

UTILIZAREA PROGRAMULUI ROBOT MILLENIUM ÎN ANALIZA COMPORTĂRII UNEI STRUCTURI SPAȚIALE COMPLEXE DE LEMN

Prep. drd. ing. Radu Dorin*, Șef lucrări dr. ing. Șerbu Adrian**

Rezumat: *Lucrarea prezintă modul de calcul al eforturilor pentru un turn cu elemente din lemn cu ajutorul programului de analiză structurală ROBOT MILLENIUM. Datorită asimetriei structurii, a lipsei unor elemente de contravântuire, a prezenței unor elemente suplimentare de ancorare și rigidizare, un calcul simplificat ar conduce la nașterea unor abateri de la rezultatele reale. Programul prezintă avantajul de a putea calcula acest tip de structură în diferite ipoteze cu luarea în considerare a modului de legătură a elementelor în mai multe cazuri, rezultând astfel o analiză comparativă.*

Abstract: *In this paper is presented the method for designing of a timber elements space frame tower with structural analysis program ROBOT MILLENIUM. As result of unsymmetry of the structure, absence of some bracing elements, presents of supplementary elements for anchor and rigidity, a simplified design should lead to some infringements of real results. The program has the advantage of designing this kind of structure in different assumptions, taking into account the connection type of the elements in many cases, thus resulting a comparative analysis.*

Executat în anii 1947-1948, scheletul de susținere a turnurilor de absorbție a gazelor sulfuroase pentru prepararea soluției bisulfite la S.C. Letea S.A. Bacău este alcătuit dintr-o rețea spațială din bare din lemn de rășinoase, solidarizate la noduri cu buloane metalice, atunci când îmbinarea între bare se realizează sub un anumit unghi, și prin chertări ce asigură continuitatea barei, atunci când este vorba de îmbinări de prelungire (fig. 1).

În principal, structura de rezistență a scheletului de susținere a turnurilor de absorbție este alcătuită dintr-o rețea spațială de bare din lemn, având caracterul unei structuri de tip turn de 8 nivele, cu dimensiunile în plan de 9,00 x 8,10 m² și înălțimea de 37,60 m, formate din stâlpi verticali cu secțiuni pătrată și rigle horizontale compuse din câte două elemente de secțiune dreptunghiulară. Solicitarea la sarcini orizontale importante, deformabilitatea ridicată a materialului lemnos, posibilitatea degradării sau modificării proprietăților mecanice, atât datorită expunerii directe la intemperii, cât și mediului agresiv specific procesului tehnologic, a făcut necesară rigidizarea cadrelor verticale cu contravântuiri, ce leagă nodurile vecine în fiecare panou, cu excepția panourilor prevăzute cu goluri, pentru a se permite circulația (în zona centrală a structurii). Limitarea deformațiilor la încărcări orizontale este realizată cu ajutorul a patru contraforți, dispuși la capetele a două din cele trei travei ale turnului, făcând unghiuri de 45° cu axele construcției. Contraforții sunt alcătuiți din bare de lemn înclinate, legate la stâlpii periferici ai turnului prin bare horizontale. Considerând că toate aceste elemente nu sunt suficiente pentru a asigura stabilitatea structurii de rezistență, proiectantul a

* Universitatea TRANSILVANIA Brasov, Fac de Constructii, e-mail: dorin.radu@proconstruct.ro

** Universitatea TRANSILVANIA Brasov, Facultatea de Constructii, e-mail: adrian_serbu@yahoo.com

prevăzut și opt cabluri de ancorare $\phi 30$, dispuse la 45° față de axele construcției, ancorând scheletul din lemn în puncte fixe situate la sol.

Decizia asupra siguranței exploatării unei construcții se ia în baza analizei comportării acesteia sub acțiunea încărcărilor. Se are în vedere determinarea mărimii deformațiilor, eforturilor secționale și a tensiunilor cu valori maxime și compararea acestora cu valori limită stabilite prin normative și standarde în vigoare.

Este evident faptul că luarea unei decizii corecte este influențată de corectitudinea calculului efectuat, care la rândul său este determinată de ipotezele adoptate. În principal, aceste ipoteze se referă la:

- alegerea încărcărilor și a modului în care acestea se combină astfel încât să fie surprins cel mai dezavantajos mod de acțiune;
- schematizarea legăturilor mecanice astfel încât acestea să se apropie cât mai mult de comportarea reală a structurii, pornind de la premiza că orice rețea de bare este formată din bare legate între ele și fixate la exterior prin legături mecanice specifice materialului și îmbinărilor utilizate;
- modificări în caracteristicile geometrice și mecanice ale barelor și materialului din care este alcătuită rețeaua, datorate condițiilor de exploatare;
- modificări în structura rețelei datorate faptului că unele elemente din structură, în condiții date, pot să nu mai participe la preluarea încărcărilor.

Pentru analiza spațială a structurii turnului s-a utilizat programul de calcul ROBOT MILLENIUM, program care oferă rapiditate de efectuare a calculelor, o largă posibilitate de alegere a ipotezelor, o clară evidențiere a rezultatelor și o grafică adecvată ce permite interpretarea cu ușurință a rezultatelor.

Solicitările structurii provin din sarcini permanente, sarcini utile și sarcini accidentale.

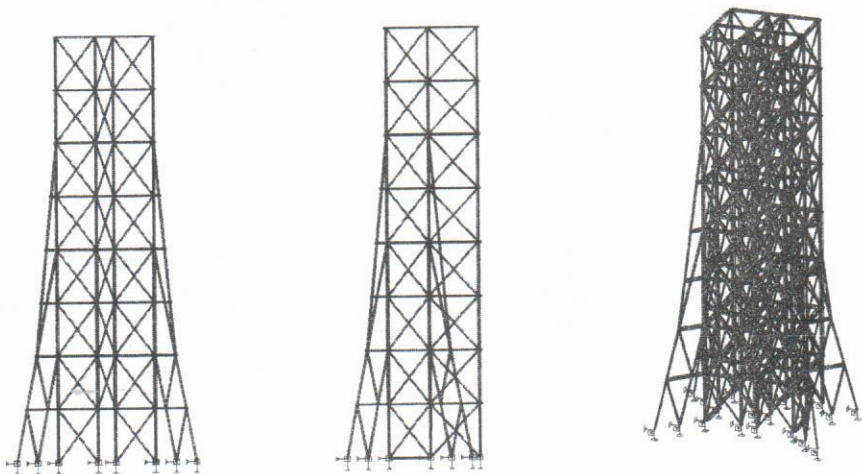


Fig. 1 – Vederi și axonomie structură.

Sarcinile permanente provin din greutatea proprie a rețelei de bare și a platformelor susținute de aceasta (turnurile de absorbtie sunt autoportante și transmit sarcinile direct la fundații). *Sarcinile utile* s-au stabilit de comun acord cu beneficiarul, urmărind modul de desfășurare a procesului tehnologic. *Sarcinile accidentale*, provenite din vânt, au în acest caz un caracter determinant, dacă se are în vedere raportul dintre cele trei dimensiuni ale construcției.

S-au avut în vedere mai multe ipoteze privind legăturile mecanice între barele ce alcătuiesc rețeaua, scoaterea din rețea a unor elemente de rezistență sau reducerea capacității portante, schimbarea direcției de acțiune a sarcinii din vânt.

S-a urmărit realizarea unui calcul acoperitor, care să ia în considerare posibilitățile reale cele mai defavorabile în solicitarea structurii, în ansamblu și a fiecărui element în parte.

Modul de discretizare al structurii

Modelarea structurii a presupus împărțirea în două tipuri de elemente finite: TRUSS 3D și BEAM 3D. Barele de tip TRUSS sunt considerate dublu articulate sferic la capete și sunt solicitate numai la tracțiune-compresiune.

Barele de tip BEAM sunt încastrate la capete cu 12 grade de libertate pe element (3 deplasări și 3 rotații pe nod) și ca urmare solicitarea lor este compusă, în bare apărând toate cele patru eforturi secționale posibile:

- forța axială (N);
- forță tăietoare (T_y, T_z);
- moment de torsiune (M_x);
- moment încovoietor (M_y, M_z).

Barele sunt îmbinate la capete în noduri, făcându-se ipoteza că sarcinile exterioare se aplică structurii numai prin intermediul nodurilor. Numerotarea elementelor s-a făcut automat.

Pentru barele de tip BEAM, programul face o discretizare, împărțind elementul în zone delimitate de noduri intermediare, fapt ce conduce la o sporire a preciziei calculului. Pentru cablurile de ancorare se face o analiză neliniară, cablul nefiind asimilat cu o bară TRUSS ci având o comportare neliniară

Nodurile care fixează structura la sol sunt fixe (noduri ce reprezintă ancorarea cablurilor la sol precum și capetele barelor ce sunt în fundație), toate celelalte noduri putând efectua deplasări liniare și rotații.

Ipoteze de studiu

Pentru a rezulta o analiză comparativă între diferite cazuri de legătură a barelor în structură, de încărcare, precum și lipsa unor elemente, structura s-a calculat în diferite cazuri:

- Forțe din vânt aplicate pe latura mare

Caz 1. Structura cu contraforturi și cu cabluri:

- Structura cu noduri rigide;
- Structura cu articulații pe x și y pe rigle și clești;
- Structura cu noduri articulații sferice;
- Structura fără un rând de stâlpi la bază;
- Structura cu stâlpii de bază reduși ca secțiune cu 20%.

Caz 2. Structura cu contraforturi și fără cabluri:

- Structura cu noduri rigide;
- Structura cu articulații pe x și y pe rigle și clești;
- Structura cu noduri articulații sferice;
- Structura fără un rând de stâlpi la bază;
- Structura cu stâlpii de bază reduși ca secțiune cu 20%.

Caz 3. Structura fără contraforturi și fără cabluri:

- Structura cu noduri rigide;
- Structura cu articulații pe x și y pe rigle și clești;
- Structura cu noduri articulații sferice;
- Structura fără un rând de stâlpi la bază;
- Structura cu stâlpii de bază reduși ca secțiune cu 20%.

- Forțe din vânt aplicate pe latura mică

Caz 4. Structura cu contraforturi și cu cabluri:

- Structura cu noduri rigide;

- Lipsa contravântuirilor la baza structurii pe latura mică

Caz 5. Structura cu contraforturi și cu cabluri:

- Structura cu noduri rigide;

Analiza structurală

Modelul cu elemente finite a fost analizat static-nelinier prin solverul „SPARSE M”, cu o toleranță de generare a elementelor finite de 1mm. Modelul analizat a prezentat 1167 noduri, 547 bare, 568 de elemente finite (discretizarea barelor BEAM 3D), 24 de puncte de legătură la teren. Structura a prezentat 5868 de grade de libertate.

Precizia procesului convergent nelinier a fost de 7.89797e-008.

Calculul deplasărilor

Analiza structurii a fost efectuată în ipotezele enunțate înainte. În fiecare caz au fost calculate deplasările maxime la vârf ale turnului, astfel putându-se face o analiză comparativă. Eliminarea unor elemente de susținere cum ar fi cablurile sau contrafortii au condus implicit la modificarea valorilor deplasărilor absolute. În fig.2 (a,b,c) se

prezintă această influență a deformației construcției în ipoteza structurii cu stâlpi și rigle îmbinate rigid în noduri, stâlpi și grinzi continui, legate între ele cu articulații cilindrice. Se observă că lipsa cablurilor conduce la o creștere a deformațiilor cu ~25% iar lipsa contraforturilor conduce la o deplasare mai mare cu ~45%.

Constatarea anterioară justifică informația conform căreia scheletul de susținere a turnurilor de absorbție a fost construit inițial fără cabluri, acestea fiind introduse ulterior pentru a rigidiza structura.

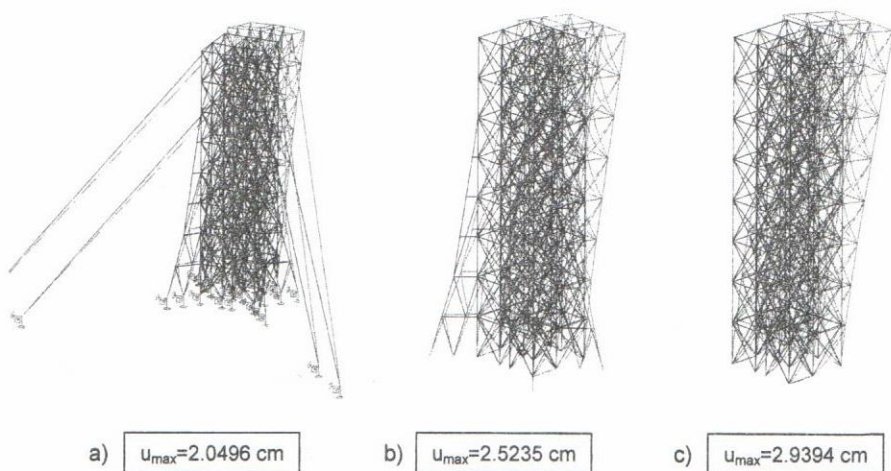


Fig. 2 – Analiza cu MEF – Ipoteza 1 – vânt aplicat pe latura mare; Deplasări ale structurii în 3 cazuri: a) Structura cu contraforturi și cu cabluri – noduri rigide; b) Caz 2. Structura cu contraforturi și fără cabluri – noduri rigide; c) Structura fără contraforturi și fără cabluri – noduri rigide;

Concluzii

Alegerea unui program de analiză structurală utilizând metoda elementelor finite prezintă avantajul de a obține precizia dorită și de a putea calcula structura în diferite ipoteze realizând astfel un scenariu real al eventualelor probleme apărute în exploatarea construcției.

BIBLIOGRAFIE SELECTATĂ

- [1] Boghian, V., Construcții din lemn, Litografia Institutului Politehnic Iași, 1970.
- [2] Curtu, I., Șerbu, A., ș.a., Calculul de rezistență în industria lemnului, Ed. Tehnică, București 1982.
- [3] Gheorghiu, A., Statica construcțiilor, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1968.
- [4] Mazilu, P., Statica construcțiilor, vol. I și II, Ed. Tehnică, București, 1959.
- [5] Șerbu, A., Dimitriu, St., Rezistența materialelor, Reprografia Universității TRANSILVANIA Brașov, 1999.

- [6] Şerbu, A., Cercetări privind stabilirea capacităţii portante a scheletului de susţinere a turnurilor de absorbtie a gazelor sulfuroase la Letea Bacău; Conferinţă la Facultatea de Inginerie de la Institutul Politehnic din Torino, 6 noembrie 1990.
- [7] Robot Millenium Help – „Design of Timber Structures”
- [8] STAS 10101/1 – 78 Încărcări permanente, învelitori.
- [9] STAS 10101/20 – 78 Acţiuni în construcţii. Acţiunea vântului.