezentovali, že modely navrhnuté pre stromy väčších rozmerov nedokážu dobre popísať mladú generáciu (YUANCAI a PARRESOL 2001). Podľa KERSHAW *et al.* (2008) tieto modely nereagujú na dynamický vzťah medzi hrúbkou a výškou v mladých porastoch.

Výška porastu, resp. jej potenciál, závisí od viacerých faktorov, avšak značný vplyv má akosť stanovišťa. V lesníckej terminológii sa pre určovanie produkčnej schopnosti stanovišťa zaužíval pojem bonita. Bonitu stanovišťa určujú vlastnosti pôdy (štruktúra, prevzdušnosť, hĺbka pôdy, chemické zloženie, obsah vody, obsah živín, humifikácia a pod.), reliéf a poloha terénu, ako aj klimatické faktory (teplota, zrážky a pod.) bez ohľadu na to, aká drevina (stanovištno vhodná alebo nevhodná) a aký porast (tvárny alebo netvárny) momentálne na danom stanovišti rastie (HALAJ 1978). Výška porastu sa stala veľmi často používaným nepriamym ukazovateľom kvality stanovišťa a je použitá pri tvorbe viacerých rastových tabuliek (HALAJ 1978, ŠMELKO *et al.* 1992). Vytvorením modelu štádiovej výškovvej krivky v rámci strát gradientu klíma – stanovište (MERGANIČ a FABRIKA 2009) sledujeme zachovanie senzitivity stromového rastového simulátora SIBYLA (FABRIKA 2005) na ekologické podmienky pri určovaní výšky nových stromov generovaných v rámci modelu prirodzeného zmladenia, ktorý sa vyvíja ako jedna z piatich riešených úloh v rámci aktivity 1.3 „Modelovanie rastových procesov lesných ekosystémov“ projektu Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy.

2 MATERIÁL

Konštrukcia modelu štádiovej výškovvej krivky vychádza z databázy údajov Národnej inventarizácie a monitoringu lesov SR (NIML SR). NIML SR bola realizovaná v rokoch 2005–2006 ako výberová reprezentatívna metóda s komplexným zisťovaním informácií na pravidelnej sieti trvalých inventarizačných plôch (IP) v spone 4 × 4 km na celom území SR (ŠMELKO *et al.* 2006). Celkový počet IP bol 3071 a z toho na 1419 IP sa nachádzal les.

Pre účely tejto práce sa využili prevažne údaje o stromoch, obnove lesa, poraste a stanovišti zisťované v zmysle pracovných postupov pre NIML SR (ŠMELKO *et al.* 2006). Tieto údaje boli zisťované na troch druhoch inventarizačných plôch: A – základná

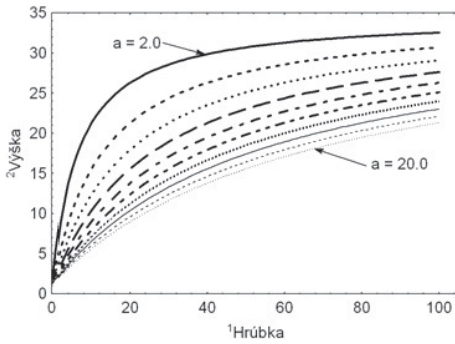
inventarizačná plocha (konštantný kruh o výmere $p = 500 \text{ m}^2$ s polomerom $r = 12,62 \text{ m}$) slúžila pre zisťovanie stanovištných, porastových a ekologických charakteristík a pre inventarizáciu mŕtveho ležiaceho dreva a pňov, B – dva konštantné kruhy pre inventarizáciu stromov s hrúbkou $d_{1,3} \geq 7 \text{ cm}$ (s kôrou), a to B_1 – veľký kruh pre stromy s $d_{1,3} \geq 12 \text{ cm}$ s polomerom $r = 12,62 \text{ m}$ ($p = 500 \text{ m}^2$), ktorý je totožný s kruhom A a B_2 – malý kruh pre stromy s $d_{1,3} \geq 7 \text{ cm}$ a $< 12 \text{ cm}$ s polomerom $r = 3 \text{ m}$ ($p = 28,26 \text{ m}^2$) a napokon C – variabilný obnovný kruh pre inventarizáciu náletu, nárastov, kultúr a mladín s výškou od 0,1 m a hrúbkou $d_{1,3} < 7 \text{ cm}$ (vrátane kôry), ktorého „optimálna“ veľkosť (výmera p a polomer r) sa zvolila individuálne na každom stanovisku podľa konkrétnej hustoty (sponu) jedincov. V prípade silnej heterogenity IP spôsobenej napr. hranicou les/neles, les/bezlesie, rozdielnym rastovým stupňom v rámci IP a podobne, sa IP rozčlenila na menšie homogénnejšie časti – subplochy (ŠMELKO *et al.* 2006). Pre účely konštrukcie modelu sa použili údaje z 36 328 stromov 45 druhov drevín.

3 METODIKA

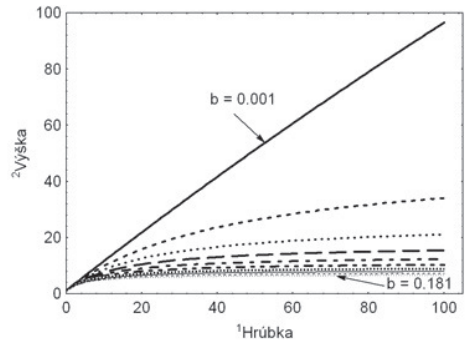
Pri tvorbe štádiovej výškovej krivky boli preverené viaceré rastové a výškové funkcie autorov ASSMANN (1943), MICHAJLOV (1952), WOLF (1957), NÄSLUND (1936), PETERSON (1955), KORSUŇ (1935) a KORF (1939). Z uvedených funkcií mala najpriaznivejší logický priebeh krivky najmä pri mladých jedincoch funkcia podľa WOLFA (1957). Model výškovej krivky pre určitú drevinu je parametrizovaný na súbore všetkých živých stromov, pričom sa použila „modelová výška“. „Modelová výška“ je výška stromu pri konkrétnej hrúbke stromu vo výške 1,3 m, ktorá bola stromu pridelená v rámci logickej kontroly výšok stromov v databáze NIML SR 2005–2006. V prípade, že výška stromu nevykazovala signifikantnú odchýlku od štádiovej výškovej krivky zo súboru stromov patriacich napr. k jednej skusnej ploche alebo rovnakému stanovištiu, „modelovej výške“ bola priradená skutočná, reálne nameraná výška v teréne. V opačnom prípade bola „modelovej výške“ priradená výška z príslušnej štádiovej výškovej krivky. Takýmto spôsobom boli „modelové výšky“ určené najmä pri suchároch, stromoch poškodených zlomami a pod.

Funkcia modelu výškovej krivky podľa WOLFA (1957) je dvojparametrová, kde parameter a ovplyvňuje prevažne asymptotu výškovej krivky (Obr. 1) a parameter b jej tvar.

$$h = 1.3 + \frac{d_{1,3}}{a + b \times d_{1,3}} \quad (1)$$



A)



B)

Obr. 1 Priebeh štádiovej výškovej krivky podľa modelu WOLFA (1957) pri zmene parametra a a fixovaní parametra $b = 0.03$ (A) a zmene parametra b a fixovaní parametra $a = 9.5$ (B)
 Fig. 1 Performance of height-diameter curve of Wolf's model (1957) in case of changing values of parameter a and fixed parameter $b = 0.03$ (A) and changing values of parameter b and fixed parameter $a = 9.5$ (B). Legend: 1 – Diameter, 2 – Height

V prvom kroku bola funkcia parametrizovaná pre konkrétnu drevinu na celom empirickom materiáli. Uvedený postup zodpovedá princípu tvorby štádiovej výškovej krivky pre nerovnoveké porasty, ktorá je v čase stacionárna a vyjadruje priemernú polohu krivky vzťahu výšky na hrúbke. Tvar tejto krivky je kontrolovaný parametrom b , ktorý bol v ďalšom postupe fixovaný. Úpravou rovnice (1) je potom možné odvodiť rovnicu pre výpočet parametra a , ktorý závisí najmä na klimaticko-stanovištných podmienkach. Jeho výpočet je nasledovný:

$$a = -d_{1.3} \times \frac{h \times b - 1.3 \times b - 1}{h - 1.3} \quad (2)$$

Zmenou parametra a je možné definovať polohu výškových kriviek a vytvoriť tak vejár podobný vejárú výškových bonitných kriviek (HALAJ 1978). Podľa rovnice (2) sa parameter a vypočítal pre každý strom. Pre výpočet reprezentatívnej hodnoty tohto parametra pre konkrétnu drevinu a klimaticko-stanovištné podmienky boli použité klimaticko-stanovištné stratá podľa autorov MERGANIČ a FABRIKA (2009). Tvorba týchto klimaticko-stanovištných strat je založená na dvoch základných priamych ekologických faktoroch a to na priemernej teplote vzduchu počas vegetačného obdobia (apríl až september) a priemernom úhrne zrážok počas vegetačného obdobia. Aj keď stratifikačnými veličinami sú iba klimatické údaje, z citovanej práce vyplýva, že tieto veličiny majú vplyv aj na stanovištné veličiny, preto sa použil súborný pojem klimaticko-stanovištné stratá (MERGANIČ a FABRIKA 2009). Reprezentatívna hodnota parametra a pre drevinu a klimaticko-stanovištné stratum zodpovedá aritmetickému priemeru parametra a zo súboru stromov, ktoré dané stratum tvoria.

4 VÝSLEDKY

V tabuľke 1 uvádzame výsledky parametrov priemernej štádiovej výškovej krivky pre 45 druhov drevín. Parameter a Wolfovej funkcie sa pohybuje v rozpätí od 2. 7 do 23. 8. Najnižšiu hodnotu vykazuje drevena *Populus x euroamericana* (,I-214') a najvyššiu hodnotu drevena *Pinus mugo* a veľmi blízko je aj *Pinus cembra*. Parameter b použitej funkcie sa pohybuje v rozpätí od 0,012 do 0,212. Najnižšie hodnoty vykazujú dreminy *Picea abies* a *Ulmus laevis* a naopak najvyššiu hodnotu sme zistili pri drevine *Pinus mugo*. Hodnoty uvedených drevín v zmysle obrázka 1 vcelku dobre korešpondujú s ich biologickým rastovým potenciálom. Variabilita hodnôt okolo vyrovnanej štádiovej výškovej krivky vyjadrenej na báze relatívnej strednej chyby je pri drevinách rôzna. Najnižšiu hodnotu variability pri viac stromových údajoch sme zaznamenali pri drevine *Populus x euroamericana* (,I-214') s hodnotou 9,1 %. Pri drevine *Sorbus aucuparia* sme naopak zistili najvyššiu hodnotu na úrovni 34,4 %. Na obrázku 2 uvádzame priebeh výškových kriviek všetkých 45 druhov drevín. Z obrázku vyplýva, že odvodené parametre nevykazujú nelogické správanie sa v skúmanom vzťahu.

Tab. 1 Parametre priemernej štádiovej výškovej krivky pre 45 druhov drevín
Tab. 1 Parameters of mean height-diameter curves of 45 tree species

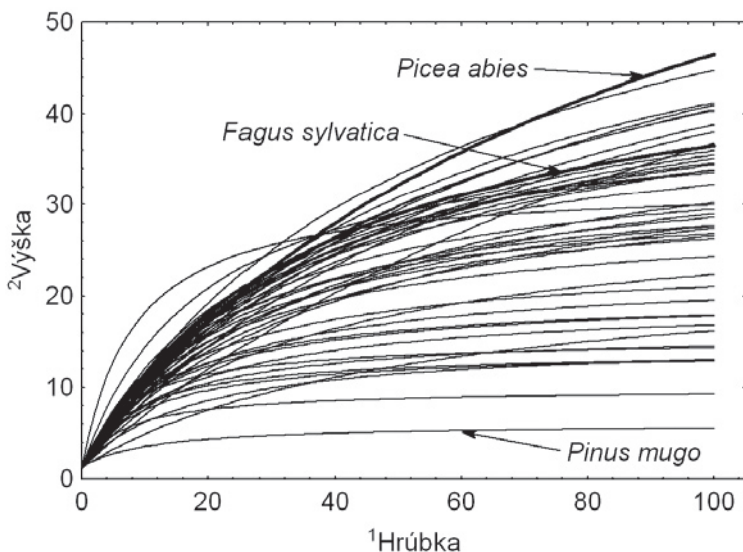
P. č. ¹	Druh dreviny ²	n^3	Par. a^4	Par. b^5	SE % ⁶
1	<i>Abies alba</i>	914	10,34	0,015	18,3
2	<i>Acer campestre</i>	376	9,81	0,030	23,2
3	<i>Acer negundo</i>	42	6,92	0,029	24,0
4	<i>Acer platanoides</i>	105	7,98	0,021	21,2
5	<i>Acer pseudoplatanus</i>	900	8,04	0,022	19,8
6	<i>Alnus glutinosa</i>	659	8,62	0,021	22,8
7	<i>Alnus incana</i>	155	7,35	0,036	24,5
8	<i>Betula pendula</i>	761	7,03	0,031	23,7
9	<i>Carpinus betulus</i>	3 117	6,36	0,033	18,1
10	<i>Castanea sativa</i>	8	7,44	0,033	19,5
11	<i>Fagus sylvatica</i>	9 661	7,74	0,021	20,5
12	<i>Fraxinus excelsior</i>	552	6,90	0,024	21,9
13	<i>Fraxinus ornus</i>	11	8,32	0,067	20,3
14	<i>Juglans regia</i>	6	9,26	0,055	18,0
15	<i>Larix decidua</i>	562	9,58	0,016	18,1
16	<i>Malus sylvestris</i>	38	8,13	0,078	22,0
17	<i>Morus alba</i>	9	13,08	0,072	16,9
18	<i>Padus racemosa</i>	31	5,41	0,071	23,8
19	<i>Picea abies</i>	7 887	10,26	0,012	19,5

Tab. 1 Pokračovanie

Tab. 1 Continue

P. č. ¹	Druh drevin ²	<i>n</i> ³	Par. <i>a</i> ⁴	Par. <i>b</i> ⁵	SE % ⁶
21	<i>Pinus mugo</i>	14	23,08	0,212	16,8
22	<i>Pinus nigra</i>	144	10,74	0,016	16,8
23	<i>Pinus sylvestris</i>	2 217	9,33	0,021	19,7
24	<i>Populus alba</i> , <i>P. canescens</i>	32	8,20	0,015	14,4
25	<i>Populus nigra</i>	40	9,90	0,026	22,6
26	<i>Populus tremula</i>	280	9,36	0,016	20,5
27	<i>Populus × euroamericana</i> (,I-214')	38	2,70	0,032	9,1
28	<i>Prunus avium</i>	159	10,44	0,024	28,2
29	<i>Prunus domestica</i>	10	8,16	0,117	23,8
30	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	9	9,16	0,020	5,9
31	<i>Pyrus pyraeaster</i>	51	6,71	0,079	28,7
32	<i>Quercus cerris</i>	877	7,95	0,022	18,4
33	<i>Quercus petraea</i>	2 704	7,23	0,025	18,3
34	<i>Quercus robur</i>	117	8,14	0,023	16,1
35	<i>Quercus rubra</i>	46	5,03	0,026	12,0
36	<i>Robinia pseudoacacia</i>	683	8,81	0,029	19,1
37	<i>Salix alba</i>	145	7,42	0,043	26,7
38	<i>Salix caprea</i>	363	8,24	0,047	24,3
39	<i>Salix fragilis</i>	17	12,27	0,035	15,9
40	<i>Sorbus aria</i>	125	7,57	0,053	28,8
41	<i>Sorbus aucuparia</i>	138	11,14	0,027	34,4
42	<i>Tilia cordata</i>	262	8,04	0,029	21,6
43	<i>Ulmus laevis</i>	15	16,27	0,012	21,0
44	<i>Ulmus minor</i>	47	12,18	0,015	20,3
45	<i>Ulmus montana</i>	46	8,83	0,016	19,1

1 – running number, 2 – tree species, 3 – rozsah súboru (amount of data), 4 – parameter *a* Wolfovej výškovej krivky (parameter *a* of Wolf's height-diameter curve), 5 – parameter *b* Wolfovej výškovej krivky (parameter *b* of Wolf's height-diameter curve), 6 – relatívna stredná chyba výškovej krivky (relative standard error of height-diameter curve)



Obr. 2 Priebeh štádiovej výškovej krivky pri 45 druhoch drevín
 Fig. 2 Performance of mean height-diameter curves of 45 tree species
 Legend: 1 – Diameter, 2 – Height

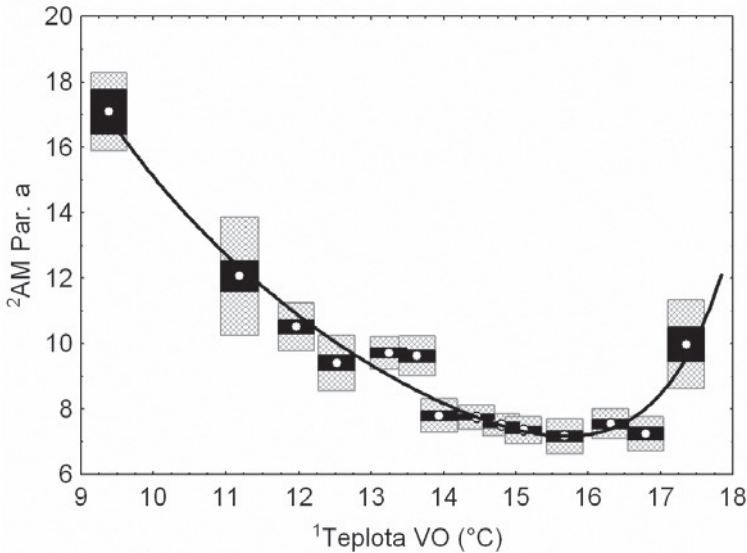
Vplyv klimaticko-stanovištných strát na parameter a štádiovej výškovej krivky Wolfovej funkcie je dokumentovaný na najzastúpenejšej drevine na Slovensku, t.j. buku (*Fagus sylvatica*). Uvedená drevina sa vyskytla v 14 z 15 KSS. Jej absenciu sme zistili v KSS, ktoré reprezentuje najnižšie polohy (nadmorská výška okolo 165 m n. m., priemerná teplota vo vegetačnom období 17,84 °C, priemerný úhrn zrážok vo vegetačnom období 325 mm). Priemerné hodnoty parametra a sú uvedené v tabuľke 2. Ako vyplýva z tabuľky 2 a obrázka 3, s rastúcou teplotou klesá hodnota parametra a z hodnoty 17,09 po bod obratu, ktorý nastáva pri teplote 15,67 °C a v ktorom je jeho hodnota rovná 7,18. Od tohto bodu dochádza opäť k vzostupu hodnôt parametra a Wolfovej funkcie. Vzťah medzi generalizovanými hodnotami priemernej teploty vo vegetačnom období a priemernou hodnotou parametra a Wolfovej funkcie je pomerne tesný (Obr. 3). Na popísanie uvedeného vzťahu bola použitá funkcia $Y = a + b \times \exp(x) + c/x^{1,5}$, v ktorej parameter a má hodnotu -2,7855, b hodnotu 1,31742880427412E-07 a parameter c hodnotu 565,698. Pomocou uvedenej funkcie je objasnených 96,6 % informácií v skúmanom vzťahu. Musíme mať však na pamäti, že ide o vzťah medzi silne generalizovanými hodnotami, v ktorom nie je zohľadnená mikroporastová variabilita. Na globálnej úrovni je to však veľmi pozitívna informácia.

Tab. 2 Priemerné hodnoty parametra a Wolfovej výškovej funkcie v jednotlivých klimaticko-stanovištných stratách pri drevine *Fagus sylvatica*

Tab. 2 Mean values of parameter a of Wolf's height-diameter function in individual climatic-site strata

KSS ¹	Nadmorská ² výška (m n. m.)	Teplota ³ VO (°C)	Zrážky ⁴ VO (mm)	AM ⁵ Par. a	SD ⁶ Par. a	CV ⁷ Par. a	n ⁸	m ⁹
1	702	13,63	556	9,62	5,2	53,9	802	72
2	655	13,94	529	7,80	3,9	49,6	640	57
3	576	14,46	505	7,74	3,4	43,6	1 371	85
4	765	13,24	588	9,71	4,3	44,0	768	71
5	898	12,52	629	9,41	6,0	63,8	635	50
6	519	14,80	480	7,51	2,6	34,9	915	60
7	488	15,10	459	7,35	3,3	45,3	917	64
8	425	15,67	436	7,18	3,7	51,5	489	48
9	998	11,96	685	10,52	4,7	45,1	528	43
10	346	16,31	414	7,55	2,4	31,3	275	27
11	1 140	11,19	770	12,06	8,8	73,1	365	25
12	1 490	9,39	953	17,09	1,2	6,9	4	1
13	280	16,80	390	7,24	2,3	31,1	125	20
14	225	17,36	363	9,98	2,3	23,5	21	4
15	165	17,84	325	–	–	–	–	–

1 – Klimaticko-stanovištné stratum (climatic-site stratum), 2 – altitude, 3 – priemerná teplota vo vegetačnom období (mean air temperature in vegetation season), 4 – priemer zrážok vo vegetačnom období (mean precipitation sum in vegetation season), 5 – aritmetický priemer parametra a (mean of parameter a), 6 – smerodajná odchýlka parametra a (standard deviation of parameter a), 7 – variačný koeficient parametra a (coefficient of variation of parameter a), 8 – počet stromov (number of trees), 9 – počet subplôch (number of subplots)



Obr. 3 Vzťah medzi ²priemernými hodnotami parametra *a* Wolfovej výškovkej funkcie a ¹priemerom teploty vo vegetačnom období pri drevine *Fagus sylvatica*

Fig. 3 Relationship between ²mean values of parameter *a* of Wolf's height-diameter function and ¹mean temperature in vegetation season in case of *Fagus sylvatica*

Legend: ○ mean, ■ mean ± standard error for trees, ▨ mean ± standard error for subplots

5 DISKUSIA

Výskum ekologických vzťahov medzi vegetáciou a prostredím je veľmi zložitý. Ekologické faktory ovplyvňujú mnohé rastové zákonitosti v lesných ekosystémoch, ich existenciu i produkciu. Výška stromu alebo porastu je jednou z veličín, ktoré sú v značnej miere ovplyvnené kvalitou stanovištných podmienok. Ako uvádza ŠMELKO *et al.* (1992) a HALAJ (1978), výška porastu, v poslednom období najmä horná výška, predstavuje jeden z najlepších bonitačných ukazovateľov. Odvodenie parametrov výškovkej funkcie v rámci klimaticko-stanovištných strát je preto opodstatnené a ako vyplýva z tab. 2 a obr. 3, vzťah k parametrom prostredia sa potvrdil aj v našej analýze. Určovanie bonity stanovišťa na báze informácií o klimatických a stanovištných veličinách je typické pre obdobie počiatočných pokusov o klasifikáciu bonity už z pred viac ako 200 rokmi. Ide o tzv. geocentrický prístup, pretože je založený na poznatkoch o zemi (SKOVSGAARD a VANCLAY 2008). V lesníctve sa však častejšie využíva už spomínaný tzv. dendrocentrický prístup (SKOVSGAARD a VANCLAY 2008), v rámci ktorého je bonitácia stanovišťa vykonávaná prevažne cez porastové charakteristiky (PRESSLER 1870, EICHHORN 1904, GERHARD 1921, WIEDEMAN 1951, ASSMAN a FRANZ 1963, HALAJ a ŘEHÁK 1979) ako sú horná výška porastu, stredná výška porastu, prírastok a pod. V poslednom období sa však opäť začínajú presadzovať trendy

priamej bonitácie cez prírodné a ekologické charakteristiky (BOTKIN *et al.* 1972, SHUGART a WEST 1977). Z pohľadu týchto veličín sú teplota a zrážky rozhodujúce klimatické činitele, ktoré ohraničujú maximálne výšky a ovplyvňujú ich tempo rastu a vývoja (ŠMELKO *et al.* 1992, GÖMÖRYOVÁ 2004). Použité klimaticko-stanovištné stratá (MERGANIČ a FABRIKA 2009) sú založené na pre rast rozhodujúcich činiteľoch. Pre klimaticko-stanovištnú stratifikáciu by bolo možné využiť aj informácie o stanovišti vyjadrené prostredníctvom typologických jednotiek, ktoré boli určované na inventarizačných plochách v rámci NIML 2005–2006. Na jednej strane ide o jednotky, ktoré by mali zohľadňovať aj parametre mikroreliefu, čo je v porovnaní s generalizovanými údajmi priemernej teploty vzduchu a priemerného úhrnu zrážok výhodou, na strane druhej je určovanie typologických jednotiek na inventarizačných plochách silne zaťažené subjektom hodnotenia a jeho praktickými skúsenosťami. Správne určenie typologickej jednotky je obtiažne najmä v človekom pozmenených lesných ekosystémoch. Doposiaľ nebol vytvorený model, ktorý by uspokojivo kategorizoval územie z pohľadu lesníckej typológie. Praktická skúsenosť zo spracovania údajov s ohľadom na typologické jednotky prináša množstvo problémov i kontroverzných výsledkov. Nakoniec aj typologické jednotky by mali úzko korešpondovať s vplyvom priamych veličín, ktoré rozhodujúcim spôsobom determinujú výskyt, šírenie a biomasu životných foriem. Pri štúdiu vzťahu medzi klimatickými veličinami a rastovými veličinami stromov a lesných porastov sa najčastejšie uplatňujú priemerná ročná teplota, priemerná teplota vo vegetačnom období, počet dní s určitým teplotným minimom, dĺžka vegetačného obdobia, ročný úhrn zrážok a zrážky vo vegetačnom období (KÖHLER 1984, FERRAZ 1985, KAHN 1994, HERZBERGER 1996, KARLSSON 2000, SCHADAUER 2003). Vzťah medzi klimaticko-stanovištnými veličinami a rastovými veličinami zvyčajne nie je lineárny (GÖMÖRYOVÁ 2004). Lineárny model použili v prácach napr. MOOSMAYER a SCHÖEPFER (1972) a NEBE (1968). NEBE (1968) vyjadril vzťah medzi hornou výškou smrekových porastov vo veku 80 rokov a klimatickými veličinami pomocou lineárnej mnohonásobnej regresie. Zistil, že pre rast smreka je dôležitý úhrn zrážok od mája do augusta. Obdobné výsledky uvádza aj GÖMÖRYOVÁ (2004), ktorá na objasnenie vzťahu použila nelineárnu regresiu v podobe polynómov 1. až 3. stupňa, pričom najsilnejším faktorom bola priemerná ročná teplota. V našej práci sme pri drevine *Fagus sylvatica* zistili pomerne tesnú nelineárnu závislosť na oboch priamych klimatických veličinách (teplota a zrážky) i nepriamej veličine v podobe nadmorskej výšky, z ktorých je prezentovaný vzťah k priemernej teplote vo vegetačnom období (Obr. 3). Ide však o pohľad na globálnej úrovni, kde nie je zohľadnená mikroporastová variabilita.

6 ZÁVER

Predkladaná práca prezentuje metodiku tvorby priemerných štádiových výškových kriviek pre 45 druhov drevín na báze Wolfovej výškovej krivky. Pri drevine *Fagus sylvatica* sa prezentuje stanovenie parametra a použitej výškovej funkcie, ktorý determinuje asymptotu výškovej krivky a je v úzkom prepojení na vplyv klimaticko-stanovištných činiteľov v rôznych klimaticko-stanovištných stratách. Vzťah medzi parametrom a výškovej krivky a stanovištno-klimatickými veličinami má nelineárnu podobu a na glo-

bálnej úrovni je pomerne tesný. S rastúcou teplotou klesá hodnota parametra a po bod obratu, t.j. asymptota výškovej krivky stúpa, ktorý nastáva pri teplote 15,67 °C. Od tohto bodu nastáva opäť vzostup hodnôt parametra a Wolfovej funkcie teda pokles asymptoty výšky stromu.

PodĎakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- ASSMANN, E., 1943: Untersuchungen über die Höhenkurven von Fichten Beständen. Allg. Forst- und Jagdztg., 119, p. 77–88, 105–123, 133–151.
- ASSMANN, E., FRANZ, F. 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt, München, 104 s.
- BOTKIN, D.B., JANAK, J.F., WALLIS, J.R. 1972: Some ecological consequences of a computer model of forest growth. *Journal of Ecology*, 60, s. 849–872.
- BURGAN K. 1980: Allgemeine Gesetzmäßigkeiten der Höhenkurvenform und derer mathematische Formulierung. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, XXII, 189–203.
- COLBERT, K.A., LARSEN D.R., LOOTENS J.R. 2002: Height-Diameter Equations for Thirteen Midwestern Bottomland Hardwood Species. *Northern Journal of Applied Forestry*. 19(4): 171–176.
- EICHHORN, F. 1904: Bezirhungen zwischen Bestandshöhe und Bestandsmasse. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 80, p. 45–49.
- FABRIKA, M. 2005: Simulátor biodynamiky lesa SIBYLA. Koncepcia, konštrukcia a programové riešenie. Habilitačná práca. Technická univerzita vo Zvolene, 238 s.
- FANG, Z.X., BAILEY R.L. 1998: Height-diameter models for tropical forests on Hainan Island in southern China. *For. Ecol. Manage.* 110: 315–327.
- FERRAZ, J.B.S. 1985: Standortbedingungen, Bioelementversorgung und Wuchsleistung von Fichtenbeständen (*Picea abies* KARST.) des Südschwarzwaldes. *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen*, 14, 225 pp.
- GEHRHARDT, E. 1921: Eine neue Kiefern-Ertragstafel. *Allg. Forst. Jagdztg.* 97, 145–156.
- GÓMORYOVÁ, E. 2004: Vplyv klimaticko-topografických faktorov na výšku smrekových porastov. Bioklimatologické pracovné dni 2004, Zmeny podnebia – Extrémny počasie – Organizmy a ekosystémy, Medzinárodná vedecká konferencia, 23.–26. august 2004, Viničky, Slovensko, 11p.
- HALAJ, J. 1978: Výškový rast a štruktúra porastov, Slovenská akadémia vied v Bratislave, 284 s.
- HALAJ, J., ŘEHÁK, J. 1979: Rastové tabuľky hlavných drevín ČSSR. Bratislava, *Príroda*, 352 s.
- HERZBERGER, E. 1996: Standortseinflüsse auf die Bonität von Fichtenbeständen in Österreich. Eine Analyse mittels linearer Regressionen. *FBVA-Berichte*, 93: 65–68.
- HUANG, S.M., TITUS S.J., WIENS D.P. 1992: Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species. *Can. J. For. Res.* 22: 1297–1304.
- KAHN, M. 1994: Modellierung der Hohenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort. *Forsliche Forschungsberichte*, München, 141, 204 pp.
- KARLSSON, K. 2000: Height growth patterns of Scots pine and Norway spruce in the coastal areas of western Finland. *Forest Ecology and Managemen*, 135 (1–3): 205–216.
- KERSHAW J.A. JR., MORRISSEY R.C., JACOBS D.F., SEIFERT J.R., McCARTER J.B. 2008: Dominant Height-based Height-diameter Equations for Trees in Southern Indiana. *Proceedings 16th Central Hardwood Forest Conference*, West Lafayette, IN, April 8–9, 2008, 341–355.
- KÖHLER, H. 1984: Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Standortfaktoren, Ernährungszustand und Wachstum von Fichten (*Picea abies* KARST.) der Herkunft Westerhof auf verschiedenen Standorten Niedersachsens. *Dissertation*, Göttingen, 250 pp.

- KORF, V., 1939: Příspěvek k matematické definici vzrůstového zákona hmot lesních porostů. Lesnická práce, XVIII: s. 339–379.
- KORSUŇ, F., 1935: Život normálního porostu ve vzorcích. Lesnická práce (XIV): s. 289–300.
- MERGANIČ, J., FABRIKA, M. 2009: Tvorba klimaticko-stanovištných strát pre účely tvorby modelu hustoty prirodzeného zmladenia. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 51(3):113–124.
- MICHAJLOV, J., 1952: Mathematische Formulierung des Gesetzes für Wachstum und Zuwachs der Waldbäume und Bestände. Schweiz. Z. Forstw., 103, 9/10, p. 368–380.
- MOOSMAYER, H.U., SCHOEFFER, W. 1972: Beziehungen zwischen Standortsfaktoren und Wuchsleistung der Fichte. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 143, 10: 203–215.
- NÄSLUND, M., 1936: Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt 29. 169 p.
- NEBE, W. 1968: Über Beziehungen zwischen Klima und Wachstum der Fichte (*Picea abies* L.) in ihrem europäischen Verbreitungsgebiet. Archiv für Forstwesen, 17: 1219–1238.
- PETERSON, H., 1955: Barrskogens volymproduktion. Die Massenproduktion des Nadelwaldes.. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut, Stockholm, Band 45, I, p. 45.
- PRESSLER, M. 1870: Forstliche Ertrags- u. Bonitierungstafeln nach Cubicmeter pro Hectar. Baumgärtner'sche Buchhandlung, Leipzig.
- SANCHEZ, C.A.L., VARELA J.G., DORADO F.C., ALBORECA A.R., SOALLEIRO R.R., GONZALEZ J.G.A., RODRIGUEZ F.S. 2003: A height-diameter model for *Pinus radiata* D. Don in Galicia (Northwest Spain). Ann. For. Sci. 60: 237–245.
- SHUGART, H.H., WEST, D.C. 1977: Development of an Appalachian deciduous forest succession model and its application to assessment of the impact of the chestnut blight. Journ. Environ. Manag., Vol. 5, s. 161–179.
- SCHADAUER, K. 1999: Oberhöhenbonität und Standort der Fichte nach Daten der Österreichischen Forstinventur. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 171, 135 pp.
- SKOVSGAARD, J.P., VANCLAY, J.K. 2008: Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. Forestry, 81, 1, 13–31.
- SONMEZ, T. 2009: Generalized height-diameter models for *Picea orientalis* L. Journal of Environmental Biology, 30(5), 767–772.
- ŠMELKO, Š. 1981: Spojitý systém jednotných výškových kriviek rovnovekých smrekových porastov SSR. Acta Facultatis Forestalis Zvolen 23, 165–179.
- ŠMELKO, Š. 2000: Dendrometria. Technická univerzita Zvolen, 399 s.
- ŠMELKO, Š., MERGANIČ J., ŠEBEŇ V., RAŠI R., JANKOVIČ J. 2006: Národná inventarizácia a monitoring lesov Slovenskej republiky 2005–2006. Metodika terénneho zberu údajov (Pracovné postupy – 3. Doplňená verzia). Národné lesnícke centrum Zvolen, s. 129 s., ISBN: 80-88852-98-2.
- ŠMELKO, Š., WENK G., ANTANAITIS V. 1992: Rast, štruktúra a produkcia lesa. Príroda a.s. Bratislava, 342 s.
- TEMESGEN, H., GADOW K.V. 2004: Generalized Height-Diameter Models. Eur. J. For. Res., 123, 45–51.
- WIEDEMANN, E. 1951: Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- WOLF, J., 1957: Časové a bezčasové smérové pole vývoje. Sborník VŠZL Brno, řada C, č. 1., p. 1–10.
- XIANGDONG, L., CHANGHUI P., HAIYAN W., XIAOLU Z. 2009: Individual height-diameter models for young black spruce (*Picea mariana*) and jack pine (*Pinus banksiana*) plantations in New Brunswick, Canada. The Forestry Chronicle, 85(1): 43–56.
- YUANCAI, L., PARRÉSOL B.R. 2001: Remarks on Height-Diameter Modeling. USDA Forest Service, Southern Research Station, Research Note SRS-IO, 8 s.
-

Adresa autorov:

Doc. Ing. Ján Merganič, PhD.
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

e-mail: merganic@vsld.tuzvo.sk

Doc. Ing. Marek Fabrika, PhD.
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

e-mail: fabrika@vsld.tuzvo.sk

Dr. nat. techn. Ing. Katarína Merganičová
FORIM
Výskum, inventarizácia a monitoring lesných ekosystémov
Huta 14
962 34 Železná Breznica

www.forim.sk,
e-mail: k.merganicova@forim.sk

Submodel štádiovej výškovej krivky pre klimaticko-stanovištné stratá pre model prirodzeného zmladenia rastového simulátora SIBYLA

Abstrakt

Práca prezentuje metodiku tvorby priemerných štádiových výškových kriviek pre 45 druhov drevín na báze Wolfovej výškovej krivky. Podkladom boli údaje z databázy Národnej inventarizácie a monitoringu lesov SR (NIML SR), ktorá bola realizovaná v rokoch 2005–2006 ako výberová reprezentatívna metóda. Pri drevine *Fagus sylvatica* sa odvodili priemerné štádiové výškové krivky v rámci 14 klimaticko-stanovištných strát, ktoré sú vytvorené na podklade dvoch hlavných priamych ekologických veličín a to na priemernej teplote vzduchu počas vegetačného obdobia (apríl až september) a priemernom úhrne zrážok počas vegetačného obdobia (apríl až september) z podkladov rastrovo reprezentovaných modelov. Vzťah medzi parametrom a výškovej krivky a stanovištno-klimatickými veličinami má pri tejto drevine nelineárnu podobu a na globálnej úrovni je pomerne tesný. Parameter a použitej výškovej funkcie determinuje asymptotu výškovej krivky a je v úzkom prepojení na vplyv klimaticko-stanovištných činiteľov. S rastúcou teplotou jeho hodnota klesá po bod obratu pri teplote 15,67 °C, odkiaľ opäť stúpa. Implementáciou modelu výškovej krivky sledujeme zachovanie senzitivity stromového rastového simulátora SIBYLA na ekologické podmienky pri určovaní výšky nových stromov generovaných v rámci modelu prirodzeného zmladenia.

Kľúčové slová: nelineárna regresia, stratifikácia, rastový simulátor, SIBYLA, model prirodzeného zmladenia, štádiové výškové krivky porastu