

**ПРОВЕРКА И ДОКАЗВАНЕ НА МОДЕЛИТЕ  
ЗА КОНТРОЛИРАНЕ НА ГЪСТОТАТА НА БЯЛБОРОВИ  
КУЛТУРИ  
III. ФАМИЛИЯ ДИАМЕТРОВО-ЕКВИВАЛЕНТНИ КРИВИ**

*Татяна Станкова, Румен Петрин*  
Институт за гората – София  
Българска академия на науките

**Абстракт:** Целта на настоящото проучване е да провери и докаже надеждността на Фамилията диаметрово-еквивалентни криви в модела на Диаграмите за контролиране на гъстотата (ДКГ) за бялборови култури у нас чрез съпоставка с експериментални данни, като се направи и сравнение с точността на Фамилията височинно-еквивалентни криви. Установена е много висока точност на модела на Фамилията диаметрово-еквивалентни криви от ДКГ за бялборови култури при определянето на запаса, гъстотата и средния диаметър на насажденията чрез използване на експериментално определената доминираща височина. За практическото прилагане на моделите на ДКГ за бялборови култури за оценка на тези растежни показатели би трябвало да се предпочете Фамилията диаметрово-еквивалентни криви пред Фамилията височинно-еквивалентни криви с експериментално определяне на доминиращата височина и кръговата площ като входни параметри. При моделиране на отгледни сечи чрез ДКГ е препоръчително да се ползват като входни параметри гъстотата и доминантно-височинния клас и за симулиране на отгледна сеч да се ползват Фамилията височинно-еквивалентни криви чрез моделиране на отгледната сеч като процент от гъстотата на наличния дървостой.

**Ключови думи:** Фамилия диаметрово-еквивалентни криви, бялборови култури, Диаграма за контролиране на гъстотата, проверка и доказване на модели

## УВОД

Средният диаметър е един от основните таксационни показатели, характеризиращи растежа и структурата на насажденията. Неговата динамика в моделите на Диаграмите за контролиране на гъстотата (ДКГ) е характеризирана чрез Фамилията диаметрово-еквивалентни криви. Тя често е използвана за оценка на състоянието на техническа зрелост за добив на определен вид сортименти или група сортименти чрез моделите на ДКГ. При практическото приложение на ДКГ размерът на средния диаметър е използван като критерий за постигане на стопанската цел добив на дървесина с определени размери, както това е правено и в други проучвания за определяне на

началото и интензивността на сечите (Шиков, 1974). Такъв подход е приложен в разработки на Kumar et al. (1995) при използване на ДКГ за *Tectona grandis* L., където освен определената стойност за средния диаметър, са наложени и ограничения върху относителните индекси на гъстотата и е определен оптималният обхват от гъстоти за добиване на дървесина с определена сортиментна структура. В проучването на Rautiainen et al. (2000) върху стопанисването на *Shorea robusta* като оптимизационен критерий е заложена частта от стъблото(%), която е използвана за получаването на определен сортимент и за всеки такъв сортимент тя е представена чрез експоненциална функция от диаметъра. **Целта** на настоящото проучване е да провери и докаже надеждността на Фамилията диаметрово-еквивалентни криви в модела на ДКГ за бялборови култури у нас за определяне на основните таксационни показатели на дървостойките и за моделиране на отгледни сечи в съпоставка с точността на Фамилията височинно-еквивалентни криви като се дават насоки за практическото им прилагане.

## МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

### Фамилия диаметрово-еквивалентни криви - формули

Фамилията диаметрово-еквивалентни криви свързват насажденията с еднакъв среден диаметър. За тяхното построяване се използват видовата височина, кръговата площ, запасът на хектар, доминиращата височина и гъстотата. Видовата височина се пресмята чрез отношението между запаса и кръговата площ на насаждението (уравнение 1) и между видовата и доминиращата височина се установява линейна зависимост (уравнение 2) чрез наличните експериментални данни:

$$HF = \frac{y}{G} \quad (1)$$

$$HF = a_1 + b_1 H \quad (2).$$

След определяне на коефициентите на уравнение (1) и след съответното им заместване в уравнение (2) се пресмятат диаметрово-еквивалентните криви (уравнение 4), като на средния диаметър се задават конкретни стойности:  $d_{1,3}=2\div 32$ см (през 2см) за диаметрово-еквивалентните класове:

$$y = \frac{HF \pi \rho d_{1,3}^2}{40000} \quad (3)$$

$$\text{или } y = (d_{1.3})^2 \frac{\pi \rho}{40000} (a_1 + b_1 \hat{H}) \quad (4),$$

където  $HF$  е видова височина (m),  $G$  е кръгова площ ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ),  $d_{1.3}$  е среден диаметър по кръгова площ (cm),  $H$  е доминираща височина (m),  $\hat{H}$  е доминантно-височинен клас (m),  $\rho$  е гъстота ( $\text{ha}^{-1}$ ) и  $y$  е запас ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ).

### **Проверка и доказване на Фамилията диаметрово-еквивалентни криви**

За проверка на Фамилията диаметрово-еквивалентни криви са използвани същите експериментални набори от данни (таблица 1), чрез които са подложени на проверка и доказване Фамилията височинно-еквивалентни криви (Станкова, Петрин, 2008, таблица 1).

### **Съпоставка на моделираните диаметрово-еквивалентни криви с експериментален набор от данни**

Изследвана е точността при определяне на гъстотата (уравнение 5), средния диаметър (уравнение 6) и запаса (уравнения 7 и 8) чрез Фамилията диаметрово-еквивалентни криви:

$$\rho_{\text{мод}} = \frac{40000 y_{\text{експ}}}{(\pi HF d_{1.3 \text{ експ}}^2)} \quad (5)$$

$$d_{1.3 \text{ мод}} = 200 \sqrt{\frac{y_{\text{експ}}}{\pi HF \rho_{\text{експ}}}} \quad (6),$$

където  $HF = 0.371 \hat{H} + 2.139$  (Станкова, 2006), а с индексите „мод“ и „експ“ са означени съответно, моделната и експерименталната стойност на параметъра.

Както в случая с Фамилията височинно-еквивалентни криви, за всеки от показателите гъстота и среден диаметър моделните стойности бяха определени по 2 начина: чрез измерената доминираща височина за определяне на доминантно-височинния клас и чрез моделираната доминираща височина като функция от средната (Станкова, Петрин, 2008). Моделните стойности за запаса бяха определени по 4 начина. Освен чрез измерената и моделираната доминиращи височини, запасът бе изчислен както чрез средния диаметър, така и чрез кръговата площ:

$$y_{\text{мод}} = \frac{\pi d_{1.3 \text{ експ}}^2 HF \rho_{\text{експ}}}{40000} \quad (7)$$

**Таблица 1**

*t*-тест и непараметричен тест (Wilcoxon signed ranks test) за сравнение между експериментални и моделирани чрез Фамилията диаметрово-еквивалентни криви растежни показатели

**Table 1**

*t*-test and non-parametric test (Wilcoxon signed ranks test) for comparison between experimental and predicted through Equivalent mean diameter curves growth parameters

експериментална срещу моделна стойност experimental vs. predicted value	Степени на свобода Degrees of freedom	<i>t</i> -тест <i>t</i> -test		Рангов тест на Уилкоксон Wilcoxon signed ranks test	
		Стойност на <i>t</i> Coef. <i>t</i>	Нуво на значимост на <i>t</i> Significance level of <i>t</i>	Стойност на <i>Z</i> Coef. <i>Z</i>	Нуво на значимост на <i>Z</i> Significance level of <i>Z</i>
Среден диаметър чрез моделната доминираща височина (cm) Mean DBH through predicted dominant height (cm)	12	-0,328	0,000	-3,040	0,002
Среден диаметър чрез експериментална доминираща височина (cm) Mean DBH through experimental dominant height (cm)	12	-5,369	0,749	-0,454	0,650
Гъстота чрез моделната доминираща височина (ha <sup>-1</sup> ) Density through predicted dominant height (ha <sup>-1</sup> )	12	-2,599	0,023	-3,043	0,002
Гъстота чрез експериментална доминираща височина (ha <sup>-1</sup> ) Density through experimental dominant height (ha <sup>-1</sup> )	12	-1,459	0,170	-1,013	0,311
Запас чрез моделната доминираща височина и кръговата площ (m <sup>3</sup> /ha) Stand stock through predicted dominant height and basal area (m <sup>3</sup> /ha)	12	0,658	0,000	-3,040	0,002

Таблица 1  
Продължение  
Table 1  
Continued

експериментална срещу моделна стойност experimental vs. predicted value	Степени на свобода Degrees of freedom	<i>t</i> -тест		Рангов тест на Уилкоксон Wilcoxon signed ranks test	
		Стойност на <i>t</i> Coef. <i>t</i>	Ниво на значимост на <i>t</i> Significance level of <i>t</i>	Стойност на <i>Z</i> Coef. <i>Z</i>	Ниво на значимост на <i>Z</i> Significance level of <i>Z</i>
Запас чрез моделната доминираща височина и средния диаметър (m <sup>3</sup> /ha) Stand stock through predicted dominant height and mean DBH (m <sup>3</sup> /ha)	12	1,409	0,003	-2,621	0,009
Запас чрез експерименталната доминираща височина и кръговата площ (m <sup>3</sup> /ha) Stand stock through experimental dominant height and basal area (m <sup>3</sup> /ha)	12	5,561	0,523	-0,524	0,600
Запас чрез експерименталната доминираща височина и средния диаметър (m <sup>3</sup> /ha) Stand stock through experimental dominant height and mean DBH (m <sup>3</sup> /ha)	12	3,629	0,184	-1,433	0,152

$$y_{\text{мод}} = G_{\text{експ}} HF \quad (8)$$

Това решение произтече от съществуващите в практиката лесни начини (метод на Битерлих) за изчисляване на кръговата площ без да бъде определен средният диаметър. При доказана надеждност на моделите на Фамилията диаметрово-еквивалентни криви за оценка на запаса чрез кръговата площ и доминиращата височина би се улеснило тяхното практическо използване.

Моделните стойности на растежните показатели са съпоставени с реалните чрез  $t$ -тест за сравняване на средните стойности на величините, непараметричен тест (Wilcoxon signed ranks test) за сравняване на разпределенията на съпоставяните величини,  $t$ -тест за сравняване на средните абсолютни грешки с 0 и чрез оценка на относителните грешки и тяхното разпределение по проценти (10, 25, 50, 75, 90).

### **Съпоставка на моделирани отгледни сечи с експериментални данни**

Определени бяха доминантно-височинните класове при извеждане на сечта и при последващото по-късно измерване. Като входни параметри за проверка на крайните стойности на средния диаметър, гъстотата и запаса бяха използвани стойностите на средните диаметри и на доминантно-височинните класове при извеждане на сечта. Определени са последователно :

- Стойностите на гъстотата и запаса в момента на извеждане на отгледната сеч като решение на системата:

$$\begin{cases} y = (d_{1,3})^2 (a_1 + \hat{H}b_1) \frac{\pi\rho}{40000} \\ y = \frac{\rho}{A_t\rho + B} \end{cases} \quad (9),$$

където  $A_t = f(\hat{H}); B = f(\hat{H})$

- Кривите на естествено изреждане, върху които попадат насажденията след сечи с интензивности равни на интензивностите на действително изведените сечи:

$$f_{\text{следсечта}} = K \rho^{-\alpha} - \frac{y}{\rho} \quad (10);$$

- Запасът ( $y_{\text{краен}}$ ) и гъстотата ( $\rho_{\text{крайна}}$ ) при повторното измерване, 1 или 2 доминантно-височинни класа по-късно, като решение на системата:

$$\begin{cases} y = K\rho^{1-\alpha} - f_{\text{следсечта}}\rho \\ y = \frac{\rho}{A_t\rho + B} \end{cases} \quad (11),$$

както и средният гуаметър ( $d_{1.3\text{краен}}$ ):

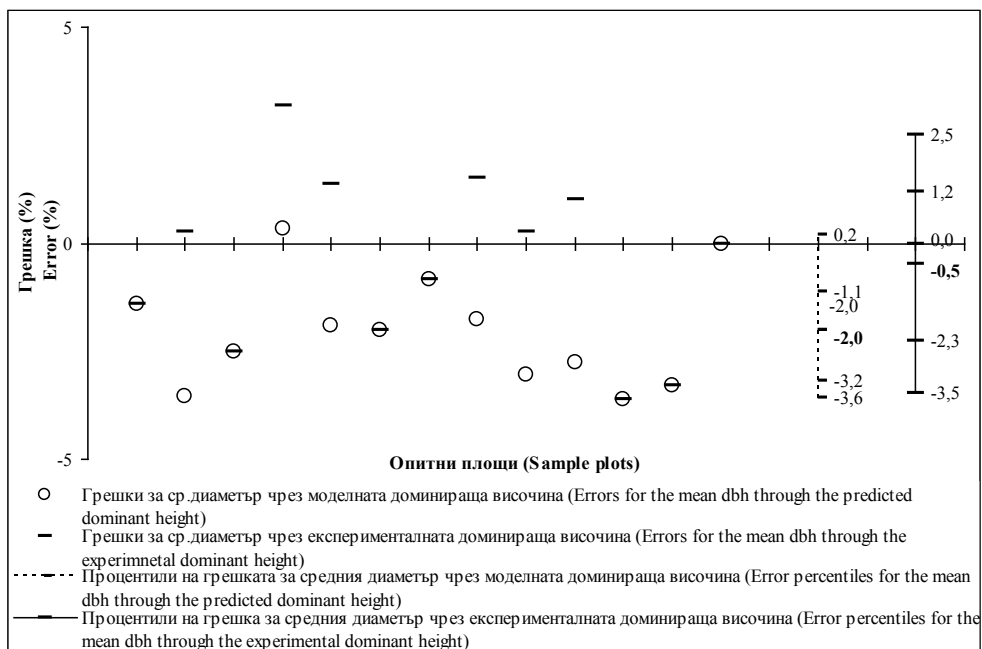
$$d_{1.3\text{краен}} = 200 \sqrt{\frac{y_{\text{краен}}}{\pi HF \rho_{\text{краен}}}} \quad (12),$$

където

$$A_t = f(\hat{H} + 2(4)m); B = f(\hat{H} + 2(4)m) \quad ; \quad HF = f(\hat{H} + 2(4)m).$$

- Абсолютната и относителната грешки за запаса ( $y_{\text{краен}}$ ), гъстотата ( $\rho_{\text{крайна}}$ ) и средния гуаметър ( $d_{1.3\text{краен}}$ ).

Моделните стойности на растежните показатели са съпоставени с реалните чрез  $t$ -тест за сравняване на средните абсолютни грешки с 0 и чрез оценка на относителните грешки и тяхното разпределение по проценти (10, 25, 50, 75, 90).



**Фиг. 1.** Оценка на грешката за средния гуаметър (означени са стойностите за 10, 25, 50, 75 и 90 проценти и средната стойност)  
**Fig. 1.** Error estimates for the mean DBH (10, 25, 50, 75, 90 error percentiles and the mean are shown)

Таблица 2

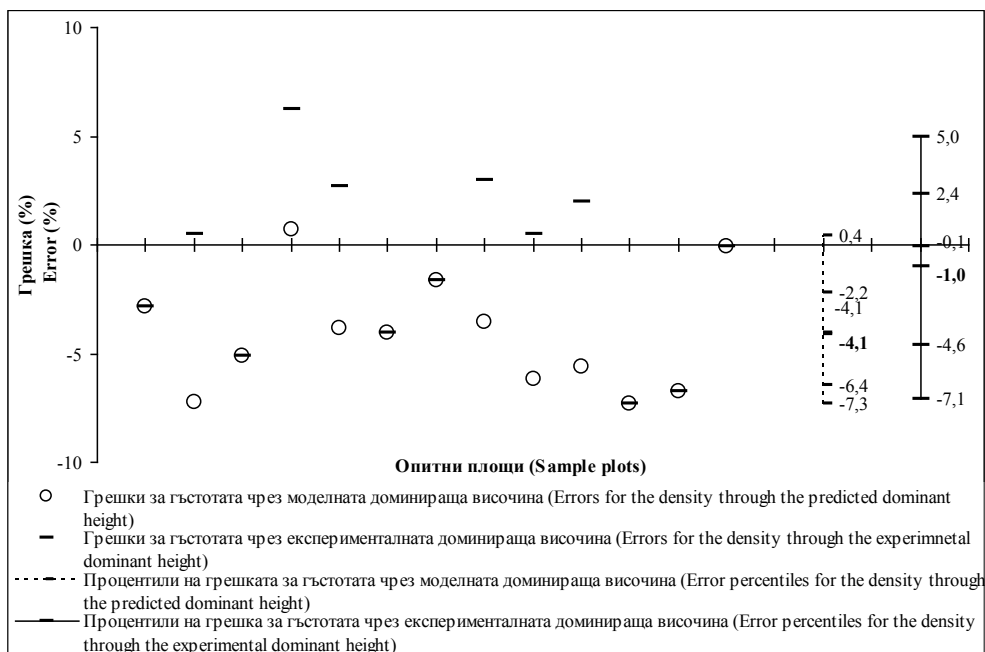
Оценка на абсолютните грешки за гъстотата, средния диаметър и запаса за Фамилната диаметрово-еквивалентни криви  
 Table 2  
 Absolute error estimates for the density, mean DBH and the stand stock through the Equivalent mean diameter curves

експериментална срещу моделна стойност experimental vs. predicted value	Опитни площи (бр.) Sample plots (number)	Средно-аритметична грешка $Em$ Mean error of $Em$	Станд. грешка на $Em$ Stand. error of $Em$	95% Доверителен интервал за $Em$ 95% Confidence interval for $Em$	Тест за $Em = 0$ Test for $Em = 0$	
					Стойност на $t$ Coef. $t$	Ниво на значимост Significance level
Среден диаметър чрез моделната доминираща височина (cm) Mean DBH through predicted dominant height (cm)	13	-0,47	0,09	-0,7 < $Em$ < -0,3	-5,355	0,001
Среден диаметър чрез експериментална доминираща височина (cm) Mean DBH through experimental dominant height (cm)	13	-0,05	0,13	-0,3 < $Em$ < 0,2	-0,348	0,734
Гъстота чрез моделната доминираща височина ( $ha^{-1}$ ) Density through predicted dominant height ( $ha^{-1}$ )	13	-71	27	-131 < $Em$ < -11	-2,590	0,023
Гъстота чрез експериментална доминираща височина ( $ha^{-1}$ ) Density through experimental dominant height ( $ha^{-1}$ )	13	-45	31	-112 < $Em$ < 22	-1,457	0,171



Таблица 2  
Продължение  
Table 2  
Continued

експериментална срещу моделна стойност experimental vs. predicted value	Опитни площи (бр.) Sample plots (number)	Средно-аритметична грешка $Em$ Mean error $Em$	Станд. грешка на $Em$ Stand. error of $Em$	95% Доверителен интервал за $Em$ 95% Confidence interval for $Em$	Тест за $Em = 0$ Test for $Em = 0$	
					Стойност на $t$ Coef. $t$	Ниво на значимост Significance level
Запас чрез моделната доминираща височина и кръговата площ ( $m^3/ha$ ) Stand stock through predicted dominant height and basal area ( $m^3/ha$ )	13	19,54	3,51	11,89 < $Em$ < 27,20	5,561	0,001
Запас чрез моделната доминираща височина и средния диаметър ( $m^3/ha$ ) Stand stock through predicted dominant height and mean DBH ( $m^3/ha$ )	13	29,36	8,09	11,73 < $Em$ < 46,98	3,629	0,003
Запас чрез експерименталната доминираща височина и кръговата площ ( $m^3/ha$ ) Stand stock through experimental dominant height and basal area ( $m^3/ha$ )	13	3,91	5,94	-9,04 < $Em$ < 16,87	0,659	0,523
Запас чрез експерименталната доминираща височина и средния диаметър ( $m^3/ha$ ) Stand stock through experimental dominant height and mean DBH ( $m^3/ha$ )	13	13,96	9,91	-7,63 < $Em$ < 35,54	1,409	0,184

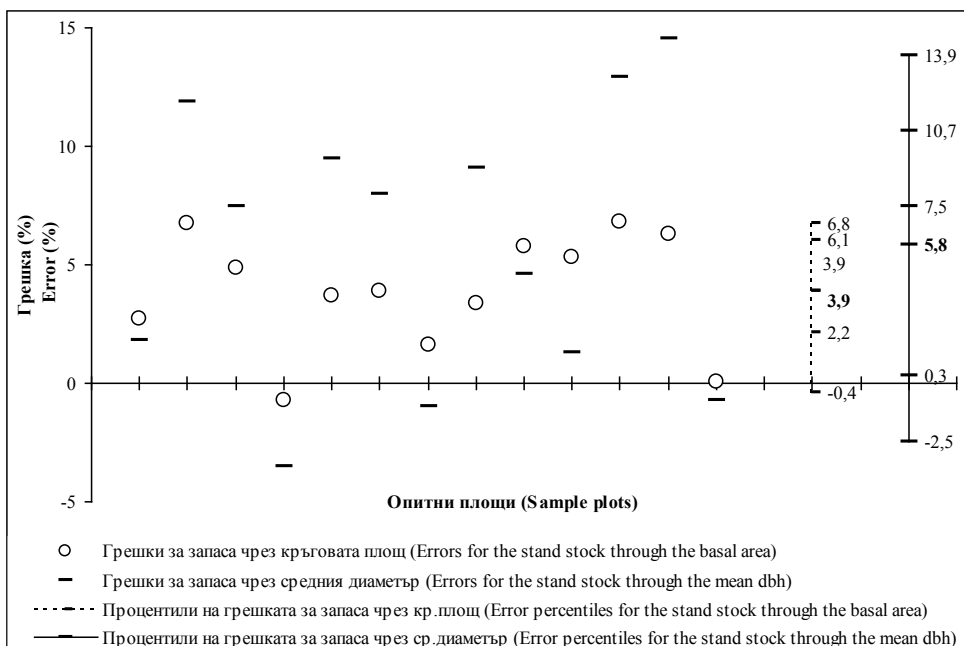


**Фиг. 2.** Оценка на грешката за гъстотата  
 (означени са стойностите за 10, 25, 50, 75 и 90 процентили и средната стойност)  
**Fig. 2.** Error estimates for density (10, 25, 50, 75, 90 error percentiles and the mean are shown)

## РЕЗУЛТАТИ

### Съпоставка на моделираните диаметрово-еквивалентни криви с експериментален набор от данни

Много високо ниво на точност беше отчетено за определяне на средния диаметър чрез диаметрово-еквивалентните криви, като относителните грешки за този показател, изчислени чрез експерименталната доминираща височина са в диапазона от -3,6 до +4% (фиг. 1). Статистическите тестове доказаха липсата на значими разлики както между средните стойности, така и между разпределенията на моделните и експерименталните средни диаметри при използване на експерименталната доминираща височина (таблица 1). Високо ниво на прецизност беше установено за Фамилията диаметрово-еквивалентните криви и при определянето на гъстотата чрез експерименталната доминираща височина (таблицы 1 и 2). Стойностите на относителните грешки за гъстотата не надхвърлят диапазона  $\pm 8\%$  (фиг. 2), а абсолютните грешки за 95% доверителен интервал са от порядъка на  $(-112 \text{ ha}^{-1}; 22 \text{ ha}^{-1})$  в случая с експерименталната доминираща височина (таблица 2).



**Фиг. 3.** Оценка на грешката за запаса чрез моделната доминираща височина (означени са стойностите за 10, 25, 50, 75 и 90 процентиля и средната стойност)

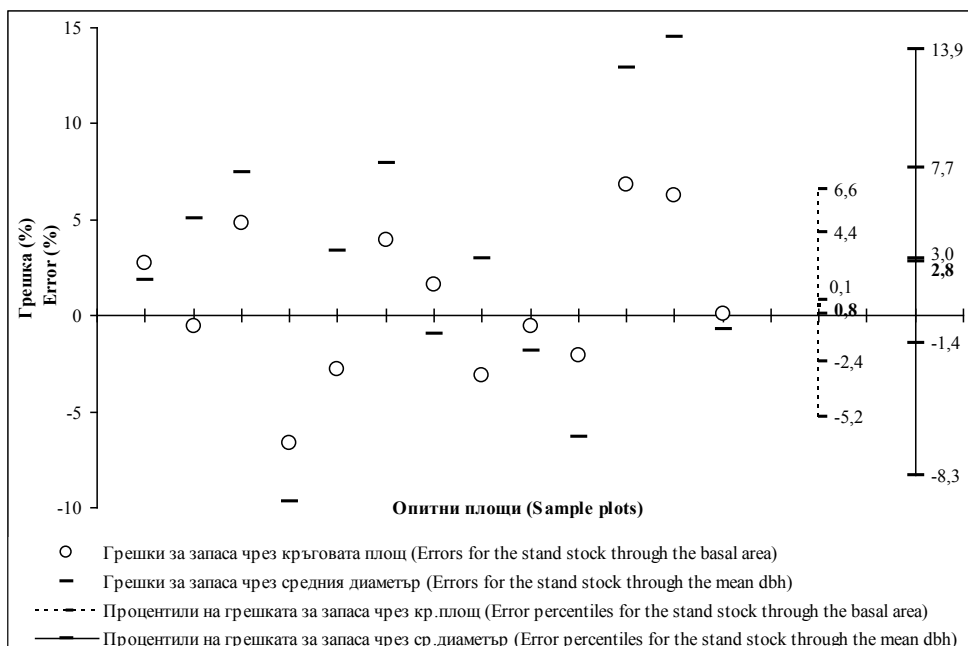
**Fig. 3.** Error estimates for stand stock through the predicted dominant height (10, 25, 50, 75, 90 error percentiles and the mean are shown)

Както статистическите тестове (таблица 1), така и оценките на грешките за запаса чрез експерименталната доминираща височина (таблица 2, фиг. 4) доказаха високата точност на диаметрово-еквивалентните криви при определянето на запаса. Изчисляването на запаса чрез кръговата площ показва недвусмислено превъзходство (уравнение 8 срещу уравнение 7), както при използването на експерименталната, така и чрез моделната доминираща височина (фиг. 3 и 4). Относителните грешки за запаса не надхвърлят диапазона  $\pm 7\%$  (фиг. 3 и 4), а средните абсолютни грешки чрез кръговата площ имат стойности от порядъка на 3,9 – 19,5  $\text{m}^3/\text{ha}$  (срещу 14 – 29,3  $\text{m}^3/\text{ha}$  за запаса чрез средния диаметър).

В случая с моделната доминираща височина статистически достоверни разлики бяха отчетени за всички изследвани растежни показатели (таблицы 1 и 2), като за гъстотата и средния диаметър са наблюдавани тенденции към надценяване, а за запаса – към подценяване на показателя чрез диаметрово-еквивалентните криви (фиг. 1-3).

### **Съпоставка на моделирани отгледни сечи с експериментални данни**

Определените абсолютни грешки за средния диаметър и гъстотата в края на прирастния период (при повторното измерване 1 или



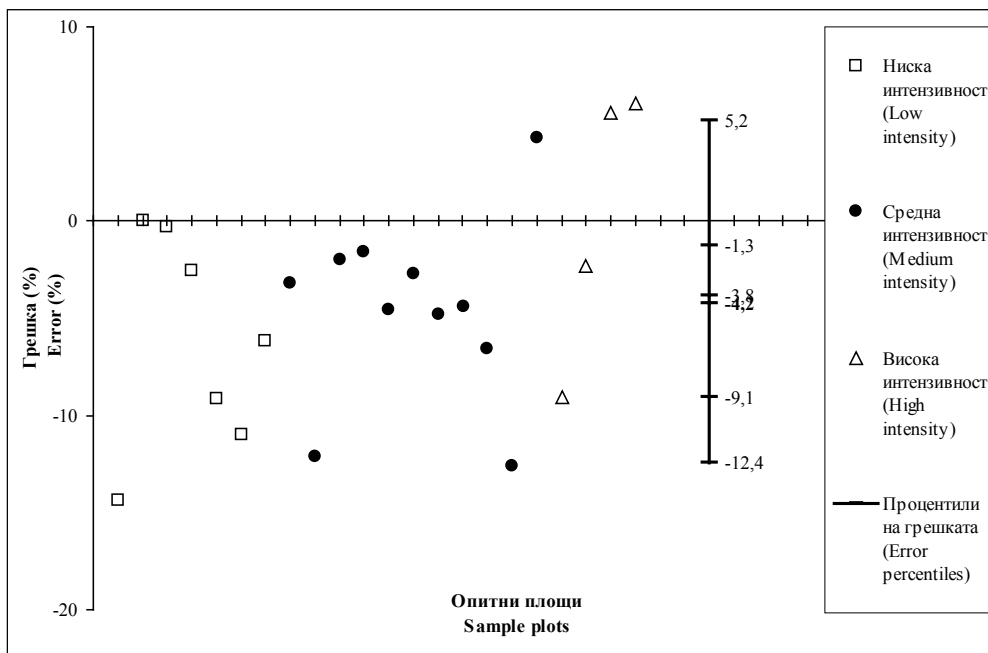
**Фиг. 4.** Оценка на грешката за запаса чрез експерименталната доминираща височина (означени са стойностите за 10, 25, 50, 75 и 90 проценти и средната стойност)

**Fig. 4.** Error estimates for stand stock through the experimental dominant height (10, 25, 50, 75, 90 error percentiles and the mean are shown)

2 доминантно-височинни класа по-късно) след симулирани отгледни сечи с различни интензивности имат гранични стойности за 95% доверителен интервал ( $64 \text{ ha}^{-1}$ ;  $991 \text{ ha}^{-1}$ ) за гъстотата и (-1,0 cm; -0,2 cm) за средния диаметър. Въпреки техните ниски стойности, средните абсолютни грешки се различават достоверно от 0 с тенденция към надценяване на средния диаметър и подценяване на гъстотата (таблица 1, фиг. 5 и 6). Установено е добро съответствие между моделирани и експериментални стойности за запаса в края на прирастния период при средна абсолютна грешка, неразличаваща се статистически достоверно от 0. При моделирането на отгледни сечи с ниска интензивност бе отчетена тенденция към подценяване на крайните стойности на запаса, при сечите с висока интензивност те са по-високи от експериментално отчетените и най-добра точност на Фамилията диаметрово-еквивалентни криви е отчетена при отгледните сечи с умерена интензивност (фиг. 7).

## ОБСЪЖДАНЕ

Определянето на гъстотата, средния диаметър и запаса чрез измерена средна и изчислена чрез нея доминираща височина в модела

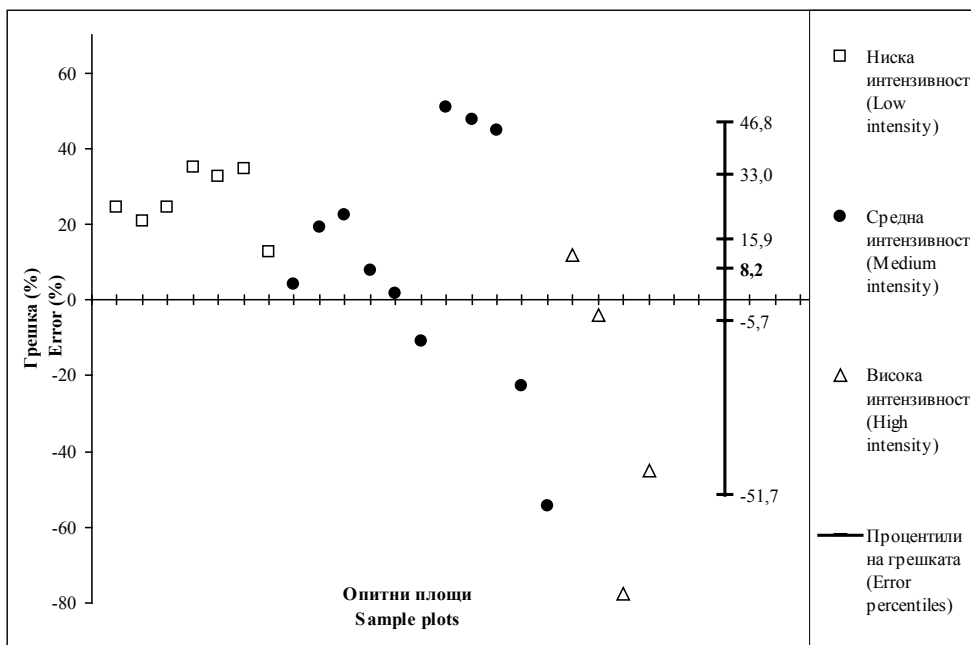


**Фиг. 5.** Проценти на грешката за средния диаметър при моделирани отгледни сечи с различна интензивност (означени са стойностите за 10, 25, 50, 75 и 90 проценти и средната стойност)

**Fig. 5.** Error percentages for mean DBH for simulated thinnings of different intensity (10, 25, 50, 75, 90 error percentiles and the mean are shown)

на диаметрово-еквивалентните криви за бялборови култури не бе доказано достатъчно убедително с този верификационен набор от данни (таблицы 1 и 2), за разлика от установеното за Фамилията диаметрово-еквивалентни криви за черенборови култури (Stankova, Zlatanov, 2007). Въпреки установените тенденции към подценяване или надценяване на съответните растежни показатели, вероятно повлияни от високия бонитет на културите от верификационния набор данни, ниските стойности на грешките показват пригодността на непреките (чрез средната височина) оценки на гъстотата, средния диаметър и запаса чрез Фамилията диаметрово-еквивалентни криви в ДКГ за бялборови култури за практически нужди.

Определените в настоящата разработка стойности за грешките на запаса и гъстотата имат по-ниски стойности от грешките за същите таксационни показатели, изчислени чрез Фамилията височинно-еквивалентни криви (Stankova, Петрин, 2008). Това заключение, както и установената по-добра точност за оценката на диаметрово-еквивалентните криви чрез кръговата площ са в съгласие с установеното за моделите на ДКГ за черенборови култури (Stankova, Zlatanov, 2007).



**Фиг. 6.** Процент на грешката за гъстотата при моделирани отгледни сечи с различна интензивност (означени са стойностите за 10, 25, 50, 75 и 90 процентилю и средната стойност)

**Fig. 6.** Error percentages for density for simulated thinnings of different intensity (10, 25, 50, 75, 90 error percentiles and the mean are shown)

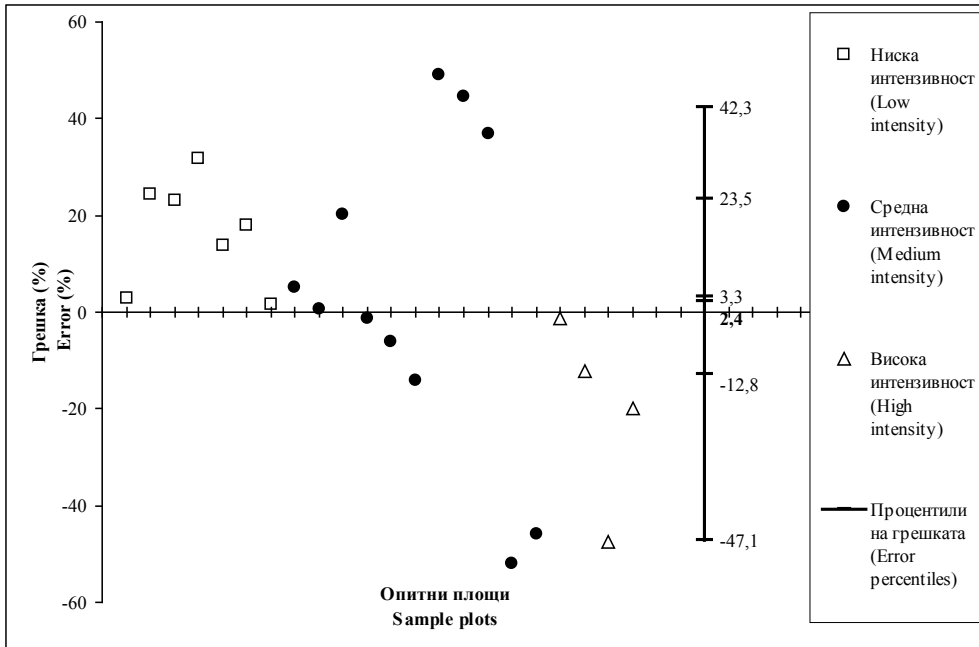
**Таблица 3**

Оценка на абсолютните грешки за гъстотата, средния диаметър и запаса за Фамилията диаметрово-еквивалентни криви при моделирани отгледни сечи

**Table 3**

Absolute error estimates for density, mean DBH and the stand stock through the Equivalent mean diameter curves for simulated thinnings

Експериментална срещу моделна стойност Experimental vs. predicted value	Опитни площи (бр.) Sample plots (number)	Средно-аритметична грешка $Em$ Mean error $Em$	Станд. грешка на $Em$ Stand. error of $Em$	95% Доверителен интервал за $Em$ 95% Confidence interval for $Em$	Тест за $Em = 0$ Test for $Em = 0$	
					Стойност на $t$ Coef. $t$	Ниво на значимост Significance level
Среден диаметър (cm) Mean DBH (cm)	22	-0,6	0,2	-1,0 < $Em$ < -0,2	-2,87	0,009
Гъстота ( $ha^{-1}$ ) Density ( $ha^{-1}$ )	22	528	223	64 < $Em$ < 991	2,37	0,028
Запас ( $m^3/ha$ ) Stand stock ( $m^3/ha$ )	22	9,01	16,84	-26,01 < $Em$ < 44,03	3,63	0,598



**Фиг. 7.** Проценти на грешката за запаса при моделирани отгледни сечи с различна интензивност (означени са стойностите за 10, 25, 50, 75 и 90 проценти и средната стойност)  
**Fig. 7.** Error percentages for stand stock for simulated thinnings of different intensity (10, 25, 50, 75, 90 error percentiles and the mean are shown)

Класическият начин за моделиране на отгледни сечи чрез моделите на ДКГ е с използване на Фамилията височинно-еквивалентни криви, чрез гъстотата и доминантно-височинния клас като входни параметри. Лесното експериментално определяне на средния диаметър подсказва да бъде проверен и друг, комбиниран начин за симулиране на отгледна сеч, чрез входни параметри среден диаметър и доминантно-височинен клас и използване на модела на диаметрово-еквивалентните криви от ДКГ за оценка на гъстотата и запаса преди сечта, както и на средния диаметър след определен прирастен период. Въпреки че бе установена тенденция към надценяване на средния диаметър по този метод, изчислените грешки имат ниски стойности и подсказват, че вероятно се дължат на закръгляването нагоре на доминиращата височина чрез доминантно-височинния клас. Грешките за гъстотата, от друга страна, показваха тенденции към подценяване на реалната гъстота след сечта, но стойностите на грешката са с по-тесен диапазон на вариране и са разпределени по-равномерно около 0, в сравнение с резултатите по метода за симулиране на отгледни сечи чрез Фамилията височинно-еквивалентни криви (С т а н к о в а,

Петрин, 2008). Запасът бе оценен с добра точност чрез описания комбиниран метод за симулиране на отгледни сечи (таблица 3, фиг. 7), въпреки че грешките имат по-високи стойности в сравнение с метода за моделиране на отгледни сечи чрез Фамилията височинно-еквивалентни криви (Станкова, Петрин, 2008).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установена е много висока точност на модела на Фамилията диаметрово-еквивалентни криви от ДКГ за бялборови култури при определянето, както на настоящата стойност на запаса на културите, така и след моделиране на отгледни сечи с различна интензивност и известен прирастен период. Доказана бе надеждността му за определяне на гъстотата и средния диаметър на насажденията чрез използване на експериментално определената доминираща височина

За практическото прилагане на моделите на ДКГ за бялборови култури за оценка на растежните показатели гъстота, среден диаметър и запас, би трябвало да се предпочете Фамилията диаметрово-еквивалентни криви пред Фамилията височинно-еквивалентни криви с експериментално определяне на доминиращата височина и кръговата площ (в случая със запаса) като входни параметри. При моделиране на отгледни сечи чрез ДКГ е препоръчително да се ползват като входни параметри гъстотата и доминантно-височинния клас и за симулиране на отгледна сеч да се ползва Фамилията височинно-еквивалентни криви чрез моделиране на отгледната сеч като процент от гъстотата на наличния гървостой.

## ЛИТЕРАТУРА

- Станкова, Т. 2006. Възможности за оптимизиране на гъстотите на култури от бял и черен бор чрез математически модели. Дисертационен труд за образователната и научна степен „Доктор“. Институт за гората, С., 50.
- Станкова, Т., Р. Петрин. 2008. Проверка и доказване на моделите за контролиране на гъстотата на бялборови култури. II. Фамилия височинно-еквивалентни криви (под печат).
- Шиков, К. 1974. Интензивност и начало на отглеждане на иглолистни гървостои. – Горско стопанство, 5, 8-10.
- Kumar, B. M., J. N. Long, P. Kumar. 1995. A density management diagram for teak plantations of Kerala in peninsular India. – For. Eco Manage, 74, 125-131.
- Rautiainen, O., T. Pukkala, J. Miina. 2000. Optimising the management of even-aged *Shorea robusta* stands in southern Nepal using individual tree growth models. – For. Eco. Manage, 126, 417-429.
- Stankova, T., T. Zlatanov. 2007. Verification of a model of Stand Density Control Diagram for Austrian black pine plantations in Bulgaria. *Silva Lusitana*, 15(2), 171-188.



**VERIFICATION OF THE DENSITY CONTROL MODELS  
FOR SCOTS PINE PLANTATIONS  
III. EQUIVALENT MEAN DIAMETER CURVES**

*T. Stankova, R. Petrin*  
Forest Research Institute – Sofia  
Bulgarian Academy of Sciences

**(Summary)**

The main objective of the present investigation is to examine and prove the reliability of Equivalent mean diameter curves within the model of Stand Density Control Diagram (SDCD) for Scots pine plantations in Bulgaria through comparison with verification data sets and in parallel with the precision of the Equivalent height curves. The estimates of the mean diameter, density and stand stock were verified. They were evaluated by both the experimental value of dominant height and by its predicted value. The stand stock was estimated also through the basal area as well as by the mean diameter. Two verification data sets were employed in the model validation, the first was applied to verify the model reliability of Equivalent mean diameter curves, while the second - for verification of model ability for thinnings simulation. The predicted values were compared with the experimental values by *t*-test, Wilcoxon signed rank test and by the absolute and the relative error estimates. Equivalent mean diameter curves for Scots pine plantations proved their reliability by predicting the values of density, mean diameter and stand stock with high degree of precision when employing the experimentally determined dominant height. Equivalent mean diameter curves should be preferred to Equivalent height curves to determine the stand growth parameters in the present and the experimentally determined dominant height and basal area should be used as input variables. Equivalent height curves, however, have to be considered for precise thinnings simulation by employing density and dominant height class as input variables and modeling the thinning intensity as percentage of tree number.

**Key words:** Equivalent mean diameter curves, Scots pine plantations, Stand Density Control Diagram, model verification

