

# CONCEPȚII NOI ÎN STRUCTURA DE REZISTENȚĂ A CUPOLELOR SFERICE REALIZATE DIN BARE EGALE

Drd. ing. Ciprian Petrică DIACONU<sup>1</sup>, Ing. Gheorghe Corneliu MORARU<sup>2</sup>,  
Prof. univ. dr. ing. dr. h. c. Ioan CURTU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitatea „Transilvania” – Brașov

<sup>2</sup>SC East SRL – Brașov

**REZUMAT.** În lucrare este prezentată o nouă structură sferică, principial asemănătoare cu cupolele sferice. La conceperea sa s-au folosit noțiuni ample studiate de marii matematicieni din toate timpurile, începând încă din Antichitate, prin Pitagora, Platon și Euclid, continuând cu Evul Mediu, unde îi putem aminti pe Leonardo Da Vinci și Fibonacci și terminând cu celebrele „domuri geodezice” ale lui R. B. Fuller. Noțiunile se referă la studiul „Numărului de aur”, a Pentagonului Regulat și a corpurilor inscriptibile în sfere. Autorii propun noi soluții constructive pentru îmbinările din noduri, pentru asamblarea barelor folosindu-se o metodă originală, iar pentru a îndeplini cerințele unei structuri moderne, se caută metode de producere proprie de energie, folosirea de materiale ecologice, cost minim de întreținere și execuție etc. Structura studiată (teoretic și realizată practic) este caracterizată prin: barele sunt egale; întreg volumul este util; este de cca 4 ÷ 5 ori mai ieftină decât structurile obișnuite; durată redusă de execuție; îmbinările celor trei bare din noduri sunt rigide și articulate ș.a.

**Cuvinte cheie:** cupolă sferică, dom geodezic, poligoane regulate, hexagoane regulate.

**ABSTRACT.** The paper contains the presentation of a new spherical structure, mainly resembling to spherical domes. To its conception contributed concepts studied broad by great mathematicians from all times, starting from the Antiquity through Pythagoras, Platen and Euclid, continuing in the Middle Ages, where we can mention Leonardo Da Vinci and Fibonacci and ending with R.B. Fuller's famous geodesic domes. Concepts refer to the study of "The golden number", the regular pentagon and solids recordable in spheres. The authors propose new constructive solutions for fixed joining in junctions, for assembling bars using an original method and in order to fulfill the requirements of a modern structure, methods of self energy production and the employment of ecological materials, minimal maintenance and execution cost. The studied structure (theoretically and practically accomplished) is characterized by: the bars are equal; the entire capacity is of use; it is 4-5 times cheaper than a regular structure; narrow execution period; the fixed joining of the three bars from the junctions are rigid and articulate.

**Keywords:** spherical dome, geodesic dome, regular polygons, regular hexagons.

## 1. INTRODUCERE

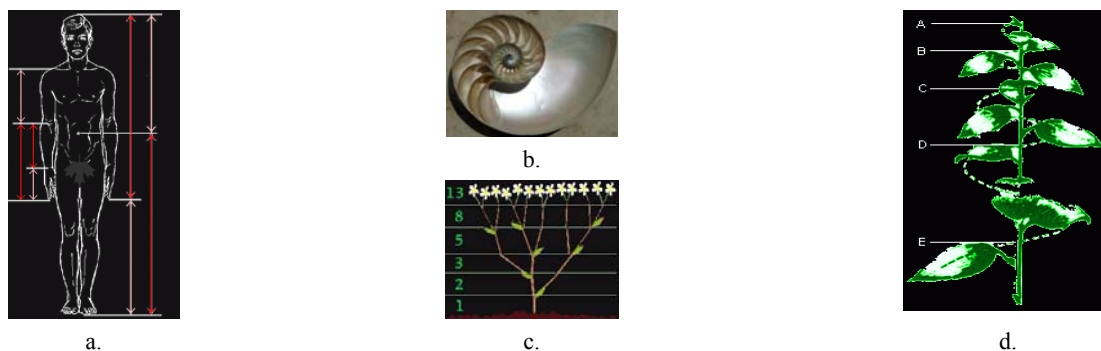
Nevoile contemporane ale activităților zilnice: de muncă, sportive, de recreere, de odihnă etc. sunt condiționate de construirea de structuri moderne care să aibă un grad cât mai mare de rentabilitate din mai multe puncte de vedere: costuri mici de execuție și întreținere, comportarea optimă de rezistență a structurii la acțiunea factorilor externi, producere proprie de energie, utilizarea maximă a volumului interior, design modern etc. Activitatea cercetărilor științifice caută soluții în acest sens. S-a constatat că structurile formate din suprafețe curbe sunt cele mai potrivite pentru a răspunde nevoilor expuse. Suprafețele curbe sunt elemente de arhitectură și se utilizează la acoperirea unor mari spații de forme circulare (calote și cupole sferice) folosind numai învelitori sprijinite exterior.

Din punct de vedere al comportamentului structural al construcțiilor de tip cupole sferice la acțiunea factorilor

externi acesta este unul mult superior construcțiilor obișnuite. În primul rând, prin forma curbă, preluarea și distribuția forțelor către elementele ce formează infrastructura se produce diferit față de structurile convenționale în sensul îmbunătățirii mecanismului. Apoi, prin execuția și rigidizarea corespunzătoare a structurii, răspunsul seismic este unul optim pentru cerințele actuale de proiectare.

Prin utilizarea noțiunii de „Număr de aur” se dezvoltă conceptul de proporție perfectă a elementelor ce alcătuiesc structurile sferice [2].

Numărul de aur mai este denumit și „Secțiunea de aur”, „Raportul de aur” sau „Proporția de aur”. Acesta este un număr irațional și este extrem de răspândit în natură (Fig. 1, a...d): proporțiile întâlnite la cochiliile de melci; la bifurcația ramurilor plantelor și a arborilor; la proporțiile omului (raportul dintre înălțimea totală și distanța dintre tălpi și ombilic este egal cu raportul dintre înălțimea feței de la baza bărbiei la rădăcina părului și distanța de la baza bărbiei la arcada sprâncenelor) etc.



**Fig. 1.** Câteva exemple cu răspândirea numărului de aur în natură:}

*a* – proporțiile corpului omenesc; *b* – proporțiile cochiliilor de melci; *c* – bifurcația ramurilor arborilor; *d* – bifurcația ramurilor plantelor.

Valoarea lui  $\Phi$  este  $\Phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1,618...$  având un număr infinit de zecimale.

Marii arhitecți și ingineri ai lumii au folosit, intuitiv sau au căutat numărul de aur din cele mai vechi timpuri la construcția unor mari edificii (Fig. 2): Marea piramidă a lui Kheops, Partenonul din Atena etc.

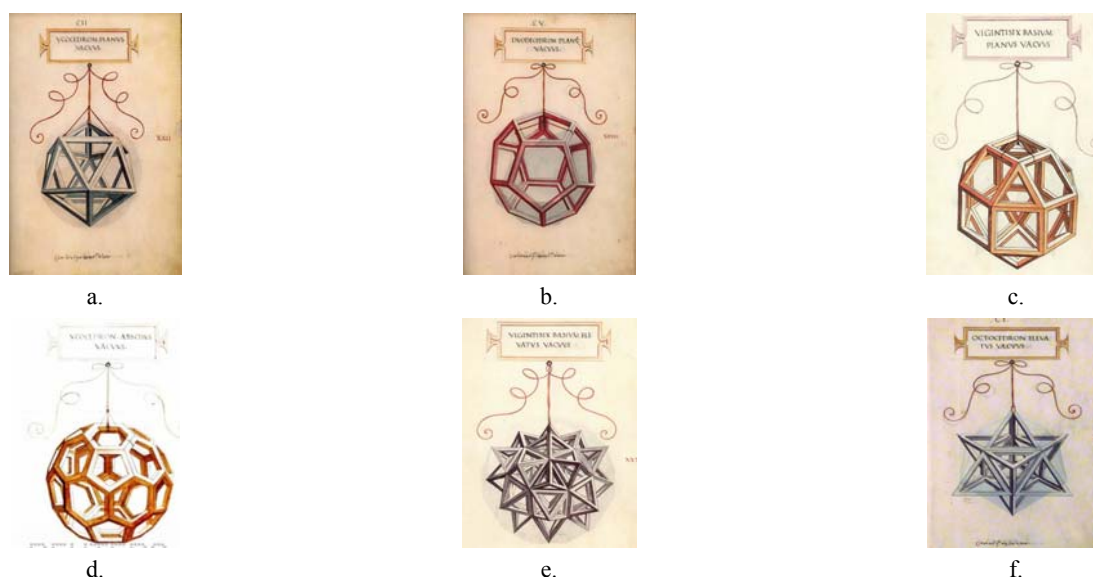


**Fig. 2.** Construcții antice construite cu ajutorul numărului de aur:  
*a* - Marea Piramidă a lui Kheops; *b* - Partenonul

Numărul de aur este strâns legat de șirul lui Fibonacci, în care fiecare element este suma celor două numere anterioare: 1; 1; 2; 3; 5; 8; 13; 21... Proprietatea acestui șir este că raportul dintre termenii succesivi tind către  $\Phi$ , respectiv către inversul lui,  $1/\Phi$  care are exact aceleași zecimale: 0,618...

Prin rotația suprafețelor plane, obținute cu ajutorul proporțiilor datorate numărului  $\Phi$ , în jurul unor axe se pot obține corpuri spațiale construite pe baza: paralelipipedelor, prismelor, piramidelor etc. Astfel de corpuri spațiale au fost imaginate și desenate prima dată de LEONARDO DA VINCI (Fig. 3).

În “De divina proportione” de LUCA PACIOLI (1509) [1] se menționează referirile lui LEONARDO DA VINCI cu privire la corpurile solide platoniciene: “ycocedron abscisus solidus” și “septuaginta duarum basium vacuum” (Fig. 4, a și b).



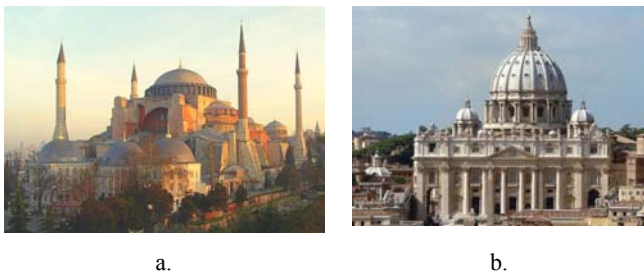
**Fig. 3.** Corpurile lui Leonardo da VINCI:

*a* – „ycocedron planus vacuum” (icosaedrul), *b* – „duodecedron planus vacuum” (dodecaedrul), *c* – „vigintisex basium planus vacuum” (poliedru semiregulat), *d* – „ycocedron abscisus vacuum” (poliedru semiregulat), *e* – „vigintisex basium elevatus vacuum” (dodecaedrul stelat), *f* – „octocedron elevatus vacuum” (stella octangula).



**Fig. 4.** Corpuri solide platoniciene:  
a – ycoedron abscisus solidus; b – septuaginta duarum basium vacuum.

Evul Mediu a fost perioada de realizare a unor mari edificii în care s-au utilizat cupole, uneori cu foarte mari deschideri (Fig. 5).

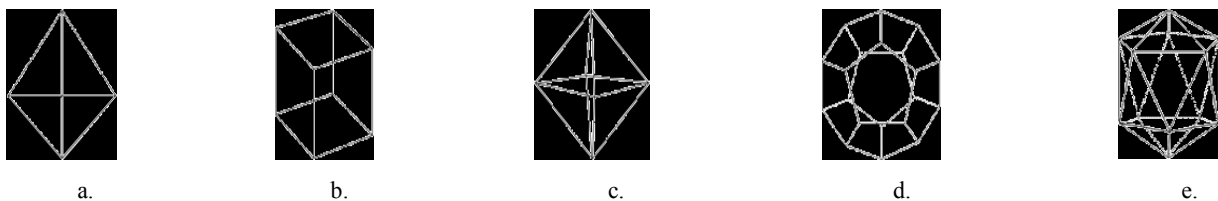


**Fig. 5.** Edificii medievale cu mari deschideri ale cupolelor:  
a – Catedrala Sf. Sofia, Istanbul; b – Basilica San Pietro, Vatican.

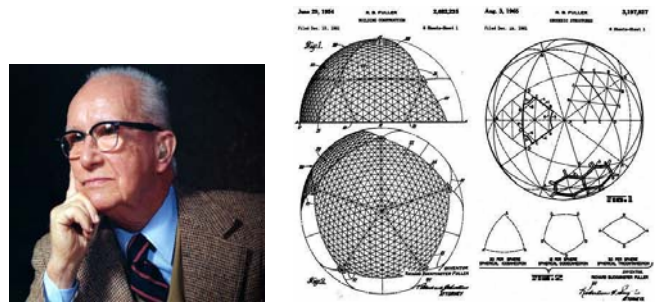
A urmat o perioadă în care arhitectura s-a perfecționat continuu astfel încât astăzi există cunoștințe teoretice complete pe tema realizării cupolelor.

RICHARD BUCKMINSTER FULLER (1895–1983) a fost o personalitate multilaterală (vizionar, designer, arhitect, inginer, poet, filozof, inventator etc.) care a rămas celebru prin realizarea așa numitelor „domuri geodezice”. Acestea sunt construcții de formă sferică sau de forma calotelor sferice. Fuller a identificat o modalitate de divizare a suprafețelor sferice în zone egale între ele. Apoi a divizat fiecare dintre aceste zone în triunghiuri și le-a reasamblat obținând imaginea unei structuri sferice complete formată din bare (Fig. 6).

Aceste structuri au două caracteristici definitorii: în fiecare nod se reunesc câte șase capete de bare; barele se assemblează între ele formând triunghiuri [4].



**Fig. 8.** Poliedre regulate:  
a – tetraedru; b – hexaedru; c – octaedru; d – dodecaedru; e – icosaedru.



**Fig. 6.** R. B. Fuller și brevetul său.

Prin utilizarea principiilor lui Fuller, experiența construirii de imobile sferice s-a extins ajungându-se în prezent chiar la comercializarea de kit-uri de case care se pot asambla de către beneficiar. (Fig. 7).



**Fig. 7.** Imobile construite după metoda lui Fuller în diverse stadii de execuție.

## 2. SOLUȚII NOI DE STRUCTURI PORTANTE ALE SUPRAFEȚELOR CURBE

Se cunosc și alte structuri spațiale sferice formate din bare egale pe lângă cele brevetate de R. B. Fuller. De exemplu, toate structurile spațiale care respectă formele oricăroră dintre cele cinci poliedre regulate (tetraedru, hexaedru, octaedru, dodecaedru și icosaedru) sunt sferice pentru că sunt inscriptibile în sfere (Fig. 8).

Dezavantajele acestor structuri constă în faptul că sunt formate dintr-un număr mic de bare, având unghiuri mici între poligoanele alăturate. De exemplu, cel mai deschis poliedru este dodecaedrul la care unghiul dintre două poligoane alăturate este de  $115^\circ$ .

Pornind de la aceste poliedre regulate s-au imaginat, proiectat, executat și s-au folosit în practică și alte poliedre sferice cu bare egale, dar care sunt poliedre neregulate deoarece sunt formate din poligoane regulate diferite. Aceste transformări se obțin prin rotații și translații ale poligoanelor (fețelor) poliedrelor regulate intercalând între ele alte poligoane regulate. Acestea au avut drept scop:

- reducerea la trei a numărului de muchii care se reunesc în același vârf;
- deschiderea unghiurilor dintre poligoanele alăturate;
- obținerea de cadre poligonale, altele decât triunghiuri.

Fiecare dintre cele cinci poliedre regulate pot fi transformate. S-a procedat la transformarea unui dodecaedru (format din 12 suprafețe pentagonale regulate) pentru obținerea unui poliedru neregulat format din 20 de hexagoane regulate și cele 12 pentagoane regulate inițiale [5]. Transformarea s-a realizat în doi pași (Fig. 9):

**Pasul 1.** Rotirea pentagoanelor astfel încât să nu mai fie alăturate având câte o latură comună ci având câte un vârf comun. Se obține un poliedru neregulat intermediar format din 60 de muchii egale care compun cele 12 pentagoane inițiale dar și 20 de triunghiuri echilaterale. În fiecare vârf al acestui poliedru se reunesc câte patru muchii;

**Pasul 2.** Translația pentagoanelor în sensul îndepărtării lor la distanța egală cu lungimea unei muchii, cele 20 de triunghiuri echilaterale transformându-se în hexagoane regulate, fiecare vârf devenind format din numai trei muchii. Astfel se obține un poliedru neregulat sferic format din 90 de muchii egale reunite în 60 de vârfuri identice, fiecare dintre vârfuri reprezentând originea unui triedru în care se reunesc planurile a două hexagoane regulate și unui pentagon regulat.

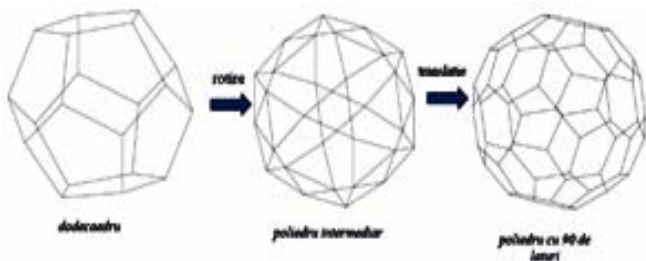


Fig. 9. Geneza poliedrului neregulat cu 90 de bare egale.

Structura spațială de tip sferică cu 90 de bare egale formată din pentagoane și hexagoane are toate laturile,

vârfurile și fețele poligonale câte două, simetrice față de centrul sferei circumscrise (sau a sferei înscrise) în aceasta. Tipul acesta de structură este de fapt un poliedru neregulat deoarece este format din poligoane regulate diferite [6]. Notând cu  $a$  dimensiunea unei laturi a poliedrului se identifică următoarele caracteristici:

- diametrul sferei circumscrise este  $4,882489032a$ ;
- diametrul sferei înscrise este  $4,61653a$ ;
- distanța dintre două pentagoane opuse este  $4,654876871a$ ;
- distanța dintre două hexagoane opuse este  $4,53457a$ ;
- suprafața totală a poliedrului este  $74,85351532a^2$ ;
- volumul poliedrului este  $60,91191126a^3$ .
- fețele poliedrului sunt poziționate între ele astfel: unghiul dintre două hexagoane alăturate este  $138,189685^\circ$ ; unghiul dintre un pentagon și un hexagon alăturat lui este  $142,6226319^\circ$

Structura spațială de tip sferic cu 90 de bare egale formată din pentagoane și hexagoane din figura 10 în integritatea ei are puține utilizări practice. În schimb sunt utilizate cu succes secțiuni ale acesteia. Câteva secțiuni sunt prezentate în figurile 11, 12 și 13.

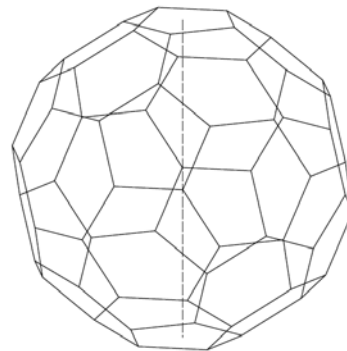


Fig. 10. Structura spațială de tip sferic cu 90 de bare egale formată din pentagoane și hexagoane.

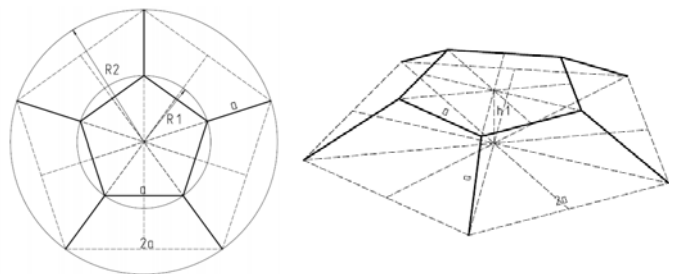


Fig. 11. Secțiunea 1:

$a$  – latura barei;  $R_1$  – raza cercului circumscris pentagonului de latură  $a$ ,  $R_1 = 0,8506508084 \times a$ ;  $R_2$  – raza cercului circumscris pentagonului de latură  $2a$ ,  $R_2 = 1,701301617 \times a$ ;  $h_1$  - distanța pe verticală dintre cele două planuri formate din cele două pentagoane regulate de latură  $a$ , respectiv  $2a$ ,  $h_1 = 0,5257311117 \times a$ .  
Înălțimea structurii:  $h_1 = 0,5257311117 \times a$ .



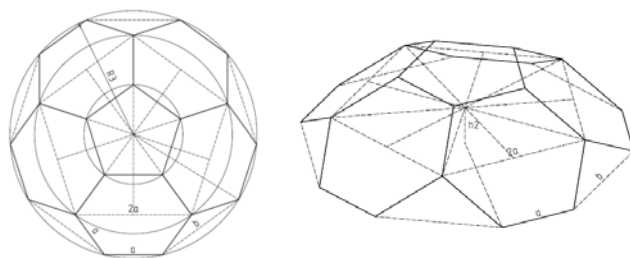


Fig. 12. Secțiunea 2:

$b$  – diagonala pentagonului regulat,  $b = 1,618033989 \times a$ ;  $h_2$  – distanța pe verticală dintre cele două planuri formate din pentagonul regulat de latură  $2a$  și poligonul cu 10 laturi inscriptibil în cercul de rază  $R_3$ . Poligonul înscris în cercul de rază  $R_3$  are laturile dispuse succesiv cu lungimea de o latură  $a$ , respectiv cu lungimea diagonalei pentagonului regulat  $b$ ,  $h_2 = h_1 = 0,5257311117 \times a$ ;  $R_3$  – raza cercului circumscris poligonului cu 10 laturi, de lungime  $a$ , respectiv  $b$ ,  $R_3 = 2,124255441 \times a$ .  
Înălțimea structurii:  $2 h_1 = 1,051462223 \times a$ .

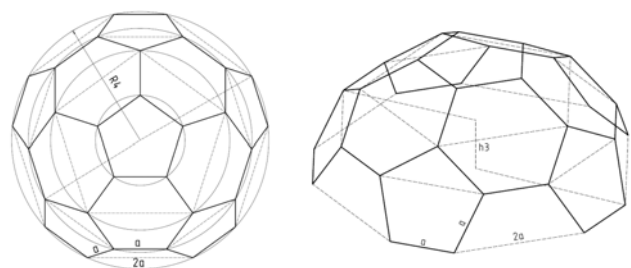


Fig. 13. Secțiunea 3:

$h_3$  – distanța pe verticală dintre cele două planuri formate din poligonul cu 10 laturi inscriptibil în cercul de rază  $R_3$  și poligonul cu 10 laturi inscriptibil în cercul de rază  $R_4$ . Poligonul înscris în cercul de rază  $R_4$  are laturile dispuse succesiv cu lungimea de o latură  $a$ , respectiv cu lungimea diagonalei hexagonului regulat  $2a$ ,  $h_3 = 0,850650808 \times a$ ;  $R_4$  – raza cercului circumscris poligonului cu 10 laturi, de lungime  $a$ , respectiv  $2a$ ,  $R_4 = 2,441244516 \times a$ .  
Înălțimea structurii:  $2 h_1 + h_3 = 1,902113031 \times a$ .

În mod similar se construiesc încă două secțiuni, în final rezultând structura completă.

### 3. STRUCTURI DIN LEMN

S-a studiat o structura spațială sferică utilizată la construcții din lemn. Există două variante de utilizare a acestei structuri la construcțiile din lemn [3]:

– **Cu colțare din lemn** (Fig. 14): pentru respectarea riguroasă a configurației structurii s-au realizat la fiecare nod trei colțare din lemn, fixate rigid de bare: colțare pentru pentagoane care asigură unghiul de  $108^\circ$  dintre bare și colțare pentru hexagoane care asigură unghiul de  $120^\circ$  dintre bare.

– **Cu bare libere** (Fig. 15): s-a numit astfel sistemul de autoblocare a câte trei capete de bare în noduri pe principiul celor trei pârghii (Fig. 15, a). Prin îndepărtarea maximă a barelor inferioare se stabilizează întreaga structură (Fig. 15, b).

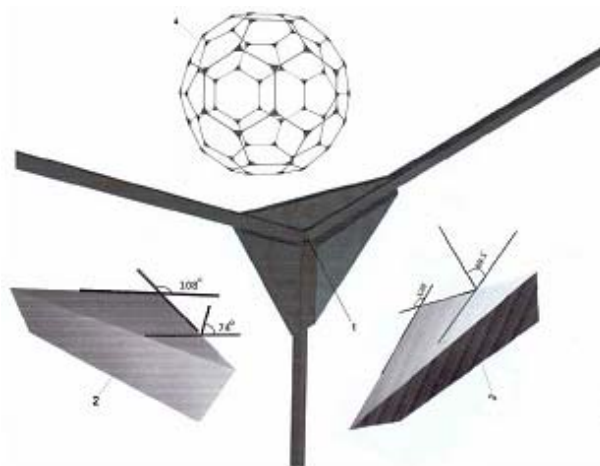


Fig. 14. Structura spațială sferică cu noduri formate din colțare din lemn:

1 – nod; 2 – colțar din lemn pentru pentagoane; 3 – colțar din lemn pentru hexagoane; 4 – structura finală a sferei.

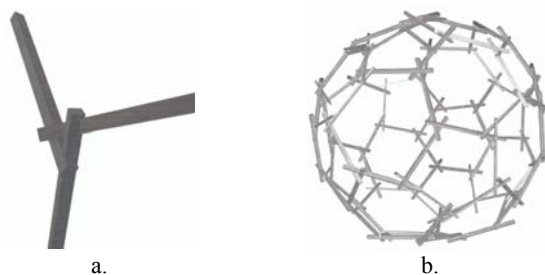


Fig. 15. Structura spațială sferică cu bare libere din lemn:  
a – principiul celor 3 pârghii; b – structura finală.

Aceste cupole se recomandă să se folosească pentru construcții care trebuie asamblate rapid, în situații de urgență. Structurile trebuie să fie suporturi pentru învelitori ușoare: folii, prelate, stuf, cetină, paie etc.

### 4. CONCLUZII

Se poate afirma că această structură se poate constitui într-o metodă generală de proiectare a suprafețelor curbe, metodă care trebuie luată în considerare în paralel cu orice altă metodă similară. Ea trebuie să intre în arsenalul de cunoștințe de specialitate a celor care se ocupă de construcțiile din lemn și nu numai.

Avantajele construcțiilor de acest tip reies mai ales din forma geometrică armonios proporționată cu ajutorul utilizării „Numărului de aur”. Geometria oferă superioritate structurii de rezistență comparativ cu formele convenționale prin: preluarea și transmiterea eforturilor prin unghiuri prestabilite, fără sprijiniri interioare; execuția riguroasă a structurii conduce la comportament ductil la acțiunea încărcărilor accidentale. Avantajele de ordin economic sunt evidențiate de: cost

de execuție minim (structura portantă este alcătuită din bare de aceeași lungime); cost minim de întreținere (prin izolarea termică și fonică corespunzătoare).

Oportunitatea de a folosi materiale ecologice împreună cu avantajele prezentate, face din această structură o construcție modernă care îndeplinește în mare măsură toate exigențele din domeniu.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] PACIOLI, Luca. (1509). "De Divina proportione", Milano;
- [2] BOBANCU Ș., CIOC V. *Secțiunea I – Calculul armoniei proporțiilor și culorilor*. Seria: Inovare inginerescă în design.
- [3] MARUSIAC, D. (1997). *Construcții Moderne din Lemn*, București: Editura Tehnică.
- [4] FULLER RICHARD BUCKMINSTER. *Laminar geodesic dome*. Inventatori: R. B. FULLER. US3203144 A. 1965 – 08 – 31.
- [5] MORARU GHEORGHE CORNELIU. *Structură spațială sferică formată din 90 de bare egale*. Inventatori: G. C. MORARU. BOPI Nr. 4/2010 (Buletinul oficial de proprietate industrială).
- [6] DIACONU C., CURTU I., MORARU G. C., ș.a.: *Large curved surface sustained by 3D spherical structure formed by 90 equal wooden bars*, in Proceedings of 1<sup>o</sup> Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção, Coimbra, Portugalia 7 – 9 iunie 2011, ISBN 987-989-96461-2-4, p. 111 – 112 (Book of Abstract) și pe CD lucrarea în extenso: <https://www.dec.uc.pt/cimad11/en/>
- [7] CURTU I., STANCIU M. D., ș.a.: *The wooden churches of Maramures – elements of timber civilization in Romania*, in Proceedings of 1<sup>o</sup> Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção, Coimbra, Portugalia 7 – 9 iunie 2011, ISBN 987-989-96461-2-4, p. 67 – 69 (Book of Abstract) și pe CD lucrarea în extenso: <https://www.dec.uc.pt/cimad11/en/>
- [8] BOTIȘ M., CURTU I., STANCIU M. D., ș.a.: *Research regarding FEM analysis of stress and strain state from the structure of wooden churches*, in Proceedings of 1<sup>o</sup> Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção, Coimbra, Portugalia 7 – 9 iunie 2011, ISBN 987-989-96461-2-4, p. 169 – 170 (Book of Abstract) și pe CD lucrarea în extenso: <https://www.dec.uc.pt/cimad11/en/>
- [9] COȘEREANU C., CISMARU M., ș.a.: *Research on the physical and mechanical characteristics of some laminated wood – textile composites*, in Proceedings of 1<sup>o</sup> Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção, Coimbra, Portugalia 7 – 9 iunie 2011, ISBN 987-989-96461-2-4, p. 233 – 234 (Book of Abstract) și pe CD lucrarea în extenso: <https://www.dec.uc.pt/cimad11/en/>
- [10] KAJIKAWA TAJI. *Tensegrity structure, its module and unit*. Inventatori: Taiji KAJIKAWA. JP9166286 A. 1997 – 06 – 24.
- [11] WOLFRAM BLAIR F. *Connector for geodesic dome structures*. Inventatori: B. F. WOLFRAM. US2009056239 A1. 2009 – 03 – 05.
- [12] MILLER ROBERT TODD. *Geodesic dome*. Inventatori: R. T. MILLER. US2002088185 A1. 2002 – 07 – 11.
- [13] RAMCO YKK. *Dome truss structure*. Inventatori: YKK RAMCO. GB2277539. 1994 – 11 – 02.
- [14] MOȚOC D. L., CURTU I., ș.a. (2010). „Multiphase Polymeric materials CTE Variations with Extreme Environmental Conditions”, *Revista Materiale Plastice*, vol. 47, nr. 2, ISI, ISSN 0025 – 5289, p. 236 – 239.
- [15] FOTIN A., CISMARU I., CURTU I. „The tool influence on the quality of the birch wood straight milled surfaces”, *Procc. 7th Int. Conf. Of DAAM Baltic Industrial*, vol. 1 and 2. Tallin, Estonia, ISI, ISBN 978 – 99885 – 59 – 982 – 2, p. 269 – 274.
- [16] HORJA, Codruta, „Casele viitorului”, [online], *Adevarul*, 14 octombrie 2010. Disponibil la: <http://www.adevarul.ro/>.
- [17] MAZILU, Dan, „Domul geodezic”, [online], *Casamea*, 24 august 2009. Disponibil la: <http://www.casamea.ro/casa/construcii/solutii-constructive/domul-geodezic-1068>
- [18] SIEDEN, Lloyd Steven. "The Birth of the Geodesic Dome: How Bucky Did It.", [online], *The Futurist*, November/December 1989. Disponibil la: [http://www.Isi.usp.br/usp/rod/bucky/geodesic\\_domes.txt](http://www.Isi.usp.br/usp/rod/bucky/geodesic_domes.txt).

## Despre autori

### Drd. ing. Ciprian Petrică DIACONU

Universitatea „Transilvania” – Brașov

Absolvent al Universității „Transilvania” din Brașov, Facultatea de Construcții, secția Construcții Civile Industriale și Agricole în anul 2009, în prezent doctorand fără frecvență la Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Inginerie Mecanică, Catedra Rezistența Materialelor și Vibrații.

### Ing. Gheorghe Corneliu MORARU

SC East SRL - Brașov

A absolvit Facultatea de Industrializarea Lemnului de la Universitatea „Transilvania” din Brașov în anul 1965. A profesat în domeniile: Fabricarea mobilei, Construcții, Informatică, Termotehnică; cu o bogată experiență în domeniul Construcțiilor din lemn; autor al Brevetului „Structura spațială sferică formată din 90 de bare egale”, BOPI Nr. 4/2010 (Buletinul Oficial de Proprietate Industrială).

### Prof. univ. dr. ing. dr. h. c. Ioan CURTU

Universitatea „Transilvania” – Brașov

A absolvit Facultatea de Industrializarea Lemnului; doctor inginer din anul 1973; conducător științific de doctorat din 1988, în specialitatea *Rezistența materialelor, elasticitate și plasticitate*; 22 teze de doctorat finalizate; Doctor Honoris Causa al Academiei Tehnice Militare București (2008) și al Universității „Dunărea de Jos” Galați (2011), premiul Traian Săvulescu al Academiei

## STRUCTURA DE REZISTENȚĂ A CUPOLELOR SFERICE REALIZATE DIN BARE EGALE

---

Romane (1990). A efectuat studii și cercetări în domeniul rezistenței, elasticității și testării lemnului și compozitelor lignocelulozice, materializate în peste 500 articole și lucrări științifice publicate la conferințe internaționale, în baze de date și simpozioane naționale. A publicat la edituri centrale peste 24 de cărți, iar pe plan local, 17 manuale universitare. Este membru titular al Academiei de Științe Tehnice din România. Este membru titular al Academiei de Științe ale naturii a Federației Ruse, Moscova.