

EXPERIMENTARE ÎN MOBILIER CU TEHNICA „TENSEGRITY”

Ing. Roxana GALL ¹

¹ Universitatea „Transilvania”, Braşov, România

REZUMAT. Acest articol va prezenta realizarea unui obiect de mobilier care utilizează conceptul „tensegrity”. De la istoric, la calcule de rezistenţă, proiectare şi realizare practică, toate vor fi explicate pe scurt în următoarele pagini. Deşi acest concept există de mult timp, nu este des aplicat în domeniul mobilierului.

Cuvinte cheie: tensegritate, mobilă, masă de cafea, lemn.

ABSTRACT. This paper will present the process of creation for an furniture object that will use the concept of tensegrity. From history, resistance calculations, projection to practical realization, all of it will be explained in the next pages. Even if this concept has been around for a long time, it's not usually used in furniture making.

Keywords: tensegrity, furniture, coffee table, wood.

1. INTRODUCERE

Tensegrity, un termen inventat de Robert Buckminster Fuller în anii 1960, se referă la un principiu structural în care stabilitatea şi forma sunt menţinute prin echilibrul forţelor de tensiune şi compresiune. (Fuller 1975) Acest concept îşi are rădăcinile în structurile naturale, cum ar fi forma celulelor şi pânzele de păianjen. Artistul Kenneth Snelson a fost cel care a descoperit conceptul în anii 1940 şi l-a folosit pentru a descrie propria sa lucrare sculpturală.

Structurile tensegrity se încadrează în două categorii distincte. Primul tip include structuri geodezice şi foloseşte elemente rigide. Al doilea tip este structura de tensegritate, aşa cum demonstrează sculpturile lui Snelson, folosind elemente distincte de tensiune şi compresiune. Fiecare element individual suportă fie tensiune, fie compresiune, iar structural ansamblul este capabil să reziste la tensiune, compresiune, forfecare, încovoiere, şi torsiune. (Zheng 2008)

Lucrările timpurii ale lui Snelson au explorat relaţia dintre tensiune şi compresiune în sculptură, ceea ce a condus la dezvoltarea structurilor de tensegritate. A colaborat cu Fuller, care era interesat de utilizarea principiilor tensegrităţii în arhitectură şi inginerie. Împreună, au popularizat conceptul de tensegritate şi au demonstrat aplicaţiile sale practice, inclusiv în proiectarea domurilor geodezice şi a altor structuri uşoare.

Kenneth Snelson era student la pictură la Colegiul „Black Mountain” din Carolina de Nord, la sfârşitul anilor 1940, când a devenit interesat de prelegerile despre forme geometrice susţinute de un profesor

suplinitor, Robert Buckminster Fuller, inventatorul futurist şi părintele geodeziei. (Grimes 2016)

Într-un experiment, „Early X Piece” (1948) prezentat în Fig. 1, Snelson a luat două X-uri realizate din elemente de placaj în formă de elice şi le-a suspendat una peste alta folosind o matrice de linii de tensiune din Nailon.



Fig. 1. Early “X” Piece
(Tensegrity- The X Module – Pars -
<http://www.tensegriteit.nl/e-xmodule.html>)

Acest obiect era o noutate, un avans faţă de sculpturile cinetice pe care le făcuse înainte. „În timp ce am pierdut mobilitatea, am reuşit să câştig ceva şi mai exotic: elemente solide fixate în spaţiu, unul de altul, ţinute împreună doar de membrii tensionaţi”, a scris el într-o scrisoare publicată în Jurnalul Internaţional de Structuri Spaţiale în 1990. „Am fost destul de uimit de ceea ce am făcut.” (Grimes 2016)

Snelson a numit principiul din spatele lucrării sale „compresie plutitoare”. Fuller, în perioada expoziţiei MoMA, a combinat „tensiunea” şi „integritatea structurală” într-un cuvânt nou, „tensegrity”, care s-a identificat cu munca lui şi a lui Snelson. (Grimes 2016)

EXPERIMENTARE ÎN MOBILIER CU TEHNICA „TENSEGRITY”

De atunci, tensegritatea a fost studiată și aplicată într-o varietate de domenii, inclusiv arhitectură și inginerie (Fig. 2), biologie (Fig. 3), robotică (Fig. 4) și artă (Fig. 5). Conceptul conferă proprietăți unice corpurilor și îl face util în proiectarea structurilor ușoare, adaptabile și eficiente. Astăzi, continuă să fie o zonă de cercetare și experimentare activă.



Fig. 2. Aplicarea conceptului Tensegrity în arhitectură și inginerie – Kurlipa Bridge (My Modern Met - Pires 2021 - <https://mymodernmet.com/tensegrity-architecture/>)

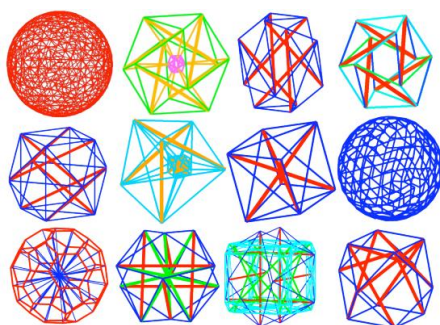


Fig. 3. Tensegritatea în celulă: Modele de membrane celulare și modele structurale intracelulare (Zheng 2008 - <http://biomechanics.stanford.edu/conf/zheng08.pdf>)

Alte domenii de utilizare ale conceptului.

Podul Kurilpa (Fig. 2) a fost proiectat de Cox Rayner Architects și Arup Engineers ca cel mai mare pod hibrid de tensegritate din lume. Are o lungime de aproximativ 457.2 de metri și se echilibrează între catarge mari din aluminiu și cabluri ușoare de oțel pentru a realiza structura de întindere. (Pires 2021)

Forma de tensegritate geodezică este folosită de obicei în modelul care structurează astfel de membrane celulare în timp ce în tensiunea distinctă modelului de compresie este utilizată pentru a modela structura intracelulară (Fig. 3).

Alții au folosit principiile tensegrității pentru a explica proprietățile structurale ale celulelor biologice, dar potențialul lor pentru aplicații robotice rămâne în

mare parte neexplorat. Avantajele lor față de mulți alți roboți cu picioare sunt rezistența la deformare, capacitatea lor de a-și schimba forma și raportul lor ridicat rezistență-greutate. Robotul dezvoltat în această imagine (Fig. 4), IcoTens, cuprinde 6 tije, 24 de corzi și 12 dispozitive de acționare și este cel mai complex robot de tensegritate construit până în prezent.



Fig. 4. Robot proiectat cu ajutorul conceptului tensegrity IcoTens (Columbia University- Fivat ș. a. <https://www.creativemachineslab.com/tensegrity.html#:~:text=Tensegrities%20are%20structures%20made%20out,used%20frequently%20in%20architectural%20design.>)



Fig. 5. Needle Tower by Kenneth Snelson (My Modern Met - Pires 2021 - <https://mymodernmet.com/tensegrity-architecture/>)

Proiectat de artistul Kenneth Snelson pentru Muzeul Hirshhorn și Grădina de Sculptură din Washington, D.C., Needle Tower (Fig. 6) este unul dintre cele mai importante exemple de tensegritate. Snelson a studiat îndeaproape sub Buckminster Fuller și de atunci a făcut o carieră cu sculpturi similare în acest stil. În această lucrare, Snelson folosește tuburi de aluminiu care acționează în compresie și sunt susținute de tensiunea creată prin cablurile de oțel atașate la capetele fiecărui tub. Deși echilibrul de compresie și tensiune este dificil de realizat, Snelson este capabil să plaseze elemente structurale pentru a crea o compoziție completă.

2. TENSEGRITY ÎN DESIGNUL DE MOBILIER

Principiile tensegrității pot fi aplicate designului de mobilier pentru a crea piese unice și izbitoare vizual, care sunt atât ușoare, cât și rezistente.

Scaune Tensegrity: Principiile Tensegrity pot fi folosite pentru a crea scaune care sunt ușoare și rezistente, cu un efect vizual unic. Scaunele Tensegrity au în mod obișnuit o rețea de cabluri care susțin un șezut și un spătar ușoare, cu barele de compresie acționând ca picioare. Acest design permite o utilizare minimă a materialelor, oferind totuși o soluție de scaun confortabilă și funcțională. (Fig. 6)



Fig. 6. Scaun tensegrity de Konstantin Achkov (Stewart 2017 – My Modern Met - <https://mymodernmet.com/robby-cuthbert-tensegrity-furniture/>)

Mesele tensegrity: principiile de tensegritate pot fi folosite și pentru a crea mese rezistente și ușoare. Mesele de tensegritate au de obicei o serie de cabluri de tensiune care susțin un blat ușor, cu barele de compresie acționând ca picioare. Acest design permite o utilizare minimă a materialelor, oferind totuși o suprafață stabilă și funcțională pentru o varietate de aplicații (Fig. 7).

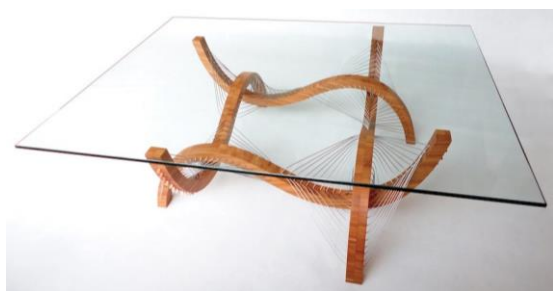


Fig. 7. Masă tensegrity de Robby Cuthbert (Stewart 2017 – My Modern Met - <https://mymodernmet.com/robby-cuthbert-tensegrity-furniture/>)

Etajere Tensegrity: Principiile Tensegrity pot fi folosite pentru a crea etajere unice și surprinzătoare vizual, care sunt atât funcționale, cât și plăcute estetic. Etajerele Tensegrity au de obicei o rețea de cabluri care susțin o serie de polițe ușoare, cu barele de compresie acționând ca suport. Acest design permite o utilizare

minimă a materialelor, oferind totodată spațiu amplu de depozitare pentru cărți, obiecte decorative și alte articole. (Fig. 8)

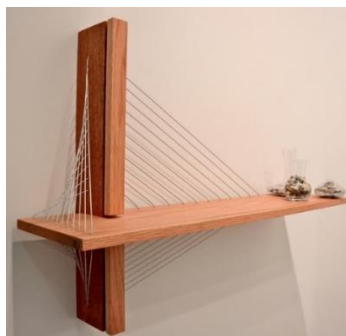


Fig. 8. Etajeră tensegrity de Robby Cuthbert (Stewart 2017 – My Modern Met - <https://mymodernmet.com/robby-cuthbert-tensegrity-furniture/>)

3. PROIECTAREA

Obiectul a fost proiectat în programul SOLIDWORKS conform modelelor oferite în continuare. Masa are dimensiunile de gabarit de 800x500x400 mm. Cadrul acesteia este compus din 14 elemente din lemn de larice, îmbinate cu cepuri drepte ascuse. (Fig. 9)

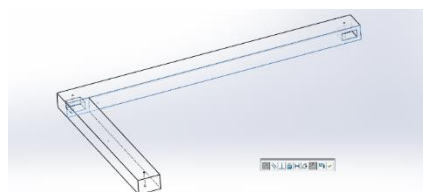


Fig. 9. Exemplu de asamblare a două elemente

S-au utilizat și accesorii metalice: șuruburi, lanțuri și cârlige cu filet. Lanțul a fost realizat în program conform dimensiunilor necesare (Fig. 10) și celelalte accesorii au fost importate în asamblare. (Fig. 11)

În urma asamblării, toate elementele au muchiile rotunjite cu raza de 5 mm. După acest model de proiectare s-a realizat obiectul practic (Fig. 13).

Scopul lanțurilor de culoare închisă este să ofere iluzia optică de plutire după cum se poate observa în randările din figura 14.



Fig. 10. Lanțul finalizat

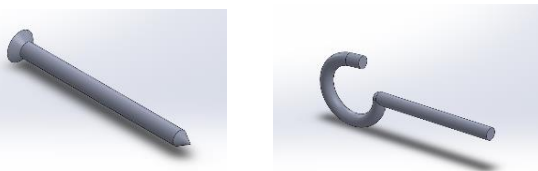


Fig. 11. Accesoriile importate.

Blatul are dimensiunile de gabarit de 840x540x20 mm și este format din mai multe lamele. (Fig. 12)

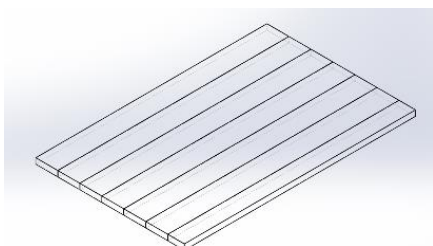


Fig. 12. Blat simplu.

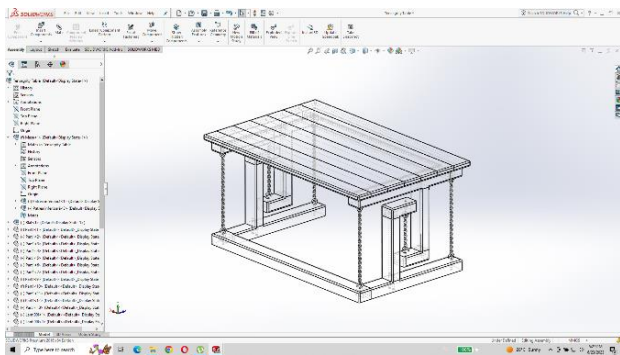


Fig. 13. Obiectul final.

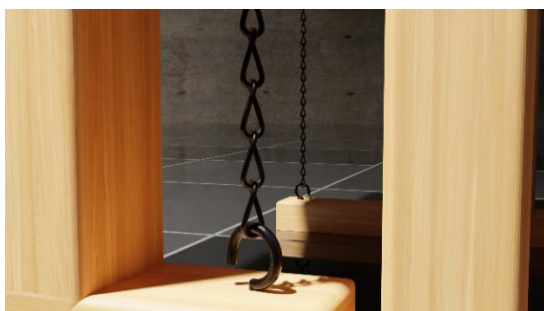


Fig. 14. Varianta de prezentare.

4. CALCULE DE REZISTENȚĂ

În (Fig. 15) sunt reprezentate doar forțele de tensiune și greutate care acționează asupra părții superioare.

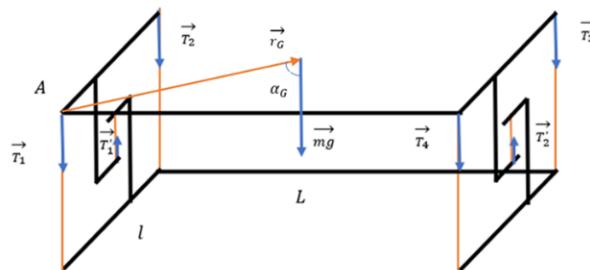


Fig. 15. Reprezentarea forțelor.

Pentru ca partea superioară să rămână în echilibru trebuie îndeplinite condițiile de echilibru la rotație. Construcția este simetrică față de planul care conține forța de greutate, deci cele patru colțuri ale părții superioare sunt identice. Forțele de tensiune care acționează în cele patru colțuri au aceeași valoare: $T_1=T_2=T_3=T_4=T$, iar forțele de tensiune din firele centrale au valori identice: $T_1'=T_2'=T'$. Considerând centrul de greutate în centrul părții superioare, condițiile ca aceasta să rămână în echilibru la rotație față de orice pol (am ales drept pol de rotație colțul A) sunt:

$$\vec{R} = 0 \quad (1)$$

unde \vec{R} -rezultanta tuturor forțelor care acționează asupra părții superioare

$$\vec{M}_A = 0 \quad (2)$$

unde \vec{M}_A - momentul resultant față de polul de rotație A.

Din (1) rezultă:

$$T_1'+T_2'-mg-T_1-T_2-T_3-T_4=0, \text{ adică} \\ 2T'-mg-4T=0 \quad (3)$$

Rezultă:

$$M_{T1}'+M_{T2}'-M_{mg}-M_{T1}-M_{T2}-M_{T3}-M_{T4}=0 \quad (4)$$

Dar $M_{T1}=T_1 \cdot r_{T1}$, $r_{T1} \cdot \sin \alpha_1=0$, $M_{T1}=0$, unde T_1 - modulul forței de tensiune din A, r_{T1} - modulul vectorului de poziție, α_1 - unghiul dintre vectorul de poziție și tensiunea din punctul A (în acest caz $\alpha_1=0^0$)

$$M_{T1}=0 \quad (5)$$

$$M_{T2}=T_2 \cdot r_{T2} \cdot \sin \alpha_2, r_{T2} \cdot \sin \alpha_2=l, M_{T2}=T_2 \cdot l,$$

$$M_{T2}=T \cdot l \quad (6)$$

$$\begin{aligned} M_{T3} &= T_3 \cdot r_{T3} \cdot \sin \alpha_3, r_{T3} \cdot \sin \alpha_3 = \sqrt{L^2 + l^2}, \\ M_{T3} &= T_3 \cdot \sqrt{L^2 + l^2}, M_{T3} = T \cdot \sqrt{L^2 + l^2} \end{aligned} \quad (7)$$

unde L - lungimea părții superioare, l - lățimea părții superioare

$$\begin{aligned} M_{T4} &= T_4 \cdot r_{T4} \cdot \sin \alpha_4, r_{T4} \cdot \sin \alpha_4 = L, M_{T4} = T_2 \cdot L, \\ M_{T4} &= T \cdot L \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} M_G &= G \cdot r_G \cdot \sin \alpha_G, r_G \cdot \sin \alpha_G = \frac{\sqrt{L^2 + l^2}}{2}, M_G = G \cdot \frac{\sqrt{L^2 + l^2}}{2}, \\ M_G &= m \cdot g \cdot \frac{\sqrt{L^2 + l^2}}{2} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} M_{T1} &= T_1 \cdot r_{T1} \cdot \sin \alpha_1, r_{T1} \cdot \sin \alpha_1 = \frac{l}{2}, M_{T1} = T_1 \cdot \frac{l}{2}, \\ M_{T1} &= T' \cdot \frac{l}{2} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} M_{T2} &= T_2 \cdot r_{T2} \cdot \sin \alpha_2, r_{T2} \cdot \sin \alpha_2 = \frac{\sqrt{4L^2 + l^2}}{2}, \\ M_{T2} &= T_1' \cdot \frac{\sqrt{4L^2 + l^2}}{2}, \\ M_{T2} &= T' \cdot \frac{\sqrt{4L^2 + l^2}}{2} \end{aligned} \quad (11)$$

Relația (4) devine

$$\begin{aligned} T' \left(\frac{l}{2} + \frac{\sqrt{4L^2 + l^2}}{2} \right) - T (L + l + \sqrt{L^2 + l^2}) - m \cdot g \cdot \\ \frac{\sqrt{L^2 + l^2}}{2} = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Din rezolvarea sistemului (13) format din ecuațiile (3) și (12) rezultă valorile tensiunilor în lanțuri în funcție de masa părții superioare:

$$\begin{cases} 2T' - 4T = mg \\ T' \frac{l + \sqrt{4L^2 + l^2}}{2} - T(L + l + \sqrt{L^2 + l^2}) = mg \frac{\sqrt{L^2 + l^2}}{2} \end{cases} \quad (13)$$

$$T = \frac{2\sqrt{L^2 + l^2} - l - \sqrt{4L^2 + l^2}}{4(\sqrt{4L^2 + l^2} - L - \sqrt{L^2 + l^2})} \cdot mg \quad (14)$$

$$T' = \frac{\sqrt{L^2 + l^2} - L - l}{2(\sqrt{4L^2 + l^2} - L - \sqrt{L^2 + l^2})} \cdot mg \quad (15)$$

sau simplificat relația (15) devine

$$T' = \frac{mg + 4T}{2} \quad (16)$$

Se pot calcula aceste tensiuni în lanțuri (fire) pentru masa proiectată în funcție de masa părții superioare cu relațiile (14) și (16). Se observă că aceste tensiuni depind doar de lungimea, lățimea și masa părții superioare și nu depind de alți parametri.

În barele de lemn vor apărea forțe de compresie egale cu aceste tensiuni, de aceea construcția care susține lanțurile (firele) trebuie să fie solidă, iar îmbinările bine realizate. Aceste forțe sunt de tip elastic și vor face obiectul unui alt studiu pe care îl voi face în viitor.

Masa părții superioare se poate calcula ușor cu formula:

$$m = \rho \cdot V \quad (17)$$

în care: ρ este densitatea lemnului de larice (550-580 kg/m³); V - volumul părții superioare

Partea superioară este formată dintr-o ramă în formă de U alcătuită din 3 bare paralelipipedice (2 cu dimensiunile 440x60x40 mm și una cu dimensiunile 800x60x40 mm), la care sunt atașate două suporturi pentru fire în formă de L alcătuite din câte 2 bare paralelipipedice (una cu dimensiunile 240x60x40 mm și cealaltă cu dimensiunile 120x60x40 mm) și blatul tot paralelipedic cu dimensiunile 840x540x20 mm.

Volumul se poate calcula astfel:

$$V = V_1 + 2V_2 + 2V_3 + 2V_4 + V_5 \quad (18)$$

unde

$$\begin{aligned} V_1 &= 0,8 \cdot 0,06 \cdot 0,04 = 0,001920 \text{ m}^3 \\ V_2 &= 0,44 \cdot 0,06 \cdot 0,04 = 0,001056 \text{ m}^3 \\ V_3 &= 0,24 \cdot 0,06 \cdot 0,04 = 0,000576 \text{ m}^3 \\ V_4 &= 0,12 \cdot 0,06 \cdot 0,04 = 0,000288 \text{ m}^3 \\ V_5 &= 0,84 \cdot 0,54 \cdot 0,02 = 0,009072 \text{ m}^3, \end{aligned}$$

Deci

$$\begin{aligned} V &= (0,001920 + 2 \cdot 0,001056 + 2 \cdot 0,000576 + \\ &+ 2 \cdot 0,000288 + 0,009072) \text{ m}^3 = 0,014712 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Conform (17) masa minimă pe care trebuie să o susțină lanțurile este $m = 580 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,014712 \text{ m}^3$, adică $m_{\text{minim}} = 8,53296 \text{ Kg}$ atunci când masa este goală (nu are nimic deasupra).

5. REALIZAREA PRACTICĂ A MESEI

În urma confecționării unei machete care folosește conceptul tensegrity, s-au observat atât avantajele cât și dezavantajele modului de lucru. (Fig. 16)



Fig. 16. Macheta

EXPERIMENTARE ÎN MOBILIER CU TEHNICA „TENSEGRITY”

Laricele mai este cunoscut la noi și cu numele de zadă, lariță sau crin. Se cunosc 13 tipuri de larice, dar cea care se găsește la noi este *Larix decidua*. Crește în mod natural în Europa centrală și de est, de aici și denumirea de larice europeană. A fost cultivată pentru prima dată în secolul 18 în Marea Britanie. (Radu 2021). Lemnul de larice este mai dur comparativ cu specii similare – brad, molid – motiv pentru care i se spune și „stejarul” rășinoaselor. Este bogat în rășină ceea ce-l face rezistent la atacul mușcăiului și face ca lemnul să aibă un miros plăcut, specific, în timpul prelucrărilor. Tot din cauza rășinii lemnul are un tușeu gras, uleios. În secțiune transversală zonele de alburn și duramen sunt foarte bine delimitate. Zona de alburn este foarte deschisă la culoare, aproape albă, iar cea de duramen poate merge de la alb gălbui închis până la roșu cărămiziu spre maro. (Radu 2021)

Lemnul de larice este rezistent, flexibil și ușor de prelucrat din acest motiv am ales să îl folosesc pentru acest proiect. Motivul pentru care am decis să proiectez și să realizez practic o masă este ușurința experimentării cu structuri simple pentru început. În viitorul apropiat planific să proiectez obiecte și mai complexe. După selectarea materiei prime (Fig. 17), s-au efectuat primele operații de prelucrare: tivire (Fig. 18), și spintecare (Fig. 19). Grosimea netă a panoului este 20 mm, drept urmare s-a adoptat grosimea STAS pentru rășinoase de 28 mm luându-se în considerare adaosurile de prelucrare.



Fig. 17. Materia primă



Fig. 18. Tivire



Fig. 19. Spintecare

În continuare au fost efectuate operațiile de îndreptare și rindeluire la grosime. Îndreptarea s-a realizat doar pe o față deoarece canturile erau deja drepte în urma operației de spintecare. Scopul acestei

operații este crearea unei baze tehnologice (unghi de 90° între cant și față și planeitatea acestora) și pregătirea piesei pentru operația următoare.

Operația de rindeluire are scopul de a obține o grosime constantă a elementului și transformarea acestuia într-o prismă.

În urma acestor operații am încleiat lamelele blatului cu poliacetat de vinil, un adeziv hidrodiluabil folosit frecvent pentru lemn. După fixarea panoului (Fig. 20) acesta a fost formatizat și muchiile au fost rotunjite.

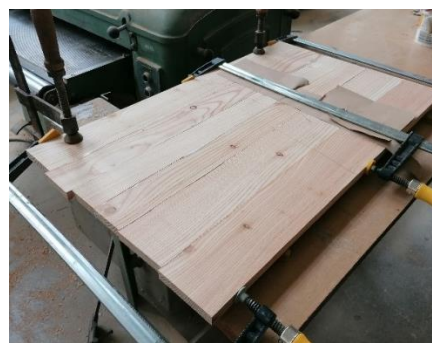


Fig. 20. Fixarea panoului pentru uscarea adezivului

Aceste operații s-au aplicat și pe elementele cadrului, față de panou este necesară confecționarea cepurilor și găurilor de cep. (Fig. 21)

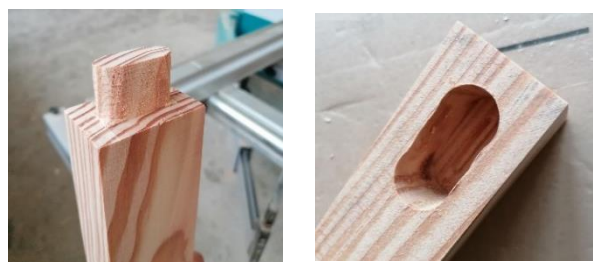


Fig. 21. Cepuri și găuri de cep

Pentru a asigura rezistența elementelor, asamblarea s-a realizat atât cu poliacetat de vinil cât și cu șuruburi 5*60. În urma asamblării muchiile au fost rotunjite cu raza de 5 mm și cadrul a fost șlefuit. (Fig. 22)

Atât pe cadre cât și pe blat s-a aplicat un strat protector de grund transparent fabricat de Luxens, tipul de lac folosit fiind lăsat la libera alegere au utilizatorului.



Fig. 22. Rotunjirea muchiilor

Pentru asamblarea cadrelor s-au montat șuruburi 6*40 cu filet metric și piuliță (Fig. 23). Acest sistem cu piuliță este reglabil și asigură tensiunea în lanțuri sau schimbarea acestora.



Fig. 23. Introducerea cârligelor

Zălele lanțului au desfăcute cu patentul până la lungimea dorită și au fost montate cu suruburile cu ochi (Fig. 24). În acest fel am ajuns la înălțimea mesei de 400 mm.



Fig. 24. Asamblarea lanțurilor

În figurile 25 a), b), c), d), e)) sunt prezentate fotografiile ale obiectului din diferite puncte de vedere. Se pot observa diferite detalii ale asamblării și ale structurii în variantele fără blat.

5. CONCLUZII

Realizarea acestei lucrări am implicat studii în diferite domenii conexe (rezistența materialelor, calcul tabelar, proiectare pe calculator utilizând programe specializate), plecându-se de la proiectare, explicarea funcționării unei structuri de acest tip și până la fabricarea obiectului proiectat, calculul necesarului de material, calcul de cost.

Obiectul proiectat și realizat a fost o provocare, deși la prima vedere pare un obiect simplu de realizat, însă provocările au fost mari, rezultatul obținut având potențial de lucru și în viitor, cu accent pe realizarea unor piese de mobilier de acest tip care să fie utile, stabile, realizate cu costuri reduse și nu doar simple obiecte de decor așa cum le percep specialiștii în domeniu în acest moment.



a)



b)



c)



d)



e)

Fig. 25. Detalii constructive ale produsului final

BIBLIOGRAFIE

- [1] Achkov K. Tensegrity chair- <https://www.coroflot.com/konstant73/tensegrity-furniture>
Allain R. 2020 Wired Wait a second, that table has no legs! - <https://www.wired.com/story/wait-that-table-has-no-legs/>
- [2] Chun hua Zheng*, Joseph Doll*, Emily Gu , Elizabeth Hager-Barnard , Zubin Huang*, AmirAli Kia*, Monica Ortiz , Bryan Petzold, Yufen Shi, Sang Do Suk*, Takane Usui*, Ronald Kwon*, Christopher Jacobs* , Ellen Kuhl* 2008 - Exploring cellular tensegrity: physical modeling and computational simulation- <http://biomechanics.stanford.edu/conf/zheng08.pdf>

EXPERIMENTARE ÎN MOBILIER CU TEHNICA „TENSEGRITY”

- [3] Fivat S., Rieffel J., Chandana P., Cuevas F. V., Lipson H. - Columbia University – Tensegrity Robots - <https://www.creativemachineslab.com/tensegrity.html#:~:text=Tensegrities%20are%20structures%20made%20out,used%20frequently%20in%20architectural%20design.>
- [4] Fuller R. B. (1975) SYNERGETICS Explorations In The Geometry Of Thinking Volume I Macmillan Publishing Co New York
- [5] Grimes W. 2016 New York times Kenneth Snelson, Sculptor Who Fused Art, Science and Engineering, Dies at 89 - <https://www.nytimes.com/2016/12/23/arts/design/kenneth-snelson-dead-sculptor.html>
- [6] Samantha Pires 2021 My modern met - 8 Incredible Structures Around the World That Use Tensegrity to Defy Gravity - <https://mymodernmet.com/tensegrity-architecture/>

Despre autor

Ing. **Roxana GALL**
Universitatea „Transilvania”

Absolventă a Facultății de Design de Mobilier și Inginerie a Lemnului, cu specializarea Ingineria și Designul Produselor Finite din Lemn, Universitatea „Transilvania”, Brașov, România, în prezent continuând studiile de mater în cadrul aceleiași facultăți. Prezintă interes încă de la o vârstă fragedă în modul de funcționare al lucrurilor din mediul înconjurător, drept urmare din anul 2020 am început să mă inițiez în lumea cercetării științifice în diferite domenii. În urma cercetării am câștigat premii la concursuri naționale și internaționale, am publicat articole ca și autor principal sau co-autor și am participat la conferințe pe domeniul studiat.