

# ASPECTE PRIVIND STĂRILE DE TENSIUNI ȘI DEFORMAȚII ÎN STRUCTURA TURNURILOR BISERICILOR DE LEMN DIN MARAMUREȘ CU REFERIRI CONCRETE LA BISERICA PLOPIȘ

Prof .dr. ing . Ioan CURTU\*  
Sef.lucr..ing. Marius BOTIȘ\*  
Conf.dr.ing. Angela REPANOVICI\*  
Sef.lucr.ing. Camelia CERBU\*  
Prof .dr. ing . Vasile CIOFOAIA\*

**Rezumat:** În lucrare se fac referiri la bisericile din Maramureș ca cele mai mari structuri din lemn din Europa. Se face o analiză cu MEF a stărilor de tensiune și deformații din structura turnului bisericii din Plopiș.

*"Bisericile sunt samânta, fermentul,  
sarea și lumina lumii"*

*Sf. Apostol Pavel*

*"Dacă biserica ar dispărea în istorie  
ar dispărea și omul"*

*Petre Țuțea*

## 1.Considerații generale

Bisericile din lemn din Maramureș sunt cele mai înalte construcții din lemn din Europa. Cele mai vechi construcții din lemn le întâlnim la bisericile din leud -Deal (1384) și Barsana 1390. Cea mai înaltă biserică a fost până în 1995 cea din Surdești (1783,57 m înălțime) iar în prezent cea din Barsana (59 m din 1995) (fig.1...4).

Bisericile din lemn sunt opere de artă, grațioase și sublime; sunt opere de arhitectură sacră; sunt originale și nu făcute de mâna străină; sunt creații ale geniului popular, ale unor oameni simpli, ale unor țărani creștini și modești, care preamăresc pe Dumnezeu și nu pe ei înșiși.

Predominant și maiestos este turnul acoperișului. Acesta sugerează prin formă și alcătuire structurală-idei și emanații spirituale, exprimă raporturi dintre creator și creație; exprimă atotputernicia Creatorului și măreția lui Dumnezeu. Foișorul turnului este estetic, ușurează aspectul greoi al unui turn înalt și dă siguranță și stabilitate. Foișorul are doua trei sau patru arcade și are patru turnulețe.

Acoperișul are un volum mare și aerisit. Are de regulă două "poale" (de 60-80 grade), reușind să asigure o foarte bună protecție a peretilor de apa și zapada)

În ansamblu bisericile de lemn din Maramureș sunt o organică unitate între întreg și părți, între formă și conținut, ca într-o melodie notele ce o compun. Acestea sunt neschimbate de 4-5 secole și sunt martori permanenți ai unei civilizații străvechi, ai civilizației lemnului, ai aventuri lemnului. Acestea sunt muzica sculptată în lemn. În bisericile din lemn ce îmbină strălucirea luminii exterioare cu cea din noi. Analizând pentrograma dublă a structurii de ansamblu a bisericilor din lemn constatăm că, se respectă cu strictețe raportul de aur  $M/m = 1,618$  ceea ce îi conferă suplețe, eleganță, aspect maiestos și aleasă frumusețe (fig.5).

\*Universitatea Transilvania din Brasov, Centrul de excelență științifică în mecanică aplicată "CESMA", E-mail: curtui@unitbv.ro

## 2. Sistemul constructiv

Biserica este ridicată pe o fundație, de obicei din zidărie de piatră uscată mică ca înălțime, se realizează pereții de lemn compuși din bârne orizontale cioplite îmbinate în "chetori" la colțuri. Uneori se pornește de pe o fundație, cu o talpă mai lată și mai înaltă [2].

La Bisericile vechi de stejar, construite în zone unde domină stejarul, pereții se realizează de obicei din cinci "lemne", bârne late de stejar cioplite manual cu barda.

Acest sistem constructiv, din "cununi" orizontale de lemne îmbinate în toate intersecțiile și prinse în cepuri între ele pe care germanii îl numesc *BLOCKBAU* se deosebește de alte zone din lume unde s-au folosit alte sisteme constructive din elemente verticale, stâlpi unul lângă altul, sistem *MASTENBAU* – specific pentru Țările Scandinavice.

Pereții Bisericilor de lemn, de obicei, nu sunt înalți, cca. 260 – 280 cm, pe care urmează să facă un sistem de acoperire a spațiului interior.

Deoarece pe pronaos se dezvoltă turnul, el este așezat pe patru grinzi în cruce, sau perechi de grinzi, de pe care pornesc stâlpii turnului pe verticală.

Peretele dintre pronaos și naos este prevăzut cu goluri prin care cei ce stăteau în pronaos să poată parțial vedea ce se întâmplă în naos.

Tavanul pronaosului din acest motiv este orizontal, realizat din scândură bătută pe aceste perechi de grinzi, pe care se dezvoltă turnul vertical.

Soluția de acoperire a naosului este numită "Cerul Bisericii" acoperit, de regulă la toate Bisericile și cu bolți mult mai puțin evoluată, realizate poligonale, la cele două Biserici: leud deal și Bârsana, care sunt mai vechi [2].

Această boltă cilindrică pentru a se putea crea un volum de aer cât mai mare, se realizează supraînălțată pe două console succesive scurte, corespunzătoare nivelului pe verticală al celor două "poale".

Aceste mici console se fac longitudinal din peretele lateral al naosului, realizând retragerea pentru a se putea înscrie boltă în gabaritul acoperișului.

Această soluție tehnică este ingenioasă și originală, ea cere ca șarpanta acoperișului naosului să se rezolve în două "poale".

Acest acoperiș al Bisericilor maramureșene, în "două poale", amplifică efectul de "monumental" al bolții prin această supraînălțare a acoperișului, iar în peretele vertical dintre cele două poale se introduc ferestre discrete, care ajută la iluminatul natural al naosului în partea superioară.

Pentru acoperirea altarului sunt uzuale două soluții: când altarul este acoperit cu o singură "poală", o singură șarpantă sau, când sunt realizate și peste altar, două "poale".

Cele mai ingenioase soluții cu altarul acoperit cu o singură poală sunt cele de la Bisericile din Sat Șugatag, leud deal și leud vale. Dintre cele mai ingenioase soluții pentru varianta cu două poale și pe altar amintim Bogdan Vodă (Cuhea), Poienile Izei sau Șurdești.

Unghiul de înclinare a șarpantei este mai mare dar ele pot diferi de la o zonă la alta. Pantele mari ale "apelor" diferă mult: la pantele laterale sunt aproape de 60°, în timp ce la panta șarpantei dinspre vest poate crește până la 80 - 85°.

Pantele șarpantei a doua, de sus, după supraînălțarea peretelui are unghiuri mai mari și de obicei se realizează cu "rupere de pantă" pentru a "arunca" mai departe apele de pereți, producând și efecte plastice reușite, ea evitând căderea apei pe prima "poală" de pe a doua.

Fig 1. Biserica Bârsana 1739

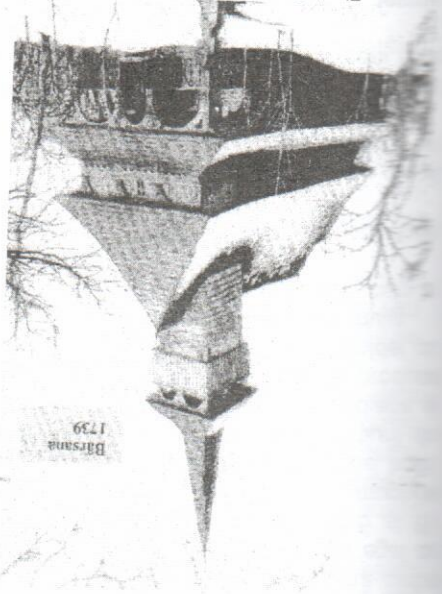
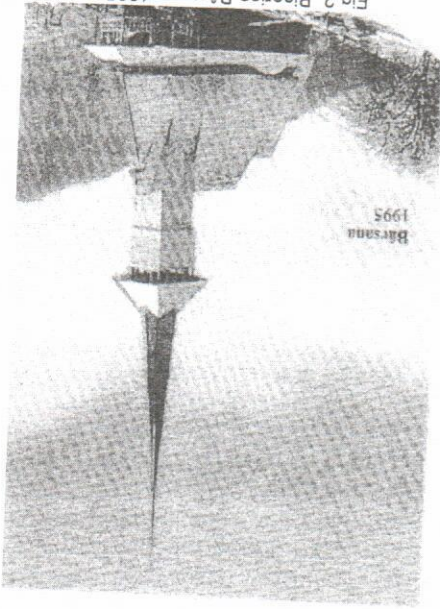


Fig 2. Biserica Bârsana 1995



O soluție tehnică de mare finețe rezultă din rezolvarea spațială a intersecției șarpantei cu "două poale" a pronaosului și naosului, cu cea cu o singură poală a altarului (leud deal, leud vale, Sat Șugatag).

Rezolvările constructive ale șarpantelor sunt pline de ingeniozități de rezolvare a detaliilor, în general, ceea ce contribuie mult ca să difere o Biserică de alta. Ele sunt uneori de o mare finețe și rafinament, în același timp reușite din punct de vedere plastic [2].

Realizarea de șarpante cu streșini largi de peste un metru deschidere pentru protecția pereților de lemn este făcută cu ajutorul consolelor în trepte sau sculptate uneori în "capete de cai".

Deosebit de complexe și ingenioase ca soluții tehnice sunt consolele rezultate la altar prin intersecția bănelor din laturile poligonale. Se folosesc elemente de încastrare pentru a realiza streșini largi și pentru a ușura rezolvarea spațială a apelor acoperșului, pentru a realiza învelitoarea cu șindriță sau șită a întregii șarpante a Bisericii.

Și în acoperirea spațiului altarului este căutată o soluție cât mai monumentală. Astfel, la Bisericele cu acoperiș în "două poale" găsim soluții de supraînălțare a spațiului interior cu racorduri pentru supraînălțare, alteori cu nervuri sau tăvane drepte, supraînălțate după racordarea la pereți!

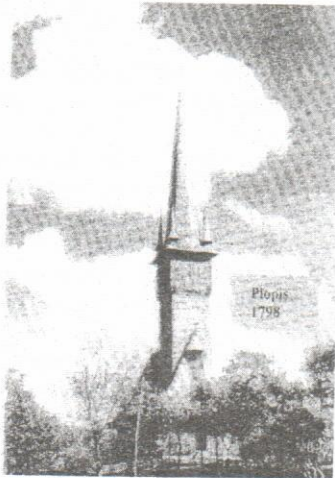


Fig.3 Biserica Plopiș 1798

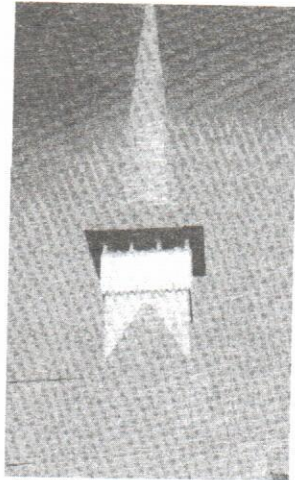


Fig.4 Turnul Bisericii Surdești

### 3.Structura de rezistență a turnului

Turnul aflat deasupra foișorului are un ax central din care sunt dispuse grinzi orizontale din lemn asemănătoare crăcilor unei coroane de brad. Raportul dintre înălțimea acestora și baza diferă de la biserică la biserică și are raportul egal cu 2;3;5 (numere din șirul lui FIBONACCI, după prof. Dinu St. Moraru fig.5 și 6). Secțiunea turnului este poligon regulat (pătrat, hexagon, octogon) iar muchiile laterale realizează o piramidă identică cu structura naturală a arborelui de brad. Astfel se asigură echilibru și stabilitate la vânturi. Muchiile laterale sunt porțiuni din curba lăntșor (fig.6). Prin structura sa de ansamblu și prin legăturile mediane și contravantuirilor cu axul central și modul de dispunerea sitei și sindriile-se produce „fenomenul de piramidă” are asigură concentrarea energiei în centrul piramidei cu efecte deosebite în conservarea, timp de sute de ani a structurii de lemn a turnului.

Amplasarea turnului clopotniță pe Biserică nu este o problemă simplă, cum ar părea la prima vedere.

Având în vedere amplasarea Bisericilor pe locuri înalte, turnurile sunt solicitate de vânturi, care de fapt sunt principalele *forțe* care solicită construcțiile înalte.

Realizând de secole turnuri înalte, meșterii maramureșeni au intuit cu multă ingeniozitate soluții care să le asigure stabilitatea acestor turnuri, uneori deosebit de îndrăznețe, dezvoltate pe verticală [2].

O analiză profundă a elementelor de structură a îmbinărilor sau a asigurării lor la vânt, demonstrează în mod sigur că experiența acumulată de acești oameni este multiseculară [2].

Intuiții sau cunoștințe despre descărcarea sarcinilor, despre eforturi, despre solicitările complexe la care sunt supuse: compresiune, întindere, încovoiere sau smulgere, rolul și importanța masivelor “contravantuiri”, toate acestea duc pe oamenii de specialitate la concluzia că s-au acumulat de-a lungul multor generații, cunoștințe tehnice solide și sigure. Nici un turn încă nu a fost răsturnat de vânt sau cutremure sau de “vijeliile” grele, care s-au abătut și prin aceste locuri în ultimii ani.

Realizate, începând din tavanul peste pronaos, pe grinzi în cruce ce se “descarcă” pe pereții pronaosului Bisericii, turnurile realizate din patru stâlpi așezați

la colțuri, pornesc pe verticală, străpung șarpanta acoperișului și se înalță vertiginos, unele sfidând parcă legile gravitației sau ale rezistenței materiale, până la limita de îndrăzneală tehnică (în cazul celei din Șurdești – până la 54 m).

Deși la vânturi mari turnul de la Șurdești are un balans considerabil, o astfel de structură de stejar masiv bine dimensionat este intactă, deși are aproape trei secole de existență.

Marele efect de plastică arhitecturală, care produce acea senzație de ușurare, îl constituie *foișorul* de la partea superioară, cu parapet realizat cu mici console, în felul acesta lărgindu-se pentru a se "*avânta*", apoi acoperișul lui în formă de piramidă cu 8 laturi, care prin învelitoarea de șindrilă sau șită se apropie de un con svelt, încoronat la partea superioară cu o cruce de fier forjat, întotdeauna având corecții optice, în funcție de înălțimea turnului [2].

Cele două – trei sau patru arcade de la partea superioară a turnului, împrumutate de la "*tărnașurile*" sau prispale acoperite ale caselor țărănești, au aceleași detalii de îmbinări și proporții între îmbinările de lemn.

Alte elemente de mare efect de plastică arhitecturală sunt consolele mari ale streșinilor. Cea mai îndrăzneată, de la Biserica din Rogoz I, și-a propus să realizeze chiar din acoperișul Bisericii, deci pe toată lungimea pronaosului și naosului.

Aceste console neobișnuite, de aproape trei metri, sunt realizate prin retrageri succesive de grinzi, cu capetele cioplite, în "*capete de cai*".

Și adaptarea de portice pe stâlpi cu arcade de lemn în fațada principală vest sau uneori chiar în fațade laterale, atunci când intrarea se face prin fațada sud, spre menirea de a "*ușura*" optic întregul edificiu.

Un element decorativ de mare rafinament este funia sculptată, de regulă în bârna din mijloc, când sunt numai 5 bârne late într-un perete pe verticală. Funia sculptată se taie din masivul bârnei cioplite și niciodată adăugită, deși impune o manoperă enorm de multă. Funia simbolizează Sfânta Treime, unitatea în jurul Bisericii, continuitatea vieții, infinitul, veșnicia. Este elementul decorativ comun pentru toate cele trei mari provincii românești [2].

Ferestrele Bisericilor sunt în general mici, asigurând un iluminat de "taină", minim, pentru a crea acel interior "mistic" conform credinței creștine străvechi, interior prielnic pentru rugăciune, pentru reculegere "interioară", care asigură condiții de înălțare a gândurilor și a sufletelor, spre transcendent, spre veșnicie, spre Divin.

Având în vedere aceste considerații de performanță și rafinament arhitectural, valoarea Bisericilor din lemn maramureșene ca documente vii, ca argumente ale artei de a construi în lemn le situează la nivel de frunte, în comparație cu celelalte Biserici din alte țări ale Europei.

Unitatea și asemănarea Bisericilor din lemn din cele trei provincii vechi: Transilvania, Moldova și Țara Românească constituie o dovadă a unității în trăire și gândire a poporului român, creștin din nașterea sa, unit prin limbă și prin credință creștină.

Acești minunați oameni, creatori de frumos, țărani luminați de lumina credinței, modești și anonimi, au știut și au reușit să realizeze aceste Biserici deosebite, uneori chiar ieșite din comun. Au reușit să creeze, astfel, după eforturi seculare, opere ingenioase, reușind în același timp să creeze lucrări de arhitectură, de sinteză, menite de a înălța și înnobilă sufletul omenesc. Ei au reușit ca fiecare Biserică în parte să-și găsească propria valoare arhitecturală și artistică, ca noi să le simțim frumusețea plină de farmec, ca pere adevărate de arhitectură sacră [2].

Experiența tehnică și estetică, acumulată de-a lungul multor secole de creaștinism autentic, trăit la cote înalte, este adevărata sursă vizibilă în oricare din

Bisericile de lemn analizate. Grație esteticii ca știință a frumosului, noi vedem în aceste Biserici experimentări ale spiritului creator al oamenilor creștini ai acestor locuri.

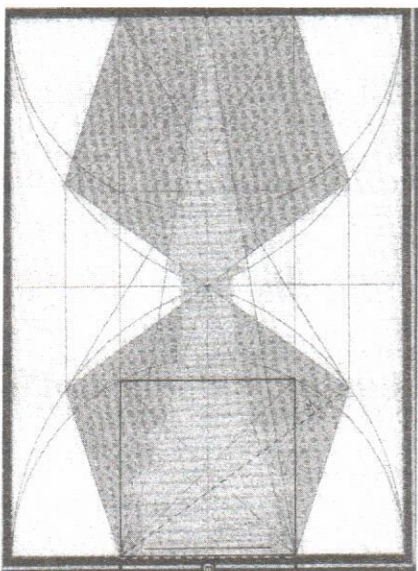


Fig.5 Dubla pentogramă a Bisericii din Cuhea

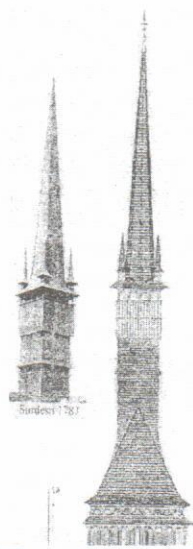


Fig.6 Turnul Bisericii din Surdești

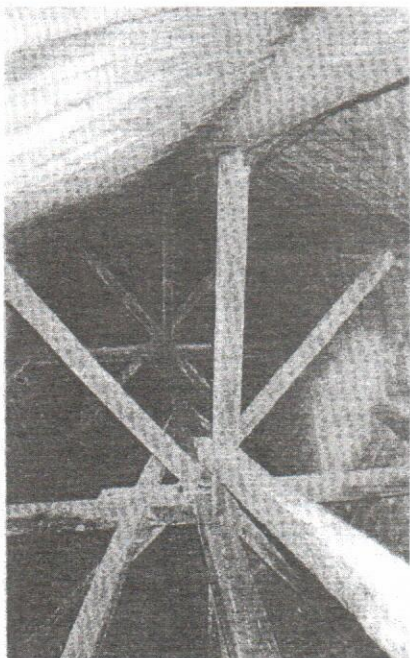


Fig.7 Structura interioară a turnului Bisericii din Surdești (Contravântuiri orizontale, verticale și înclinate)



#### 4. Analiza cu elemente finite

Structura de lemn a turnului bisericii Plopiș a fost modelată cu elemente finite . Din încărcare periculoasă s-a considerat acțiunea laterală vântului. Deșigur că la acesta se adugă greutatea proprie . Elementul finit utilizat a fost de tip beam3 care are 12 grade de libertate pe element (3 deplasări și 3 rotiri pe nod). In calcule s-a utilizat programul COSMOS.

Elementele componente ale structurii au fost împărțite în doua categorii;

-secțiunile I au avut :  $A = 61544,28mm^2$  ;  $I_z = I_y = 3,01 \cdot 10^8 mm^4$  ;  $I_t = 6,03 \cdot 10^8 mm^4$  ;

-secțiunile II au avut :  $A = 28338,5mm^2$  ;  $I_z = I_y = 0,63938 \cdot 10^8 mm^4$  ;  $I_t = 1,27 \cdot 10^8 mm^4$  .

Materialul lemnos , pe baza unor probe preluate din diagonale și stabilite experimental are valoarea medie a modului de elasticitate  $E=14000MPa$ .

Modelarea , constrângerile și forțele aplicate structurii, sunt prezentate în figura 8a,b. Tensiunile , deplășările și deformațiile structurii sunt prezentate în figura 8c-e. Se observă că, la o viteză a vântului de  $200km/h$  tensiunea maximă este de  $6,949100MPa$  și deplasarea maximă este de  $22,78mm$ . Calculele s-au efectuat considerând turnul încastrat la bază și fără legături rigide cu acoperișul.

In realitate exista anumite constrangeri –mecanice și /sau elastice. Modulul de elasticitate  $E$  al lemnului se modifică având variații importante între  $10000$  și  $14000MPa$ . Aceste variații se produc în timp sub influența aleatoare a temperaturii și umidității relative a aerului. Modul cum influențează creșterea modului de elasticitate  $E$  scăderea marimii deplășărilor este redat în figura.9.

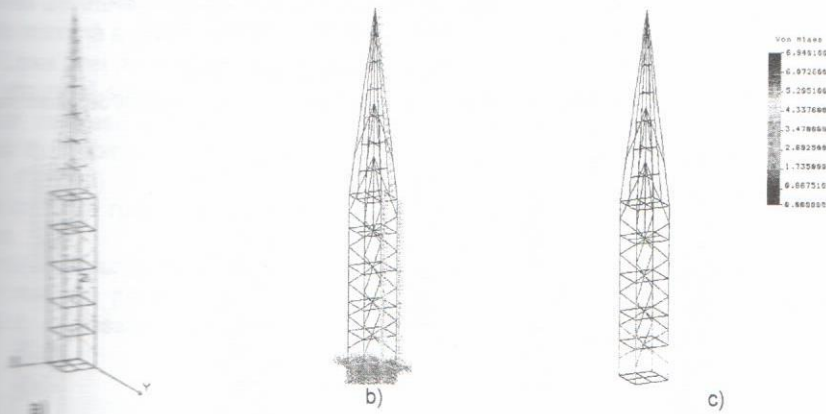
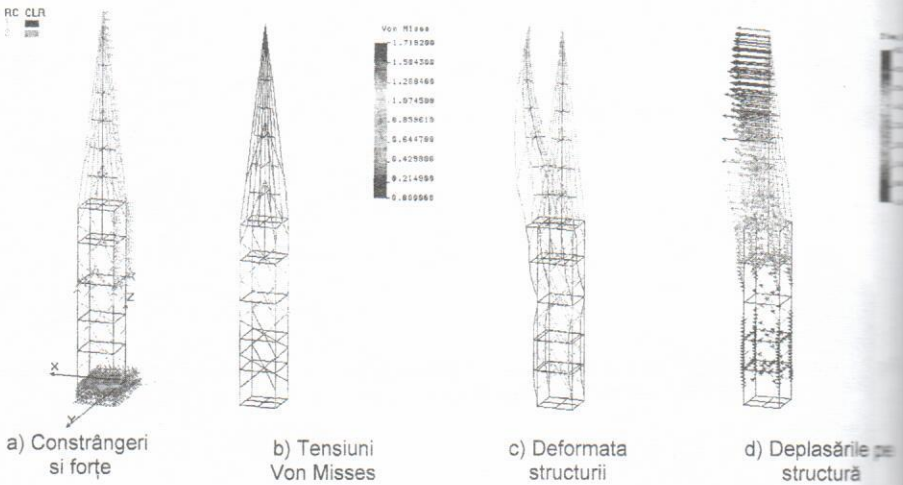
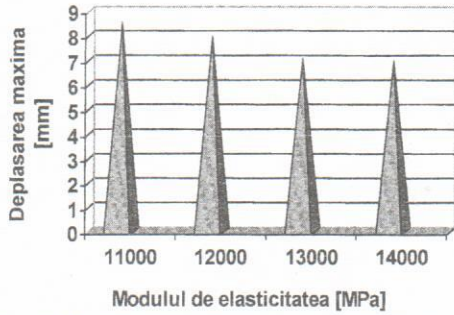
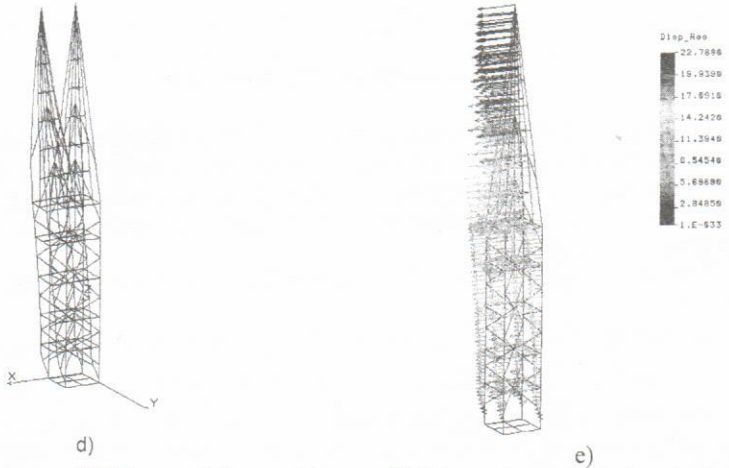


Fig.8. Analiza cu MEF fără restricții a) modelarea cu MEF; b)constrângeri și forțe aplicate turnului; c-tensiunile Von Misses; d-deformaa structurii; e-deplășări ( $E=14000MPa$ ;  $v=200km/h$ )



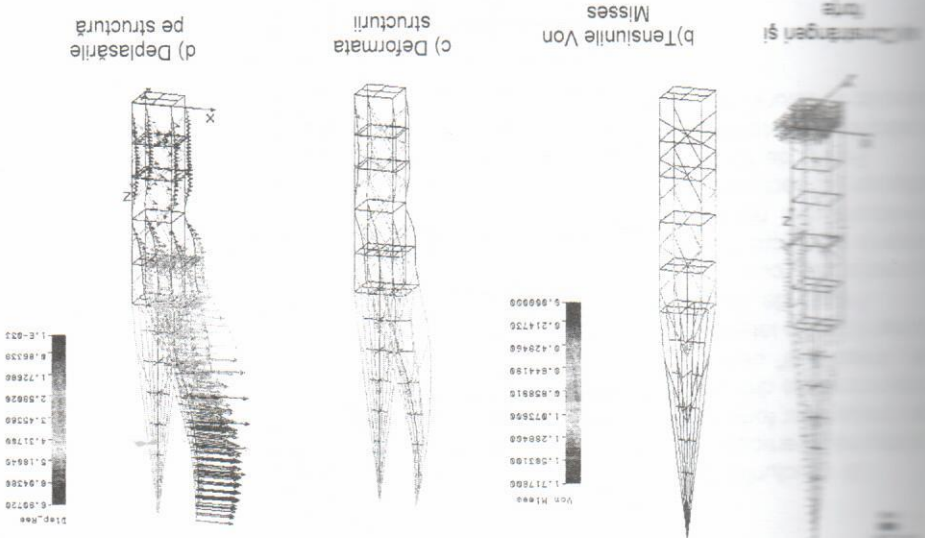


- Structura bisericilor de lemn din zona Maramureşului este un exemplu de creaţie a genului popular care pe baza experienţei de ani şi ani a meşterilor (meşterilor) ai lemnului au realizat construcţii organice şi optim echilibrate ca formă, dimensiuni şi stabilitate.
- Analiza cu MEF evidenţiază mărimea tensiunilor şi deplasărilor, care se încadrează în limitele admise de maximele româneşti şi europene.

### 5. Concluzii

- Lipsa unei diagonale. În decursul timpului pot apărea deteriorări ale unor elemente structură-stâlp, pivot, diagonale, elemente de legătură orizontală etc. Costul se datorează pierzării, jocului lemnului (umflare, contractare), slăbirii elementelor din îmbinări s.a. În calcule s-a considerat cazul lipsei de acţiune a unei diagonale (fig. 11a). S-au analizat cîmpurile de tensiuni şi deplasări (fig. 11a). Se observă o influenţă redusă a lipsei unei diagonale asupra mărimii tensiunilor şi deplasărilor.
- Urmărind figurile 12 şi 13 se observă comparativ mărimea tensiunilor şi deplasărilor maxime pentru cele trei cazuri analizate; turnul încadrat la baza; turnul încadrat la nivelul acoperişului şi turnul fără o diagonală.
- Legătura turn acoperiş (fig. 10). La nivelul acoperişului structura turnului are un comportament mecanic ce îi reduce deplasările şi produc diminuări ale eforturilor sectionale în elementele de legătură. Aceste legături reduc tensiunea maximă la  $1,71 MPa$  în elementele de legătură care devine egală cu cca.  $6,72 mm$ . Legăturile turnului cu acoperişul asigură stabilitate maximă a acestuia.

Fig. 11 Analiza cu MEF. Lipsa unei diagonale



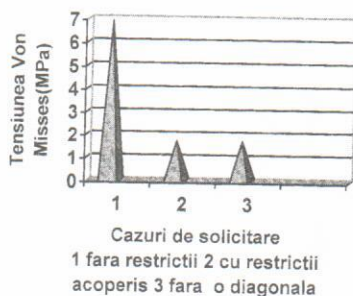


Fig. 12 Analiza comparativă a tensiunilor echivalente

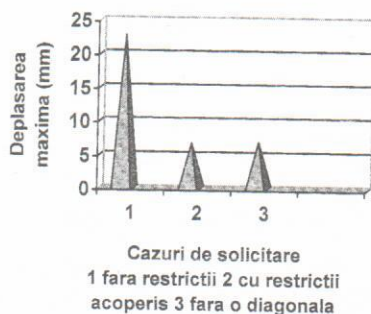


Fig. 13 Analiza comparativă a deplasărilor

## Bibliografie

1. CIOFOAIA, V., BOTIȘ, M., DOGARU, CURTU, I. - *Metoda elementelor finite*. Ed. Infomarket, 2001.
2. COSTIN, E. - *Biserici de lemn din Marmureș*. Editura Gutinul SRL, Baia Mare 1999.
3. COTTA, N, CURTU, I., ȘERBU, AD. *Construcții din lemn*. Ed. Tehnică București 1989.
4. CRISTACE, P. - *Arhitectura romană în lemn și arta europeană*. În Rev. romană de istorie a artei. București 1988.
5. CRISTEA, GH. *În țara bisericilor din lemn*, Sibiu, 1989.
6. GODEA, I. - *Bisericile de lemn din nord-vestul Romaniei* București 1996.
7. KPVACS, J. - *Maramorosban Fatemplamde*-Budapest, 1988.
8. MITRU, ILDIKO - *Nagybanya-Maria Halala Fatemplan*, Boca Mare 1994.
9. PANOIU, A. - *Din arhitectura lemnului în Romania*, București 1977.
10. PORUMB, M. - *Biserica de lemn în țara Maramureșului*, Cluj Napoca, 1982.
11. TOMAS SPIDULIK - *Spiritualitatea Răsăritului Creștin*, Sibiu 1997.
12. CURTU, I. BIȚ, C. *Rezistența materialelor și teoria elasticității*, II, III, V. Universitatea Transilvania Brașov 1996-2001.