

## ВРЪЗКА НА РАЗЛИЧНИТЕ МЕТОДИ ЗА ТАКСИРАНЕ НА МЛАДИ, СРЕДНОВЪЗРАСТНИ, ДОЗРЯВАЩИ И ЗРЕЛИ ЕЛОВИ НАСАЖДЕНИЯ И ЕДИНИЧНИ ЕЛОВИ СТЬБЛА В КОРИГИРАНАТА ОСНОВНА ФОРМУЛА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОБЕМА

Евгени Димитров, Явор Порязов, Илко Добричов, Тома Тончев  
Лесотехнически университет, София

### Резюме

Корекцията на основната формула за определяне на обема на единични растящи елови стъбла и насаждения засяга видовото число и по-конкретно необходимостта от неговото по-точно определяне. За постигането на по-добра точност се налагаше да се използват еднофакторните и многофакторните модели при определянето на видовите числа. За намирането на техните параметри беше необходимо отсичане на 700 броя елови стъбла, намиращи се в Родопите, Рила и Пирин планина. Тези стъбла са източник на огромна информация, която позволи да се намерят параметрите на еднофакторното (уравн. 9) и многофакторното (уравн. 11) регресионни уравнения, които се характеризират с много големи корелационни коефициенти и с малка стандартна грешка на оценката, със значими регресионни коефициенти и адекватни модели. Изведените регресионни уравнения (9) и (11) бяха заместени в основната формула (14), която се преобразува във формула (16), използвана за определяне на обема на единични растящи елови стъбла и формула (20) за кубиране на цели елови насаждения, таксирани по метода на Битерлих. Аналитичният вид на формули (16) и (20) позволиха да бъде лесно разработена програма за механизирано изчисляване на обемите на единични елови стъбла и насаждения. Получените резултати още веднъж потвърждават правилният индуктивен подход при избора на модели за определяне на диаметъра на средата на дървесните стъбла, респективно за коефициентите на пълнодървесност и за видовите числа. Този подход беше вече реализиран при средновъзрастните и дозряващите белборови, смърчови и елови дендрозенози, а сега и при младите, средновъзрастните, дозряващи и зрели елови насаждения, т.е. за насаждения от всички възрастови поколения в рамките на целия период на турнуса на сеч.

**Ключови думи:** обикновена ела, метод на Битерлих, модел, кубиране на единични дървета и цели насаждения, регресионен анализ.

**Key words:** Silver fir, Bitterlich method, model, stem volume estimation, regression analysis.

### Увод

В две предишни публикации – едната свързана с боровите насаждения [3], а втората със смърчовите насаждения [4] беше направена аргументация за необходимостта от коригиране на основната формула за кубиране на единични стъбла и цели насаждения. В тези разработки беше изяснен въпросът кои елементи (параметри) обхваща тази корекция и как е извършена. Трябва да се подчертае, че корекцията на основната формула обхваща едни и същи параметри, както за белборовите единични стъбла и насаждения, така и за смърчовите. И за двата дървесни вида се получиха приблизително еднакви резултати.

Основната цел, която си поставяме с настоящата разработка е да се провери какви ще са резултатите при кубиране на млади, средновъзрастни, дозряващи и зрели елови насаждения и единични стъбла като се приложи същия методичен подход. Корекцията засяга изчислението на видовото число, разгледано като индивидуално влияещ фактор, който се получава

чрез многофакторен регресионен анализ, при който участват съществено влияещи фактори, от които един е неизползван досега – коефициента на пълнодървесност ( $q_2$ ).

### Опитен материал и метод на работа

За решаването на поставената цел е използван по-малък брой пробни площи в сравнение с белборовите и смърчовите, поради това, че еловите насаждения са с по-ограничено разпространение. Общият брой на заложените в млади, средновъзрастни и дозряващи елови насаждения пробни площи е 114. Възрастта на насажденията варира от 15 до 160 години, от I до V бонитет и пълнота около 1,0, разположени на териториите на планините Родопи, Рила и Пирин. В тях бяха отсечени общо 700 бр. пробни стъбла, на които бяха установени следните таксационни показатели: възраст ( $a$ ), височина ( $h$ ), диаметър на гръдна височина ( $d_{1,3}$ ), кръговата площ на гръдна височина ( $g_{1,3}$ ), диаметрите в средите на двуметрови секции, диаметрите в средата на дървесните стъбла ( $d_{1/2}$ ).

Получената информация послужи за определяне на:

- коефициента на пълнодървесност ( $q_2$ ) по формула (1)

$$q_2 = \frac{d_{1/2}}{d_{1.3}} \quad (1)$$

- обем на дървесните стъбла ( $v$ ) по сложната формула на Хубер (2)

$$v = (\gamma_1 + \gamma_3 + \gamma_5 + \dots + \gamma_n) \cdot l + v_{вр.}, \text{ m}^3 \quad (2)$$

където:

$\gamma_1, \gamma_3, \gamma_5, \dots, \gamma_n$  са кръговите площи на средите на двуметровите секции,  $\text{m}^2$ .

$l$  – дължина на отделните секции – 2 m.

$v_{вр.}$  – обем на връшка,  $\text{m}^3$

- гръднодиаметрово видово число ( $f_{1.3}$ ) по формула (3):

$$f_{1.3} = \frac{v}{g_{1.3} \cdot h} \quad (3)$$

където:

$h$  е височината на стъблото [m], а останалите променливи вече са споменати.

Най-прекият начин за характеризирание на стъблената форма се явява коефициента на пълнодървесност, който се определя по формула (1). За определянето на ( $q_2$ ) на стоящи стъбла е проблем определянето на ( $d_{1/2}$ ). Аналогично на белборовите и смърчовите стъбла и тук ще потърсим връзка между диаметрите в средата на дървесните стъбла и диаметрите на гръдна височина като използваме линейния модел (4):

$$d_{1/2} = A_0 + A_1 \cdot d_{1.3} \quad (4)$$

където:

$A_0$  и  $A_1$  са регресионни коефициенти.

Ако връзката между тези зависими променливи се окаже висока до много висока, то коефициентът на пълнодървесност може да се използва като един от съществено влияещите показатели при определяне на видовите числа.

Следващият методичен въпрос, който възниква е свързан с определянето на видовите числа. Върху големината им оказват влияние голям брой фактори, които бяха посочени в предишното изследване [4]. От особена важност е да се извърши подбор на по-малко на брой, но съществено влияещи фактори. Това може да бъде съчетано със средствата на конкуриращите се модели от следния вид:

$$f_{1.3} = A_0 + A_1 \cdot q_2 + A_2 \cdot h \quad (5)$$

$$f_{1.3} = A_0 + A_1 \cdot q_2 + A_2 \cdot d_{1.3} \quad (6)$$

$$f_{1.3} = A_0 + A_1 \cdot h + A_2 \cdot d_{1.3} \quad (7)$$

$$f_{1.3} = A_0 + A_1 \cdot q_2 + A_2 \cdot h + A_3 \cdot d_{1.3} + A_4 \cdot a \quad (8)$$

В тези конкуриращи се модела зависимата променлива ( $f_{1.3}$ ) се разглежда в зависимост от четири фактора, от които три са съществено влияещи. Това са коефициентът на пълнодървесност ( $q_2$ ), височината ( $h$ ) и диаметърът на гръдна височина ( $d_{1.3}$ ). Четвъртият фактор (възрастта  $a$ ) се оказва несъществено влияещ, както бе посочено при средновъзрастните и дозряващи белборови, смърчови и елови дендроцеинози [2]. Информациите за намиране на параметрите на горните модели произлиза от 700 бр. елови стъбла. Тя е значителна по обем и отговаря на едно от изискванията на математическото моделиране – да е числена и значителна по обем.

## Резултати и обсъждане

### 1. Еднофакторно определяне на диаметъра на средата

Основният въпрос при еднофакторното определяне на диаметъра на средата на елови стъбла е свързан с намиране на параметрите на модел (4).

Информацията, която е използвана възлиза на 1400 реални числа на зависимата и независимата променлива и произхожда от 700 броя елови стъбла. Получените параметри са заместени в уравнение(4), в резултат на което е получено следното регресионно уравнение:

$$d_{1/2} = 1,1524 + 0,6753 \cdot d_{1.3} \quad (9)$$

където:

$d_{1/2}$  – диаметър на средата на дървесното стъбло, см.

$d_{1.3}$  – диаметър на гръдна височина, см.

Знакът пред регресионния коефициент съответства на логическото разбиране за влияние на гръдния диаметър върху диаметъра на средата на дървесните стъбла, т.е. с нарастване на гръдния диаметър, нараства и диаметъра на средата на стъблото. Това нарастване на диаметъра на средата на стъблото възлиза на 0,675 см при нарастване на гръдния диаметър с 1 см.

Основните статистически показатели са корелационният коефициент  $R=0,993$ , а коефициентът на детерминация съответно е

$R^2 = 0,986$ . По отношение на стандартната грешка на оценката, то тя е  $s = 0,947$  см. Всичко това говори за една много тясна връзка между тези две променливи. Направената проверка показва, че моделът е адекватен, тъй като емпиричката характеристика  $F_{1(em)} = 8,76$  е по-голяма от теоретичката  $F_{1(t)} = 3,86$ . Корелационните и регресионните коефициенти са значими, тъй като  $t_{em} > t_m$ . Следователно имаме всички основания да считаме, че между диаметъра на средата на дървесните стъбла ( $d_{1/2}$ ) и диаметъра на гръдна височина ( $d_{1,3}$ ) обективно съществува регресионна връзка и зависимост, като тя съдържа елементите на линейния модел. От това следва, че уравнение (9) може успешно да се използва за определяне (прогнозиране) на диаметъра на средата на дървесните стъбла, без да се отсичат същите. От това се разбира, че може да се определя и коефициентът на пълнодървесност ( $q_2$ ), който е необходим за характеризирание на формата на дървесните стъбла.

## 2. Многофакторно определяне на видовите числа

Много пъти е подчертавано, че обемът на растящи стъбла зависи от три обемобразуващи фактора – кръговата площ на гръдна височина, височината на дърветата и видовото число, т.е.  $v = g_{1,3} \cdot h \cdot f_{1,3}$ . В този израз точността на определянето на обема много зависи от точността на определянето на видовото число, тъй като останалите два параметъра ( $g_{1,3}$ ) и ( $h$ ) се определят сигурно и с голяма точност.

Недостатъкът на видовото число идва не само от метода за неговото определяне, който е най-често графически, но и от това, че изменението му се отчита само по един фактор – най-често височината. Освен това влиянието на този фактор не е най-съществено.

Върху видовите числа оказват влияние редица таксационни показатели като: коефициента на пълнодървесност ( $q_2$ ), височината ( $h$ ), гръдния диаметър ( $d_{1,3}$ ), възрастта ( $a$ ), условията на месторастене, географската ширина и др.

Задачата тук е да се изследва комплексното влияние на различните таксационни показатели. От особено значение е да се обхванат на първо време факторите, които съществено влияят. За осъществяване на това изследване ще използваме многофакторния регресионен метод в съчетание с конкуриращите средства, т.е. 8

конкуриращи се регресионни модела, от които се посочват в методиката.

За намиране на параметрите на моделите (5) до (8) се използва информация за видовите числа и дефинираните фактори възлизаща от 2082 до 3470 числа и произхождаща от 700 броя елови стъбла.

Задачата на многофакторната регресия е установяване наличието на връзка, установяване формата на модела и количественото измерване на различните фактори, влияещи върху видовите числа. Получиха се следните регресионни уравнения:

$$f_{1,3} = -0,1048 + 0,935 \cdot q_2 - 0,00221 \cdot h \quad (10)$$

$$f_{1,3} = -0,1157 + 0,9304 \cdot q_2 - 0,00116 \cdot d_{1,3} \quad (11)$$

$$f_{1,3} = 0,6410 - 0,00251 \cdot h - 0,00208 \cdot d_{1,3} \quad (12)$$

$$f_{1,3} = -0,0981 + 0,92357 \cdot q_2 - 0,00155 \cdot h - 0,000398 \cdot d_{1,3} - 0,0000169 \cdot a, \quad (13)$$

където:

$f_{1,3}$  е видовото число.

$q_2$  - гръднодиаметров коефициент на пълнодървесност.

$h$  - височина на стъблото, м.

$d_{1,3}$  - диаметър на гръдна височина, см.

$a$  - възраст, години.

Реализацията на уравненията от (10) до (13) се извърши чрез осъществяване на стъпковия регресионен анализ.

При първата стъпка се включва втора променлива -  $f_{1,3} = f(q_2, h)$ . В този случай коефициентът на множествена корелация възлиза на  $R_{y/x_1, x_2} = 0,959$ , а стандартната грешка на оценката  $s_{y/x_1, x_2} = 0,0158$ .

На втората регресионна стъпка височината се заменя с гръдния диаметър. В резултат на това основните статистически показатели като коефициентът на множествена корелация и стандартната грешка на оценката незначително се намаляват, т.е.  $R_{y/x_1, x_2} = 0,957$  и  $s_{y/x_1, x_2} = 0,0163$ .

На третата регресионна стъпка се изключва коефициента на пълнодървесност и се въвеждат височината и гръдния диаметър. Отново моделът е двуфакторен, но със значително влошени статистически показатели – коефициентът на множествена корелация намалява с близо две десети, т.е.  $R_{y/x_1, x_2} = 0,731$ , а стандартната грешка  $s_{y/x_1, x_2} = 0,0383$ . При това положение се създават условия за по-големи грешки при определянето на видовите числа.

На четвъртата регресионна стъпка се въвежда модел с четири независими променливи –  $q_2, h, d_{1,3}$  и  $a$ . При тази стъпка имаме удвоя-

ване на независимите променливи. Въвеждането на четири променливи не са предизвикали увеличаване на множествено корелационния коефициент. Величината на този коефициент е както при първата и втората регресионна стъпка, т.е.  $R_{y/x_1, x_2, x_3, x_4} = 0,960$ . Стандартната грешка на оценката е почти непроменена -  $S_{y/x_1, x_2, x_3, x_4} = 0,0157$ . При такъв модел само се усложняват изчисленията, а резултатът е както при първата и втората стъпка. Общо резултати-

те за първата, втората и четвъртата регресионни стъпки са почти еднакви. За прогнозни цели може да се използва който и да е от трите многофакторни модели. Въвеждането на четвъртия фактор (възрастта) не само че не подобрява основните статистически показатели, но на практика се оказва несъществено влияещ фактор и е с незначим регресионен коефициент, т.е.  $t_{em} > t_{\tau}$  (табл. 1).

Табл. 1. Резултати от спецификацията на многофакторните регресионни модели

	Уравнение			
	(10)	(11)	(12)	(13)
$A_0$	-0,1048	-0,1157	0,6409	-0,09805
$A_1$	0,9352	0,9304		0,92360
$A_2$	-0,0022		-0,0025	-0,00155
$A_3$		-0,0012	-0,0021	-0,00040
$A_4$				-0,00002
$T_m$	1,96	1,96	1,96	1,9
$t_{a1}$	60,4	57,0		57,4
$t_{a2}$	19,9		4,8	7,2
$t_{a3}$		18,4	7,4	3,1
$t_{a4}$				0,6
$R$	0,959	0,957	0,731	0,960
$R^2$	0,920	0,916	0,534	0,922
$1-R^2$	0,080	0,084	0,466	0,078
$F_{\tau}$	2,99	2,99	2,99	2,37
$F_{2(em)}$	4007,5	3800,0	399,2	4016,2
$S_y$	0,0158	0,0163	0,0383	0,0157
$F_{\tau}$	2,99	2,99	2,99	2,37
$F_{1(em)}$	3,54	3,43	1,47	3,56

Параметрите на уравненията се характеризират със значимост, която е много висока при параметъра на коефициента на пълнодървесност ( $q_2$ ), т.е.  $t_{a1}$ . Незначим е параметърът на възрастта  $t_{a4}$  при уравнение (13). Всички модели, в които участва коефициентът на пълнодървесност ( $q_2$ ) са адекватни и обратно там, където не участва  $q_2$  моделите са неадекватни.

Регресионните коефициенти си запазват посоката на действие при всички варианти. Те изразяват средни промени във видовете числа ( $f_{1,3}$ ) при промяна на всеки един от факторите с единици. Съществува, обаче една особеност: параметърът  $A_1$  отразява влиянието на фактора ( $q_2$ ) върху видовете числа, при условие че параметърът  $A_2$  (височината) отчита влиянието на височината и т.н. Така например, ако се разгледа коефициента на регресия  $A_0 = 1,234$  (или това е коефициентът пред  $q_2$ ) при уравнение (13) ще се види, че при увеличение на коефициента на пълнодървесност  $q_2$  с единица и при елиминиране влиянието на факторите  $h$ ,  $d_{1,3}$  и  $a$

видовете числа, изчислени в уравнение (13) нарастват 0,92357. Ако се вземе другият коефициент на регресия  $A_0 = 2,134$  на същото уравнение, ще се види, че с увеличение на височината на дърветата с 1 m и при отстраняване влиянието на факторите  $q_2$ ,  $d_{1,3}$  и  $a$ , то видовете числа намаляват с 0,00155. И най-после, ако се вземат третият и четвъртият регресионен коефициент -  $A_0 = 3,124$ , респ.  $A_0 = 4,123$  при същото уравнение, ще се види, че при увеличаване на дебелината ( $d_{1,3}$ ) с 1 cm и възрастта ( $a$ ) с една година и при отстраняване влиянието на останалите фактори видовете числа намаляват в единия случай с 0,000398, а в другия с 0,0000169 единици. Аналогична оценка може да се направи и за останалите регресионни уравнения.

В заключение следва да се отбележи, че избрания тип функция и специфицираните варианти се оказаха твърде подходящи и устойчиви за изследване на влиянието на коефициентите на пълнодървесност ( $q_2$ ), височината ( $h$ ), гърд-

ния диаметър ( $d_{1,3}$ ) и възрастта ( $a$ ) върху видовете числа на елата. От това следва, че закономерностите проявени под влияние на действителните условия се изразяват най-точно от моделите (10) и (11), тъй като се характеризират с най-високи съгласно класифицирането на математическата статистика [1, 7, 8] множествено-корелационни коефициенти ( $R_V=0,957$  до  $0,959$ ), с най-малка и почти еднаква стандартна грешка на оценката ( $s=0,0158$  до  $0,0163$ ), с адекватни модели и значими корелационни ( $F_{2(ем)} > F_T$ ) и регресионни коефициенти ( $t_{ем} > t_T$ ).

Многофакторните регресионни уравнения (10) и (11) могат да се използват в практиката за прогнозиране, т.е. за определяне на видовите числа.

След казаното до тук може да се пристъпи към корекция на класическата формула за определяне на обема на растящи дървета (14).

$$v = g_{1,3} \cdot h \cdot f_{1,3} \quad (14)$$

Заместваме във формула (14) полученото уравнение (9) за определяне на диаметъра на средата на дървесното стъбло, респективно за коефициента на пълнодървесност ( $q_2$ ) и уравнение (11) за видовете числа ще се преобразува в следното:

$$V_{ст.} = g_{1,3} \cdot h (1,0722/d_{1,3} + 0,5126 - 0,00116 \cdot d_{1,3}), \quad (15)$$

където:

- $V_{ст}$  - стъблен обем,  $m^3$ ;
- $g_{1,3}$  - кръгова площ на гърдна височина,  $m^2$ ;
- $d_{1,3}$  - диаметър на гърдна височина,  $cm$ ;

$h$  – височина на дървесното стъбло,  $m$ .

Още веднъж ще подчертаем, че цифровите коефициенти в скобите на уравнение (15) дават възможност да се определят едновременно диаметърът на средата ( $d_{1/2}$ ), коефициентът на пълнодървесност ( $q_2$ ) и видовото число ( $f_{1,3}$ ) с едно измерване на гърдния диаметър ( $d_{1,3}$ ) без да се обръщаме към каквато и да е таблица. По този начин чрез формула (15) може да се подобри точността и да се осъществи по-лесно механизизирано определяне на обема на единични елови стъбла и насаждения таксирани по метода на пълното и частично клупиране, както и насаждения таксирани по метода на Битерлих.

а) Определяне на обема на единични стоящи елови стъбла

Формула (15) приема следния вид:

$$V_{ст.} = 0,00007854 \cdot d_{1,3}^2 \cdot h \cdot (1,0722/d_{1,3} + 0,5126 - 0,00116 \cdot d_{1,3}), \quad (16)$$

където:

$V_{ст}$  - стъблен обем на единичното стъбло,  $m^3$ ;

$d_{1,3}$  - диаметър на гърдна височина на единичното стъбло,  $cm$ ;

$h$  – височина на единичното стъбло,  $m$ .

Ще приведем пример с шест насаждения, на които средните стъбла са кубирани секционно по сложната формула на Хубер и по формула (16) (табл. 2).

Табл. 2. Опитни насаждения

	Стъбло №1	Стъбло №2	Стъбло №3	Стъбло №4	Стъбло №5	Стъбло №6
<b>A, г.</b>	70	69	75	71	76	90 г.
<b><math>d_{1,3}</math>, cm</b>	24,0	26,6	18,8	32,4	34,0	47,7 cm
<b>H, m</b>	19,0	18,9	15,4	26,0	23,5	27,0 m
<b><math>V_{Хубер}</math>, <math>m^3</math></b>	0,4336	0,5272	0,2098	1,1284	1,0056	2,0924
<b>V по(16), <math>m^3</math></b>	0,4548	0,5480	0,2340	1,0886	1,0762	2,3135
<b>Разлика, <math>m^3</math></b>	+0,0212	+0,0208	+0,0242	-0,0398	+0,0706	+0,2211
<b>Разлика, %</b>	+4,9	+3,9	+11,5	-3,5	+7,0	+10,5

Грешката в обемите на пробните стъбла е в допустими граници. За по-младите и ниски стъбла, както и за много по-дебелите отклонения могат да бъдат и по-големи.

б) Определяне на обема на цяло насаждение по степени на дебелина и по  $d_{ср}$  и  $h_{ср}$  и общ брой дървета (N).

Приложението на този вариант е възможно за насаждения, които са таксирани по метода на пълното или частично клупиране. За опре-

делянето на обема на насаждението е необходимо да се знаят степените на дебелина, средните височини за всяка степен на дебелина и броят на дърветата в нея. Всичко това се установява при измерванията на терена, като повече време се отнема при меренето на височините от всяка степен на дебелина.

- Определяне на обема на цяло насаждение по степени на дебелина.

За изпълнението на тази задача отново се използва уравнение (15), като се извършва следната корекция:

$$V_{cm.} = [0,00007854 \cdot d_{1,3}^2 \cdot h \cdot (1,0722/d_{1,3} + 0,5126 - 0,00116 \cdot d_{1,3})] \cdot n, \quad (17)$$

където:

$n$  е брой дървета за дадена степен на дебелина  $i$ , см.

Стъбления обем на насаждението се получава като се използва същата компютърна програма като сума от общите обеми по степени на дебелина по израза:

$$V_{ст.} = \sum V_{ст.i} \quad (18)$$

- Определяне на обема на цяло насаждение по  $d_{cp}$  и  $h_{cp}$  и общ брой дървета ( $N$ ).

В този случай формула (15) придобива следния вид:

$$V_{cm.} = [0,00007854 \cdot d_{cp}^2 \cdot h_{cp} \cdot (1,0722/d_{cp} + 0,5126 - 0,00116 \cdot d_{cp})] \cdot N, \quad (19)$$

където:

$V_{ст}$  - стъблен обем на насаждението,  $m^3$ ;  
 $d_{cp}$  - среден диаметър на насаждението, см;  
 $h_{cp}$  - средна височина на насаждението, м;  
 $N$  - общ брой дървета в насаждението.

Приложението на този начин за кубирание може да се види от следния пример за елово насаждение: Средна възраст - 70 години,  $d_{cp} = 24,3$  см,  $h_{cp} = 20,9$  м,  $N = 208$  бр. Отделните дървета са кубирани секционно по сложната формула на Хубер и по формула (19), при което се получиха следните резултати:

$V_{Хубер} = 102,80$   $m^3$ ;  
 по (19)  $V = 106,50$   $m^3$ ;  
 Разлика + 3,70  $m^3$  или + 3,6%.

Данните показват, че точността на кубирането на насаждението по този начин е много висока, като грешката е по-малка от 5%.

в) Определяне на обема на насаждение по метода на Битерлих.

Математическият израз за кубиране по метода на Битерлих има следния вид:

$$V_{ha} = G_{ha} \cdot h_{cp} \cdot (1,0722/d_{cp} + 0,5126 - 0,00116 \cdot d_{cp}), \quad (20)$$

където:

$V_{ha}$  е стъблен запас на 1 ha,  $m^3/ha$ ;  
 $G_{ha}$  - кръгова площ на 1 ha,  $m^2/ha$ ;  
 $d_{cp}$  - среден диаметър на насаждението, см;

$h_{cp}$  - средна височина на насаждението, м.

За реализиране на формула (20) е необходимо да се определи кръговата площ на 1 ha, като се използва уредът на Битерлих. Средната височина се получава от измерването на 5-7 височини от дървета с диаметър близък до средния. По този начин класическата формула (14) е коригирана и като резултат се получи формула (20). Направената корекция дава възможност (за конкретното насаждение) да се отчита диаметърът на средата на дървесните стъбла ( $d_{1/2}$ ), коефициента на пълнодървесност ( $q_2$ ) и видовото число ( $f_{1,3}$ ) само с определяне на средния диаметър ( $d_{cp}$ ).

Получената при корекция формула (20) ще позволи получаване не само на по-точен обем при кубирането, поради по-точното видово число, но и позволява автоматизирана обработка.

Като пример ще посочим цитираното по-горе насаждение. В заложената пробна площ бяха изсечени всички елови дървета, на които се извърши секционно кубиране по сложната формула на Хубер. Кръговата площ на 1 ха беше определена преди изсичане на дървета с уреда на Битерлих - 49,8  $m^2/ha$ . Средният диаметър на насаждението бе изчислен по средна кръгова площ, а средната височина като средноаритметична от височините на 5-7 дървета с диаметър близък до средния. По тези данни и с помощта на формула (20) беше определен дървесния запас на 1 ha, който беше сравнен със запаса получен чрез секционното кубиране на всички дървета в пробната площ:

а) по формула (20):

$$V_{ha} = 550,07 \text{ m}^3;$$

б) чрез секционно кубиране по формулата на Хубер:

$$V_{ha} = 537,94 \text{ m}^3;$$

Разлика между двата обема - 12,13  $m^3$  или 2,25%.

Разликата между обемите, получени по двата начина, е незначителна и е доста по-малка от допустимите  $\pm 10\%$  при прилагането на този метод на таксиране.

Точността на метода прилаган в което и да е насаждение зависи най-вече от точното определяне на  $d_{cp}$ ,  $h_{cp}$  и  $G_{ha}$ .

В заключение следва да се отбележи, че направената корекция на основната формула за определянето на обема на стоящи стъбла се реализира въз основа на видово число, което се определя от два съществено влияещи фактора: коефициента на пълнодървесност ( $q_2$ ) и

диаметърът на гръдна височина ( $d_{1,3}$ ). При това едновременно определяне на диаметъра на средата на стъблата ( $d_{1/2}$ ), коефициента на пълнодървесност ( $q_2$ ) и видовото число ( $f_{1,3}$ ) се осъществява само при пряко измерване на един показател -  $d_{ср.}$  без да се отсичат стъблата, което се различава от подхода на Мошкалев и др. [6] и Михов [5].

От изложеното дотук могат да се направят следните изводи:

1. Избраният тип функция и специфицираните варианти се оказаха твърде подходящи за изследване на влиянието на коефициента на пълнодървесност, височината, дебелината и възрастта върху диаметъра на средата на стъблата, респективно коефициента на пълнодървесност и видовите числа на елата.
2. Въз основа на значителен експериментален материал от 700 бр. елови стъбла бяха изведени еднофакторното регресионно уравнение (9) за определяне на диаметъра на средата на стоящи елови стъбла и съответно за коефициента на пълнодървесност ( $q_2$ ) и многофакторно регресионно уравнение (11) за определяне на видовите числа ( $f_{1,3}$ ) без да се отсичат стъблата.
3. За еднофакторното регресионно уравнение (9) се получи много голям корелационен коефициент  $R=0,993$  и малка стандартна грешка на оценката  $s=0,947$ . Много голям множествено корелационен коефициент  $R=0,957$  и малка стандартна грешка на оценката  $s=0,0163$  се получи за многофакторното регресионно уравнение (11), свързано с определяне на видовите числа.
4. Получените уравнения (9) и (11) се характеризират със стабилни и устойчиви регресионни коефициенти, тъй като  $t_{ем.} > t_{т.}$ , а моделите са адекватни. Това прави уравненията годни прогностични цели, т.е. за определяне на диаметъра на средата на стъблата ( $d_{1/2}$ ), респ. коефициента на пълнодървесност ( $q_2$ ) и видовите числа ( $f_{1,3}$ ).
5. Изведените зависимости за диаметъра на средата на стъблата (уравнения (9) и (11)) бяха заместени в основната формула (14) в резултат на което се получиха:
  - а) формула (16) за определяне на обема на единични стоящи стъбла. За приложението ѝ са необходими  $d_{1,3}$  и  $h$  за всяко стъбло.
  - б) формула (17) за определяне на обема на цели насаждения по броя на дърве-

тата ( $n$ ) по степени на дебелина. За приложението ѝ се изисква  $d_{1,3}$ ,  $h$  и  $n$  за всяка степен на дебелина.

- в) формула (19) за определяне на обема на цели насаждения въз основа на общия брой дървета ( $N$ ). За приложението ѝ се изисква  $d_{1,3}$ ,  $h$  и  $N$ .
- г) формула (20) за определяне на обема на насаждения таксирани по метода на Битерлих. За приложението са необходими  $G_{ha}$ ,  $h_{ср.}$  и  $d_{ср.}$ .
6. Изведените аналитични изрази (16) и (20) позволяват автоматизирано определяне на обема, както на единични стоящи елови стъбла, така и на цели елови насаждения, таксирани по метода на Битерлих.
7. Получените резултати още веднъж потвърждават правилния индуктивен подход при избора на модели за определяне на диаметъра на средата на дървесните стъбла, респ. коефициента на пълнодървесност и за видовите числа реализиран, както при средновъзрастните и дозряващите белборови, смърчови и елови дендроценози,. Така и сега при младите, средновъзрастните, дозряващите и зрели елови насаждения. Реализираният методологически подход и разработената методика показва своята жизнестойност и универсалност потвърждаваща се от получените добри резултати в областите, в които беше приложена досега.

#### Литература

1. Дворецкий, М. *Пособие вариационной статистике*. 3-е издание, М. 1971.
2. Димитров, Е. *Моделиране на строежа, обема и сортиментите на средновъзрастните и дозряващите белборови, смърчови и елови дендроценози*. С. 2003.
3. Димитров, Е., Порязов, Я., Добричов, И., Тончев, Т. *Една възможност за подобрене на приложението на метода на Битерлих при белборови насаждения и при кубирање на единични стоящи дървета*. Сп. Управление и устойчиво развитие, vol. 1 (19). 2008. с. 103-106.
4. Димитров, Е., Порязов, Я., Добричов, И., Тончев, Т. *Корекция на основната формула за определяне на обема на единични растящи смърчови стъбла и цели млади, средновъзрастни, дозряващи и зрели насаждения, таксирани по различни методи*. 2012. (под печат)
5. Михов, И. *Аналитично определяне на запаса на горски насаждения*. сп. Горско стопанство. 1981. кн. 7.

6. Мошкалев, А., Костълев, И., Вахмянин, И. *Новые усовершенствования методы таксации лесосек*. Лесное хозяйство. кн. 4. 1969.
7. Стефанов, И., Тотев, Н. *Теория на статистиката*. С. 1960.
8. Трулль, О. *Математическая статистика в лесном хозяйстве*. Минск. 1966.

## RELATIONSHIP OF DIFFERENT METHODS FOR INVENTORY OF YOUNG, MIDDLE AGED, PREMATURE AND MATURE SILVER FIR STANDS AND STEMS IN ADJUSTED FORMULA FOR VOLUME ESTIMATION

Evgeni Dimitrov, Yavor Poryazov, Ilko Dobrichov, Toma Tonchev  
University of Forestry, Sofia, Bulgaria

### Abstract

Adjustment of basic formula for stem volume estimation of standing Silver fir stems and stands concerns form factor and more specifically its more accurate estimation. For achieving of better accuracy monofactorial and multifactorial regression analysis is needed for form factor calculation. For parameterization of models we used information from 700 Silver fir stems, which were located in the Rhodopes mountains, Rila and Pirin mountain. Monofactorial (9) and multifactorial (11) regression models are characterized with high correlation coefficients, low standard error, statistically significant regression coefficients and adequate models. Obtained regression equations (9) and (11) were substituted in equation (14) to derive equation (16), which was used for volume estimation of standing silver fir stems and equation (20) for volume estimation of fir stands inventoried by Butterlich method. The analytical form of equations (16) and (20) allows specialized software to be developed for volume calculation of standing fir stems and stands. Good results confirmed the right chosen inductive method of approach for validation of models for determination of diameter at a middle height and form quotient and form factor respectively. This approach was realized previously for middle aged and premature Scots pine, Norway spruce and Silver fir stands and now for young, middle aged, premature and mature fir stands, i.e. for stands from all age classes of rotation period.