

PROIECTAREA GEOMETRIEI BUTOAIELOR DIN LEMN

GEOMETRY DESIGN OF WOODEN BARRELS

Ivan CISMARU

Prof.dr.ing. - Universitatea "Transilvania" din Braşov – Facultatea de Ingineria Lemnului
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 500036 Braşov, România
Tel: +40 268 412921/int.191. Fax: +40 268 415315. E-mail: icismaru@unitbv.ro

Adriana FOTIN

Şef. lucr.dr.ing. - Universitatea "Transilvania" din Braşov – Facultatea de Ingineria Lemnului
E-mail: adrianafotin@unitbv.ro

Rezumat:

Lucrarea îşi propune să prezinte o metodologie de proiectare a geometriei butoaielor din lemn sub forma unui algoritm de calcule succesive, aşa încât pornind de la elemente impuse (volumul, lungimea, forma, înălţimea maximă a spaţiului de depozitare) să se poată defini elementele geometriei care trebuie obţinute prin prelucrare. Pe baza acestor calcule se pot defini elementele de structură, doagele cu elementele dimensionale şi de formă pentru stabilirea tehnologiei de prelucrare atât pe componente cât şi pe subansamble (manta şi funduri) care urmează a se constitui în produsul final printr-o asamblare a lor cu ajutorul cercurilor.

Cuvinte cheie: butoi din lemn, geometria formei, construcţie geometrică.

ELEMENTE GENERALE

Butoaiile din lemn au fost şi rămân principalele ambalaje din lemn pentru transportul şi stocarea lichidelor, ele îndeplinind următoarele condiţii esenţiale:

- substanţele care pot fi transferate de la lemnul din care este confecţionat butoiul către lichidul depozitat nu sunt toxice şi nu influenţează în mod negativ calitatea lichidului;
- sunt produse etanşe, asigurând pierderi minime în timpul transportului şi depozitării lichidelor;
- se manevrează uşor prin rostogolire;
- sunt bune izolatoare din punct de vedere termic, menţinând o temperatură aproximativ constantă a lichidelor pe durata depozitării;
- se prelucurează relativ uşor, din lemn - care este un material natural şi regenerabil;
- sunt relativ ieftine;
- la epuizarea duratei de utilizare nu ridică probleme de mediu - materialul lemnos înglobat putând fi utilizat ca sursă de energie termică – prin ardere sau la realizarea compozitelor cu structura de bază lignocelulozică.

Mult timp proiectarea butoaielor din lemn precum şi execuţia au avut la bază metode artizanale, meşteşugăreşti, nefiind luate în seama de industria de prelucrare a lemnului.

Prin evoluţia prelucrării mecanice a lemnului şi prin diversificarea dimensională şi de formă a butoaielor datorită creşterii cerinţei de piaţă ca urmare a dezvoltării producţiilor industriale de vin şi alte băuturi alcoolice s-a putut trece la „atragera” acestui produs în zona industrială.

Mult timp România a fost o importantă producătoare de butoaie de fag şi stejar pe care le-a exportat pe toate continentele, satisfăcând în acelaşi

Abstract:

The aim of this paper is to present a design methodology of the wooden barrel geometry, as an algorithm of successive calculations. Thus, starting from the required elements (volume, length, shape, maximum height of storage space), the user will be able to define the geometry which must be obtained by processing. Based on these calculations, one can define the structure, size and shape of the staves in order to establish the processing technology of both components and subassemblies (jacket and bottoms) which are to form the final product by their assembling using metal circles.

Key words: wooden barrel, shape geometry, geometric construction.

GENERAL ITEMS

Wooden barrels have been and still are the main wood packaging for transport and storage of liquids as they fulfill the following prerequisites:

- substances that can be transferred from the wood that the barrel is made of to the liquid stored are not toxic and not adversely affect the quality of the liquid;
- are waterproof, ensuring minimum losses during transportation and storage of liquids;
- are easy to handle by rolling;
- are good thermally insulated, while maintaining a fairly constant temperature of liquids in storage;
- are relatively easy to process from wood - which is a renewable and natural material;
- are relatively cheap;
- when their service life is exhausted they will not raise environmental issues - the embedded timber can be used as firewood, or chipped and used for lignocellulose composites.

For a long time, wooden barrels design and implementation has been based on handicraft methods and was not taken into account by the woodworking industry.

The evolution of mechanical wood processing and barrels diversification as form and dimensions because of growing market due to the development of industrial production of wine and other alcoholic beverages, was able to "attract" the barrels production in the industrial area.

For a long time, Romania was an important producer of beech and oak barrels exported to all continents, also satisfying the domestic market.

The emergence of vessels of glass, plastic or stainless steel resulted in considerably reducing the production of wooden barrels.

timp și piața internă.

Apariția vaselor din sticlă, plastic sau oțel inoxidabil a dus la reducerea simțitoare a producției de butoaie din lemn.

Trebuie spus că în România, în perioada de expansiune a producției, se ajunsese la standardizarea tipodimensională atât a butoaielor cât și a elementelor de structură (doagelor) așa încât era multă ordine în acest domeniu de la nivelul fabricilor de cherestea care produceau doage, până la nivelul fabricilor care realizau produsul final. Trebuie menționat că în România, s-au construit și au funcționat fabrici specializate exclusiv pe producția de butoaie din lemn cu tehnologii ingineresti bine puse la punct și cu fluxuri organizate științific.

După anul 1990 această industrie a avut o cădere rapidă în special ca urmare a creșterii spectaculoase a prețului doagelor care necesitau o debitare radială din lemn de cea mai bună calitate, în acest caz prețul butoaielor devenind mult prea mare în raport cu competitorii – plasticul, sticla și oțelul inoxidabil.

După mai bine de douăzeci de ani când omenirea se îndreaptă mai mult spre folosirea produselor realizate din materiale ecologice, producția de butoaie din lemn a început să-și revină odată cu creșterea cerințelor pieții, atât a celei interne cât și a celei externe, butoaiile din lemn în care este depozitat vinul sau băuturile spirtoase ocupând vădit interesul cramelor și depozitelor din restaurante, pensiuni etc., aducând un „iz” de revenire la produsele naturale, la frumusețea lor și la nostalgia ființei umane pentru vremurile mai simple, mai calde, mai liniștite și naturale, față de vremurile de azi scufundate în tumultul, dinamismul și stressul existențial.

Reapariția interesului pentru producția de butoaie din lemn s-a făcut în alte condiții față de acum douăzeci de ani și anume:

- producția a trecut de la o producție de serie mare sau de masă la o producție de serie mică sau de unicate;
- tendința de personalizare a formei, firmele utilizatoare încercând să-și impună o formă proprie (mai bombată, mai cilindrică etc.);
- folosirea altor specii pe lângă fag și stejar, și anume: salcâmul, frasinul, dudul;
- diversificarea tipodimensională și de formă care nu mai au legătură cu restricțiile standardelor.

GEOMETRIA BUTOAIELOR

Forma generală a butoaielor este a unui paraboloid de rotație (mantaua) prevăzut cu două elemente plane la capete (fundurile).

Legătura dintre cele două tipuri de elemente (manta și funduri) se realizează prin intermediul unor canale (șanțulețe) care poartă denumirea de gardină. Schema generală de realizarea a acestei legături și a etanșării este prezentată în Fig. 1.

Fig. 1.

Schema generală de constituire a unui butoi / General scheme for establishing a barrel (STAS 2684- 87):

1 - mantaua / jacket; 2 - fundul / bottom; 3 - cercul / circle.

It must be said that in Romania, in the period of expansion in production, both the barrel dimensions and different dimensions of structural elements (staves) were standardized, so there was much order in this area starting with the factories producing staves up to factories that were making the final product. It should be noted that in Romania were built and operated only specialized wood barrel factories, with fine-tuned engineering technology and scientifically organized technological flows.

After 1990 the industry had a rapid fall mainly due to dramatic price growth which required radial staves from best quality wood; in this case the barrel price became too high in relation to competitors - plastic, glass and stainless steel.

After more than twenty years when mankind is moving more towards using products made from organic materials, the production of wooden barrels began to recover at one time with increasing market requirements, both on domestic and foreign markets. Wood barrels for storing wine or spirits are again of interest, occupying cellars and warehouses in restaurants, hostels etc., bringing a “flavor” of return to natural products, to their beauty and to nostalgia of simpler times of being human, warmer, more quiet and natural, from the times of now days immersed in the tumult, dynamic and existential stress.

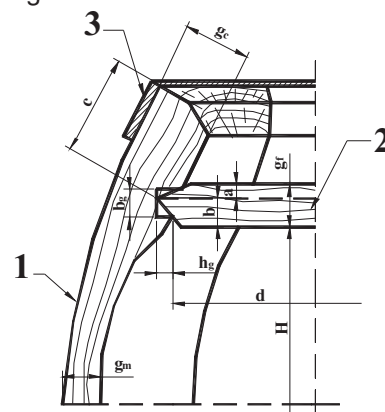
Recurrence of interest for the production of wooden barrels was motivated by other reasons than twenty years ago, namely:

- production has moved from a large series production or mass production to small series or unique;
- tendency to personalize shape, user firms trying to impose their own shape (more curved, more cylindrical etc.);
- using other species beside beech and oak, such as: locust, ash, mulberry tree;
- diversification of different dimensions and forms that have no restrictions imposed by standards.

BARREL GEOMETRY

The general form of the barrel is a paraboloid of rotation (jacket) with two planar elements at the ends (bottoms).

The relationship between the two types of items (jacket and bottoms) is made by means of grooves. The general scheme for achieving this link and sealing is shown in Fig. 1.



O caracteristică importantă a butoiului este volumul util precum și dimensiunile spațiului de depozitare sau de transport. Între aceste elemente și forma butoiului trebuie de asemenea să existe o legătură, care trebuie să aibă la bază elementele matematice de dependență, motiv pentru care proiectarea geometriei butoaielor are la bază un algoritm care conține atât elemente științifice cât și empirice, rezultate din experiența câpătată în timp (Cotta 1983).

Printre elementele empirice de care trebuie ținut cont sunt:

- $h_g = b_g$ - lățimea și adâncimea gardinei sunt egale – valori nete;
- $g_c = 1,3g_m$ - grosimea doagei în zona capătului este cu 30% mai mare decât în zona mantalei (valori nete);
- $g_f \cong g_c$ - grosimea fundului și a doagelor la capete sunt egale (valori nete);
- $b_g = (0,25 \div 0,3)g_m$;
- $g_b = g_c + 6 \div 8 \text{ mm}$ - grosimea brută a doagelor trebuie să fie mai mare cu 6 - 8 mm decât grosimea netă la capetele acestora;
- $a = \frac{1}{3}g_f$; $b = \frac{2}{3}g_f$ - elementele de teșire a

marginilor fundurilor trebuie să țină cont de aceste relații.

• $c = f(V)$ - mărimea distanței din centrul gardinei până la capătul doagei este în funcție de volumul butoiului;

- $V \leq 1001 \Rightarrow c = 20 \div 25$, [mm];
- $100 \leq V \leq 5001 \Rightarrow c = 25 \div 40$, [mm];
- $V > 5001 \Rightarrow c$ se calculează pe baza schemei prezentate în Fig. 2.

Important features of the barrel are its volume and dimensions, as well as the storage or transport space. Among these elements and the barrel form must also exist a connection, which must be based on the mathematical elements of addition, which is why design is based on barrel geometry algorithm that includes both scientific and empirical evidence, derived from experience gained in time (Cotta 1983).

Some empirical evidence to be taken into account are:

- $h_g = b_g$ - groove width and depth are equal - net value;
- $g_c = 1,3g_m$ - thickness of the stave in the end zone is 30% higher than in the jacket (net values);
- $g_f \cong g_c$ - thickness of the staves and bottom at ends are equal (net values);
- $b_g = (0,25 \div 0,3)g_m$;
- $g_b = g_c + 6 \div 8 \text{ mm}$ - gross thickness of the staves must be greater with 6 - 8 mm than net thick at their ends;

$$a = \frac{1}{3}g_f ; b = \frac{2}{3}g_f \text{ - edge chamfering}$$

elements bottoms must take account of these relationships;

• $c = f(V)$ - the size distance from groove center to the end of the stave is connected with barrel volume;

- $V \leq 1001 \Rightarrow c = 20 \div 25$, [mm];
- $100 \leq V \leq 5001 \Rightarrow c = 25 \div 40$, [mm];
- $V > 5001 \Rightarrow c$ is calculated based on the diagram in Fig. 2

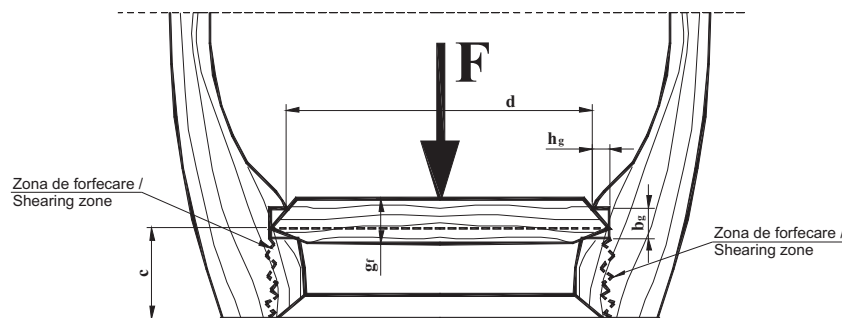


Fig. 2.

Schema de calcul a cotei „c” în funcție de volum / Scheme for calculating the size of „c” in terms of volume.

Pentru calculul cotei „c” se consideră butoiul așezat în poziție de depozitare sau transport când toată forța cu care acționează lichidul din butoi este preluată de fund și transmisă mantalei (Cismaru 2007, Fotin 2009).

În acest caz se poate scrie:

$$\tau_f = \frac{F}{S} = \frac{\rho \cdot V}{\pi(d + h_g)c} \leq \tau_{af_{long.tg.}} \quad (1)$$

Prin explicitare se poate scrie :

$$c \leq \frac{\rho \cdot V}{\pi(d + h_g)\tau_{af_{long.tg.}}} \quad (2)$$

To calculate the rate "c" the barrel is considered to be placed in storage or transport position, when the whole force acting upon the fluid from the barrel bottom is taken and passed to the jacket (Cismaru 2007, Fotin 2009).

In this case one can write:

$$\tau_f = \frac{F}{S} = \frac{\rho \cdot V}{\pi(d + h_g)c} \leq \tau_{af_{long.tg.}} \quad (1)$$

There results:

$$c \leq \frac{\rho \cdot V}{\pi(d + h_g)\tau_{af_{long.tg.}}} \quad (2)$$

Pentru simplificare și pentru a se realiza un calcul acoperitor se folosește în mod curent relația:

$$c \leq \frac{\rho \cdot V}{\pi \cdot d \cdot \tau_{af_{long, tg}}} \quad [\text{mm}] \quad (2')$$

unde:

ρ - este densitatea lichidului;

V - volumul lichidului din butoiul plin;

d - diametrul interior minim (la capete) al butoiului;

$\tau_{af_{long, tg}}$ - rezistența admisibilă la forfecare a doagelor – după direcție longitudinală – în plan tangențial – în funcție de specia lemnoasă.

Valoarea rezultată cu relația (2') se rotunjește la valoarea întreagă, în mm, imediat superioară.

Stabilirea elementelor geometrice ale butoaielor se realizează diferențiat pentru manta și funduri.

GEOMETRIA MANTALEI

Pentru definirea elementelor geometrice ale mantalei și implicit a dimensiunilor nete și brute ale doagelor de la manta (care se impun atât pentru execuția doagelor brute cât și pentru prelucrarea lor la forma finală) se pornește de la datele obligatorii pe care trebuie să le îndeplinească un butoi și anume:

- volumul exprimat în l sau dm^3 ;
- distanța dintre funduri (lungimea butoiului) H ;

- coeficientul de formă $c_f \leq \frac{D}{d}$, ca raport al dia-

metrelor care asigură forma butoiului (mai cilindrică sau mai bombată).

Cum toate aceste elemente sunt dependente, rezultă un sistem de ecuații de forma:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bullet V = \pi \cdot H \cdot \left(\frac{2D+d}{6} \right)^2 - \text{valoare impusă;} \\ \bullet H - \text{valoare impusă în funcție de condițiile spațiilor de depozitare sau de transport;} \\ \bullet c_f = \frac{D}{d} - \text{valoare impusă, cuprinsă în general între } 1,1 \div 1,5. \end{array} \right.$$

Acest coeficient de formă se poate stabili și ulterior printr-o analiză a formelor ce rezultă și care pentru elementele date H și V se va alege reluându-se calculul.

Din rezolvarea sistemului format din ecuațiile (1) și (3), rezultă valorile celor două diametre D și d , care se rotunjesc la valorile întregi în mm imediat inferioare (din condiții de depozitare).

• **Grosimea brută a doagelor de manta** se alege din STAS 2159–89 și STAS 2684-87 în funcție de volum. Pentru volume mai mari decât cele prevăzute de standarde, se calculează cu relația:

$$\frac{g_{b(200l)}}{200} = \frac{g_{bx}}{V_x} \Rightarrow g_{bx} = g_{b200} \cdot \frac{V_x}{200}, \text{ pentru fag } (3)$$

$$\frac{g_{b(900l)}}{900} = \frac{g_{bx}}{V_x} \Rightarrow g_{bx} = g_{b900} \cdot \frac{V_x}{900}, \text{ pentru stejar } (3')$$

Valoarea g_{bx} rezultată prin calcul se rotunjește la valoarea imediat superioară în mm.

For simplicity and to make a covering calculation is the following relationship can be used:

$$c \leq \frac{\rho \cdot V}{\pi \cdot d \cdot \tau_{af_{long, tg}}} \quad [\text{mm}] \quad (2')$$

where:

ρ - is the density of liquid;

V - volume of liquid in the full barrel;

d - the minimum inner diameter (at the heads) of the barrel;

$\tau_{af_{long, tg}}$ - allowable shear strength of the staves - in longitudinal direction – in tangential plane - depending on wood species.

The resulting value according to relation (2') is rounded-up to the closest integer value, in mm.

Establishing the geometry of the barrel elements is done differently for the jacket and bottoms.

JACKET GEOMETRY

To define the geometry of the jacket and hence the net and gross dimensions of the jacket staves (which are binding for the execution and processing of the raw staves to their final shape) is based upon the data required to be met by a barrel, namely:

- the volume in liters or dm^3 ;
- distance between the bottoms (barrel length) H ;

- shape factor $c_f \leq \frac{D}{d}$ as the ratio of diameters

providing the barrel form (more cylindrical or more curved).

As all these elements are dependent, the following system of equations results:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bullet V = \pi \cdot H \cdot \left(\frac{2D+d}{6} \right)^2 - \text{imposed value;} \\ \bullet H - \text{imposed value according to the conditions of storage or transportation facilities;} \\ \bullet c_f = \frac{D}{d} - \text{imposed value, generally ranging between } 1,1 \div 1,5. \end{array} \right.$$

This shape factor may be also established later, through an analysis of the resulting shapes and which for given H and V will be chosen by resuming the calculation.

The system consists of solving equations (1) and (3), wherefrom the values of the two diameters D and d result and are rounded-down to the closest integer values, in mm (in terms of storage).

Gross thickness of the jacket staves is chosen from STAS 2159–89 și STAS 2684-87 depending on volume. For volumes greater than those indicated by the standards, it is calculated with:

$$\frac{g_{b(200l)}}{200} = \frac{g_{bx}}{V_x} \Rightarrow g_{bx} = g_{b200} \cdot \frac{V_x}{200}, \text{ for beech } (3)$$

$$\frac{g_{b(900l)}}{900} = \frac{g_{bx}}{V_x} \Rightarrow g_{bx} = g_{b900} \cdot \frac{V_x}{900}, \text{ for oak } (3')$$

Value g_{bx} resulting from the calculation is rounded to the next higher value, in mm.

Astfel, grosimea brută a doagelor (vezi STAS 2684-87 și STAS 2159-89) poate duce la definirea grosimilor nete de capac și manta, care trebuie realizate în prelucrare. Schema de calcul a dimensiunilor nete este prezentată în Fig. 3.

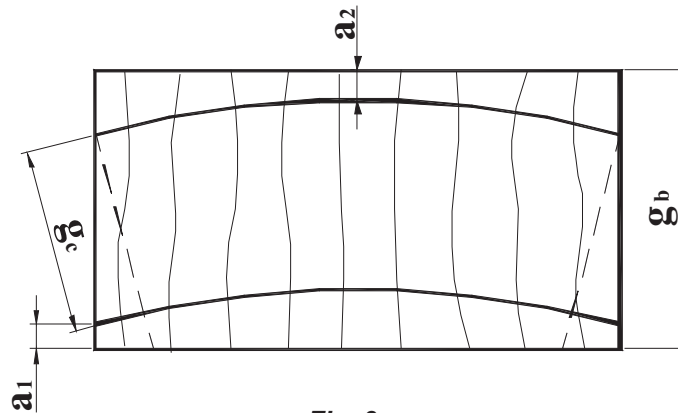


Fig. 3.

Schema de calcul a grosimilor nete / Scheme for calculating the net thickness
(Cismaru 2007, Fotin 2009).

$$g_b = g_c + a_1 + a_2 \cong g_c + (8 \div 10) \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

Ținând cont de relațiile empirice prezentate la în-

ceput rezultă grosimea mantalei: $g_m = \frac{g_c}{1,3}$.

Grosimile nete rezultate din calcul se rotunjesc la valorile în mm imediat superioare.

• **Lățimea brută a doagelor de manta** se alege din standard (vezi STAS 1648-79, STAS 2684-87 și STAS 2159-89) în funcție de posibilitățile de prelucrare tehnologică (lățimea frezelor, a dispozitivelor de curbat, a etuvelor de tratare termică etc.). Calculul lățimilor nete ale doagelor ce trebuie obținute după prelucrare se face pe baza schemei din Fig. 4.

Thus, the gross thickness of the staves (STAS 2684-87 and STAS 2159-89) makes it possible to define the net thickness of the cover and jacket which must be achieved. The scheme for calculating the net dimensions is shown in Fig.3.

$$g_b = g_c + a_1 + a_2 \cong g_c + (8 \div 10) \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

Given the empirical relationship in the beginning,

the thickness of the jacket will be: $g_m = \frac{g_c}{1,3}$.

The net thickness resulted is rounded-up to the next higher value, in mm.

• **Gross width of the jacket staves** is elected from standards (see STAS 1648-79, STAS 2684-87 and STAS 2159-89), depending on the processing capability (milling width, bending devices, the ovens used for the thermal treatment etc.). The calculation of the net stave widths to be obtained after processing is based on scheme in Fig. 4.

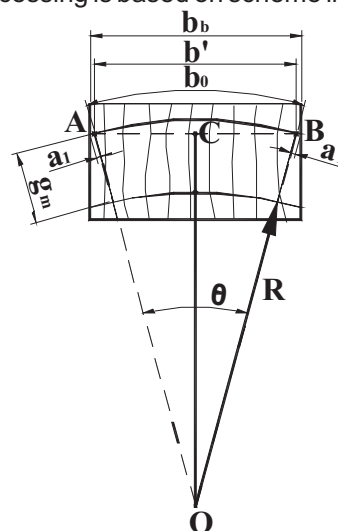


Fig. 4.

Schema de calcul a lățimii doagelor / Scheme for calculating the staves width
(Cismaru 2007, Fotin 2009).

Din analiza schemei de calcul din Fig. 4 rezultă:

$$b' = b_b - 2a_1 = b_b - (8 \div 10) \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

în care: b_b - este lățimea brută aleasă din standard;

b' - este lățimea netă proiectată în plan.

Lățimea reală a doagei după prelucrare după arc de cerc, este b_0 (între punctele A și B).

Calculul lățimii b_0 trebuie să se facă în secțiunea diametrului maxim (rezultând astfel valoarea

By analysing the calculation scheme in Fig. 4, follows:

$$b' = b_b - 2a_1 = b_b - (8 \div 10) \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

where: b_b - is the gross width, chosen from the standard;

b' - net width, projected in the plane.

The real stave width after processing by arc circle is b_0 (between points A and B).

maximă înainte de a fi adusă la forma fusiformă) (Cismaru 2007, Fotin 2009).

Valoarea b' este cea disponibilă și posibil a se obține de la valoarea aleasă b_b .

În secțiunea diametrului maxim al butoiului, grosimea netă a doagelor este egală cu g_m .

Dacă se face aproximarea $b' = b_0$, atunci se poate scrie relația:

$$b_0 = b' = 2(R + g_m) \sin \frac{\theta}{2} \quad (6)$$

în care, unghiul la centru θ , corespunzător unei doage este necunoscut.

Prin rearanjarea relației (6) se poate scrie:

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{b'}{2(R + g_m)} \quad (6')$$

sau

$$\theta = 2 \arcsin \left[\frac{b'}{2(R + g_m)} \right] \quad (6'')$$

În aceste condiții se poate defini unghiul la centru corespunzător unei doage.

Cu valoarea calculată a unghiului la centru se poate calcula valoarea lățimii nete a doagei (după arcul de cerc).

$$b_0 = (R + g_m) \cdot \theta \quad (7)$$

în care θ se exprimă în radiani.

Valoarea b_0 rezultată în calcul se rotunjește la valoarea întreagă în mm imediat inferioară.

•**Numărul de doage de manta** se definește astfel pe baza schemei din Fig. 5.

Fig. 5.
Schema de calcul a numărului de doage /
Scheme for calculating the number of staves.

Din analiza schemei din Fig. 5 rezultă:

$$\pi \cdot (D + 2g_m) = Z \cdot b_0 \quad (8)$$

în care, Z este numărul de doage.

După explicitare rezultă:

$$Z = \frac{\pi \cdot (D + 2g_m)}{b_0} \quad (8')$$

Valoarea rezultată se rotunjește la valoarea întreagă " Z_i " cea mai apropiată (Cismaru 2007, Fotin 2009).

În aceste condiții prin rotunjirea numărului de doage la valoarea întreagă trebuie efectuată o corectare a dimensiunilor dependente (D , g_m sau b_0).

The calculation of width b_0 should be done in maximum diameter section (resulting in maximum value before being brought to the spindle shape) (Cismaru 2007, Fotin 2009).

The value b' is available and possible to be obtained from the selected value b_b .

The maximum diameter of the barrel section, the net thickness of the staves is equal to g_m .

If the approximation $b' = b_0$, is done, then one can write the relationship:

$$b_0 = b' = 2(R + g_m) \sin \frac{\theta}{2} \quad (6)$$

where the angle at the center θ , corresponding to one stave is unknown.

By rearranging the relation (6), there results:

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{b'}{2(R + g_m)} \quad (6')$$

or,

$$\theta = 2 \arcsin \left[\frac{b'}{2(R + g_m)} \right] \quad (6'')$$

In these conditions, one can define the angle corresponding to a stave center.

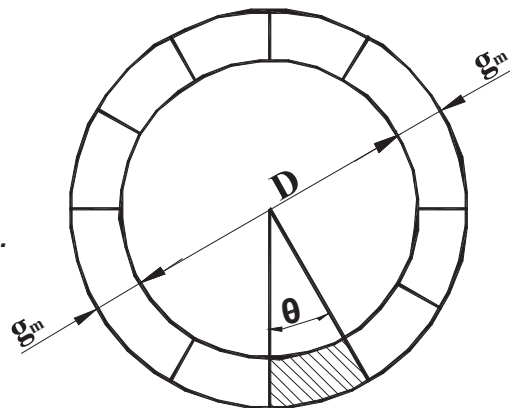
With calculated value of the angle at the center can be calculate the net width of the stave (after arc of circle).

$$b_0 = (R + g_m) \cdot \theta \quad (7)$$

where θ is expressed in radians.

Resulting b_0 value is rounded-down to the next integer value. in mm.

•**The number of staves on the jacket** is defined as suggested in Fig. 5.



The analysis suggested in Fig. 5 shows:

$$\pi \cdot (D + 2g_m) = Z \cdot b_0 \quad (8)$$

where Z is the number of staves.

Thus,

$$Z = \frac{\pi \cdot (D + 2g_m)}{b_0} \quad (8')$$

The resulting value is rounded to the closest integer value " Z_i " (Cismaru, 2007, Fotin 2009).

Under these conditions by rounding the number of staves at integer value, a correction should be made, depending on the size (D , g_m sau b_0).

Considering that the jacket thickness g_m and width

Cum grosimea de manta g_m și lățimea b_0 sunt dependente de doagele STAS înseamnă că singurul element ce poate fi recalculat este:

$$D = \frac{b_0 \cdot Z_i}{\pi} - 2g_m \quad (9)$$

În cazul în care se lucrează cu doage nestandardizate atunci se pot recalcula lățimea doagei sau grosimea ei, celelalte rămânând cele obținute prin calcule anterioare.

•**Lungimea brută a doagelor de manta** se calculează pe baza schemei din Fig. 6.

Fig. 6.
Schema de calcul a lungimii doagelor /
Scheme for calculating the length of staves.

$L = (R_0 + g_m)\alpha + 2c$ (10)
în care: R_0 este raza de curbura a parabolei generatoare de rotație care se calculează cu relația (11) (Cotta 1983):

$$R_0 = \frac{4}{2(R-r)} \quad (11)$$

unde $R = \frac{D}{2}$; $r = \frac{d}{2}$;

α - unghiul la centru al arcului de parabolă care se calculează din analiza triunghiului ΔOAC de unde rezultă:

$$\overline{AC} = \frac{H}{2} R_0 \sin \frac{\theta}{2} \quad (12)$$

După rearanjarea ecuației rezultă:

$$\theta = 2 \arcsin \frac{H}{2R_0} \quad (12')$$

În aceste condiții se poate calcula lungimea netă a doagei, ceilalți termeni ai ecuației fiind aleși sau calculați anterior.

Valoarea lungimii brute a doagelor de manta se calculează cu relația:

$$L_b = L + (80 \div 100) \text{ [mm]} \quad (13)$$

Adaosul de 80÷100mm, este necesar datorită defectelor ce pot apare la curbare și uscare a doagelor curbate.

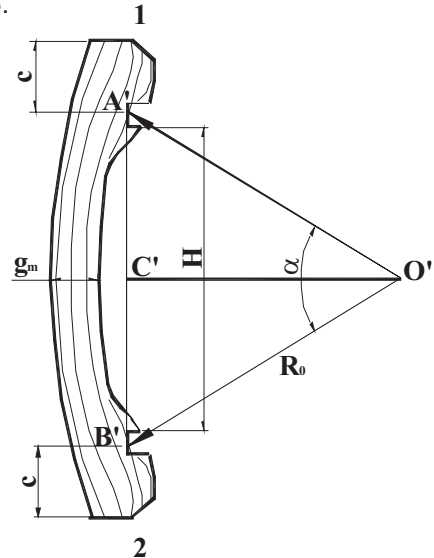
După definirea elementelor geometrice ale butoiului (D, d) și a grosimii finale a doagelor de manta g_m precum și a razei de curbura a parabolei de rotație se poate trece la realizarea schiței butoiului (Fig. 7).

b_0 are dependent on standard staves, it means that the only element that can be recalculated is:

$$D = \frac{b_0 \cdot Z_i}{\pi} - 2g_m \quad (9)$$

When working with non-standard staves, then the width of the staves or its thickness can be recalculated, the other remaining as obtained by previous calculations.

•**Gross length of the jacket staves** is calculated in Fig. 6.



$$L = (R_0 + g_m)\alpha + 2c \quad (10)$$

where: R_0 is the radius of curvature of the parabola which generates the rotation, calculated with relation (11) (Cotta 1983):

$$R_0 = \frac{4}{2(R-r)} \quad (11)$$

where, $R = \frac{D}{2}$; $r = \frac{d}{2}$;

α - the angle from the center of the arc of a parabola which is calculated from analysing triangle ΔOAC . Hence:

$$\overline{AC} = \frac{H}{2} R_0 \sin \frac{\theta}{2} \quad (12)$$

After rearranging the resulting equation:

$$\theta = 2 \arcsin \frac{H}{2R_0} \quad (12')$$

In these conditions we can calculate the net length of staves, the other terms of equation being chosen or calculated previously.

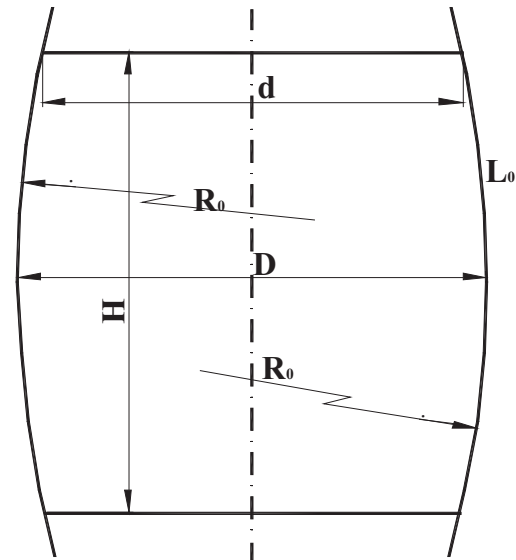
The gross value of the jacket staves length is calculated with:

$$L_b = L + (80 \div 100) \text{ [mm]} \quad (13)$$

Addition of 80÷100mm is necessary because of defects which may occur in bending and drying of the curved staves.

After defining the geometry of the barrel (D, d) and final thickness of the jacket staves g_m and the radius of curvature of the parabola of rotation, one can move on to draw the barrel sketch (Fig. 7).

Fig. 7.
Schița butoiului /
Schematic representation of the barrel.



În Tabelele 1 și 2 se prezintă dimensiunile nominale ale doagelor de manta pentru butoaie de fag și stejar (conform STAS 2159-89 și STAS 2684-87).

Tables 1 and 2 present the nominal dimensions of the jacket staves for beech and oak barrels (according to STAS 2159-89 and STAS 2684-87).

Tabelul 1 / Table 1

Dimensiuni nominale ale doagelor componente pentru butoaie de fag/
Nominal dimensions of staves for beech barrels

Capacitate a nominală a butoiului/ Nominal capacity of the barrel, dm ³	Doage brute de manta/ Gross cloak staves			Doage brute de fund/ Gross bottom staves			
	Lungime / Length	Lățime/ Width	Grosime / Thickness	Lungime/ Length		Lățime/ Width	Grosime/ Thickness
				Doage de mijloc/ Middle Staves	Doage laterale/ Side Staves		
30	450	50... 130, din/from 10 în/to 10	20; 25	400	400	70 ... 150, din/from 10 în/to 10	20; 25
50	600	60 ... 130, din/from 10 în/to 10	20; 25	400	400		20; 25
100 variant 1	750		25	500	450		25
100 variant 2	850		25	450	450		25
200 variant 1	800		25	650	550		25
200 variant 2	950		25	600	550		25

OBSERVAȚIE – Dimensiunile din tabel corespund lemnului cu umiditatea de 18%; pentru umidități mai mari, dimensiunile trebuie să fie majorate conform STAS 6548-73

NOTE - The dimensions in the table correspond to the wood with 18% moisture content; for higher moisture contents, the dimensions must be increased according to STAS 6548-73

GEOMETRIA FUNDURILOR DE BUTOI

În general pentru realizarea fundurilor de butoi se utilizează tot doage de manta care s-a constatat că prezintă defecte și pot fi valorificate pentru realizarea fundurilor, după eliminarea defectelor.

În aceste condiții se cunosc:

•Grosimea brută a doagelor de fund ca fiind aceeași cu a celor de manta.

Grosimea netă va fi astfel stabilită ca fiind:

$$g_f = g_b - (8 \div 10) \quad [\text{mm}] \quad (14)$$

BARREL BOTTOM GEOMETRY

To achieve the barrel bottoms, the same staves as in the case of the jacket are used, which were found to have defects and can be exploited to achieve the bottoms, after the elimination of defects.

In these circumstances, the following are known:

•Gross thickness of the bottom staves is same as of the jacket staves.

Thus, net thickness is determined as:

$$g_f = g_b - (8 \div 10) \quad [\text{mm}] \quad (14)$$

**Dimensiuni nominale ale doagelor componente pentru butoaie de stejar/
Nominal dimensions of staves for oak barrels**

Mărimea butoiului/ Size of wooden barrel	Capacitatea nominală a butoiului, litri / Nominal capacity barrel, liters	Doage de manta / Cloak staves				Doage de fund / Bottom staves	
		Lungime, / Length	Lăţime, / Width min.	Grosime / Thickness		Lăţime / Width min.	Grosime / Thickness g_3
				la capăt/ at the end g_1	la mijloc/ in the middle g_2		
1	50	560	45	18	18	50	17
2	75	610	45	18	18	50	17
3	100	655	50	20	20	50	20
4	150	765	50	20	20	50	20
5	200	815	60	22	20	50	22
6	250	860	60	30	25	50	25
7	300	905	60	33	27	50	25
8	350	970	60	33	27	50	30
9	400	1015	60	33	27	60	30
10	450	1040	60	33	27	60	30
11	500	1095	60	36	27	60	35
12	550	1135	60	36	27	60	35
13	600	1175	60	36	27	60	35
14	700	1220	60	40	30	60	40
15	800	1270	60	40	30	60	40
16	900	1310	60	40	30	60	40

OBSERVAȚIE - Grosimea la mijloc a doagelor de manta, la butoaiele de 100 litri și 150 litri, cu acordul părților, poate fi redusă la 17 mm, respectiv 19 mm pentru butoaiele de 200 litri.

NOTE - The thickness of the jacket middle staves - the barrels of 100 liters and 150 liters, with the agreement of the parties, can be reduced to 17 mm, or 19 mm to 200-liter barrels.

•Lăţimea brută a doagelor de fund ca fiind aceeaşi cu a celor de manta.

Lăţimea netă va fi astfel stabilită ca fiind:

$$b_f = b_b - (8 \div 10) \quad [\text{mm}] \quad (15)$$

Numărul doagelor de fund rezultă pe baza schemei din Fig. 8a sau 8b.

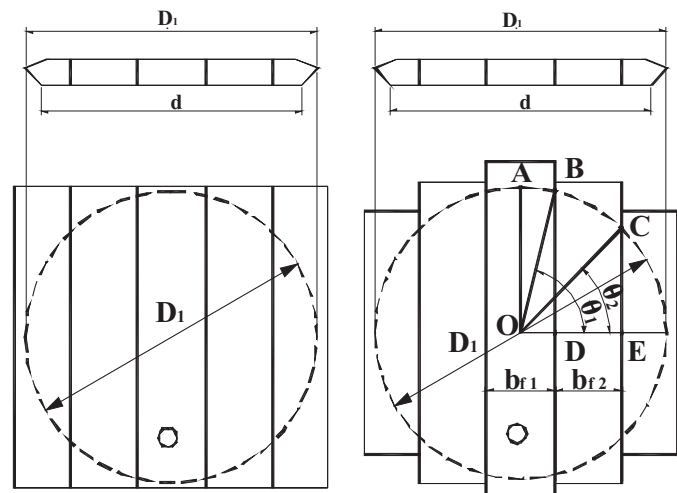
•Gross width of the bottom staves is same as of the jacket ones.

Thus net width is determined as:

$$b_f = b_b - (8 \div 10) \quad [\text{mm}] \quad (15)$$

The number of bottom staves results from the scheme in Fig. 8a or 8b.

Fig. 8.
Schema de calcul a numărului și lungimii doagelor de fund /
Scheme for calculating the number and length of bottom staves:
a – lungimi egale (Cotta 1983); b – lungimi inegale (Cismaru 2007, Fotin 2009).



Din analiza elementelor prezentate în Fig. 8 rezultă:

$$D_1 = d + 2h_g \quad [\text{mm}] \quad (16)$$

$$Z_f = \frac{D_1}{b_f} \quad (17)$$

În acest caz Z_f se rotunjește la valoarea imediat superioară de număr întreg impar având în vedere că orificiul de golire trebuie practicat într-o doagă și nu la limita lor de separație, altfel la baterie, caneaua poate duce la pierderea etanșeității.

•Lungimea doagelor de fund se calculează pe schema din Fig. 8 astfel:

□pentru doage cu lungimi egale (Fig. 8a) rezultă:

$$l_f = D_1 \quad [\text{mm}] - \text{lungimea netă} \quad (18)$$

$$l_{bf} = D_1 + (60 \div 80) \quad [\text{mm}] - \text{lungimea brută} \quad (19)$$

□pentru doage cu lungimi inegale (Fig. 8b) rezultă:

◆doaga centrală are lungimea netă și cea brută calculabile cu relațiile:

$$l_{f1} = D_1 = d + 2h_g \quad [\text{mm}] - \text{lungimea netă} \quad (20)$$

$$l_{bf1} = l_{f1} + (60 \div 80) \quad [\text{mm}] - \text{lungimea brută} \quad (21)$$

◆doaga alăturată celei centrale are lungimea netă egală cu segmentul BD , calculabil din triunghiul $\triangle OBD$ cu relația:

$$l_{f2} = 2OB \cdot \sin \theta_1 = 2R_1 \sin \theta_1 = D_1 \sin \theta_1 \text{ sau } \frac{b_f}{2} = R_1 \cos \theta_1 \quad (22)$$

Unghiul θ se calculează din același triunghi pe baza relației:

$$OD = OB \cos \theta_1 \text{ sau } \frac{b_f}{2} = R_1 \cos \theta_1 \text{ de unde rezultă} \quad (23)$$

$$\theta_1 = \arccos \left(\frac{b_f}{2R_1} \right) = \arccos \left(\frac{b_f}{D_1} \right), \text{ unde} \quad (24)$$

b_f este lățimea netă a doagelor de fund,

$$\text{iar } R_1 = \frac{D_1}{2} \quad (25)$$

În acest caz rezultă:

$$l_{f2} = D_1 \sin \left[\arccos \left(\frac{b_f}{D_1} \right) \right] \quad (26)$$

iar lungimea brută va fi:

$$l_{bf2} = l_{f2} + (60 \div 80) \quad [\text{mm}] \quad (27)$$

◆doaga imediat alăturată se calculează pe baza elementelor din triunghiul $\triangle OCE$ similar cu cazul anterior când rezultă că lungimea netă a acesteia va fi:

$$l_{f3} = D_1 \sin \left[\arccos \left(\frac{3b_f}{2R_1} \right) \right] \quad (28)$$

iar lungimea brută va fi:

$$l_{bf3} = l_{f3} + (60 \div 80) \quad [\text{mm}] \quad (29)$$

În mod asemănător se vor calcula și celelalte doage (prin scheme similare) atunci când numărul lor este mai mare de 5.

Dimensiunile nominale ale doagelor de fund pentru butoaie de fag și stejar (conform STAS 2159-89 și STAS 2684-87) sunt prezentate în Tabelele 1 și 2.

•Unghiurile de teșire ale fundului de butoi se determină printr-o metodă grafo-analitică folosind următoarea succesiune de operații în urma cărora rezultă schema din Fig. 9:

The analysis of the elements shown in Fig. 8 leads to:

$$D_1 = d + 2h_g \quad [\text{mm}] \quad (16)$$

$$Z_f = \frac{D_1}{b_f} \quad (17)$$

In this case the value Z_f is rounded-up to the next integer odd number, considering that the drain hole should be practiced in a stave and not to their limit separation, otherwise at the batter, the faucet can lead to loss of tightness.

•Bottom staves length is calculated on the diagram in Fig. 8 as follows:

□for staves with equal length (Fig. 8a) follows:

$$l_f = D_1 \quad [\text{mm}] - \text{net length} \quad (18)$$

$$l_{bf} = D_1 + (60 \div 80) \quad [\text{mm}] - \text{gross length} \quad (19)$$

□for staves with unequal length (Fig. 8b) follows:

◆the gross and net length of the central stave is calculated by:

$$l_{f1} = D_1 = d + 2h_g \quad [\text{mm}] - \text{net length} \quad (20)$$

$$l_{bf1} = l_{f1} + (60 \div 80) \quad [\text{mm}] - \text{gross length} \quad (21)$$

◆the next stave central segment has a length equal to the segment BD , calculated from the triangle $\triangle OBD$ by:

$$l_{f2} = 2OB \cdot \sin \theta_1 = 2R_1 \sin \theta_1 = D_1 \sin \theta_1 \text{ or } \frac{b_f}{2} = R_1 \cos \theta_1 \quad (22)$$

Angle θ is calculated based on the same triangle relation:

$$OD = OB \cos \theta_1 \text{ or } \frac{b_f}{2} = R_1 \cos \theta_1 \text{ hence} \quad (23)$$

$$\theta_1 = \arccos \left(\frac{b_f}{2R_1} \right) = \arccos \left(\frac{b_f}{D_1} \right), \text{ where} \quad (24)$$

b_f is the net width of the bottom staves,

$$\text{and } R_1 = \frac{D_1}{2} \quad (25)$$

In this case we have:

$$l_{f2} = D_1 \sin \left[\arccos \left(\frac{b_f}{D_1} \right) \right] \quad (26)$$

The gross length will be:

$$l_{bf2} = l_{f2} + (60 \div 80) \quad [\text{mm}] \quad (27)$$

◆the immediately adjacent stave is calculated from triangle $\triangle OCE$ similar to the previous case where it appears that the net length will be:

$$l_{f3} = D_1 \sin \left[\arccos \left(\frac{3b_f}{2R_1} \right) \right] \quad (28)$$

The gross length will be:

$$l_{bf3} = l_{f3} + (60 \div 80) \quad [\text{mm}] \quad (29)$$

Similarly, the other staves will be calculated, when their number is greater than 5.

The net dimensions of the bottom staves for beech and oak barrels (according to STAS 2159-89 and STAS 2684-87) are presented in Tables 1 and 2.

•The chamfering angle of the barrel bottom is determined by a graphic-analytical method using the following sequence of operations resulting from Fig. 9:

□plot a circle with a radius:

$$R_1 = r + h_g = \frac{d}{2} + h_g \quad [\text{mm}] \quad (30)$$

□is equivalent to one $R_i = 5u$ where "u" is a

□se trasează un cerc cu raza:

$$R_1 = r + h_g = \frac{d}{2} + h_g \quad [\text{mm}] \quad (30)$$

□se echivalează $R_1 = 5u$, unde „ u ” este o unitate dimensională

□se calculează:

$$x_1 = 2u \quad \text{și} \quad x_2 = 3u \quad (31)$$

□la distanța x_2 de centrul cercului se duce secanta AB .

□la distanțele a și b de secantă se duc două paralele:

$$a = \frac{1}{3} g_f \quad \text{și} \quad b = \frac{2}{3} g_f \quad (32)$$

unde g_f este grosimea netă a doagelor de fund.

□rezultă punctele C, D , și E, F .

□se unesc punctele A cu C și B cu D și rezultă unghiul de teșire β_1 , care se măsoară ca atare.

□se unesc punctele O cu A și O cu B și rezultă unghiul de teșire β_2 , care se măsoară ca atare.

Fig. 9.

Schema de calcul a unghiurilor de teșire ale fundului de butoi / Scheme for calculating the angles of the bottom barrel chamfering (Cotta 1983).

Unghiurile β_1 și β_2 sunt necesare de cunoscut fiindcă ele stau la baza proiectării, execuției și folosirii sculelor cu care se execută teșirea marginilor fundurilor de butoi.

CONCLUZII

Prin folosirea metodologiei de stabilire a elementelor geometrice, prezentată în lucrare se crează condițiile corectitudinii proiectării și fabricării butoaielor pentru că:

- se poate crea un soft de calculator cu ajutorul căruia se pot defini elementele dimensionale ale doagelor de manta și fund ale butoiului precum și forma generală a butoiului asupra căreia se poate interveni, corecta și stabili în discuții directe cu beneficiarul (cu alegerea altui coeficient de formă);

- datele de intrare, în special volumul solicitat de beneficiar, rămân aproximativ constante (cu mici oscilații atunci când se recalculează diametrul în secțiunea maximă D , prin rotunjirea la valoare întreagă a numărului de doage);

- se stabilesc rapid dimensiunile nete în funcție de dimensiunile brute ale doagelor standardizate, devenind astfel posibilă în acest caz organizarea producerii doagelor conform STAS în societățile producătoare specializate;

- este posibilă și folosirea unei metode de definire a dimensiunilor doagelor brute nestandardizate, prin impunerea lăților și grosimilor nete, în acest caz execuția doagelor va constitui comandă specială;

dimensional unit

□is calculated:

$$x_1 = 2u \quad \text{and} \quad x_2 = 3u \quad (31)$$

□a distance from the center of the circle x_2 goes secant AB .

□ a and b distances of two parallel secant go:

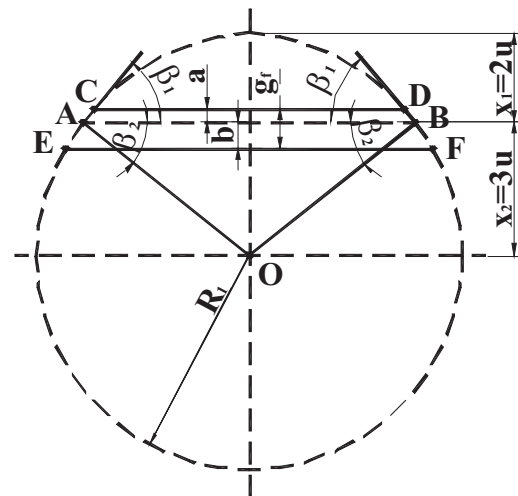
$$a = \frac{1}{3} g_f \quad \text{and} \quad b = \frac{2}{3} g_f \quad (32)$$

where g_f is the thickness of the staves bottom net

□resulting in points C, D and E, F .

□a merge point A to C and B with D and results chamfering angle β_1 , measured as such.

□a merge point O to A and A with B and results chamfering angle β_2 , measured as such.



The angles β_1 and β_2 are necessary to be known because they underlie the implementation and use of design tools with chamfering edges running bottoms of barrels.

CONCLUSIONS

By using the methodology for determining the geometry presented in the paper creates the conditions for the correctness of the design and manufacture barrels, that:

- can create a computer software with which you can define the dimensions of the jacket and bottom staves of the barrel and the overall shape of the barrel over which we can intervene, correct, and determine direct talks with the customer (with the choice of another factor form);

- input data, particularly the amount requested by the customer, remain approximately constant (with small oscillations when recalculated maximum diameter in section D , by rounding to integer number of staves);

- net size is quickly established on the basis of gross size standard staves, which makes it possible in this case to organize the staves production accordingly in specialized companies;

- it is possible to use a method of defining the gross non-standard size tubs by imposing net width and thickness, in this case execution will be special order tubs;

- by calculating the elements by this methodology

•prin calculul elementelor prin această metodologie se asigură rezistența în exploatare a butoaielor atât pentru faza de manipulare și transport cât și pentru faza de depozitare staționară.

În aceste condiții se impune ca activitatea de proiectare a geometriei butoaielor și a elementelor de structură – a doagelor – să se poată realiza rapid în așa fel încât beneficiarul să decidă asupra variantei pe care o dorește.

Pe baza algoritmului de proiectare și calcul, se poate crea un soft cu ajutorul căruia toate elementele dimensionale, precum și forma generală

shall ensure strength for both the operation of the drum handling and transport and storage for stationary phase.

In these circumstances it is essential that the design of geometry and its structural elements - the staves - can be achieved quickly so that the beneficiary may decide which version he wants.

Based on design and calculation algorithm, one can create a software with which all dimensional elements and the overall shape of the barrel can be quickly translated into graphics.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

COTTA, L.N (1983). Proiectarea și tehnologia fabricării produselor industriale din lemn (Design and Manufacturing Technology of Industrial Wood Products). Editura Didactică și Pedagogică, București.

CISMARU, I. (2007). Proiectarea și fabricarea produselor finite din lemn (Design and Manufacturing of Finished Wood Products). Course Notes, TRANSILVANIA University of Brașov.

FOTIN, A. (2009). Proiectarea și fabricarea produselor finite din lemn, (Design and Manufacturing of Finished Wood Products). Course Notes, TRANSILVANIA University of Brașov.

*** STAS 2684-87. Butoaie de stejar pentru vin și băuturi distilate./ Oak Barrels for Wine and Distilled Beverages.

*** STAS 2159-89. Lemn ecarisat pentru doage de fag / Beech Sawn Timber for Staves.

*** STAS 1648-79. Butoaie de fag pentru uz general / Beech Barrels for General Use.

CSCC 2011



**Corfu Island, Greece, 15th WSEAS CSCC Multiconference, July 14-17, 2011
(Sponsored and Supported by Università degli Studi di Genova, Italy
and Technical Univ. of Sofia, Bulgaria)**

The ISI Web of Knowledge updated its data base and has included all the WSEAS Conference books and CDs until now.

Conference website: www.wseas.org