



POROVNANIE SKUTOČNÉHO A MODELOVÉHO VÝVOJA STREDNÝCH VÝŠOK A HRÚBOK SMREKA A BUKA POČAS DVOCH DECÉNIÍ VO VÝBEROVÝCH SÚBOROCH PORASTOV

IVAN HERICH

Národné lesnícke centrum - Ústav lesných zdrojov a informatiky Zvolen, ul. Sokolská 2,
SK – 960 52 Zvolen, e-mail: herich@nlc.sk.org

HERICH, I., 2012: Real and model development comparison of spruce and beech mean heights and diameters during two decade in the sampling sets of forests. Lesn. Čas. – Forestry Journal, **58**(1): 1-9, 7 fig., tab. 4, ref. 9. Original paper. ISSN 0323 – 1046.

The paper deals with basic forest production characteristics development at three time levels. The database includes two sampling sets of forest management plans (FMP) with the same effect and validity period. The analysis focuses in particular on quantification and statistical comparison of the real and model production characteristics development for dominant tree species (spruce, beech) in time levels.

We analysed the following parameters of the main forest: mean height, mean diameter, absolute yield class.

The comparison results show significant statistical difference between average, real and model production characteristics in favour of the real parameters. The differences detected within 20-years period got the following average values: for the mean height of beech 2.7 m (12.4%), spruce 1.9 m (8.1%) and for the mean diameter of beech 2.4 cm (9.1%), spruce 2.1 cm (7.0%). It is applied in the whole time interval and confirmed by development of the average real and model production characteristics in age classes.

Logic implication of this trend is improvement of average absolute yield classes in the research period.

Key words: forest management plan, information bank, forest production development

Práca sa zaoberá vývojom základných produkčných charakteristík lesov na troch časových hladinách. Údajovú bázu tvoria dva výberové súbory LHP s rovnakým začiatkom a s rovnakou dobou platnosti LHP. Predmetom analýzy je kvantifikácia a štatistické porovnanie vývoja skutočných a modelových produkčných charakteristík prevládajúcich drevín (smrek, buk) v časových hladinách.

Analyzované boli veličiny hlavného porastu: stredná výška, stredná hrúbka, absolútna výšková bonita.

Výsledky porovnania vykazujú štatisticky signifikantný rozdiel medzi priemernými skutočnými a modelovými produkčnými charakteristikami, pričom modelové veličiny sú nižšie. Zistené diferencie za 20-ročné obdobie nadobúdajú nasledovné priemerné hodnoty: pre strednú výšku pri buku 2,7 m (12,4 %), pri smreku 1,9 m (8,1 %) a pre strednú hrúbku pri buku 2,4 cm (9,1 %), pri smreku 2,1 cm (7,0 %). Uvedené platí v celom vekovom rozpätí čo potvrdzuje aj priebeh priemerných skutočných a modelových produkčných charakteristík vo vekových stupňoch.

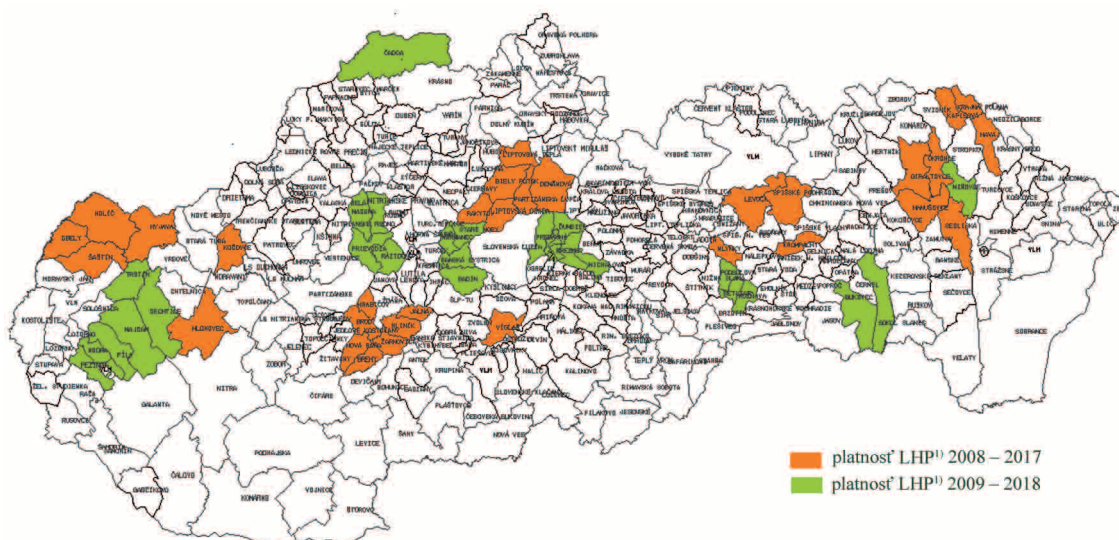
Logickým dôsledkom tohto trendu je zlepšovanie priemerných absolútnych výškových bonít v priebehu sledovaného obdobia.

Kľúčové slová: lesný hospodársky plán, informačná banka, vývoj produkcie lesov

1. Problematika

V práci sa využíva informačný potenciál Informačnej banky LH (zákon o lesoch, 2005) na štatistickú analýzu vývoja lesov. Metodika tematicky nadväzuje na proble-

matiku trendov vývoja produkcie lesov (HERICH, 2010) so špecifickým zameraním na kvantifikáciu modelového vývoja produkčných charakteristík na základe rastových tabuliek (HALAJ, PETRÁŠ, 1998). Vstupné súbo-



Obr. 1. Mapa lesných hospodárskych celkov

Fig. 1. Map of forest management units

¹⁾FMP validity

ry údajov boli pre riešenie získané zámerným výberom z databáz LHP uložených v informačnej banke v dvoch na seba naväzujúcich krokoch. V prvom kroku boli vytvorené dva obsahovo porovnateľné súbory lesných hospodárskych plánov (LHP) s rovnakým začiatkom a obdobím platnosti (obr. 1):

- Prvý súbor obsahuje údaje LHP platné k 1. januáru 1988, 1998 a 2008. Patria sem LHP postupne obnovované v pôvodných hraniciach týchto 28 lesných hospodárskych celkov: Hlohovec, Šaštín, Gbely, Holič, Jalná, Hliník, Žarnovica, Gbely, Nová Baňa, Brod, Hrabičov, Demänová, Partizánska Ľupča, Liptovská Teplá, Biely Potok, Liptovská Osada, Rakytov, Kysihýbeľ, Myjava, Kočovce, Levoča, Giraltovce, Kapišová, Krajná Poľana, Okružle, Havaj, Hanušovce, Sedliská.
- Druhý súbor obsahuje údaje platné k 1. januáru 1989, 1999 a 2009. Patria sem LHP postupne obnovované v pôvodných hraniciach týchto 25 lesných hospodárskych celkov: Dechtice, Trstín, Majdán, Píla, Pezinok, Modra, Michalová, Ďumbier, Predajná, Harmanec, Brezno, Staré Hory, Banská Bystrica, Badín, Čadca, Betliar, Podsúľová, Rožňava, Bukovec, Sokol, Magura, Nitrianske Pravno, Ráztočno, Prievidza, Miňovce.

Kritériom druhého kroku výberu bola totožnosť identifikátorov základných jednotiek rozdelenia lesa v časových hladinách. Okrem podmienky identity boli v záujme vytvorenia pokiaľ možno najhomogénnejších súborov porastov uplatnené ďalšie dve pomocné kritéria:

- rovnaká výmera porastov v časových hladinách s toleranciou vyplývajúcou z technologického postupu vyrovnania výmer porastov na parcely alebo štvorce pri obnove LHP (KOLEKTÍV, 2008),

- rozdiel 10 rokov medzi vekmi identických porastov v časových hladinách.

Cieľom riešenia je porovnanie vývoja skutočných produkčných charakteristík zistených pri obnove LHP v jednotlivých časových hladinách s predpokladaným modelovým vývojom.

Porovnávané sú vo výberových súboroch najviac zastúpené dreviny smrek a buk. Nakoľko v sledovanom období absentuje podrobná lesná hospodárska evidencia ako aj bližšia špecifikácia vykonaných výchovných a obnovných hospodárskych opatrení, ktoré výrazne ovplyvňujú hlavne zásobu a zakmenenie porastov, je riešenie zamerané na produkčné charakteristiky: stredná výška, stredná hrúbka. Zároveň je analyzovaný vplyv vývoja strednej výšky na vývoj absolútnej výškovej bonity.

2. Metodika

Porovnanie vychádza z predpokladu, že skutočný vývoj skúmaných produkčných charakteristík drevín v porastoch sa riadi podľa matematického modelu rastových tabuliek:

$$h_{s_t} = f(t, b) \quad [1]$$

$$d_{s_t} = f(t, b) \quad [2]$$

kde

h_{s_t} – stredná výška dreviny v poraste,

d_{s_t} – stredná hrúbka dreviny v poraste,

t – vek porastu,

b – absolútna výšková bonita dreviny v poraste.

V štúdiu nebolo možné využiť rastové tabuľky diferencovane podľa stupňa zásobovej úrovne, lebo tento údaj štruktúra databáz LHP neobsahuje.

Pre daný účel bol z matematického modelu rastových tabuliek vypočítaný bežný periodický prírastok dreviny

na strednej výške a hrúbke za decénium v každom poraste výberového súboru

$$\Delta h_{s_{t,t+10}} = f(t+10, b) - f(t, b) \quad [3]$$

$$\Delta d_{s_{t,t+10}} = f(t+10, b) - f(t, b) \quad [4]$$

a následne tak možno vyčíslíť modelovú (aktualizovanú) hodnotu produkčnej charakteristiky porastu pre vyššiu časovú hladinu.

$$h_{s_{t+10}} = h_{s_t} + \Delta h_{s_{t,t+10}} \quad [5]$$

$$d_{s_{t+10}} = d_{s_t} + \Delta d_{s_{t,t+10}} \quad [6]$$

To znamená, že v jednotlivých porastoch boli vypočítané bežné prírastky za periódy 1988 – 1997, 1989 – 1998 a periódy 1998 – 2007, 1999 – 2008 a modelové hodnoty produkčných charakteristík k 1. 1. 1998, 1999, resp. k 1. 1. 2008, 2009. Riešenie nepredpokladá modelovú zmenu absolútnej výškovej bonity v priebehu decénia (na začiatku a na konci periódy je rovnaká).

Kvôli absencii LHE, ale aj preto, že v LHP sú uvedené taxačné veličiny pre hlavný porast, sú produkčné charakteristiky aktualizované na základe veličín z rastových tabuliek pre hlavný porast. Výpočet prírastkov a vyrovnanie bodových polí produkčných charakteristík vo výberových súboroch sa realizovalo rezidentným aplikačným softvérom (DUBEN, 2001):

a) *Výpočet prírastku z rastových tabuliek za obdobie platnosti LHP pre dreviny smrek a buk.*

Vstupné parametre za každý porast: drevina, absolútna bonita (b), vek (t)

Výstup pre hlavný porast: tabuľkové hodnoty stredných výšok a stredných hrúbok vo veku t a vo veku $t+10$ pre drevinu

b) *Vyrovnanie stredných výšok smreka a buka Korfovou rastovou funkciou v tvare*

$$\hat{h}_{s_t} = A \cdot e^{\frac{k}{n} \cdot t^n} \quad [7]$$

kde

A, k, n – koeficienty funkcie,

\hat{h}_{s_t} – vyrovnaná stredná výška vo veku t ,

e – základ prirodzených logaritmov.

Vyrovňávajú sa bodové polia skutočných a modelových stredných výšok smreka a buka vo výberovom súbore identických porastov v závislosti na veku.

Vstupné parametre o drevine v každom poraste: stredná výška, vek

Výstup: parametre funkcie, vyrovnané hodnoty

Nakoľko skutočné a modelové produkčné charakteristiky sa v časových hladinách vzťahujú na tie isté porasty, sú navzájom závislé. Lineárna závislosť je zrejma z obrázku 2, kde sú zobrazené párové hodnoty stredných výšok smreka v časovej hladine 1998 a je vyjadrená regresnou priamkou

$$\hat{y} = a_{yx} + b_{yx} \cdot x \quad [8]$$

kde

\hat{y} – skutočná produkčná charakteristika,

x – modelová produkčná charakteristika,

a_{yx} – absolútny koeficient,

b_{yx} – regresný koeficient.

Parametre regresných priamok vo výberových súboroch sú testované (ŠMELKO, 1995) voči ideálnemu stavu, keď skutočný prírastok produkčnej charakteristiky sa rovná prírastku modelovému. V takom prípade je absolútny koeficient rovný nule a regresný koeficient nadobúda hodnotu jedna. Absolútny koeficient predstavuje úsek na osi y vymedzený priesečníkom regresnej priamky s osou y (odstup regresnej priamky na osi y), preto sa testovacia charakteristika vypočíta podľa vzorca

$$t = \frac{a - 0}{\hat{s}_a} \quad [9]$$

Regresný koeficient kvantifikuje závislosť medzi skutočnosťou a modelom a testovacia charakteristika sa vypočíta zo vzorca

$$t = \frac{1 - b}{\hat{s}_b} \quad [10]$$

Odhad smerodajnej odchýlky všetkých možných hodnôt absolútneho, resp. regresného koeficienta sa vypočíta podľa ŠMELKA (1995).

Pri výpočte vážených aritmetických priemerov produkčných charakteristík a korelácií vo výberových súboroch porastov bola už vyčíslená aj ich variabilita. Na testovanie hypotézy, že rozdiel medzi výberovými priermi produkčných charakteristík (priemer skutočný a priemer modelový) je len náhodný bol preto použitý **test hypotézy o rovnosti aritmetických priemerov dvoch závislých základných súborov so zohľadnením korelačného koeficienta** podľa vzorcov:

Testovacia charakteristika

$$t = \frac{\bar{y} - \bar{x}}{S_{(\bar{y}-\bar{x})}} \quad [11]$$

kde

\bar{y} – skutočná produkčná charakteristika (aritmetický priemer výberového súboru),

\bar{x} – modelová produkčná charakteristika (aritmetický priemer výberového súboru),

$S_{(\bar{y}-\bar{x})}$ – odhad smerodajnej odchýlky rozdielov priemerov výberových súborov produkčných charakteristík v časových hladinách,

t – testovacia charakteristika.

Smerodajná odchýlka rozdielov výberových priemerov

$$S_{(\bar{y}-\bar{x})} = \sqrt{s_y^2 + s_x^2 - 2 \cdot r_{x,y} \cdot s_y \cdot s_x} \quad [12]$$

kde

S_y – odhad smerodajnej odchýlky výberových priemerov skutočných produkčných charakteristík v časových hladinách,

S_x – odhad smerodajnej odchýlky výberových priemerov aktualizovaných produkčných charakteristík v časových hladinách,

$r_{x,y}$ – korelačný koeficient závislosti medzi skutočnými (y) a modelovými (x) hodnotami produkčných charakteristík odvodený z rozptylu skutočných hodnôt produkčných charakteristík okolo regresnej priamky a z celkového rozptylu skutočných hodnôt produkčných charakteristík okolo ich aritmetického priemeru.

Korelačný koeficient kvantifikuje tesnosť lineárnej závislosti, preto treba overiť či závislosť medzi skutočnými a modelovými hodnotami produkčných charakteristík v jednotlivých časových hladinách je skutočne lineárna. Služi na to posúdenie rozdielu medzi korelačným koeficientom a korelačným pomerom, závislosť je lineárna ak tento rozdiel nie je významne rozdielny od nuly.

Korelačný pomer je vypočítaný z rozptylu skupinových priemerov skutočných hodnôt produkčných charakteristík okolo celkového aritmetického priemeru a z rozptylu skutočných hodnôt produkčných charakteristík okolo celkového aritmetického priemeru.

Lineárny tvar závislosti vyplýva aj z logickej úvahy za predpokladu, že skutočný prírastok stredných výšok a hrúbok v sledovanom období sa rovná prírastku modelovému z rastových tabuliek, alebo je s týmto prírastkom v priamej úmere.

Podmienkou použitia t-testu je rovnosť rozptylov porovnávaných základných súborov, ktorá sa testuje podľa vzťahu

$$F = \sqrt{\hat{s}_1^2 / \hat{s}_2^2} \quad [13]$$

kde

\hat{s}_1^2, \hat{s}_2^2 – bodové odhady rozptylov základných súborov,
 F – testovacie kritérium.

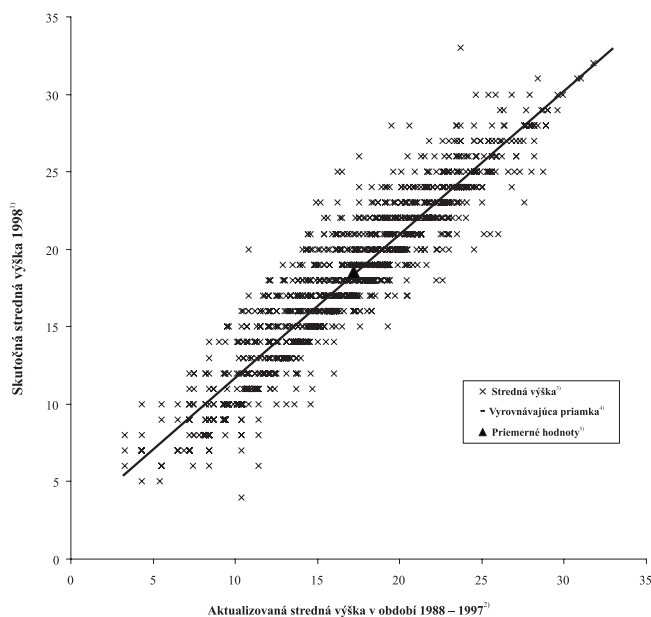
3. Dosiahnuté výsledky

Pri výpočte vážených aritmetických priemerov skutočných a modelových produkčných charakteristík smreka a buka vo výberových súboroch identických porastov v časových hladinách (tab. 1) je váhou redukovaná plocha dreviny v poraste, ktorá zohľadňuje vplyv zastúpenia dreviny a zakmenenia porastu. Z porovnania vážených aritmetických priemerov vyplýva že:

Očakávaný rast skutočných priemerných stredných výšok a hrúbok v čase je spôsobený zvyšovaním veku v identických súboroch porastov.

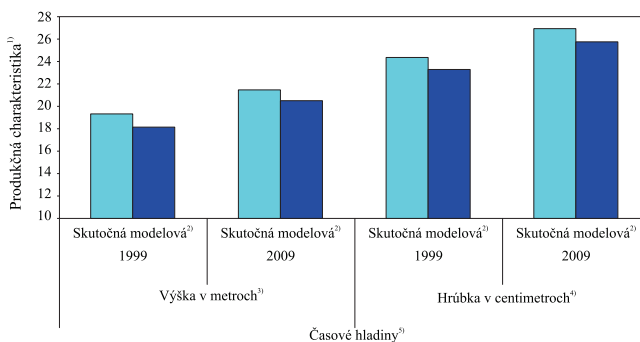
Variabilita stredných hrúbok je väčšia ako variabilita stredných výšok.

Rast modelových (aktualizovaných) priemerných stredných výšok a hrúbok zaostáva za skutočnými hod-



Obr. 2. Závislosť skutočnej a modelovej strednej výšky buka
Fig. 2. Correlation between real and model mean height of beech

¹⁾Real mean height 1998, ²⁾Updated mean height in a period 1988 – 1997, ³⁾Mean height, ⁴⁾Equalizing line, ⁵⁾Average values



Obr. 3. Porovnanie skutočnej a modelovej priemernej strednej výšky a hrúbky buka v časových hladinách

Fig. 3. Comparison of real and model average mean height and diameter of beech by time levels

¹⁾Production value, ²⁾The real model, ³⁾Height in metres, ⁴⁾Diameter in centimeters, ⁵⁾Time levels

notami u oboch drevín a v oboch časových hladinách (1998, 1999 a 2008, 2009). Pre názornosť je na obrázku 3 zobrazené porovnanie skutočnej a modelovej priemernej strednej výšky buka.

Zo získaných výsledkov vyplývajú aj ďalšie zaujímavé skutočnosti:

- Zaostávanie priemerných modelových charakteristík potvrdzuje aj relácia medzi počtami porastov, v ktorých je skutočná stredná výška a hrúbka rovná, menšia alebo väčšia ako aktualizovaná (tab. 2). U oboch drevín a v oboch časových hladinách je počet porastov s väčšou skutočnou produkčnou charakteristikou

Tabuľka 1. Porovnanie skutočných a aktualizovaných produkčných charakteristík v časových hladinách
Table 1. Comparison of real and updated production characteristics by time levels

Produkčné charakteristiky ¹⁾	Stredná výška ⁶⁾				Stredná hrúbka ⁷⁾			
Výberový súbor¹⁰⁾ 1988 – 1998 – 2008								
Časové hladiny ²⁾	1998		2008		1998		2008	
Veličina ¹³⁾	skut. ⁸⁾	akt. ⁹⁾	skut. ⁸⁾	akt. ⁹⁾	skut. ⁸⁾	akt. ⁹⁾	skut. ⁸⁾	akt. ⁹⁾
Drevina ³⁾	smrek ¹¹⁾							
Vážený aritmetický priemer ⁴⁾	19,9	18,9	21,9	21,3	26,4	25,5	28,7	27,9
Smerodajná odchýlka ⁵⁾	5,93	6,00	5,56	5,63	8,32	8,52	8,42	8,56
Smerodaj. odch. výb. pr. ¹⁴⁾	0,181	0,184	0,112	0,113	0,259	0,265	0,173	0,176
Interval spoľahlivosti ¹⁵⁾	0,468	0,474	0,289	0,292	0,669	0,685	0,445	0,453
Drevina ³⁾	buk ¹²⁾							
Vážený aritmetický priemer ⁴⁾	18,5	17,2	21,1	20,0	23,2	22,0	26,3	25,0
Smerodajná odchýlka ⁵⁾	5,09	5,10	5,64	5,34	7,46	7,62	8,32	8,30
Smerodaj. odch. výb. pr. ¹⁴⁾	0,130	0,130	0,099	0,093	0,195	0,199	0,152	0,151
Interval spoľahlivosti ¹⁵⁾	0,334	0,335	0,254	0,241	0,504	0,515	0,391	0,390
Výberový súbor¹⁰⁾ 1989 – 1999 – 2009								
Časové hladiny ²⁾	1999		2009		1999		2009	
Veličina ¹³⁾	skut. ⁸⁾	akt. ⁹⁾	skut. ⁸⁾	akt. ⁹⁾	skut. ⁸⁾	akt. ⁹⁾	skut. ⁸⁾	akt. ⁹⁾
Drevina ³⁾	smrek ¹¹⁾							
Vážený aritmetický priemer ⁴⁾	21,3	20,9	23,8	23,0	27,6	26,9	29,4	28,3
Smerodajná odchýlka ⁵⁾	7,03	7,11	5,92	5,80	9,19	9,33	8,36	8,57
Smerodaj. odch. výb. pr. ¹⁴⁾	0,163	0,164	0,081	0,080	0,214	0,217	0,115	0,118
Interval spoľahlivosti ¹⁵⁾	0,420	0,424	0,210	0,206	0,551	0,559	0,296	0,304
Drevina ³⁾	buk ¹²⁾							
Vážený aritmetický priemer ⁴⁾	19,3	18,1	21,5	20,5	24,4	23,3	26,9	25,7
Smerodajná odchýlka ⁵⁾	5,73	5,50	6,29	6,28	8,19	8,45	9,21	9,03
Smerodaj. odch. výb. pr. ¹⁴⁾	0,107	0,102	0,080	0,080	0,154	0,159	0,125	0,123
Interval spoľahlivosti ¹⁵⁾	0,275	0,264	0,206	0,206	0,398	0,410	0,323	0,317

¹⁾Production characteristics, ²⁾Time horizons, ³⁾Tree species, ⁴⁾Weighted arithmetical average, ⁵⁾Standard deviation, ⁶⁾Mean height, ⁷⁾Mean diameter, ⁸⁾Real, ⁹⁾Updated, ¹⁰⁾Sampling data set, ¹¹⁾Spruce, ¹²⁾Beech, ¹³⁾Value, ¹⁴⁾Standard deviation of sampling averages, ¹⁵⁾Reliability interval

dreviny podstatne vyšší ako počet porastov s rovnakou alebo menšou skutočnou produkčnou charakteristikou.

- Vysoké hodnoty korelačných koeficientov a im veľmi blízke hodnoty korelačných pomerov (tab. 2) v časových hladinách svedčia o lineárnej závislosti medzi skutočnými a aktualizovanými veličinami (obr. 2).
- Veľmi malé hodnoty smerodajnej odchýlky výberových priemerov (tab. 1) rezultujú do úzkych intervalov spoľahlivosti, ktoré sú vypočítané s pravdepodobnosťou 0,99. To znamená, že výberový priemer sa s 99 % istotou nebude od priemeru základného súboru líšiť o viac ako 2,58-násobok smerodajnej odchýlky výberového priemeru. Z uvedeného potom vyplývajú vysoké hodnoty testovacích kritérií. Výnimkou je len smrek v časovej hladine 1999, kde sa intervaly spoľahlivosti čiastočne prekrývajú. Aj v tomto prípade je ale hodnota testovacieho kritéria väčšia ako kritická hodnota, čo je podmienkou zamietnutia nulovej hypotézy.
- Originálny Studentov t-test (podľa vzťahov 11 a 12) predpokladá rovnosť rozptylov dvoch základných sú-

borov, z ktorých výbery pochádzajú. Už z vizuálneho porovnania smerodajných odchýlok v tabuľke 1 je zrejmé, že sú približne rovnaké. Exaktne to dokumentujú testovacie kritériá F-testu v tabuľke 2, na základe ktorých bola prijatá nulová hypotéza o rovnosti rozptylov skutočných a modelových produkčných charakteristík drevín v základných súboroch. Testovacie kritérium hypotézy o rovnosti aritmetických priemerov dvoch základných súborov vypočítané zo štatistických charakteristík výberových súborov porastov vykazuje hodnoty niekoľkonásobne prevyšujúce kritické hodnoty Studentovho t-rozdelenia (tab. 2). Výsledky tohto testu umožňujú s 99 % istotou konštatovať, že rozdiely medzi skutočnými a aktualizovanými priemernými strednými výškami a hrúbkami sú štatisticky veľmi významné. To znamená že modelový vývoj produkčných charakteristík je v porovnaní so skutočným vývojom podhodnotený.

- K rovnakému záveru vedie aj testovanie parametrov regresie v tabuľke 2. Rozdiel medzi koeficientami skutočnej regresnej priamky a koeficientami ideálnej regresnej priamky podľa vzorcov 8, 9, 10 (keď sa

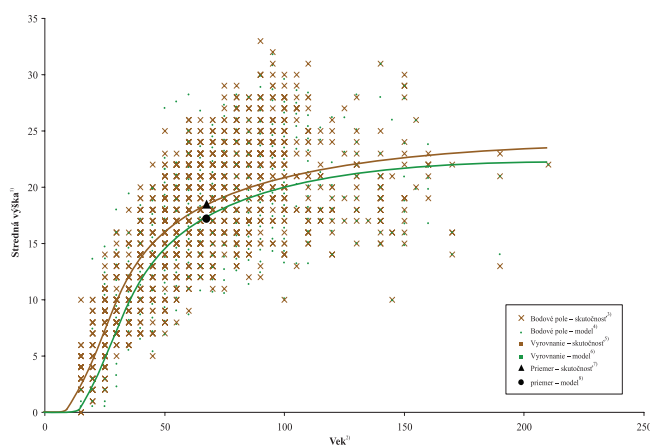
Tabuľka 2. Štatistické testovanie rozdielov medzi skutočnými a aktualizovanými hodnotami produkčných charakteristík
Table 2. Statistical testing of differences between real and updated values of production characteristics

Produkčné charakteristiky ¹⁾		Stredná výška ²⁾				Stredná hrúbka ³⁾			
Drevina ⁴⁾		smrek ⁵⁾		buk ⁶⁾		smrek ⁵⁾		buk ⁶⁾	
Výberový súbor⁷⁾ 1988 – 1998 – 2008									
Časové hladiny ⁸⁾		88:98	98:08	88:98	98:08	88:98	98:08	88:98	98:08
Počet porastov ⁹⁾		1 069	2 469	1 543	3 278	1 032	2 379	1 461	3 013
z toho rozdiel ¹⁰⁾	= 0	72	167	78	77	50	144	80	218
	< 0	286	812	413	1 061	271	678	345	798
	> 0	711	14 90	1 052	2 140	711	1 557	1 036	1 997
Korelačný koeficient ¹¹⁾		0,95	0,97	0,93	0,95	0,96	0,97	0,95	0,94
Korelačný pomer ¹²⁾		0,97	0,97	0,95	0,96	0,98	0,98	0,99	0,99
Absolútny koeficient ¹³⁾		2,18	1,48	2,33	1,19	2,19	2,24	2,84	2,31
Regresný koeficient ¹⁴⁾		0,92	0,95	0,93	0,98	0,95	0,95	0,93	0,95
t-char.: absolútny koeficient		12,0	11,6	17,6	11,3	8,52	11,9	13,9	14,1
t-char.: regresný koeficient		8,1	9,4	7,8	3,9	6,57	11,0	9,3	8,1
F-char.: porasty ¹⁵⁾		1,02	1,03	1,00	0,90	1,05	1,03	1,04	1,00
t-char.: porasty ¹⁶⁾		13,5	21,4	23,3	37,1	12,9	21,9	19,5	25,2
Výberový súbor⁷⁾ 1989 – 1999 – 2009									
Časové hladiny ⁸⁾		89:99	99:09	89:99	99:09	89:99	99:09	89:99	99:09
Počet porastov ⁹⁾		1 870	5 293	2 886	6 187	1 852	5 293	2 822	5 409
z toho rozdiel ¹⁰⁾	= 0	106	288	144	327	115	292	239	391
	< 0	679	1 697	829	2 007	621	1 468	691	1 498
	> 0	1 085	3 308	1 913	3 853	1 116	3 533	1 892	3 520
Korelačný koeficient ¹¹⁾		0,95	0,96	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96
Absolútny koeficient ¹³⁾		1,62	1,34	1,68	1,90	2,35	2,90	2,86	1,95
Regresný koeficient ¹⁴⁾		0,95	0,97	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,97
t-char.: absolútny koeficient		10,8	14,3	16,4	17,8	10,6	20,8	16,4	14,4
t-char.: regresný koeficient		7,9	8,4	5,1	13,4	8,1	18,3	14,4	8,2
F-char.: porasty ¹⁵⁾		1,02	0,96	0,92	0,96	1,03	1,05	1,06	0,96
t-char.: porasty ¹⁶⁾		8,8	28,0	30,4	31,4	10,6	35,4	23,8	35,8

¹⁾Production characteristics, ²⁾Tree species, ³⁾Mean height, ⁴⁾Mean diameter, ⁵⁾Spruce, ⁶⁾Beech, ⁷⁾Sampling data set, ⁸⁾Time horizons, ⁹⁾Number of forest stands, ¹⁰⁾Difference, ¹¹⁾Correlation coefficient, ¹²⁾Correlation ratio, ¹³⁾Absolute coefficient, ¹⁴⁾Regression coefficient, ¹⁵⁾F-characteristic: forests, ¹⁶⁾t-characteristic: forests

skutočný prírastok rovná modelovému) je vo všetkých výberových súboroch porastov štatisticky veľmi významný.

- Z výsledkov porovnania v tabuľke 2 je ale zrejmé, že záver t-testu (signifikantný rozdiel) platí pre obe prevládajúce dreviny v oboch časových hladinách (1998 – 1999, 2008 – 2009), vo všetkých výberových súboroch porastov. Priebeh skutočných a modelových produkčných charakteristík v čase je vo všetkých analyzovaných prípadoch analogický priebehu na obrázkoch 4 a 5. Obrázok 4 dokumentuje, že krivka Korfovou funkciou vyrovnaného bodového poľa skutočných stredných výšok leží nad krivkou aktualizovaných stredných výšok v celom vekovom rozpätí. Skutočný prírastok strednej výšky je teda vyšší ako prírastok modelový a to bez ohľadu na vek porastu. Potvrďuje to aj priebeh skutočných priemerných stredných výšok vo vekových stupňoch na obrázku 5, ktoré ležia nad modelovými priemernými strednými výškami.



Obr. 4. Skutočné a modelové stredné výšky – buk 1998

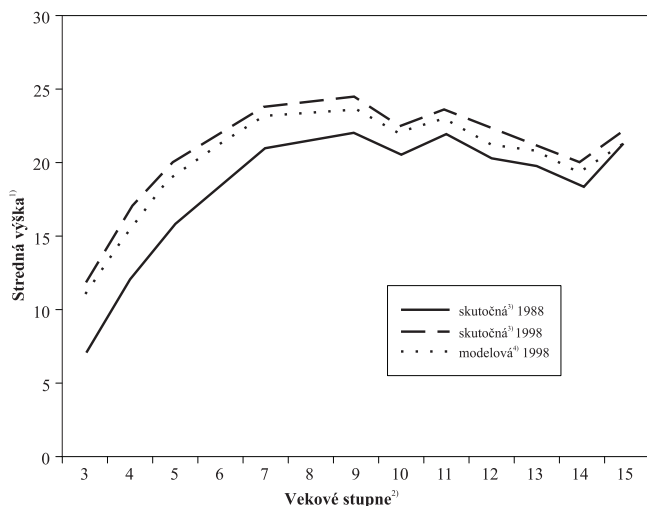
Fig. 4. Real and model mean heights – beech 1998

¹⁾Mean height, ²⁾Age, ³⁾Point field – real, ⁴⁾Point field – update, ⁵⁾Adjustment-real, ⁶⁾Adjustment-update, ⁷⁾Average-real, ⁸⁾Average-update

Tabuľka 3. Štatistické porovnanie produkčných charakteristík v 20-ročnom intervale
Table 3. Statistical comparison of production characteristics at the interval of 20 years

Výberový súbor ¹⁾ 1988 – 1998 – 2008								
Produkčné charakteristiky ²⁾	Stredná výška ³⁾				Stredná hrúbka ⁴⁾			
	smrek ⁶⁾ 88:08		buk ⁷⁾ 88:08		smrek ⁶⁾ 88:08		buk ⁷⁾ 88:08	
Drevina ⁵⁾	skut. ⁹⁾	akt. ¹⁰⁾	skut. ⁹⁾	akt. ¹⁰⁾	skut. ⁹⁾	akt. ¹⁰⁾	skut. ⁹⁾	akt. ¹⁰⁾
Veličina ⁸⁾	skut. ⁹⁾	akt. ¹⁰⁾	skut. ⁹⁾	akt. ¹⁰⁾	skut. ⁹⁾	akt. ¹⁰⁾	skut. ⁹⁾	akt. ¹⁰⁾
Vážený aritmetický priemer ¹¹⁾	23,1	21,2	21,7	19,0	30,4	28,3	27,0	24,6
Smerodajná odchýlka ¹²⁾	4,82	5,32	4,84	4,85	8,78	9,02	7,16	7,04
Počet porastov ¹³⁾	847		1 074		847		1 074	
Korelačný koeficient ¹⁴⁾	0,90		0,87		0,92		0,91	
Absolútny koeficient ¹⁵⁾	6,67		5,25		6,10		4,23	
Regresný koeficient ¹⁶⁾	0,76		0,84		0,85		0,92	
t-char.: absolútny koeficient ¹⁵⁾	35,6		32,4		23,8		18,4	
t-char.: regresný koeficient ¹⁶⁾	18,0		11,2		4,0		5,8	
F-char.: porasty ¹⁷⁾	1,22		1,01		1,15		0,96	
t-char.: porasty ¹⁸⁾	23,6		36,1		20,5		25,3	

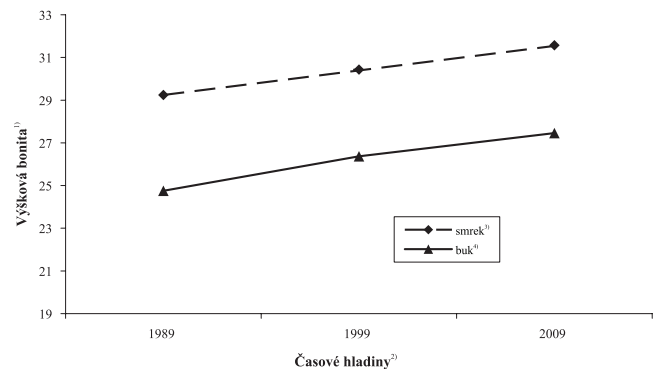
¹⁾Sampling data set, ²⁾Production characteristics, ³⁾Mean height, ⁴⁾Mean diameter, ⁵⁾Tree species, ⁶⁾Spruce, ⁷⁾Beech, ⁸⁾Value, ⁹⁾Actual, ¹⁰⁾Updated, ¹¹⁾Weighted arithmetical average, ¹²⁾Standard deviation, ¹³⁾Number of forest stands, ¹⁴⁾Correlation coefficient, ¹⁵⁾Absolute coefficient, ¹⁶⁾Regression coefficient, ¹⁷⁾F-characteristic: forests, ¹⁸⁾t-characteristic: forests



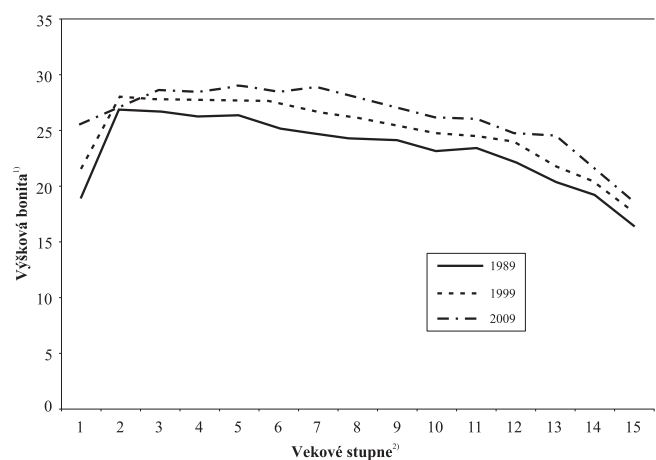
Obr. 5. Priemerné stredné výšky smreka vo vekových stupňoch
Fig. 5. Average mean heights of spruce by age classes
¹⁾Mean height, ²⁾Age classes, ³⁾Real, ⁴⁾Model

Ešte výraznejšie sa prejavuje rozdiel medzi vývojom skutočných a modelových produkčných charakteristík aktualizovaných v rámci celého sledovaného obdobia v súbore porastov identických v časových hladinách 1988 a 2008. Tabuľka 3 obsahuje porovnanie skutočných a modelových produkčných charakteristík v roku 2008, pričom modelové boli vypočítané podľa vzorcov 3 až 6, ale za 20-ročné obdobie. Toto porovnanie opakovane potvrdzuje zaostávanie modelového vývoja (rastové tabuľky) za skutočným.

Rozdiel medzi skutočnými a modelovými strednými výškami sa premieta do zvyšovania absolútnych výškových bonít v sledovanom období (obr. 6). Z tabuľky 4 je zrejmé, že vývoj priemerných absolútnych výško-



Obr. 6. Vývoj priemerných výškových bonít – identický výberový súbor
Fig. 6. Development of average yield classes – identical sample set
¹⁾Yield class, ²⁾Time levels, ³⁾Spruce, ⁴⁾Beech



Obr. 7. Priemerné výškové bonity buka vo vekových stupňoch
Fig. 7. Average yield classes of beech by age classes
¹⁾Yield class, ²⁾Age classes

Tabuľka 4. Vývoj priemerných absolútnych výškových bonít v sledovanom období
Table 4. Development of average absolute yield classes in the researched period

Výberový súbor ¹⁾			Časové hladiny ²⁾					
			1988	1998	2008	1989	1999	2009
Všetky porasty ³⁾	smrek ⁴⁾	počet ⁵⁾	13 400	15 707	17 249	20 990	24 923	28 129
		bonita ⁶⁾	24,6	26,4	27,4	27,7	30,1	31,6
	buk ⁷⁾	počet ⁶⁾	19 734	24 069	27 976	20 059	25 945	30 910
		bonita ⁷⁾	23,6	25,8	27,2	23,0	25,5	26,8
Identické porasty v 2 hladinách ⁸⁾	smrek ⁴⁾	počet ⁶⁾	1 216	1 216/25	20 2 520	2 057	2 057/66	83 6 683
		bonita ⁷⁾	25,1	26,6	27,7	29,3	30,6	31,6
	buk ⁷⁾	počet ⁶⁾	1 673	1 673/34	04 3 404	3 088	3 088/66	51 6 651
		bonita ⁷⁾	23,7	25,8	27,3	24,8	26,4	27,5
Identické porasty v 3 hladinách ⁹⁾	smrek ⁴⁾	počet ⁶⁾	847	847	847			
		bonita ⁷⁾	25,1	26,4	27,1			
	buk ⁷⁾	počet ⁶⁾	1 074	1 074	1 074			
		bonita ⁷⁾	23,5	25,2	26,3			

¹⁾Sampling set, ²⁾Time levels, ³⁾All forests, ⁴⁾Spruce, ⁵⁾Count, ⁶⁾Yield class, ⁷⁾Beech, ⁸⁾Identical forests in 2 levels, ⁹⁾Identical forests in 3 levels

vých bonít v celom výberovom súbore a v súbore identických porastov je prakticky zhodný. To znamená, že súbor identických porastov je napriek rádo vo menšiemu rozsahu dostatočne reprezentatívny.

K zlepšovaniu bonít v sledovanom období dochádza v celom vekovom rozpätí. Názorne to na príklade výberového súboru 1989 – 1999 – 2009 dokumentuje vývoj výškových bonít buka vo vekových stupňoch (obr. 7).

4. Záver

Výsledky analýzy potvrdzujú štatisticky významný rozdiel medzi produkčnými charakteristikami (medzi skutočnou priemernou strednou výškou, hrúbkou a aktualizovanou priemernou strednou výškou, hrúbkou) smreka a buka v časových hladinách. Hypotéza H_0 sa s 99 % istotou zamietajú vo všetkých výberových súboroch a na oboch časových hladinách (pozri tab. 2). Priemerné hodnoty skutočných produkčných charakteristík ležia nad modelovými v celom vekovom rozpätí. Svedčí o tom vyrovnávajúca krivka bodových polí ako aj priebeh produkčných charakteristík vo vekových stupňoch. Zistené diferencie za 20-ročné obdobie (tab. 3) nadobúdajú nasledovné priemerné hodnoty: pre strednú výšku pri buku 2,7 m (12,4 % zo skutočnej priemernej strednej výšky na konci sledovaného obdobia), pri smreku 1,9 m (8,1 %) a pre strednú hrúbku pri buku 2,4 cm (9,1 %), pri smreku 2,1 cm (7,0 %). Zväčšovanie skutočných stredných výšok v porastoch signifikantne prevyšujúce modelový vývoj vypočítaný podľa rastových tabuliek má za následok aj zlepšovanie priemerných absolútnych výškových bonít oboch drevín v sledovanom období.

Nakoľko sa lesy väčšinu času počas svojho vývoja nachádzajú v stave združeného porastu, alternatívne sme prepočítali modelový vývoj aj na základe prírast-

kov stredných výšok a hrúbok združeného porastu. Rozdiel medzi priemernými modelovými hodnotami stredných výšok a hrúbok vypočítanými na základe prírastkov hlavného a združeného porastu je v predmetnej analýze zanedbateľný a nemá vplyv na výsledky štatistického testovania.

Získané poznatky možno využiť najmä v procese permanentnej aktualizácie informačnej banky LH a v problematike prognóz vývoja lesov SR. Súčasne potvrdzujú viaceré názory publikované v ostatnom čase, že v stredo-európskych pomeroch dochádza všeobecne k zvyšovaniu prírastovosti lesných porastov (SPIECKER, MIELIKAINEN, KOHL, SKOVSGAARD, 1996) a že sa to prejavuje, napr. aj v diferenciách údajov o zásobe dreva zistených národnými inventarizáciami lesa voči dajom LHP (na Slovensku +23 %, v Českej republike +34 %, ŠMELKO, 2008).

Literatúra

- BAVLŠÍK, J. *et al.*, 2008: Pracovné postupy HÚL. Zvolen: NLC, 147 s.
DUBEN, Z., 2001: Dokumentácia k aplikačnému softvéru pre výpočet hodnôt dendrometrických tabuliek (rastové, objemové, JVK) a pre vyrovnávanie výšok. Zvolen: Lesoprojekt Zvolen.
HALAJ, J., PETRÁŠ, R., 1998: Rastové tabuľky hlavných drevín. Bratislava, SAP, 325 s.
HERICH, I., 2010: Trendy vývoja produkcie lesov SR odvodené z výberového súboru. Lesn. čas. – Forestry Journal, **56**(2): 109-127.
HERICH, I., 2009: Analýza vývoja produkcie lesov SR. Zvolen: NLC, 48 s.
SPIECKER, H., MIELIKAINEN, K., KOHL, M., SKOVSGAARD, J.P., 1996: Growth trends in european forests. Springer Verlag, 372 pp.
ŠMELKO, Š., 1995: Štatistické metódy v lesníctve. Zvolen: ES TU vo Zvolene, 276 s.
ŠMELKO, Š., 2008: Národné inventarizácie lesa v krajinách Európy a na Slovensku. Aké sú ich ciele a spôsoby realizácie? Les – Lesokruhy č. 5-6, s. 28-33.
Zákon o lesoch č. 326/2005 Z. z.

Summary

The input database for the analysis of forests' production characteristics was formed by comparable sets of forest management plans (FMP) with the same effect and validity period. The first set contains FMP data on 1. January 1988, 1998 and 2008, the second set on 1. January 1989, 1999 and 2009.

The analysis objective is quantification and statistical comparison of real and model production characteristics development for dominant tree species (spruce, beech) by time levels in the research period. The model characteristic is calculated by the updated real production characteristic at the beginning of decade by addition of the main forest increment from the yield tables in a ten years period.

The comparison of development at a level of forests and age classes refers to the selected production characteristics:

- mean height,
- mean diameter,
- absolute yield class.

The inputs of analysis were obtained by mean heights and mean diameters update of spruce and beech according to yield tables in forests and their aggregation in age classes. The input data were assessed using tables on total, average and other aggregated valuables at different levels of aggregation; alignment and bar statistical figures; statistical measures of position and variability; regression and correlation analysis, interval estimations, statistical hypotheses tests; and time series and indexes. The analysis was carried out on the principle of well known links between mensurational valuables.

The analysis results in a statistical data evaluation containing:

- The significant statistical difference between real average mean

height and updated average mean height of spruce and beech at the end of first and second decade in the research period in both sampling data sets.

- The significant statistical difference between real average mean diameter and updated average mean diameter of spruce and beech at the end of first and second decade in the research period in both sampling data sets.
- The significant statistical difference between the real and model production characteristics can be applied for the whole age interval. It indicates:
 - The offset curve of forest's real mean heights point field lies above the offset curve of forest's model mean heights point field.
 - The aggregate real production characteristics by age classes lie above aggregate model production characteristics.
- The mean heights increase in forests significantly exceeding the model development calculated according to yield tables results in improvement of the average absolute yield classes of the both tree species in research period.

The statistical comparison allows to state that development of the real production characteristics in research period significantly overrides development of the model (updated) production characteristics. The differences detected within 20-years period got the following average values: for the mean height of beech 2.7 m (12.4%), spruce 1.9 m (8.1%) and for the mean diameter of beech 2.4 cm (9.1%), spruce 2.1 cm (7.0%). Logic implication of this trend is improvement of average absolute yield classes in the research period.

Translated by author