

**CALCULUL DE PROIECTARE PENTRU
CERCURILE DE REZISTENȚĂ ALE
BUTOAIELOR DIN LEMN**

**DESIGN AND CALCULATION OF THE
RESISTANCE CIRCLES FOR WOODEN
BARRELS**

Adriana FOTIN

Șef lucr. dr. ing. – TRANSILVANIA University in Brașov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 500036 Brașov, România
E-mail: adrianafotin@unitbv.ro

Ivan CISMARU

Prof.dr.ing. – TRANSILVANIA University in Brașov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 500036 Brașov, România
E-mail: icismaru@unitbv.ro

Rezumat:

Lucrarea își propune să prezinte o metodologie de proiectare a cercurilor butoaielor, folosind calculele de rezistență adecvate în care să se aibă în vedere asigurarea etanșeității butoaielor simultan cu păstrarea integrității materialului lemnos înglobat în doagele din structura butoiului, atât de la nivelul mantalei cât și al fundurilor.

Pe baza acestor calcule se pot defini dimensiunile cercurilor (lungimea, lățimea și grosimea) în funcție de tipul butoiului (de transport sau de depozitare) și de poziția lor față de capetele butoiului.

Definirea caracteristicilor dimensionale ale cercurilor se impune în mod obligatoriu, cercurile fiind elemente de siguranță în funcționarea butoaielor.

Cuvinte cheie: butoi din lemn, cercuri de rezistență, doage, manta.

INTRODUCERE- ELEMENTE GENERALE

Mentținerea formei și asigurarea etanșeității butoaielor presupune existența unor elemente care să țină în contact doagele din structura mantalei și a fundurilor, care, sub influența presiunii hidrostatice creată de lichidul depozitat, au tendința de a se îndepărta, cauzând distrugerea structurii.

Elementele care țin în contact doagele de manta și pe cele de fund sunt cercurile, de forma unor benzi din oțel așezate pe circumferința exterioară a mantalei așa cum se vede în Fig. 1.

Cercurile trebuie să-și păstreze poziția de pe manta pe toată durata utilizării butoiului. Ele trebuie în același timp să introducă forțe exterioare care să țină în contact doagele (pe canturi), realizând la nivelul separației dintre doage o presiune de etanșare care nu trebuie să depășească tensiunea de strivire a materialului lemnos din această zonă.

În plus, mentținerea poziției doagelor pe manta presupune ca, între cercuri și manta, să apară o forță exterioară care să genereze frecarea care nu-i permite cercului "să alunece" spre zone cu diametre mai mici. Forța exterioară introdusă prin baterea cercurilor nu trebuie să realizeze însă o presiune la

Abstract:

The aim of this paper is to present a design methodology for the circles of wooden barrels, using appropriate strength calculations, so as to provide tightness while maintaining the integrity of the wooden material embedded in the barrel structure, in the jacket and bottom staves, respectively.

Based on these calculations, the circle dimensions (length, width and thickness) can be defined, depending on the barrel type (for transport or storage) and their relation to the barrel bottoms.

Defining the dimensional characteristics of the circles is mandatory, as these are safety elements in the barrel operation.

Key words: wooden barrel, resistance circles, staves, jacket.

INTRODUCTION – GENERAL ITEMS

Maintaining and ensuring the barrel shape and tightness implies the existence of elements to keep in contact the staves and bottoms of the shell structure of a barrel, which under the influence of the hydrostatic pressure created by the stored liquid, tend to move, causing the destruction of the structure.

Items to keep in contact the jacket staves and the bottoms are circles, under shape of steel strips placed on the outer circumference of the shell as shown in Fig. 1.

Circles should retain the position on the jacket for the complete duration of use of the barrel. At the same time, they should introduce external forces to keep in contact the staves (on the edges), providing at the separation level between the staves a sealing pressure, which should not exceed the crushing strength of wood in this area.

Additionally, maintaining the position of the staves on the jacket also implies the occurrence of an external force which generates friction and does not allow the circle to slip into areas with smaller diameters. However, this external force generated

limita de separație (cerc-manta) care să depășească
limita de strivire a materialului lemnos.

when hitting the circles should not generate at the
circle-jacket separation limit a higher pressure than
the crushing limit of the wooden material.

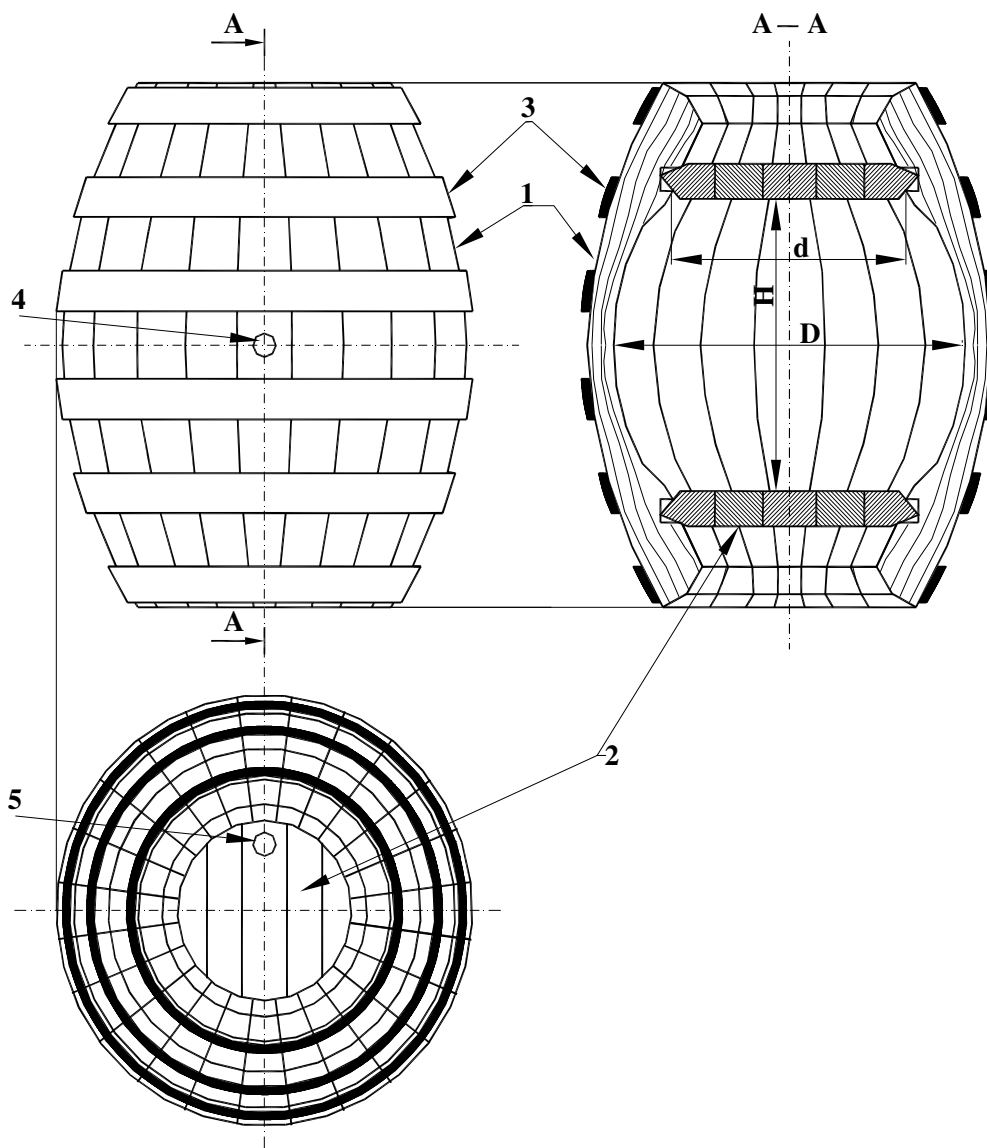


Fig. 1.

**Forma generală și structura butoiului din lemn /The general shape and structure of a wooden barrel:
1-doage de manta/ jacket staves; 2-doage de fund/ bottom staves; 3-cercuri de rezistență/ resistance
circles; 4-orificiu de umplere/ filling hole; 5-orificiu de golire/ drain hole.**

Toate aceste condiții nu pot fi realizate decât prin efectuarea unor calcule în care să se țină cont de proprietățile mecanice ale lemnului speciei din care sunt realizate doagele, de proprietățile mecanice ale materialului metalic din care sunt confecționate cercurile, de modul de înădare a cercurilor și de mărimea suprafețelor de contact dintre cercuri și doage.

Datorită formei paraboloidale, cercurile au lungimi diferite, ele fiind amplasate pe zone cu

All these conditions can be achieved only by making calculations that take into account the mechanical properties of the wood species the staves are made of, the mechanical properties of the metallic material the circles are made of, the joining modality of the circles and the size of the contact surfaces between the circles and the staves.

Due to their paraboloidale shape, circles have different sizes in length, which are located in areas with different diameters and different specific

diametre diferite și tensiuni specifice diferite (introduse de presiunea hidrostatică a lichidului din interior) în funcție de tipul butoiului (de transport sau de depozitare)(Fig. 2).

stresses (introduced by the hydrostatic pressure of the liquid) inside the barrel depending on its type (for transport or storage)(Fig. 2).

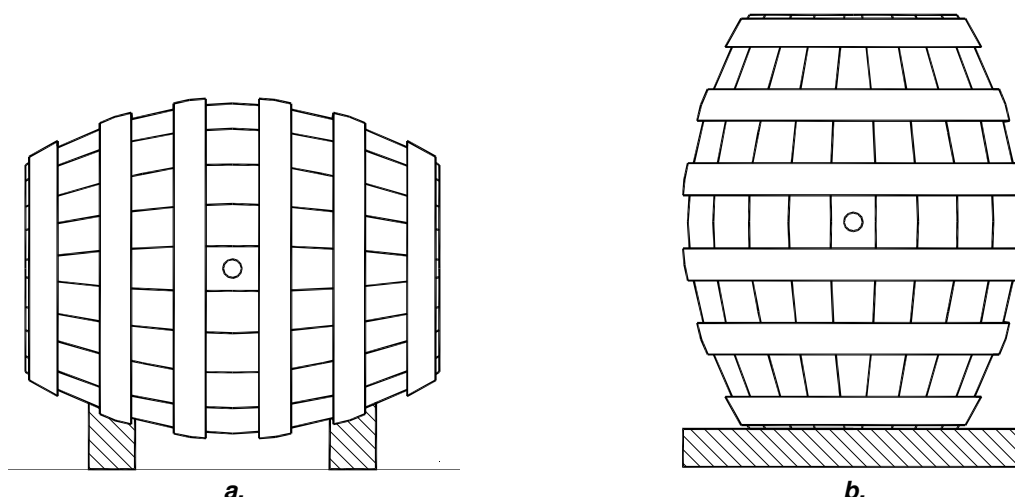


Fig. 2.

Schema de așezare a butoaielor pentru definirea bazei de calcul a cercurilor, în funcție de tipul butoiului / Layout for defining the calculation base for the circles, depending on the barrel type: a - butoi de depozitare/storage barrel ; b- butoi de transport/transport barrel.

Calculul de dimensionare a cercurilor de rezistență trebuie să aibă în vedere structura orientată a lemnului din cadrul doagelor știind că tensiunile de strivire sunt diferite la lemn după direcție radială și tangențială (Cismaru 2003). De aceea trebuie avut în vedere faptul că doagele se debitează radial, având în vedere că lemnul are rezistențe la încovoiere diferite după direcție radială și tangențială (Fig.3).

When dimensioning the resistance circles, one must have in view the structure of the wood staves, knowing that the crushing strength of wood has different values in radial and tangential direction (Cismaru 2003). Staves are cut radially, considering that the bending strength is also different in radial direction compared to the tangential direction (Fig.3).

Toate aceste elemente trebuie avute în vedere pentru corectitudinea calculelor care au efect atât asupra siguranței în funcționare a butoiului cât și pentru stabilirea corectă a adaosurilor de prelucrare și implicit a consumului de lemn înglobat în doagă, respectiv în butoi.

All these issues should be considered for the accuracy of calculations that affect both the operational safety of the barrel and the correct establishing of processing oversizes that affect the consumption of wood embedded in a stave and in the whole barrel.

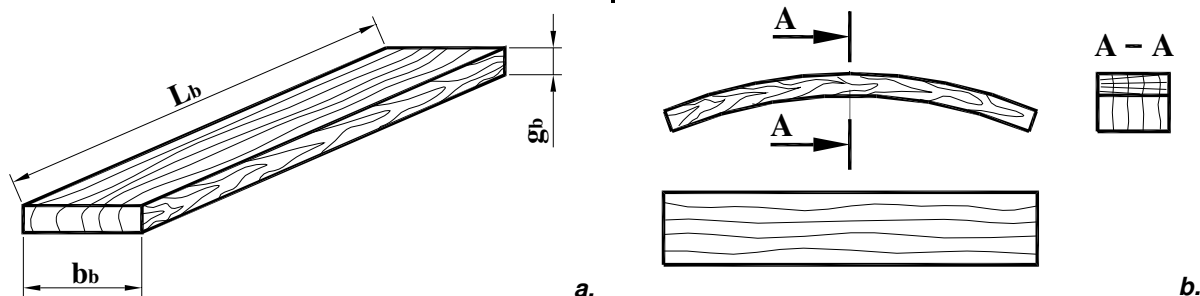


Fig. 3.

Orientarea structurii lemnului în volumul doagei / Structural orientation of wood in the volume of a stave: a - doaga brută după debitare / raw stave after cutting; b - doaga după curbare / stave after bending.

DIMENSIONAREA CEROURILOR

Pentru efectuarea calculului de dimensionare a cerourilor se pornește de la dimensiunile elementelor geometrice ale butoiului și de la forma stabilită care rămâne finală în execuție.

Având definite aceste elemente (Cismaru și Fotin 2010) se trece la întocmirea la scară a schiței butoiului pentru a se stabili poziția și numărul cerourilor în funcție de capetele acestuia așa cum rezultă din Fig.4.

DIMENSIONING THE CIRCLES

For the calculation of the dimensioning of the circles is based upon the size and geometry of the barrel to form the final set remains running.

Having defined these elements (Cismaru and Fotin 2010) proceed to preparing the draft barrel scale in order to determine the position and number depending on the ends of the circles as shown in Fig.4.

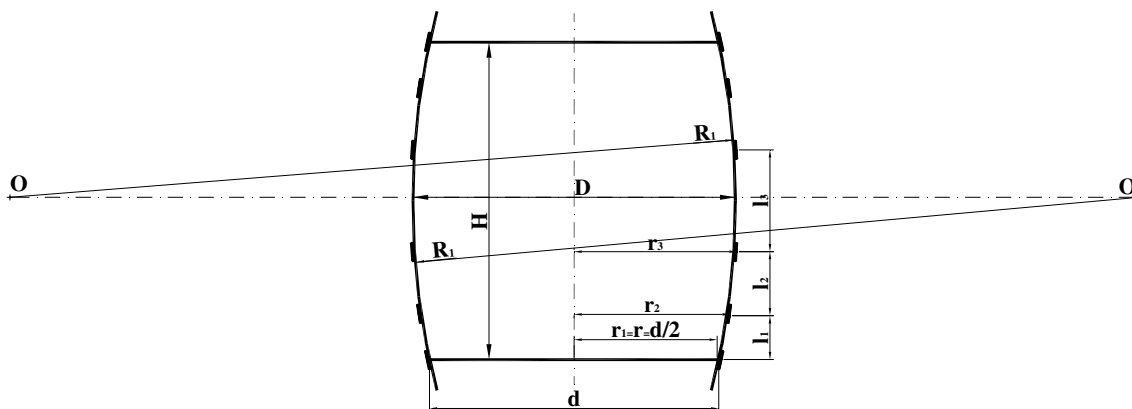


Fig. 4.

Schița butoiului cu poziționarea cerourilor față de capete / Sketch of the barrel with the positioning of the circles relative to the barrel bottoms.

Prin efectuarea desenului la scară al butoiului de transport și poziționarea cerourilor se definesc (prin măsurare) următoarele elemente:

- $r_1; r_2; r_3$ – razele interioare ale butoiului în dreptul centrului cerourilor (cazul folosirii a câte trei cercuri la fiecare capăt);
- $l_1; l_2; l_3$ – distanțele dintre centrele cerourilor.

Pentru pornirea calculului se consideră desenul din Fig.5., unde se ia ca bază o doagă din manta pentru care se scriu relațiile de echilibru static.

Din analiza desenului din Fig.5. rezultă că:

- doaga sub influența presiunii hidrostatice p_{ix} (într-o secțiune "x") și sub influența presiunilor de etanșare p_{ex} (exercitate de doagele alăturate) are tendința de a fi scoasă din manta, de către forța interioară P_{ix} și forțele de etanșare P_{ex} ;
- menținerea doagei în manta și menținerea în același timp a etanșării se va putea face doar cu o forță exterioară P_{ex} care trebuie să respecte condiția $P_{ex} \geq P_{ix}$;
- forța exterioară P_{ex} va fi introdusă de cercuri.

By making the barrel drawing circles transport and positioning are defined (by measurement) the following elements:

- $r_1; r_2; r_3$ – inner radius of the barrel in the right circle center (the use of three circles at each end);
- $l_1; l_2; l_3$ – distances between the centers of circles.

To start the calculation is considered drawing in Fig.5. which is taken as the basis for which a lag in the mantle of static equilibrium relations are written.

The analysis of drawing from Fig.5. shows that:

- the stave under the influence of hydrostatic pressure p_{ix} (in a section "x") and under the influence of pressure of watertight p_{ex} (exercised adjacent staves) tends to be removed from the mantle, by the inner force P_{ix} and forces of watertight P_{ex}
- maintaining the mantle stave while maintaining the watertight will be possible only with an external force P_{ex} to the condition $P_{ex} \geq P_{ix}$;
- the external force P_{ex} will be introduced by the circles.

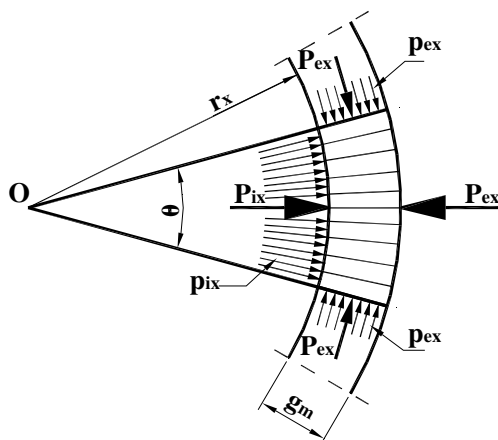


Fig. 5.

Solicitările la care este supusă doaga de manta / Stresses to which the jacket stave is subjected.

Pentru a defini mărimea forțelor exterioare P_{ex} – din dreptul fiecărui cerc, trebuie definite valorile forțelor care tind să “dezmembreze” mantaua.

Pentru definirea acestor forțe care trebuie preluate de către fiecare cerc, se pornește de la ipoteza că fiecare cerc va prelua forța creată de coloana de lichid pentru înălțimea corespunzătoare dintre cercuri și anume:

- cercul 1 va prelua forța dată de presiunea interioară pentru înălțimea coloanei de lichid egală cu l_1 ;
- cercul 2 va prelua forța specifică înălțimii coloanei de lichid egală cu l_2 ;
- cercul 3 va prelua forța specifică înălțimii coloanei de lichid egală cu l_3 ;

Cercurile de la capătul superior sunt simetrice egale cu cele de la capătul inferior (de calcul) având în vedere că în transport sau depozitare, butoiul se poate așeza pe oricare din capete.

În acest caz se poate scrie relația de definire a presiunii hidrostatice interioare (Cismaru 2007) specifică înălțimii coloanei de lichid astfel:

$$p_{ix} = \gamma \cdot H_x \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1)$$

în care: γ este densitatea lichidului depozitat, N/mm^3 ;
 H_x – înălțimea coloanei corespunzătoare fiecărui cerc; $H_1 = H$; $H_2 = H - l_1$; $H_3 = H - l_1 - l_2$, mm.

Forța interioară generată de presiunea hidrostatică va fi:

$$P_{ix} = p_{ix} \cdot r_x \cdot \theta \cdot l_x \quad [\text{N}] \quad (2)$$

în care: r_x , este raza interioară măsurată pe desenul din Fig.4. în dreptul fiecărui cerc (r_1, r_2, r_3);

θ , unghiul la centru al unei doage ($\theta = 360/Z_i$);

Z_i , este numărul întreg de doage din manta;

l_x , este înălțimea coloanei de lichid – preluată de fiecare cerc ($l_1; l_2; l_3$), mm.

Pentru cele trei cercuri se pot scrie ecuațiile pentru cele trei forțe de interior astfel:

$$P_{i1} = p_{i1} \cdot r_1 \cdot \theta \cdot l_1 = \gamma \cdot H \cdot r_1 \cdot \theta \cdot l_1 \quad [\text{N}]$$

To define the dimension of external forces P_{ex} - the right of each circle, should be defined the values of forces that tend to "dismantle" the jacket.

To define these forces what must be taken by each circle, it begins with hypothesis that each circle will take over the force created by the liquid column for the height corresponding between circles, namely:

- the circle 1 will take over the force given of internal pressure for the height of liquid column equal with l_1 ;
- the circle 2 will take over the specific force for the height of liquid column equal with l_2 ;
- the circle 3 will take over the specific force of the liquid column height equal with l_3 ;

The circles at superior end are symmetrical equal with those at the lower end (of calculation) taking into account that at transport or storage, the barrel may be placed on whatever end.

In this case we can write down the relationship what define of hydrostatic inner pressure (Cismaru 2007) specified the height of liquid column thus:

$$p_{ix} = \gamma \cdot H_x \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1)$$

where: γ is the density of the liquid stored;

H_x – the column height corresponding each circle; $H_1 = H$; $H_2 = H - l_1$; $H_3 = H - l_1 - l_2$, mm.

The inner force generated by hydrostatic pressure will be:

$$P_{ix} = p_{ix} \cdot r_x \cdot \theta \cdot l_x \quad [\text{N}] \quad (2)$$

where: r_x , is the inner radius measured on the drawing of Fig.4. to each circle (r_1, r_2, r_3);

θ , angle at the center of the one stave ($\theta = 360/Z_i$);

Z_i , is the integer number of staves in the jacket;

l_x , is the height of liquid column - taken over by each circle ($l_1; l_2; l_3$), mm.

For the three circles can write equations for the three internal forces such:

$$P_{i1} = p_{i1} \cdot r_1 \cdot \theta \cdot l_1 = \gamma \cdot H \cdot r_1 \cdot \theta \cdot l_1 \quad [\text{N}]$$

$$P_{i2} = p_{i2} \cdot r_2 \cdot \theta \cdot l_2 = \gamma \cdot (H - l_1) \cdot r_2 \cdot \theta \cdot l_2 \quad [N] \quad (3)$$

$$P_{i3} = p_{i3} \cdot r_3 \cdot \theta \cdot l_3 = \gamma \cdot (H - l_1 - l_2) \cdot r_3 \cdot \theta \cdot l_3 \quad [N]$$

Presiunile laterale necesare a se realiza pentru asigurarea etanșării trebuie să aibă în vedere menținerea integrității structurii lemnului, așa încât:

$$p_{ex} \leq \sigma_{a_{srad}} \quad [N/mm^2] \quad (4)$$

în care: $\sigma_{a_{srad}}$ este tensiunea limită admisibilă (Curtu ș.a. 1981) la strivire după direcție radială, în funcție de specie.

În aceste condiții (la limită) se pot scrie relațiile de calcul pentru forțele laterale:

$$P_{lx} = \sigma_{a_{srad}} \cdot S'_x = \sigma_{a_{srad}} \cdot l_x \cdot g_m \quad [N] \quad (5)$$

în care: S'_x este suprafața de contact dintre doage pe care trebuie să o asigure fiecare cerc.

Se poate scrie:

$$P_{l1} = \sigma_{a_{srad}} \cdot l_1 \cdot g_m \quad [N]$$

$$P_{l2} = \sigma_{a_{srad}} \cdot l_2 \cdot g_m \quad [N] \quad (6)$$

$$P_{l3} = \sigma_{a_{srad}} \cdot l_3 \cdot g_m \quad [N]$$

Suma tuturor forțelor care tind să scoată doaga din manta, care trebuie să fie preluate de forțele exterioare introduse de cercuri, se poate scrie la limită pe baza relațiilor (2) și (4) astfel:

$$P_{ex} = P_{ix} + 2 \cdot P_{lx} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad [N] \quad (7)$$

sau, ținând cont de relațiile 3 și 5 se pot scrie forțele exterioare pentru fiecare cerc astfel:

$$P_{e1} = \gamma \cdot H \cdot r_1 \cdot \theta \cdot l_1 + 2 \cdot \sigma_{a_{srad}} \cdot l_1 \cdot g_m \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad [N]$$

$$P_{e2} = \gamma \cdot (H - l_1) \cdot r_2 \cdot \theta \cdot l_2 + 2 \cdot \sigma_{a_{srad}} \cdot l_2 \cdot g_m \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad [N] \quad (8)$$

$$P_{e3} = \gamma \cdot (H - l_1 - l_2) \cdot r_3 \cdot \theta \cdot l_3 + 2 \cdot \sigma_{a_{srad}} \cdot l_3 \cdot g_m \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad [N]$$

Ecuatiile (8) definesc astfel forțele exterioare ce trebuie introduse de către fiecare cerc pentru a se menține structura butoiului simultan cu realizarea etanșeității.

În aceste condiții trebuie avut în vedere că la contactul dintre cerc și suprafața de lemn a mantalei nu trebuie să se genereze tensiuni de strivire care să ducă la distrugerea structurii anatomice a lemnului. Astfel, în aceste condiții trebuie să se respecte și condiția ca: $p_{ex} \leq \sigma_{a_{sig}}$ (Curtu și Ghelmeziu 1984) și ca atare forțele exterioare se pot defini cu relația:

$$P_{ex} = p_{ex} \cdot S''_x \leq \sigma_{a_{sig}} \cdot S''_x = \sigma_{a_{sig}} \cdot (r_x + g_m) \cdot \theta \cdot b_{cx} \quad [N] \quad (9)$$

în care: $\sigma_{a_{sig}}$, este tensiunea limită de strivire în plan tangențial în funcție de specie, N/mm²;

$$P_{i2} = p_{i2} \cdot r_2 \cdot \theta \cdot l_2 = \gamma \cdot (H - l_1) \cdot r_2 \cdot \theta \cdot l_2 \quad [N] \quad (3)$$

$$P_{i3} = p_{i3} \cdot r_3 \cdot \theta \cdot l_3 = \gamma \cdot (H - l_1 - l_2) \cdot r_3 \cdot \theta \cdot l_3 \quad [N]$$

The side pressures necessary achieve to ensure the watertight must consider preserving the integrity of the wood structure, such that:

$$p_{ex} \leq \sigma_{a_{srad}} \quad [N/mm^2] \quad (4)$$

where: $\sigma_{a_{srad}}$ is the admissible limit tension to the crush (Curtu *et.al.* 1981) after the radial direction, depending on the species.

Under these conditions (the limit) can write relations for calculating the side forces:

$$P_{lx} = \sigma_{a_{srad}} \cdot S'_x = \sigma_{a_{srad}} \cdot l_x \cdot g_m \quad [N] \quad (5)$$

where: S'_x is the area of contact between the staves that must an ensure each circle.

One can write:

$$P_{l1} = \sigma_{a_{srad}} \cdot l_1 \cdot g_m \quad [N]$$

$$P_{l2} = \sigma_{a_{srad}} \cdot l_2 \cdot g_m \quad [N] \quad (6)$$

$$P_{l3} = \sigma_{a_{srad}} \cdot l_3 \cdot g_m \quad [N]$$

The sum of all forces which tend to stave out the jacket, which must be taken over by external forces produced by the circles, can be written at limit the relations (2) and (4) as:

$$P_{ex} = P_{ix} + 2 \cdot P_{lx} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad [N] \quad (7)$$

or, taking into account the relations 3 and 5 can be written the external forces for every circle, such:

$$P_{e1} = \gamma \cdot H \cdot r_1 \cdot \theta \cdot l_1 + 2 \cdot \sigma_{a_{srad}} \cdot l_1 \cdot g_m \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad [N]$$

$$P_{e2} = \gamma \cdot (H - l_1) \cdot r_2 \cdot \theta \cdot l_2 + 2 \cdot \sigma_{a_{srad}} \cdot l_2 \cdot g_m \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad [N] \quad (8)$$

$$P_{e3} = \gamma \cdot (H - l_1 - l_2) \cdot r_3 \cdot \theta \cdot l_3 + 2 \cdot \sigma_{a_{srad}} \cdot l_3 \cdot g_m \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad [N]$$

Equations (8) define the external forces to be introduced by each circle for is maintained to the structure barrel, simultaneous while achieving tightness.

Under these conditions must be considered that at the contact between the circle and wood surface of jacket should not generate crushing tensions that lead to the destruction the wood anatomy structure. Thus, in these conditions must be respected the condition that: $p_{ex} \leq \sigma_{a_{sig}}$ (Curtu and Ghelmeziu 1984) and as such the external forces can define by the relationship:

$$P_{ex} = p_{ex} \cdot S''_x \leq \sigma_{a_{sig}} \cdot S''_x = \sigma_{a_{sig}} \cdot (r_x + g_m) \cdot \theta \cdot b_{cx} \quad [N] \quad (9)$$

where: $\sigma_{a_{sig}}$, is the limit tension of crushing in the tangential plan depending on the species, N/mm²;

S''_{x_2} este suprafața de contact dintre cerc și manta, mm^2 ;
 g_m este grosimea doagei de manta, mm ;
 b_{cx} este lățimea cercului pentru care se face calculul (b_1, b_2, b_3), mm .

În desenul din Fig.6. rezultă că prin introducerea unor forțe "de tragere" în cerc P_{cx} , se introduce forța exterioară P_{ex} care trebuie realizată pentru asigurarea condițiilor de funcționare ale butoiului.

Pe baza desenului din Fig.6. se poate scrie dependența dintre forța exterioară ce trebuie realizată și forțele de "tragere" din cerc P_{cx} care trebuie introduse:

$$P_{ex} = 2 \cdot P_{cx} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad [\text{N}] \quad (10)$$

S''_{x_2} is the area of contact between the circle and the jacket, mm^2 ;
 g_m is the thickness of stave jacket, mm ;
 b_{cx} is the width of circle for which the calculation is made (b_1, b_2, b_3), mm .

In the drawing in Fig.6. resulting that, through introducing in the circle, the forces of "pulling" P_{cx} , is introduced the external force P_{ex} , which be made to ensure the operating conditions of the barrel.

Based on the drawing by Fig.6. we can write the dependence between the external force that must be achieved and the forces of "pulling" P_{cx} by the circle that must be introduced:

$$P_{ex} = 2 \cdot P_{cx} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad [\text{N}] \quad (10)$$

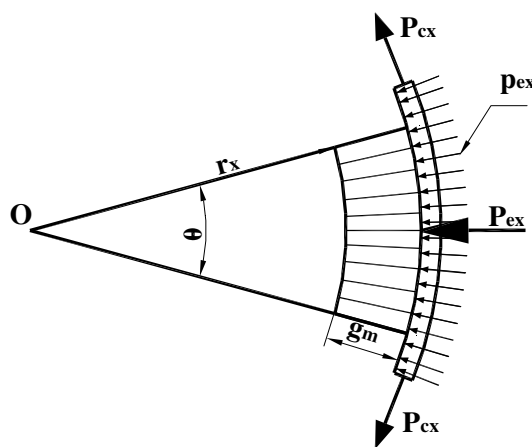


Fig. 6.

Introducerea forței exterioare prin "tragerea" cercurilor / The introduction the external force by "hitting" the circles.

După o rearanjare a ecuației (10) se poate scrie:

$$P_{cx} = \frac{P_{ex}}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad [\text{N}] \quad (10')$$

Având în vedere ecuațiile (8) se pot scrie relațiile de calcul ale forțelor de tragere pentru fiecare cerc în parte:

$$\begin{aligned} P_{c1} &= \frac{P_{e1}}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad [\text{N}] \\ P_{c2} &= \frac{P_{e2}}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad [\text{N}] \\ P_{c3} &= \frac{P_{e3}}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad [\text{N}] \end{aligned} \quad (11)$$

After a rearrangement of equation (10) can be written:

$$P_{cx} = \frac{P_{ex}}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad [\text{N}] \quad (10')$$

Given equations (8) we can write the relations for calculation of pulling forces for each part circle:

$$\begin{aligned} P_{c1} &= \frac{P_{e1}}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad [\text{N}] \\ P_{c2} &= \frac{P_{e2}}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad [\text{N}] \\ P_{c3} &= \frac{P_{e3}}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad [\text{N}] \end{aligned} \quad (11)$$

Dacă se înlocuiesc P_{e1} , P_{e2} și P_{e3} cu relațiile (8) scrise se pot obține relațiile complete de calcul ale forțelor de tragere din fiecare cerc.

Revenind la ecuațiile (9), acestea se pot explica, rezultând lățimile de contact ale cercurilor cu mantaua astfel:

$$\begin{aligned} P_{e1} &\leq \sigma_{a_{sig}} \cdot (r_1 + g_m) \cdot \theta \cdot b_{c1} \text{ [N]} \\ P_{e2} &\leq \sigma_{a_{sig}} \cdot (r_2 + g_m) \cdot \theta \cdot b_{c2} \text{ [N]} \\ P_{e3} &\leq \sigma_{a_{sig}} \cdot (r_3 + g_m) \cdot \theta \cdot b_{c3} \text{ [N]} \end{aligned} \quad (12)$$

care după explicare devin:

$$\begin{aligned} b_{c1} &\geq \frac{P_{e1}}{\sigma_{a_{sig}} \cdot (r_1 + g_m) \cdot \theta} \text{ [mm]} \\ b_{c2} &\geq \frac{P_{e2}}{\sigma_{a_{sig}} \cdot (r_2 + g_m) \cdot \theta} \text{ [mm]} \\ b_{c3} &\geq \frac{P_{e3}}{\sigma_{a_{sig}} \cdot (r_3 + g_m) \cdot \theta} \text{ [mm]} \end{aligned} \quad (13)$$

Valorile lățimilor cercurilor care rezultă din calcul se rotunșesc la valorile imediat superioare prevăzute în STAS 2684-87.

Relațiile (13) au valorile P_{e1} , P_{e2} și P_{e3} rezultate pe baza calculului conform ecuațiilor (8).

Pentru calculul grosimii cercurilor se au în vedere ecuațiile (11) care definesc mărimile forțelor de "tragere" din cercuri (P_{c1} , P_{c2} și P_{c3}).

Dacă se scrie relația de solicitare la tracțiune a cercurilor sub influența forțelor de tragere:

$$2P_{cx} \leq \sigma_{a_{OL}} \cdot S_c = \sigma_{a_{OL}} \cdot b_{cx} \cdot g_{cx} \text{ [N]} \quad (14)$$

în care: b_{cx} , este lățimea cercurilor calculată cu relațiile (13) și alese din STAS 2684-87, pentru care se face calculul (b_1 , b_2 , b_3).

$\sigma_{a_{OL}}$, reprezintă tensiunea admisibilă la tracțiunea oțelului pentru platbandă (STAS 2684-87), N/mm²;

g_{cx} , este grosimea necesară a cercurilor, în mm și se explicitează astfel încât rezultă:

$$g_{cx} \geq \frac{2P_{cx}}{\sigma_{a_{OL}} \cdot b_{cx}} \text{ [mm]} \quad (15)$$

În această situație pentru cele trei cercuri se pot scrie relațiile (Fotin 2009):

$$\begin{aligned} g_{c1} &\geq \frac{2P_{c1}}{\sigma_{a_{OL}} \cdot b_{c1}} \text{ [mm]} \\ g_{c2} &\geq \frac{2P_{c2}}{\sigma_{a_{OL}} \cdot b_{c2}} \text{ [mm]} \\ g_{c3} &\geq \frac{2P_{c3}}{\sigma_{a_{OL}} \cdot b_{c3}} \text{ [mm]} \end{aligned} \quad (16)$$

If replaced P_{e1} , P_{e2} and P_{e3} with relations (8) written, than can be obtained the complete relations for calculating the forces pulling from each circle.

Returning to equations (9), these can be explained, resulting the widths of contact of the circles with the jacket as:

$$\begin{aligned} P_{e1} &\leq \sigma_{a_{sig}} \cdot (r_1 + g_m) \cdot \theta \cdot b_{c1} \text{ [N]} \\ P_{e2} &\leq \sigma_{a_{sig}} \cdot (r_2 + g_m) \cdot \theta \cdot b_{c2} \text{ [N]} \\ P_{e3} &\leq \sigma_{a_{sig}} \cdot (r_3 + g_m) \cdot \theta \cdot b_{c3} \text{ [N]} \end{aligned} \quad (12)$$

that after the explanation becomes:

$$\begin{aligned} b_{c1} &\geq \frac{P_{e1}}{\sigma_{a_{sig}} \cdot (r_1 + g_m) \cdot \theta} \text{ [mm]} \\ b_{c2} &\geq \frac{P_{e2}}{\sigma_{a_{sig}} \cdot (r_2 + g_m) \cdot \theta} \text{ [mm]} \\ b_{c3} &\geq \frac{P_{e3}}{\sigma_{a_{sig}} \cdot (r_3 + g_m) \cdot \theta} \text{ [mm]} \end{aligned} \quad (13)$$

The values of the widths the circles resulting from the calculation are rounded up at the values provided in STAS 2684-87.

Relationships (13) have values P_{e1} , P_{e2} and P_{e3} resulted on the calculation based on the equations (8).

To calculate the thickness of the circles are taken into consideration equations (11) which define the sizes of forces of "pulling" of the circles (P_{c1} , P_{c2} și P_{c3}).

If is written the relationship the tensile resistance of the circles under the influence the forces of pulling:

$$2P_{cx} \leq \sigma_{a_{OL}} \cdot S_c = \sigma_{a_{OL}} \cdot b_{cx} \cdot g_{cx} \text{ [N]} \quad (14)$$

where: b_{cx} , is the width circles calculated with relations (13) and chosen by the STAS 2684-87, for which is made the calculation (b_1 , b_2 , b_3).

$\sigma_{a_{OL}}$, is the tensile tension permissible for flat steel (STAS 2684-87), N/mm²;

g_{cx} , is the required thickness of the circles, in mm and so, is given as follows results:

$$g_{cx} \geq \frac{2P_{cx}}{\sigma_{a_{OL}} \cdot b_{cx}} \text{ [mm]} \quad (15)$$

In this situation for the three circles we can write relations (Fotin 2009):

$$\begin{aligned} g_{c1} &\geq \frac{2P_{c1}}{\sigma_{a_{OL}} \cdot b_{c1}} \text{ [mm]} \\ g_{c2} &\geq \frac{2P_{c2}}{\sigma_{a_{OL}} \cdot b_{c2}} \text{ [mm]} \\ g_{c3} &\geq \frac{2P_{c3}}{\sigma_{a_{OL}} \cdot b_{c3}} \text{ [mm]} \end{aligned} \quad (16)$$

Valorile rezultate din calcul conform relațiilor (16) se rotunjesc la valorile imediat superioare din STAS 2684-87.

Se practică trei variante de rezolvare a dimensiunilor cercurilor din punct de vedere al lățimii și grosimii astfel:

Var.I.

$$b_{c1STAS} \neq b_{c2STAS} \neq b_{c3STAS} \quad \text{și}$$

$$g_{c1STAS} \neq g_{c2STAS} \neq g_{c3STAS}$$

Var.II.

$$b_{cSTAS} = \max(b_{c1}; b_{c2}; b_{c3} - \text{rezultate din calcul})$$

și

$$g_{c1STAS} \neq g_{c2STAS} \neq g_{c3STAS}$$

Var.III.

$$b_{c1STAS} \neq b_{c2STAS} \neq b_{c3STAS} \quad \text{și}$$

$$g_{cSTAS} = \max(g_{c1}; g_{c2}; g_{c3} - \text{rezultate din calcul})$$

Pentru estetica butoiului varianta III este cea mai recomandată, lățimile fiind descrescătoare de la capătul butoiului spre centru, cercurile având aceeași grosime.

Pentru determinarea lungimii cercurilor se are în vedere desenul la scară efectuat ca în Fig.4.

Relația generală de calcul a lungimii cercurilor este de forma (Cismaru I. 2007):

$$L_x = 2\pi(r_x + g_m) + l_x \quad [mm] \quad (17)$$

în care: L_x , este lungimea totală a cercurilor, iar l_x , lungimea de suprapunere a capetelor în porțiunea cu nituri.

Determinarea lungimii l_x se face ca pentru calculul îmbinărilor nituite (vezi Fig.7), astfel:

The values resulted of calculating according to relations (16) rounded-up to the next higher values by STAS 2684-87.

Taking into account the width and thickness the circles there are three variants solutions to the circles dimensions:

Var.I.

$$b_{c1STAS} \neq b_{c2STAS} \neq b_{c3STAS} \quad \text{and}$$

$$g_{c1STAS} \neq g_{c2STAS} \neq g_{c3STAS}$$

Var.II.

$$b_{cSTAS} = \max(b_{c1}; b_{c2}; b_{c3} - \text{results of calculation})$$

and

$$g_{c1STAS} \neq g_{c2STAS} \neq g_{c3STAS}$$

Var.III.

$$b_{c1STAS} \neq b_{c2STAS} \neq b_{c3STAS} \quad \text{and}$$

$$g_{cSTAS} = \max(g_{c1}; g_{c2}; g_{c3} - \text{results of calculation})$$

For barrel aesthetics, option III is the most recommended, the widths are decreasing at the end of the barrel to the center, circles having the same thickness.

To determine the circles length it is considered the drawing done at scale as in Fig.4.

The general relationship for calculating the length circles is of the form (Cismaru I. 2007):

$$L_x = 2\pi(r_x + g_m) + l_x \quad [mm] \quad (17)$$

where: L_x , is the total length of the circles, and l_x , the length of the overlap portion ends with rivets.

The calculation of the length l_x it is made as the calculation the riveted joints (see Figure 7) so:

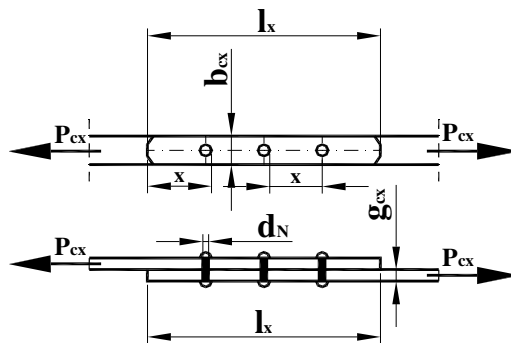


Fig. 7.

Schema de calcul a lungimii de suprapunere a cercurilor / The calculation scheme for the overlapping length of of the circles.

a) din condiția de forfecare (Curtu și Ghelmeziu 1984) a niturilor rezultă:

$$\tau_f = \frac{2P_{cx}}{S_f} = \frac{8P_{cx}}{\pi \cdot n_x \cdot d_{N_x}^2} \leq \tau_{af_N} \quad [N/mm^2] \quad (18)$$

în care:

d_{N_x} - reprezintă diametrul niturilor, mm

n_x - numărul niturilor

τ_{af_N} - reprezintă tensiunea admisibilă la forfecare a niturilor, N/mm^2

a) from the condition of the rivets shear (Curtu and Ghelmeziu 1984), results:

$$\tau_f = \frac{2P_{cx}}{S_f} = \frac{8P_{cx}}{\pi \cdot n_x \cdot d_{N_x}^2} \leq \tau_{af_N} \quad [N/mm^2] \quad (18)$$

where:

d_{N_x} - is the diameter rivets, mm

n_x - the number rivets

τ_{af_N} - is the tension permissible at shear rivets, N/mm^2

Relația (18) se poate explicita:

- atunci când se impune numărul de nituri și rezultă diametrul niturilor:

$$d_{N_x} \geq \sqrt{\frac{8P_{cx}}{\pi \cdot n \cdot \tau_{afN}}} \text{ [mm]} \quad (18')$$

- atunci când se impune diametrul nitului și rezultă numărul de nituri:

$$n_{N_x} \geq \frac{8P_{cx}}{\pi \cdot d_{N_x}^2 \cdot \tau_{afN}} \text{ [buc]} \quad (18'')$$

b) din condiția de strivire a niturilor (Curtu ș.a,1981), rezultă:

$$\sigma_s = \frac{F}{S_s} = \frac{P_{cx}}{S_{sx}} = \frac{P_{cx}}{d_{N_x} \cdot g_{cx}} < \sigma_{a_s} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (18''')$$

în care:

d_{N_x} - reprezintă diametrul niturilor calculat din condiția de forfecare sau impus (la condiția de forfecare), mm

S_{sx} - reprezintă suprafața de contact dintre nit și cerc (luată acoperitor ca proiecția suprafeței reale pe un plan vertical), mm²

g_{cx} - reprezintă grosimea cercului rezultată din calculele anterioare – specifică cercului pentru care se execută calculul, mm

P_{cx} – forța de tragere din cerc – specifică cercului pentru care se execută calculul, mm

σ_{a_s} - rezistența admisibilă la strivirea materialului din care este efectuat cercul, N/mm²

Prin calcul se verifică dacă rezistența efectivă de teșire la limita de contact nit-cerc este mai mică decât valoarea admisibilă din STAS.

În cazul în care nu se respectă condiția de rezistență $\sigma_s < \sigma_{a_s}$, atunci, se calculează diametrul nitului care va duce la respectarea condiției:

$$d_{N_{xs}} \geq \frac{P_{cx}}{g_{cx} \cdot \sigma_{a_s}} \text{ [mm]} \quad (18''''')$$

Valoarea rezultată din calcul se standardizează la valoarea imediat superioară $d_{N_{xs}STAS} \geq d_{N_{xs}}$.

În final diametrul nitului adoptat va fi:

$$d_{N_{xs}STAS} = \max(d_{N_{x_f}STAS}, d_{N_{x_s}STAS}) \quad (18''''')$$

în care:

$d_{N_{xs}STAS}$ - reprezintă diametrul STAS al nitului folosit pentru fiecare cerc "x", mm

$d_{N_{x_f}STAS}$ - reprezintă diametrul standardizat al niturilor rezultat pentru fiecare cerc, din condiția de forfecare, mm

$d_{N_{x_s}STAS}$ - reprezintă diametrul standardizat al niturilor rezultat pentru fiecare cerc, din condiția de strivire, mm

c) din condiția de forfecare a platbandei (Curtu

The relationship (18) it is explicit:

- when required number of rivets and resulting the diameter rivets:

$$d_{N_x} \geq \sqrt{\frac{8P_{cx}}{\pi \cdot n \cdot \tau_{afN}}} \text{ [mm]} \quad (18')$$

- when required the diameter of rivet and resulting the number of rivets:

$$n_{N_x} \geq \frac{8P_{cx}}{\pi \cdot d_{N_x}^2 \cdot \tau_{afN}} \text{ [buc]} \quad (18'')$$

b) from the rivets stress condition (Curtu *et.al.* 1981), resulting:

$$\sigma_s = \frac{F}{S_s} = \frac{P_{cx}}{S_{sx}} = \frac{P_{cx}}{d_{N_x} \cdot g_{cx}} < \sigma_{a_s} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (18''')$$

where:

d_{N_x} – diameter is calculated from the condition of shear rivets or imposed (the condition of shear), mm

S_{sx} - represents the area of contact between rivet and circle (taken covering the actual area projection on a vertical plane), mm²

g_{cx} - is the thickness of the circle resulting from previous calculations - specifies circle to calculating is done, mm

P_{cx} – draw force of the circle - circle specifies that the calculating, mm

σ_{a_s} - permissible resistance to crushing of the material circle it's made on, N/mm²

By calculation we verify that effective resistance to limit contact chamfering nit-circle is lower than the permissible from Standard

If do not respect condition of resistance $\sigma_s < \sigma_{a_s}$, then the rivet diameter is calculated that will lead to respecting condition:

$$d_{N_{xs}} \geq \frac{P_{cx}}{g_{cx} \cdot \sigma_{a_s}} \text{ [mm]} \quad (18''''')$$

The amount resulting from the calculation will be standardized to the next higher value.

$$d_{N_{xs}STAS} \geq d_{N_{xs}}$$

Rivet diameter finally will be:

$$d_{N_{xs}STAS} = \max(d_{N_{x_f}STAS}, d_{N_{x_s}STAS}) \quad (18''''')$$

where:

$d_{N_{xs}STAS}$ - Standard diameter of the rivet used for each circle "x", mm

$d_{N_{x_f}STAS}$ - standardized rivets diameter resulted from shear condition for each circle, mm

$d_{N_{x_s}STAS}$ - standardized rivets diameter for each circle, resulted from crushing condition, mm

c) from the shear condition of the flat bar (Curtu *et.al.*

ș.a,1981), rezultă:

$$\tau_f \leq \frac{2P_{cx}}{2 \cdot x \cdot g_{cx}} \leq \tau_{afol} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (19)$$

Relația (19) se poate explica astfel și rezultă cota "x":

$$x \geq \frac{2P_{cx}}{2 \cdot g_{cx} \cdot \tau_{afol}} \quad [\text{mm}] \quad (19')$$

în care:

τ_{afol} - reprezintă tensiunea admisibilă la forfecare a platbandei.

În acest caz lungimea de suprapunere se calculează :

$$l_x = (n_{Nx} + 1) \cdot x \quad [\text{mm}] \quad (20)$$

- atunci, relația de calcul generală a lungimii cercurilor va fi:

$$L_x = 2\pi(r_x + g_m) + (n_{Nx}) \cdot x \quad [\text{mm}] \quad (21)$$

Lungimile pentru cele trei cercuri va rezulta:

$$L_1 = 2\pi(r_1 + g_m) + (n_{N1}) \cdot x_1 \quad [\text{mm}]$$

$$L_2 = 2\pi(r_2 + g_m) + (n_{N2}) \cdot x_2 \quad [\text{mm}] \quad (21')$$

$$L_3 = 2\pi(r_3 + g_m) + (n_{N3}) \cdot x_3 \quad [\text{mm}]$$

Avându-se în vedere că la butoaiile de transport pot apare șocuri ca urmare a căderii de pe mijloacele de manipulare sau a modului de încărcare – descărcare, în acest caz în calcul – începând cu calculul forțelor interioare P_{ix} și a celor laterale P_{Lx} – se introduce un coeficient de șoc, forțele respective multiplicându-se cu acesta. Coeficientul de șoc aplicat tuturor ambalajelor este de 1,7 ÷ 1,75 (Cotta 1983).

Pentru butoaiile de depozitare calculul este identic cu observația că înălțimea coloanei de lichid din dreptul fiecărui cerc va fi:

$H_1=2r_1$; $H_2=2r_2$; $H_3=2r_3$; acestea fiind valorile de calcul a forțelor interioare și exterioare, care solicită cercurile sau care trebuie introduse prin cercuri.

În cazul butoaiilor de depozitare staționare nu se ia în calcul coeficientul de șoc.

CONCLUZII

Metodologia de calcul pentru dimensionarea cercurilor are la bază următoarele elemente:

- asigurarea rezistenței cercurilor la solicitările posibile la care vor fi supuse în timpul transportului sau depozitării;
- asigurarea etanșeității butoiului fără a se realiza striviri între canturile doagelor;
- asigurarea unui contact între cercuri și mantaua din lemn a butoiului fără distrugerea structurii anatomice a lemnului.

Desigur că la butoaiile de transport trebuie avut în vedere, calculul și modul de încărcare și descărcare, de asigurare a butoaiilor pe timpul

1981), results:

$$\tau_f \leq \frac{2P_{cx}}{2 \cdot x \cdot g_{cx}} \leq \tau_{afol} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (19)$$

The relationship (19) can be explained, and the share "x" results:

$$x \geq \frac{2P_{cx}}{2 \cdot g_{cx} \cdot \tau_{afol}} \quad [\text{mm}] \quad (19')$$

where:

τ_{afol} - is the permissible shear tension of the flat bar.

In this case the length of overlap is calculated:

$$l_x = (n_{Nx} + 1) \cdot x \quad [\text{mm}] \quad (20)$$

- then, the circles length general relationship of calculating will be:

$$L_x = 2\pi(r_x + g_m) + (n_{Nx}) \cdot x \quad [\text{mm}] \quad (21)$$

The lengths for the three circles will results:

$$L_1 = 2\pi(r_1 + g_m) + (n_{N1}) \cdot x_1 \quad [\text{mm}]$$

$$L_2 = 2\pi(r_2 + g_m) + (n_{N2}) \cdot x_2 \quad [\text{mm}] \quad (21')$$

$$L_3 = 2\pi(r_3 + g_m) + (n_{N3}) \cdot x_3 \quad [\text{mm}]$$

Taking into account that in case of transport barrels may occur shocks, as a result of falling down from the transport or means of handling charge - discharge, in this case the calculation -begin from the calculation of internal forces P_{ix} and those lateral forces P_{Lx} – we introduce a shock factor, and multiplying those forces with it. The shock factor applied to all the packaging is 1.7 ÷ 1.75 (Cotta 1983).

The calculation for storage barrels is identical, remarking that the height of liquid column to each circle will be:

$H_1=2r_1$; $H_2=2r_2$; $H_3=2r_3$; these are the calculating values of the internal and external forces that stress the circles or must be introduced by circles .

In stationary storage barrels case it is not taked into account the shock factor.

CONCLUSIONS

The methodology for calculating the size circles is based on the following elements:

- insuring of resistance the circles to the demands possible they will be subjected during transport or storage;
- insuring watertight barrel achieve without crushing the edges between the staves;
- insuring contact between the circles and the wood jacket barrel without damaging the anatomical structure of wood.

Of course, at the transportation barrels should be considered the calculation and the loading and unloading of the barrels and its insurance during

transportului așa încât șocurile la care ar putea fi supuse să fie cât mai mici.

Metodologia de calcul prezentată în lucrare permite efectuarea dimensionării cercurilor de butoaie, ținându-se cont de toate solicitările care pot apare atât în faza de depozitare cât și în faza de transport.

Metodologia de calcul propusă are în vedere ca în relația funcțională cerc-manta să nu se depășească tensiunile admisibile de strivire ale lemnului și implicit creșterea siguranței în funcționare a butoiului.

Prin parcurgerea algoritmului de proiectare propus se crează condițiile de asigurare a funcționalității butoaielor în condiții de siguranță simultan cu personalizarea – prin formă – la cererea beneficiarului. Metodologia propusă are în vedere condițiile actuale de frecare la fabricația butoaielor nestandardizate, pentru care trebuie definite dimensiunile și formele tuturor elementelor de structură.

Prin prelucrarea și adoptarea algoritmului de calcul propus se poate concepe un soft de calculator care în funcție de datele de intrare, propuse de beneficiar, să efectueze rapid dimensionarea elementelor de structură scurtând astfel procesul de pregătire tehnică și tehnologică a fabricației.

Lucrarea are un caracter aplicativ evident, adoptat la cererile actuale ale pieței butoaielor, care solicită o personalizare prin formă și dimensiuni în funcție de solicitările beneficiarilor.

transport so that shocks that could occur to be as small as possible.

The calculation methodology presented in this paper allows barrels circles sizing, taking into account all requests that can occur during storage and during transport.

Proposed calculation methodology consider that the functional relationship circle-jacket not exceeded allowable crushing stress of wood and thus increasing operational safety of the barrel.

By completing the proposed design algorithm it creates conditions to ensure safe functionality drums simultaneous with customization - in form - on demand. The proposed methodology takes into account current conditions of friction to manufacture non-standard barrels, which must define the sizes and the shapes of all elements of structure.

By processing and adoption of the proposed calculation algorithm can be developed a computer software based on incoming data, proposed by the customer, to quickly make its structural sizing, thus, shortening the technical and technological process of manufacture.

Present paper has an applied character obviously adapted to current demands, of barrels market which require a special form and size depending on the customers requires.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- COTTA, L.N (1983). Proiectarea și tehnologia fabricării produselor industriale din lemn (Design and Manufacture Technology of Industrial Wood Products), Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti.
- CISMARU, I., FOTIN A. (2010). Designul geometriei butoaielor din lemn (Geometry design of wooden barrels). In: PRO LIGNO 6(4):29-42
- CISMARU, M. (2003). Fizica lemnului și materialelor pe bază de lemn (Physics Wood and wood-based materials). Editura Universității Transilvania din Brașov.
- CISMARU, I. (2007). Proiectarea și fabricarea produselor finite din lemn. Notițe de curs (Design and Manufacture of Finished Wood Products. Course Notes). Transilvania University of Brasov
- CURTU, I., ȘERBU, AD., SPERCHEZ, FL., GONCIAR, M., FLOREA, R., TUDOR, E. (1981) Calculul de rezistență în industria lemnului (Calculation of resistance for wood industry), Editura Tehnică, București
- CURTU, I., GHELMEZIU, N. (1984) Mecanica lemnului și materialelor pe bază de lemn (Mechanics of wood and wood-based materials), Editura Tehnică, București
- FOTIN, A. (2009). Proiectarea și fabricarea produselor finite din lemn, Notițe de curs (Design and Manufacture of Finished Wood Products. Course Notes). Transilvania University of Brasov
- *** STAS 2684-87- Butoaie de stejar pentru vin și băuturi distilate (Oak Barrels for Wine and Distilled Beverages).