

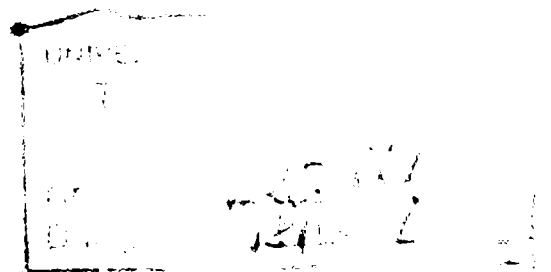
UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII ȘI ARHITECTURĂ  
DEPARTAMENTUL DE CONSTRUCȚII METALICE ȘI  
MECANICA CONSTRUCȚIILOR

**TEZĂ DE DOCTORAT**  
**CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA ACOPERIȘURILOR**  
**SPAȚIALE RETICULATE PENTRU CENTRALE**  
**HIDROELECTRICE. SISTEME DE NODURI ȘI STUDIUL**  
**COMPORTĂRII ACESTORA**

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC**  
**Prof. dr. ing. GHEORGHE MERCEA**

**AUTOR**  
**Ing. TRAIAN VIOREL BREB**



**Timișoara**  
**1999**

**MOTTO:**

**" Caracterul fărǎ înțelepciune, valorează mult,  
dar înțelepciunea fărǎ caracter, nu valorează nimic."**

**Cicero**

*Viața oamenilor este alcătuită din mai multe etape, de la naștere și până la odihna de veci, începând cu învățarea mersului, a vorbitului și continuând cu studiile de la elemente simple, până la faza de cercetare complexă și aflarea secretelor vieții.*

*Consider că teza de față, marchează una din aceste etape, în viața mea, care va contribui în continuare la abordarea ei cu și mai multă maturitate, indulgență și toleranță.*

*Doresc în aceste câteva cuvinte, să aduc mulțumiri părinților care m-au adus pe lume și mi-au dat posibilitatea să ajung la acest nivel de pregătire, familiei mele, care m-a sprijinit în tot ceea ce am întreprins și în special ambițioasei mele soții, care mi-a fost un catalizator continuu și neîncetat în realizarea lucrării de față, trecându-mi cu vederea indispozițiile în unele momente de impas, reușind să mă facă să trec peste ele cu bine.*

*Mulțumesc din toată inima conducătorului științific, distinsului profesor dr. ing. Gheorghe MERCEA, un adevărat dascăl, coleg și prieten, care cu răbdare m-a inițiat și format în domeniul construcțiilor metalice.*

*Mulțumesc colegilor, care m-au ajutat și ambiționat să merg înainte în desăvârșirea lucrării și nu în ultimul rând Directorului Departamentului de Construcții Metalice și Mecanica Construcțiilor profesor.dr.ing. Marin IVAN, care m-a înțeles și sprijinit în materializarea lucrării de față și a referatelor.*

*Mulțumesc domnilor referenți, care și-au răpit din prețiosul timp, pentru a citi și face aprecieri asupra tezei de față și nu în ultimul rând, Doamnei Viviana TOMIȚĂ, pentru efortul depus la dactilografierea lucrării și repetatele imbolduri pe care mi le-a dat, în a persevera și continua munca.*

*Mulțumesc tuturor celor care cu vorba sau cu fapta, m-au ajutat la realizarea lucrării.*

*Autorul*

# **CAPITOLUL I**

## **ASPECTE GENERALE PRIVIND ACOPERISURILE METALICE PENTRU CENTRALE HIDROELECTRICE**

### **1.1. GENERALITATI. DEFINIREA NOTIUNII DE CENTRALE HIDROELECTRICE . ROLUL LOR**

Centrala hidroelectrică în limbajul de specialitate al construcțiilor hidrotehnice, reprezintă un ansamblu de clădiri și echipamente hidro și electroenergetice ale unei uzine de produs energie electrică, care asigură transformarea succesivă a energiei potențiale și cinetice a apei, dintr-o acumulare situată în amonte, în energie mecanică prin intermediul turbinelor, iar apoi în energie electrică cu ajutorul generatoarelor de curent electric [31]. Această energie se transmite la stația de transformare și de acolo se distribuie în sistemul energetic național sau direct la consumatori.

Construcția propriu zisă a unei centrale hidroelectrice cuprinde următoarele părți mai importante:

- Sala mașinilor compusă din clădirea propriu zisă a centralei cu suprastructura acesteea, care adăpostește turbinele și generatoarele electrice.
- Infrastructura, care reprezintă elementul de rezistență de la partea inferioară a centralei, în care sunt amplasate turbinele hidraulice, care transformă energia apei în energie mecanică și mai departe asigură evacuarea apei.
- Sala de comandă care cuprinde aparatajul de comandă, control și de semnalizare a centralei.
- Încăperile anexe și postul de transformare.

Sala mașinilor în funcție de tipul centralei hidroelectrice, se poate amplasa în subteran, caz în care este o încăpere excavată și amenajată de regulă într-o rocă muntoasă, datorită condițiilor de amplasare, sau poate să fie amplasată la suprafață, sub formă de clădiri independente, așezate pe barajele de retenție a apei, în cazul centralelor baraj, sau separat de baraj, imediat în aval, purtând numele de centrale de derivație, la care apa necesară punerii în mișcare a turbinelor este adusă prin

canale de aducțiune sau prin conducte forțate.

În această teză de doctorat, referirile la denumirea de centrală hidroelectrică, vor defini doar clădirea situată la suprafața terenului sau a barajelor, care cuprinde în principal sala mașinilor. Centrala hidroelectrică studiată face parte din construcțiile industriale, având o structura de rezistență formată din cadre transversale, acoperiș, grinzi de rulare, pereți și alte elemente. Vor fi studiate doar centralele hidroelectrice cu structură metalică.

## **1.2. DIMENSIUNILE PRINCIPALE ALE CENTRALELOR HIDROELECTRICE**

Dimensiunile centralelor hidroelectrice depind de mai mulți factori și anume:

- Lungimea centralelor depinde de numărul și mărimea agregatelor, (turbine și generatoare) spațiul corespunzător pentru fiecare agregat depinzând de puterea instalată, aceasta influențând diametrul necesar, de distanța dintre acestea și de lungimea necesară a platformei de montaj și de reparație a agregatelor.
- Lățimea centralelor este funcție de diametrul agregatelor, de spațiile de circulație din jurul acestora și eventual de amplasarea tablourilor cu aparatele de măsură și control.
- Înălțimea centralelor hidroelectrice depinde de gabaritul pe verticală a agregatelor, care se amplasează pe platforma blocului de montaj și se montează apoi în blocul infrastructurii unde urmează să funcționeze și de tipul și mărimea podurilor rulante, ce sunt necesare în interiorul centralei, pentru montarea agregatelor și ulterior pentru eventualele reparații ale acestora.

Centralele hidroelectrice au de obicei o formă dreptunghiulară în plan, cu lungimea mult mai mare decât lățimea, ceea ce influențează calculul static al elementelor structurii de rezistență și în special al acoperișului centralei.

Din referirile bibliografice [9] și bazat pe cunoștințele proprii în domeniul construcțiilor hidrotehnice, fiind absolvent al acestei specializări, în cele ce urmează voi remarca mai multe construcții din acest domeniu și dimensiunile lor în plan și pe verticală.

Centralele hidroelectrice realizate în țara noastră [9] sunt în marea lor majoritate cu structuri din beton armat și cu elementele de închidere din beton sau zidărie, circa 20% din centrale fiind cu structură integrală sau parțial metalică.

Dimensiunile câtorva centrale hidroelectrice realizate în țara noastră, sunt următoarele:

- Centrala hidroelectrică Stejarul, prima centrală din România, executată la amenajarea hidroelectrică de pe râul Bistrița, finalizată în 1960, având structura de rezistență din beton armat și pereți din zidărie, are o lungime de 130 m, o lățime de 28 m și o înălțime de 13.2 m, iar acoperișul rezemat pe cadrele transversale este din plăci prefabricate de beton armat. În aceeași perioadă au fost executate și alte centrale cum ar fi cele de la Moroieni pe Ialomița și Sadu V pe râul Sadu, cu lungimi de 31.5 ... 35.5 m și lățimi de 13.0 m.
- În anul 1964 au început lucrările la cel mai mare sistem hidroenergetic din țară de pe Dunăre și anume "Sistemul hidroenergetic și de Navigație Porțile de Fier I", realizat în colaborare cu Jugoslavia. Sistemul este simetric față de axul fluviului Dunărea, fiecare țară având câte o centrală hidroelectrică cu șase grupuri și turbine de tip Kaplan, cu puterea instalată de 1050 MW și câte o ecluza în două trepte, ce asigură trecerea navelor de transport fluvial, dintr-un bief în celălalt.

Sala mașinilor, în care sunt montate cele șase agregate are lungimea de 215m (3 blocuri), câte unul pentru două turbine de 60 m și un bloc de montaj de 35 m, deschiderea (lățimea) de 28.6 m și înălțimea de aproape 20 m. Soluția de realizare a centralei de la Porțile de Fier I, este o structură de rezistență metalică, formată din stâlpi metalici cu secțiune chesonată în aval, având două ramuri, cu

legături între ele sub nivelul căii de rulare, metalice cheson, pentru podurile de 300 tone capacitate de ridicare și o ramură de la acest nivel până la acoperiș. Pe acești stâlpi și pe peretele din beton armat ce formează zidul de presiune din amonte, reazemă acoperișul dintr-o structură spațială reticulată metalică [27], prima de acest gen de la noi din țară. Peretele din aval este alcătuit din prefabricate în formă de T din beton armat, cu armături pretensionate, iar învelitoarea este formată din plăci prefabricate de beton armat, de forma pătrată, rezemate la colțuri pe structura reticulată.

- În aval de această amenajare, în dreptul localității Gogoșu, pe insula Ostrovul Mare, a fost amenajat și construit “Sistemul Hidroenergetic și de Navigație Porțile de Fier II” , de asemenea în colaborare cu Yugoslavia.

În cadrul acestui sistem, centralele română și yugoslavă, sunt alăturate pe malul românesc al insulei, fiecare având 8 turbine, situate în 4 blocuri de câte două turbine fiecare. Centrala românească are o lungime de 189,5 m, formată din cele 4 blocuri de câte 38.0 m, adică 152 m și un bloc de montaj de 37.5 m. Deschiderea centralei, adică, lățimea ei este 25.5 m.

Ulterior a mai fost construită și o centrala suplimentară pe brațul Gogoșu cu două grupuri.

Soluția constructivă de realizare a acestor centrale, este formată din stâlpi și grinzi din beton armat, iar acoperișul este alcătuit din ferme spațiale metalice cu secțiune triunghiulară cu deschiderea de 25.5 m. Structurile metalice ale centralelor de la Porțile de Fier I și II, au fost proiectate la Catedra de Construcții Metalice a Facultății de Construcții din Timișoara, condusă de Acad. Dr. H.C. Prof. Em. ing. Dan Mateescu [27].

Numărul amenajărilor hidrotehnice și al centralelor hidroelectrice realizate până în anul 1989 este de 115, având o putere instalată de 5833 MW, energia medie anuală, produsă ridicându-se la 16470 Gwh/an, din care aproape jumătate provin de la S.H.E.N. Portile de Fier I și II. Au fost construite adevărate salbe de centrale în cascadă [9], pe râurile interioare: Bistrița, Argeș, Siret, Olt, Jiu, Râul

Mare, Strei și altele, marea majoritate din beton armat, eventual cu acoperiș metalic. În deceniul trecut au fost executate alături de cele două centrale de pe Dunăre și alte centrale cu structură metalică, proiectate în general la Catedra de Construcții Metalice din Timișoara. Dintre acestea este de remarcat Centrala hidroelectrică pe canalul de restituție al apei calde de la Centrala Nucleară Cernavodă, cu structura integral metalică cu deschidere de 15 m și lungime de cca 30 m [27]. De asemenea a fost întocmit la Timișoara și Proiectul directivă de realizare a unor centrale mici cu două agregate, pentru râurile secundare, solicitat de ISPH, proiect care nu a fost aplicat după 1989.

### **1.3.TIPURI DE STRUCTURI METALICE DE REZISTENTA PENTRU CENTRALE HIDROELECTRICE**

Pentru realizarea centralelor hidroelectrice cu structură metalică, se folosesc mai multe tipuri de structuri și anume:

- Structuri cu cadre transversale formate din stâlpi metalici sau din beton armat și ferme metalice cu zăbrele, în această soluție fiind realizată centrala hidroelectrică Porțile de Fier II de pe insula Ostrovul Mare [9]. La aceasta stâlpii sunt din beton cu console, pe care reazemă grinzile de rulare, cu secțiune T din beton armat. În capul stâlpilor reazemă fermele metalice cu secțiune triunghiulară, deasupra fiind așezată direct pe tălpile superioare a acestora învelitoarea din tablă cutată.
  - Structuri având cadre metalice cu stâlpi și rigle din profile dublu T compuse sudate. Stâlpii pot fi cu secțiune constantă, prevăzuți cu console pentru susținerea grinzilor de rulare, sau cu secțiune variabilă în trepte, având o lățime mai mare sub grinda de rulare și o lățime mai mică deasupra acesteea, care se racordează cu rigla cu inimă plină. Această soluție a fost folosită la centrala hidroelectrică de pe canalul de restituție a apei calde de la Centrala Nucleară Cernavodă.
- Învelitoarea din tablă cutată, reazemă pe pane, așezate deasupra tălpii

superioare a riglei cadrelor transversale.

- Structuri metalice formate din stâlpi de susținere pe care reazemă grinzile de rulare, iar la partea superioară acoperișul format dintr-o structură reticulată în dublu strat.

Această soluție este folosită atunci când suprafața acoperișului este mare și încărcările sunt mari, fiind utilizată la noi în țară la Centrala Hidroelectrică Porțile de Fier I [27].

Studiile din prezenta teză de doctorat se extind asupra acestui gen de acoperișuri spațiale reticulate planare. Aceste structuri sunt folosite și la construcții cu alte destinații, cum ar fi: la acoperișurile sălilor de sport sau de spectacole, la pavilioane de expoziții, la tribune acoperite, care au suprafețe mari și rezemări în general numai pe contur [22].

Structurile spațiale reticulate pentru centrale hidroelectrice au particularitatea ca au în general lungimi mari în comparație cu lățimile, ceea ce face ca efectul de placă să se diminueze. De aceea uneori este recomandabil ca grinzile de contur pe care acestea reazemă să cuprindă și grinzi intermediare, care transformă acoperișul într-o placă continuă, care lucrează favorabil, având în vedere efectul de placă la fiecare câmp al acesteea, la care raportul laturilor poate fi încadrat astfel ca sa fie  $L/b \leq 1.5$ , unde  $L$  este lungimea plăcii, iar  $b$  este lățimea acesteea.

În cele ce urmează este descrisă structura metalică a acoperișului cu structura spațială reticulată planară de la Centrala hidroelectrică Porțile de Fier I [31]. Pentru un bloc de acoperiș, ce acoperă două agregate, dimensiunile structurii reticulate sunt:

- lungimea acoperișului pentru un bloc  $L = 60,0 \text{ m};$
- lățimea acoperișului unui bloc  $b = 28,6 \text{ m};$
- înălțimea structurii ținând cont de pantă  $h = 2,2 \dots 2,5 \text{ m};$
- pasul ochiurilor structurii reticulate  $l = 2,2 \text{ m}$

Structura reticulată este formată din două familii de bare la talpa superioară,



realizate din corniere cu aripi egale și două familii de bare perpendiculare la talpa inferioară, alcătuite din țevă, paralele cu marginile acoperișului și a căror ochiuri sunt decalate cu o jumătate de pas față de ochiurile de la talpa superioară, astfel că nodurile tălpii inferioare se află pe verticala centrului de greutate a ochiurilor de la talpa superioară [22]. Nodurile de la talpa inferioară sunt realizate din sfere goale, alcătuite din două semisfere matrițate la cald și apoi sudate după meridian [36]. Barele tălpii inferioare, dispuse în sens transversal acoperișului, care sunt cele mai sollicitate, trec continue prin sferile din nod, acestea fiind găurite perpendicular pe planul meridianului cu sudură, dintre cele două semisfere.

Barele din corniere [51, 52] ale tălpii superioare sunt tăiate și prelucrate după diagonala ochiului și apoi sudate între ele, în caroul format așezându-se prefabricatele învelitorii. Diagonalele structurii sunt alcătuite din țevă [50], care sunt sudate în colțul caroului din corniere, la talpa superioară și de sferile din nodurile de la talpa inferioară.

#### **1.4. AVANTAJELE SISTEMELOR DE ACOPERIȘURI METALICE ALE CENTRALELOR HIDROELECTRICE**

În proiectarea și în execuția structurilor unei clădiri cu structura metalică, soluțiile alese pot avea anumite avantaje și dezavantaje, iar ponderea unora sau altora depinde de măiestria și priceperea proiectanților, care se dobândește în general după o lungă experiență în domeniu. Este de dorit ca structurile metalice să aibă cât mai multe avantaje, alături de o execuție și de un montaj cât mai simplu a acestora, deoarece nu întotdeauna soluția cea mai avantajoasă din punct de vedere economic este și cea mai ușoară de realizat.

Principalele *avantaje* ale acoperișurilor metalice constă în aceea că sunt mult mai ușoare decât acoperișurile din beton armat, aceasta datorită rezistențelor mult mai mari ale oțelului în comparație cu betonul armat, raportul acestor rezistențe fiind mai mare de 30, în funcție de calitatea oțelului și a betonului [53].

- Faptul că structurile din oțel folosite la acoperișurile metalice ale centralelor

hidroelectrice, sunt mult mai ușoare decât cele din beton armat, conduce la un alt avantaj și anume, că permite realizarea unor acoperișuri cu deschideri mari și a structurii centralei în ansamblu cu înălțimi mari.

- Un alt avantaj este acela că acoperișurile metalice se execută în ateliere din uzine specializate în acest domeniu, folosind un personal calificat și utilaje speciale care asigură o calitate superioară acestor lucrări, având posibilități de verificare cu metode nedistructive a calității lucrărilor. Execuția în atelier a acestor structuri nu este influențată de anotimp, putându-se executa pe orice vreme.
- Construcțiile metalice pentru structuri de rezistență în general și pentru acoperișuri în particular prezintă și avantajul că se execută și se montează într-un timp mult mai scurt, deoarece în paralel cu execuția infrastructurii pe șantier, suprastructura din oțel se realizează în atelier, iar montarea ei se face ușor și în timp foarte scurt. În plus, datorită faptului că structurile metalice din oțel, sunt mai ușoare decât cele din beton armat, cheltuielile de manipulare și montaj pe șantier sunt mult mai reduse.
- Acoperișurile reticulate [22] au și avantajul că prezintă posibilitatea de a se executa din tronsoane, care se assemblează în atelier în limita gabaritului de transport pe calea ferată sau cu ajutorul trailerelor. De fapt structurile spațiale reticulate se pot realiza din elemente asamblate cu șuruburi, așa cum se arată în capitolul 3, când asamblarea se face cu mare ușurință.
- Un alt avantaj al structurilor metalice în general și al structurilor spațiale reticulate în particular, dar foarte important, este și acela că elementele acestor structuri sunt mult mai suple în comparație cu cele din beton armat, ceea ce dă un aspect arhitectonic mult mai reușit al acestor structuri.
- Ca un ultim avantaj poate fi arătat și faptul că structurile metalice, asigură posibilități mai simple de modificare și consolidare, dacă, condițiile de exploatare se schimbă. În plus dacă o construcție metalică sau un acoperiș în particular nu mai corespund din punct de vedere al condițiilor de rezistență

și de stabilitate, sau din punct de vedere moral, ele pot fi demontate dacă legaturile sunt cu șuruburi, sau pot fi tăiate cu flacără oxiacetilenică și duse la retopire, ceea ce face ca oțelul să fie recuperat integral și refolosit.

Ca *dezavantaje* ale acoperișurilor metalice pot fi amintite:

- Necesită un personal mult mai calificat, respectiv utilaje și instalații mult mai perfecționate și automatizate, pentru fabricarea cu toleranțele foarte mici a confecțiilor metalice.
- Construcțiile metalice și în special cele de la acoperiș, necesită întreținere periodică prin vopsire, datorită faptului că oțelul se corodează în timp. Această întreținere ridică și costul structurilor metalice, mai ales la structurile spațiale reticulate, la care accesul la elementele structurii este mai dificil.

În concluzie, se poate spune că structurile spațiale reticulate pentru acoperișuri, sunt deosebit de favorabile, mai ales atunci când deschiderile și suprafețele sunt foarte mari.

## CAPITOLUL 2

### SISTEME DE ACOPERISURI CU STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE PENTRU CENTRALE HIDROELECTRICE

#### 2.1. ASPECTE GENERALE. DEFINIREA ACOPERISURILOR CU STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE DUBLU STRAT

Acoperișurile spațiale reticulate se folosesc de regulă la deschideri, ale construcțiilor pe care le acoperă de 30 ... 100m și chiar mai mari, dar se pot utiliza și la deschideri mai mici de 30m, cu rezultate satisfăcătoare.

Forma în plan a construcțiilor care se acoperă cu acest tip de acoperișuri poate să fie foarte diversă, pornind de la triunghi, pătrat, hexagon, cerc și terminând cu dreptunghi, care este cea mai întâlnită și utilizată formă în plan a construcțiilor civile, săli de sport, expoziții, bazine acoperite etc., cât și forma în plan a centralelor hidrotehnice.

Acoperișurile spațiale pot fi în simplu strat, dublu strat, iar în cazul deschiderilor foarte mari, se pot utiliza și acoperișuri spațiale reticulate în triplu strat [22]. Teza de față nu se ocupă decât de studierea acoperișurilor spațiale dublu strat, care se întâlnesc într-o multitudine de variante constructive.

Acoperișurile spațiale reticulate dublu strat, sunt realizate din familii de bare, care formează pătrate, dreptunghiuri, triunghiuri, hexagoane sau alte figuri geometrice, care realizează talpa superioară, respectiv talpa inferioară, a structurii, colțurile acestor figuri, formând nodurile structurii, respectiv ale tălpilor inferioare și superioare, fiecare familie de astfel de bare fiind în planuri diferite, paralele între ele și distanțate în funcție de înălțimea structurii. Ele sunt legate între ele în dreptul nodurilor prin intermediul diagonalelor și eventual al montanților, dacă nodurile sunt pe aceeași verticală, această rețea de bare fiind de fapt a treia familie de bare din componenta structurii spațiale reticulate.

Acoperișurile spațiale reticulate, la care familiile de bare, care realizează tălpile structurii, sunt prea mult distanțate între ele, în același plan, formând figuri geometrice de dimensiuni deosebite, necesita contravântuiri suplimentare în planul

lor, și în plan perpendicular pentru a preveni pierderea stabilității barelor comprimate și realizarea unei rigidități mai ridicate a structurii în planul ei și în plan perpendicular tălpilor.

În concluzie, acoperișurile reticulate spațiale în sistem dublu strat se caracterizează prin două familii de bare, așezate în planuri paralele la anumite distanțe și care formează în planul lor diferite figuri geometrice, care sunt legate între ele prin intermediul nodurilor și a celei de a treia familii de bare, care este formată din diagonalele și montanții structurii.

## **2.2. TIPURI DE STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE, DUBLU STRAT, FOLOSITE LA ACOPERIȘURILE CENTRALELOR HIDROELECTRICE**

Structurile spațiale reticulate dublu strat, se caracterizează prin cele trei familii de bare, prezentate în subcapitolul precedent. Modul de așezare a familiilor de bare, care realizează tăpile structurii, față de marginea construcției și figurile pe care le formează acestea în planul tălpilor, dau posibilitatea catalogării structurilor spațiale reticulate după cum urmează [22].

### **2.2.1. Structuri spațiale reticulate cu tălpi paralele între ele și paralele cu marginea construcției**

Structurile din această categorie se caracterizează prin tălpi realizate din bare transversale și longitudinale, paralele cu conturul construcției, care poate fi dreptunghiular sau pătrat, intersecția acestor familii de bare făcându-se în puncte care reprezintă nodurile tălpilor. Nodurile tălpilor din planuri diferite, paralele, se leagă între ele prin diagonale sau în unele cazuri montanți, fiecare nod curent fiind legat cu patru diagonale, doar nodurile de reazem având un număr mai redus de diagonale, concurente în ele, aceste legături realizând o structură indeformabilă.

Poziționarea barelor tălpii superioare față de barele tălpii inferioare și a nodurilor din cele două familii de bare din planuri paralele diferite, dau

posibilitatea grupării acestor sisteme de noduri, în următoarele tipuri:

a) **Sistemul rectangular**, este cel mai simplu și mai întâlnit sistem reticulat Fig.2.1, având tălpi paralele cu conturul construcției, alcătuit din câte două familii de bare, perpendiculare între ele, coplanare, care realizează tălpile superioare și inferioare, intersecția barelor perpendiculare formând nodurile tălpilor.

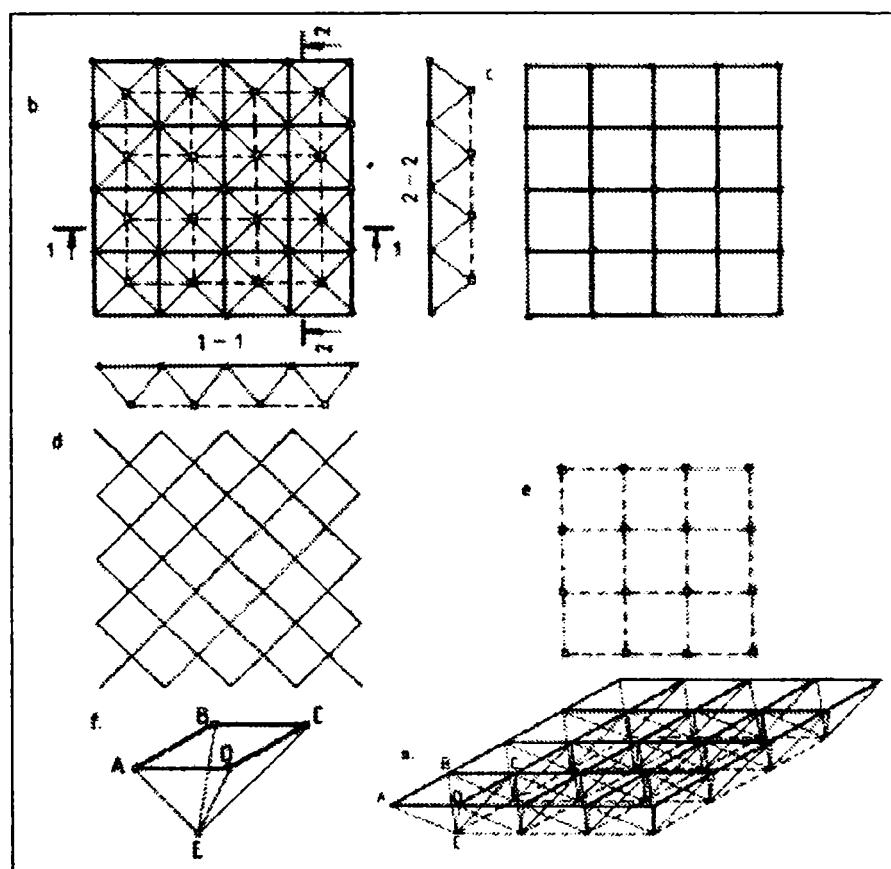


Fig. 2.1 Structură spațială reticulată - sistem rectangular

Nodurile tălpilor inferioare sunt decalate cu jumătate de panou față de nodurile tălpii superioare, spre interiorul construcției, poziția lor fiind în dreptul proiecției centrului de greutate a pătratului de pe talpa superioară.

Nodurile tălpii superioare, se leagă cu patru diagonale de nodurile tălpii inferioare, care se găsesc situate pe verticala centrelor de greutate a celor patru panouri ale tălpii superioare, care mărginesc nodul respectiv.

Sistemul se utilizează frecvent deoarece prezintă posibilitatea realizării acoperișului pe tronsoane, în uzină și asamblarea mai facilă a lor pe șantier.

Sistemul se poate realiza și din elemente separate, prefabricate piramidale,

indeformabile, prezentate în Fig. 2.1.f., în acest caz, panoul tălpii superioare este realizat din corniere, diagonale din țevi, iar prinderea elementelor piramidale între ele, pentru realizarea sistemului reticulat, se face la talpa superioară cu șuruburi, îmbinând panouri alăturate, iar pentru realizarea tălpii inferioare se folosesc bare sub forma de tiranți, cu secțiuni realizate din oțel rotund, țevă sau chiar profile laminate. Prinderea în nodurile tălpii se face cu șuruburi păsuite, cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate sau cu sudură, procedeu mai puțin recomandat pe șantier, la montaj.

Figura 2.1. prezintă o vedere generală, axonometrică a sistemului reticulat, Fig. 2.1.a, vederea de sus Fig. 2.1.b, a sistemului în ansamblu cu secțiunile verticale aferente 1-1 și 2-2, vederea în plan a tălpii superioare, Fig. 2.1.c, cu nodurile acesteea. Vederea în plan a tălpii inferioare Fig. 2.1.e, cu nodurile aferente și proiecția în plan a diagonalelor sistemului reticulat, Fig. 2.1.d.

**b) Sistemul reticulat cu tălpi paralele între ele, iar familia de bare care le realizează, paralele cu conturul construcției, rigidizat suplimentar,** prin dispunerea în fiecare panou al tălpilor superioare și inferioare, Fig. 2.2. contravântuiri sub forma de diagonale încrucișate. Acest sistem este asemănător cu precedentul cu mențiunea ca are bare suplimentare în planul tălpilor, deci este mai neeconomic din punct de vedere al manoperei și a consumului de material metalic, dar în unele situații, când dimensiunea panourilor este mare și este necesară rigidizarea suplimentară, se poate justifica folosirea lui.

La acest sistem, fiecare nod, pe lângă cele patru diagonale care-l leagă cu nodurile de la talpa opusă, mai este un punct concurent a încă patru diagonale din planul tălpilor aferente celor patru panouri adiacente. Aspectul structurii este mult mai încărcat decât precedentul.

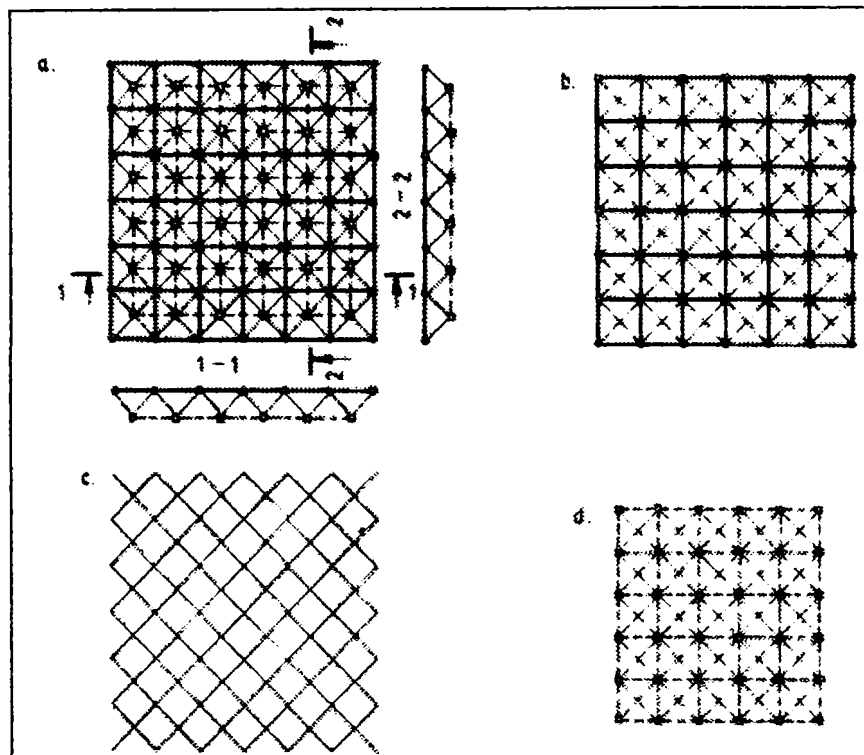


Fig. 2.2 Structură spațială reticulată - sistem rectangular cu contravântuiri suplimentare

Sistemul prezentat se poate realiza în uzină sub formă de tronsoane, de greutate și gabarite corespunzătoare transportului la șantier, asamblarea făcându-se la față locului de regula cu șuruburi sau sudură.

În Fig.2.2. este prezentată: vederea de sus, Fig. 2-2a a sistemului reticulat cu secțiunile 1-1 și 2-2, vederea în plan Fig. 2.2.b a tălpii superioare, liniile punctate reprezentând contravântuirile din planul tălpii, vederea în plan Fig. 2.2.d. a tălpii inferioare cu aceeași mențiune ca mai sus și proiecția în plan Fig.2.2.c. a diagonalelor.

c) **Sistemul reticulat rectangular economic**, Fig. 2.3., cu tălpile realizate din familii de bare paralele cu conturul construcției, iar la talpa inferioară din două în două panouri, transversal și longitudinal barele sunt eliminate ca de altfel și nodurile în care se intersectează acestea.

Economia la acest sistem reticulat constă în faptul că la talpa inferioară, în panourile curente, tot al doilea nod este suprimat, rezultând așa numitul sistem rar, care este mult mai aerisit, practic la talpa inferioară panourile rezultând cu dimensiuni duble fata de cele de la talpa superioară.



Nodurile de la talpa superioară, datorită realizării tălpii inferioare cum s-a arătat mai sus, vor fi legate doar de câte trei noduri de la talpa inferioară, dar

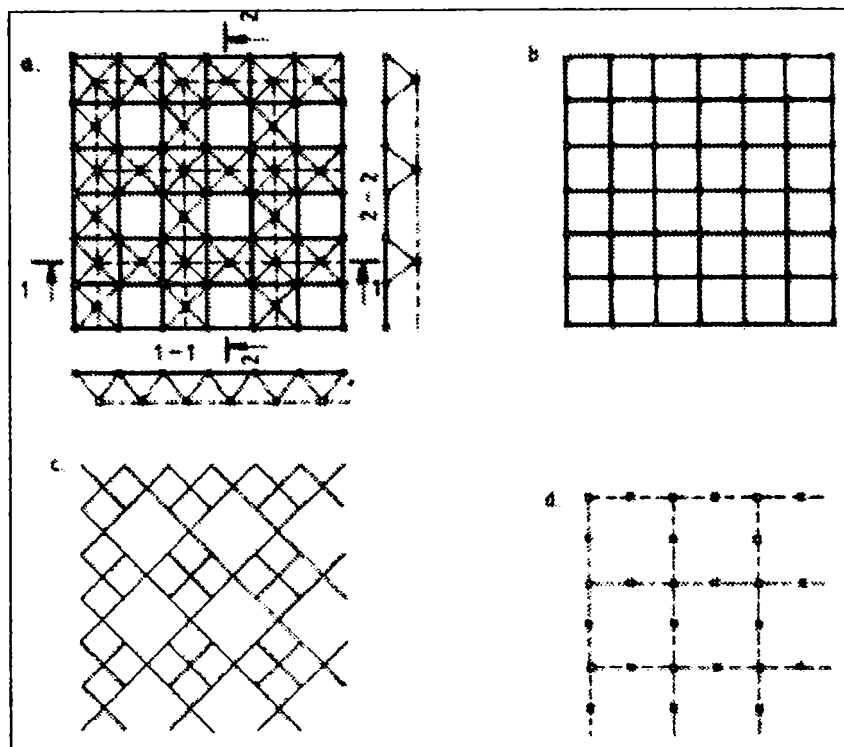


Fig. 2.3 Structură spațială reticulată - sistem rectangular economic

aceasta nu va afecta cu nimic rigiditatea structurii în planul ei, ea fiind asigurată de cele patru legături ale nodurilor de la talpa inferioară.

Datorită barelor eliminate de la talpa inferioară, sistemul prezentat este mai economic și mai ușor, fiind și mult mai rar decât cele prezentate anterior.

Fig.2.3. prezintă vederea în plan a sistemului reticulat Fig.2.3.a și secțiunile verticale 1-1 și 2-2, vederea în plan Fig. 2.3.b. a tălpii superioare și tălpii inferioare Fig. 2.3.d și proiecția în plan a diagonalelor Fig.2.3.c.

Sistemele prezentate în Fig. 2.1, Fig.2.2, Fig.2.3, au posibilitatea rezemării în nodurile de contur, de la talpa superioară sau inferioară în funcție de spațiul util necesar sub acoperișul reticulat.

025.101/111

d) *Sistemul reticulat cu tălpi paralele realizat din familii de bare paralele cu conturul construcției, la care proiecțiile tălpilor se suprapun, nodurile de pe aceeași verticală fiind legate între ele cu montanți și fiecare nod al tăpii inferioare*

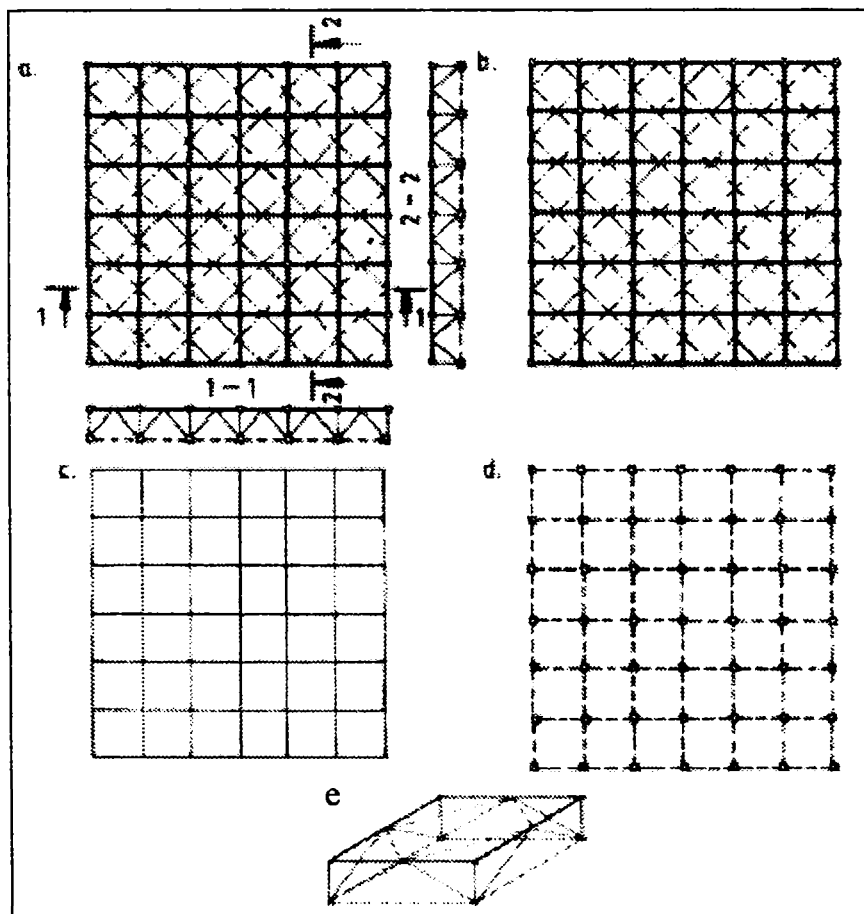


Fig. 2.4. Structură spațială sistem reticulat cu tălpile superioare contravântuite suplimentar în plan orizontal și vertical

fixează câte patru bare de la talpa superioară, concurente în nodul de deasupra lui, Fig. 2.4. prin intermediul unor elemente de rigidizare care se leagă de mijlocul acestora și nodul menționat.

Asigurarea nedeformabilității în plan vertical al patrulaterului format de cei doi montanți și barele tălpilor superioare și inferioare, se face prin dispunerea de bare suplimentare, de la nodurile tăpii inferioare până la mijlocul tăpii superioare Fig.2.4.e, iar pentru asigurarea indeformabilității în plan orizontal a panoului tăpii superioare, se procedează la contravântuirea laturilor acestuia, prin dispunerea de bare sub formă de patrulater între mijloacele laturilor fiecărui panou, acolo unde ajung și contravântuirile de la nodurile tăpii inferioare.

Talpa inferioară este rigidă datorită faptului că nodurile ei sunt fixate prin cele patru contravântuiri din planurile verticale ale laturilor panoului și un montant vertical.

Sistemul reticulat prezentat este simplu de realizat sub formă de paralelipede independente care pe șantier doar se assemblează între ele. Sistemul este relativ încărcat datorită numărului mare de contravântuiri necesare a se dispune în plan vertical și în plan orizontal. El se poate realiza în uzină din corniere, sudate între ele, cu una din aripi în planul fețelor paralelipedului și cu aripa cealaltă spre interiorul paralelipedului, îmbinarea între elementele alăturate făcându-se două câte două cu șuruburi, dând posibilitatea de a realiza construcții ușor demontabile.

Fig. 2.4 prezintă vederea în plan a sistemului Fig.2.4.a, cu secțiunile verticale 1-1 și 2-2, vederea în plan a tălpii superioare Fig. 2.4.b și contravântuirile din planul ei, vederea în plan a tălpii inferioare Fig.2.4.d, proiecția diagonalelor din planul vertical Fig. 2.4.c și un element paralelipedic independent Fig. 2.4.e, cu contravântuirile aferente în plan vertical și în planul orizontal al tălpii superioare.

Sistemul se pretează la rezemare în nodurile de la talpa inferioară.

### **2.2.2. Structuri spațiale reticulate sistem diagonal cu una din tălpi paralelă cu marginea construcției și cealaltă rotită la $45^{\circ}$**

Structurile spațiale reticulate sistem diagonal, au ca particularitate, dispoziția familiilor de bare, care realizează talpa inferioară a structurii, familii de bare care față de conturul construcției sunt înclinate la  $45^{\circ}$ , iar între ele sunt perpendiculare, formând panouri pătrate, sau dreptunghiulare.

În funcție de legaturile dintre nodurile celor doua tălpi și dispunerea acestora unele fata de altele, se întâlnesc următoarele tipuri de sisteme diagonale.

a) *Sistemul reticulat diagonal cu nodurile tălpii superioare legate de nodurile tălpii inferioare prin câte patru diagonale*, Fig.2.5, excepție făcând nodurile de pe conturul tălpii superioare, care se leagă doar cu câte doua diagonale,

iar nodurile de colț a tălpii superioare, se vor lega de nodurile de colț a tălpii inferioare, cu câte o singură diagonală.

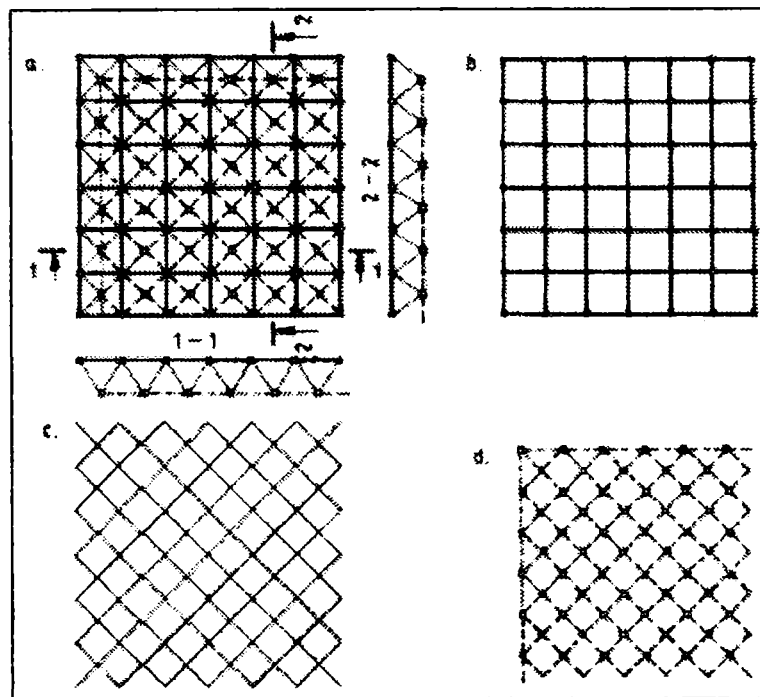


Fig. 2.5. Structură specială reticulată sistem diagonal la talpa inferioară

Nodurile de la talpa inferioară, situate pe verticala proiecției centrelor de greutate a panourilor tălpii superioare, sunt legate de nodurile tălpii superioare, fiecare cu câte patru diagonale. Acest sistem reticulat se pretează la realizarea lui pe tronsoane în uzină, care ulterior se assemblează prin montaj pe șantier.

Sistemul expus mai sus se prezintă în Fig. 2.5, astfel, vederea în plan inclusiv secțiunile 1-1 și 2-2 în Fig. 2.5.a, proiecția în plan a tălpii superioare, Fig. 2.5.b, proiecția tălpii inferioare Fig. 2.5.d și proiecția în plan a diagonalelor sistemului Fig. 2.5.c.

**b) Sistemul reticulat diagonal cu talpa inferioara realizată în soluția “rară”, prin eliminarea barelor din doua în doua panouri, după fiecare direcție.**  
Fig.2.6.

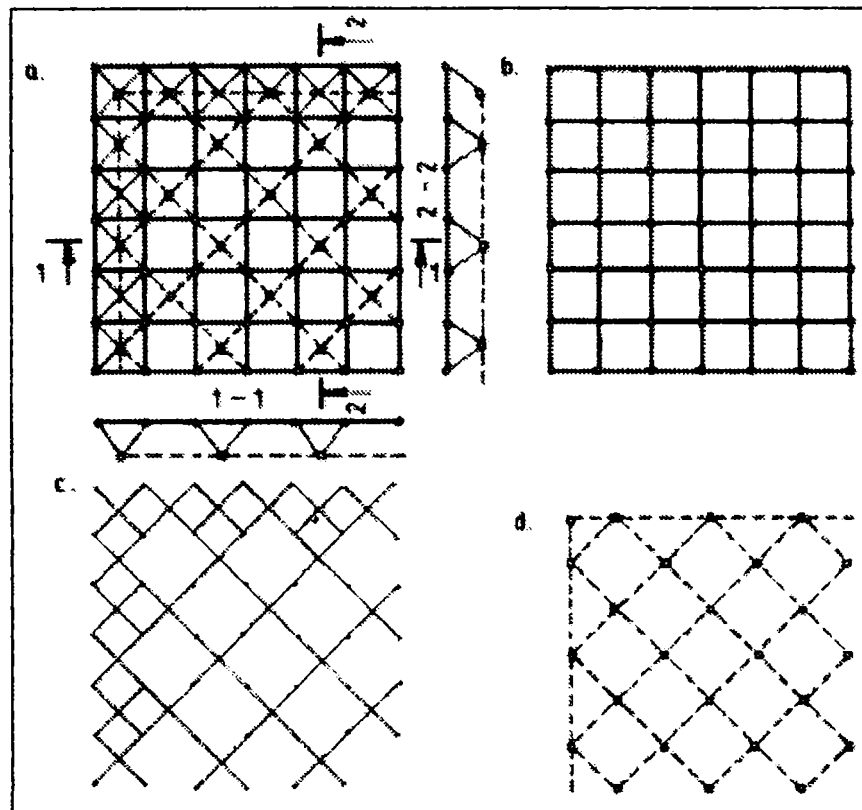


Fig. 2.6. Structură spațială reticulată sistem diagonal la talpa inferioară în soluție "rară" economică

Nodurile tălpii superioare se leagă de nodurile tălpii inferioare cu câte două diagonale, așezate în același plan vertical cu familia de bare ale tălpilor inferioare.

Nodurile tălpii inferioare se găsesc pe verticala proiecției centrelor de greutate ale panourilor tălpii superioare, ele dispunându-se din două în două panouri. Aceste noduri sunt legate fiecare cu câte patru diagonale de noduri din colțurile panoului aferent al tălpii superioare.

Sistemul are avantajul că are un număr mai redus de bare, este o structură mai aerisită, necesită manoperă mai puțină și aspectul arhitectonic al structurii este mai plăcut.

Realizarea în uzină sub formă de tronsoane este posibilă, pe șantier realizându-se montajul la dimensiunile finale ale acoperișului.

Fig. 2.6.a, prezintă vederea în plan a structurii și secțiunile 1-1 și 2-2, proiecția în plan a tălpii superioare în Fig. 2.6.b, proiecția în plan a tălpii inferioare în Fig. 2.6.d și proiecția în plan a diagonalelor Fig. 2.6.c.

Rigiditatea în plan a structurii acoperișului este asigurată, cu toate că

nodurile tălpii superioare se fixează de cele ale tălpii inferioare doar cu câte două diagonale, datorită faptului că diagonalele, două câte două, de la noduri consecutive de pe conturul panoului tălpii superioare, sunt așezate pe direcții perpendiculare.

Rezemarea acestui tip de structură se poate face în nodurile de contur de pe talpa superioară sau de pe talpa inferioară.

### **2.2.3. Structuri spațiale rețiculate sistem oblic cu ambele tălpi rotite la $45^{\circ}$ față de marginile construcției**

Structurile spațiale rețiculate din această categorie au familiile de bare care realizează talpa superioară și talpa inferioară, rotite față de conturul construcției la  $45^{\circ}$ . În funcție de poziția nodurilor tălpii inferioare față de nodurile tălpii superioare distingem următoarele cazuri.

***a) Structuri spațiale rețiculate sistem oblic Fig.2.7, la care nodurile tălpii inferioare se găsesc pe verticala centrelor de greutate a panourilor tălpii superioare.***

Structurile spațiale rețiculate din această categorie au rigiditatea în planul acoperișului asigurată prin modul de fixare a nodurilor de la cele două tălpi. Din Fig. 2.7.a, se observă că fiecare nod al tălpii inferioare, se leagă de nodurile învecinate de pe talpa superioară cu câte o diagonală, deci în total cu patru diagonale, în același nod legându-se și nodurile tălpii superioare față de nodurile tălpii inferioare, mai puțin nodurile de pe contur, care se leagă doar cu o diagonală și de asemeni nodurile de pe primul rând al tălpii superioare, care se leagă cu trei diagonale, de trei noduri diferite de talpa inferioară.

Fig. 2.7.a, prezintă vederea în plan a structurii și secțiunile 1-1 și 2-2, proiecția tălpii superioare Fig. 2.7.b, proiecția tălpii inferioare Fig. 2.7.d. și proiecția diagonalelor Fig. 2.7.c.

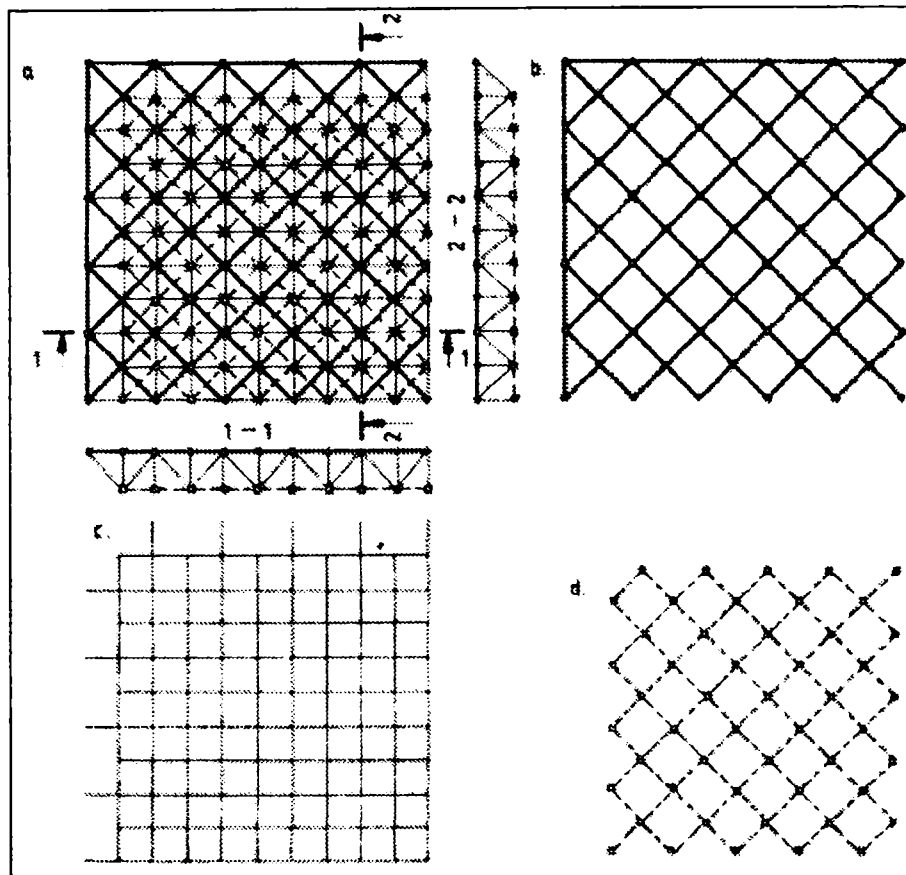


Fig. 2.7. Structură spațială reticulată sistem oblic cu nodurile tălpilor decalate

Alcătuirea sistemului dă aspect de structură foarte încărcată, datorită poziției nodurilor tăpii inferioare și a diagonalelor care umplu complet contururile panourilor tăpii superioare.

**b) Structuri spațiale reticulate sistem oblic, Fig.2.8, la care proiecția familiilor de bare ale tăpii superioare se suprapun peste proiecția familiilor de bare ale tăpii inferioare și a diagonalelor.**

Structura reticulată are nodurile fixate între ele cu diagonale și montanți astfel: din două în două panouri, nodurile de la talpa superioară sunt fixate cu patru diagonale de nodurile alăturate de la talpa inferioară și de asemeni din două în două panouri nodurile de pe talpa superioară se fixează cu un montant de nodul de sub el, aflat pe talpa inferioară. Aceeași metodologie de fixare este valabilă și pentru nodurile tăpii inferioare.

Concluzia finală la alcătuirea sistemului este că, pe un rând de noduri paralel cu conturul construcției, nodurile consecutive sunt fixate de cele de pe talpa opusă, alternativ cu un montant, respectiv cu un montant și patru diagonale.

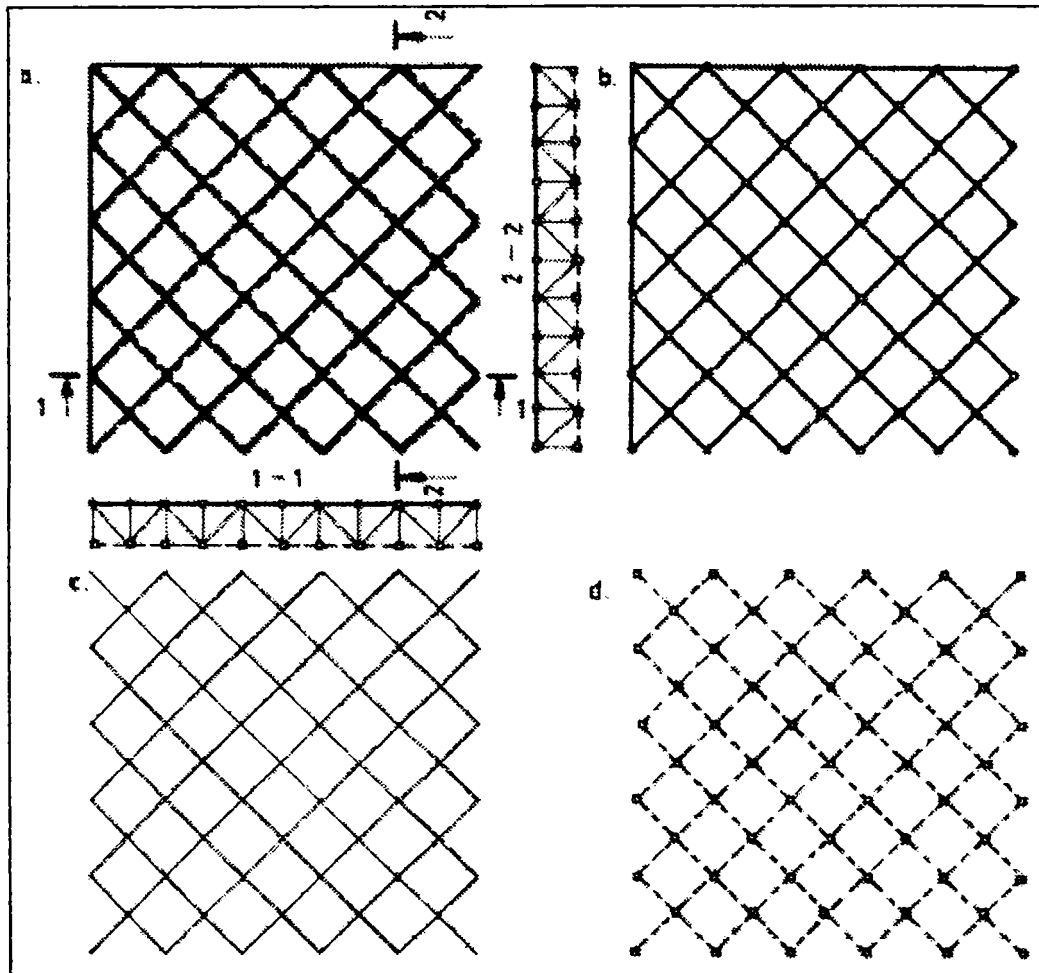


Fig.2.8. Structură spațială reticulată sistem oblic cu nodurile tălpilor pe aceeași verticală

Structura ca aspect pare mai puțin încărcată decât prima varianta și se pretează la rezemare în nodurile tăpii inferioare.

În fig. 2.8.a. se prezintă vederea în plan și secțiunile 1-1 și 2-2 prin structură, proiecția în plan a tăpii superioare Fig. 2.8.b, inferioare Fig. 2.8.d și a diagonalelor Fig. 2.8.c.

#### 2.2.4. Structurile spațiale reticulate planare sistem triunghiular

Structurile spațiale reticulate planare sistem triunghiular, sunt formate din familii de bare ale tălpilor superioare și inferioare, care formează între ele



triunghiuri echilaterale sau isoscele.

a) *Structuri spațiale reticulate planare* Fig. 2.9. *la care triunghiurile formate în planul tălpilor au una din liniile de intersecție a bazei triunghiurilor, paralelă cu una din marginile construcției.*

Talpa inferioară se realizează astfel ca nodurile acestea să se situeze pe verticala proiecției centrelor de greutate a panourilor triunghiulare de la talpa superioară, iar talpa superioară are nodurile situate pe verticala proiecției centrelor

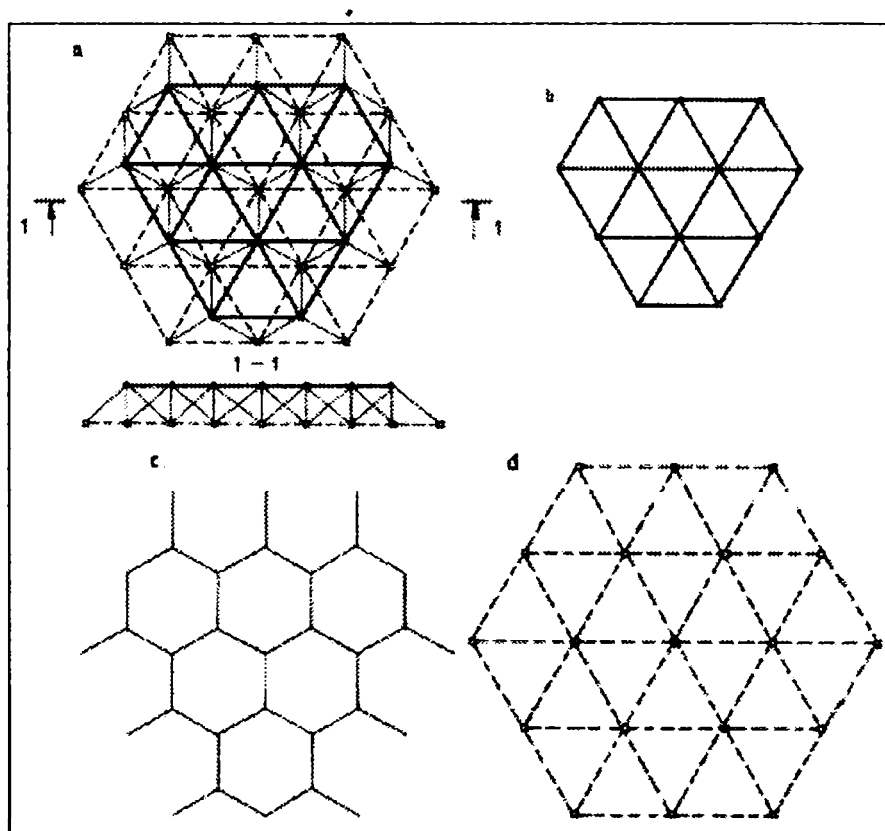


Fig.2.9. Structură spațială reticulată sistem triunghiular cu proiecția diagonalelor în plan sub formă de hexagoane

de greutate a panourilor tăpii inferioare. În acest caz atât nodurile tăpii superioare cât și nodurile tăpii inferioare, sunt legate cu câte trei diagonale de nodurile de pe talpa opusă, realizându-se astfel o structură indeformabilă, iar proiecția în plan a diagonalelor Fig.2.9.c, realizează figuri hexagonale, regulate, în cazul panourilor triunghiuri echilaterale și hexagoane cu laturile două câte două egale, în cazul panourilor sub formă de triunghiuri isoscele.

Structurile reticulate sistem triunghiular prezentate mai sus, se pot utiliza pentru acoperișuri la construcții de forma pătrată în plan, dreptunghiulară,

triunghiulară, rombică, hexagonală și chiar circulară.

**b) Structuri spațiale reticulate sistem triunghiular, realizate din tetraedri cu laturi triunghiuri isoscele** Fig. 2.10, la care familia de bare, care constituie talpa superioară este realizată din conturul barelor bazei tetraedrilor legați între ei în noduri, iar familia de bare care realizează talpa inferioară este constituită din bare care leagă între ele vârfurile tetraedrilor, opuse bazei, formând figuri triunghiulare.

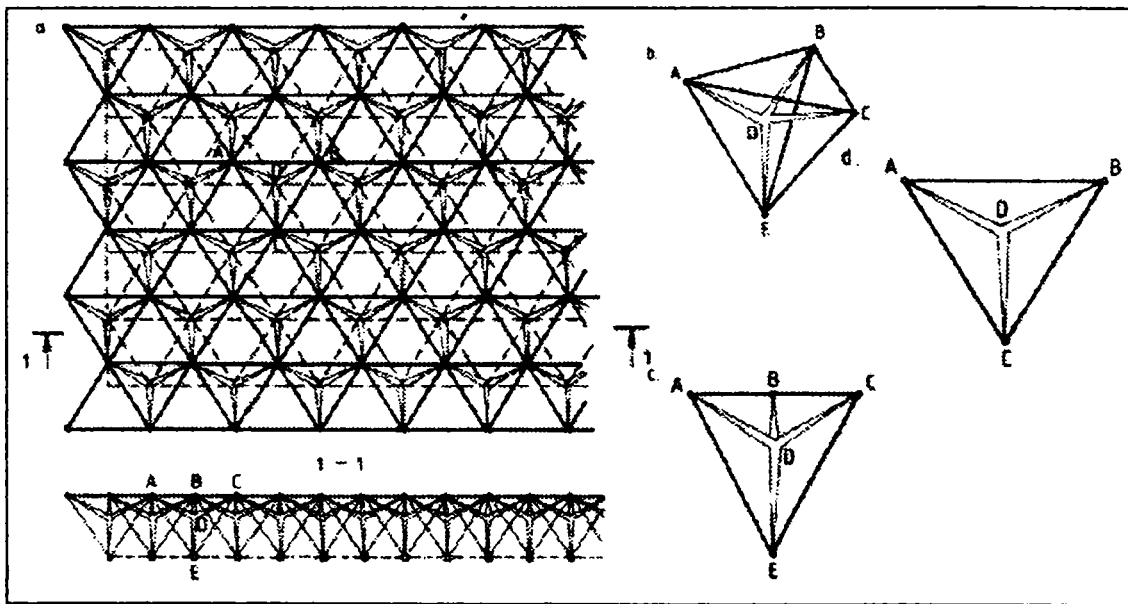


Fig. 2.10. Structură spațială reticulată sistem triunghiular realizată din tetraedri spațiali cu laturi triunghiuri isoscele

Pentru a mări rigiditatea acestor structuri, din fiecare vârf al tetraedrului se duce până în centrul de greutate al acestuia Fig.2.10b,c,d, câte o bară de legătură, aceste bare de legătură văzute în plan apar sub formă de hexagoane Fig. 2.10.a.

Structurile realizate astfel sunt practice la montajul pe șantier, manopera pentru confecționarea tetraedrului și contravântuirile acestora, consumându-se în întregime în uzine specializate în confecționarea construcțiilor metalice.

Structurile se pretează și pentru realizarea construcțiilor provizorii (demontabile), respectiv pentru construcții care ulterior își măresc sau micsorează capacitatea de adăpostire a unor procese tehnologice, activități sportive, săli de expoziții, săli de spectacole etc.

### 2.2.5. Structuri spațiale reticulate planare, sistem hexagonal.

Structurile spațiale reticulate hexagonale au ca sisteme de referință principal, forma geometrică pe care o generează așezarea barelor tălpilor superioare și inferioare, aceasta fiind un hexagon. Diferența între principalele tipuri de astfel de structuri constă în modul de realizare a rigidizării (contravântuirii) barelor și a nodurilor și de poziția tălpilor între ele astfel:

*a) Structură spațială reticulată cu familia de bare de la talpa superioară și inferioară în formă de hexagon Fig. 2.11, suprapuse în plan, nodurile tălpilor superioare și tălpilor inferioare legându-se cu câte un montanț, iar nodurile tălpilor inferioare, suplimentar, în plan vertical, se mai leagă cu trei diagonale, care au celălalt capăt legat de mijlocul barelor care realizează talpa superioară și care sunt concurente în nodul de pe talpa superioară, de deasupra nodului rigidizat, Fig. 2.11.b.*

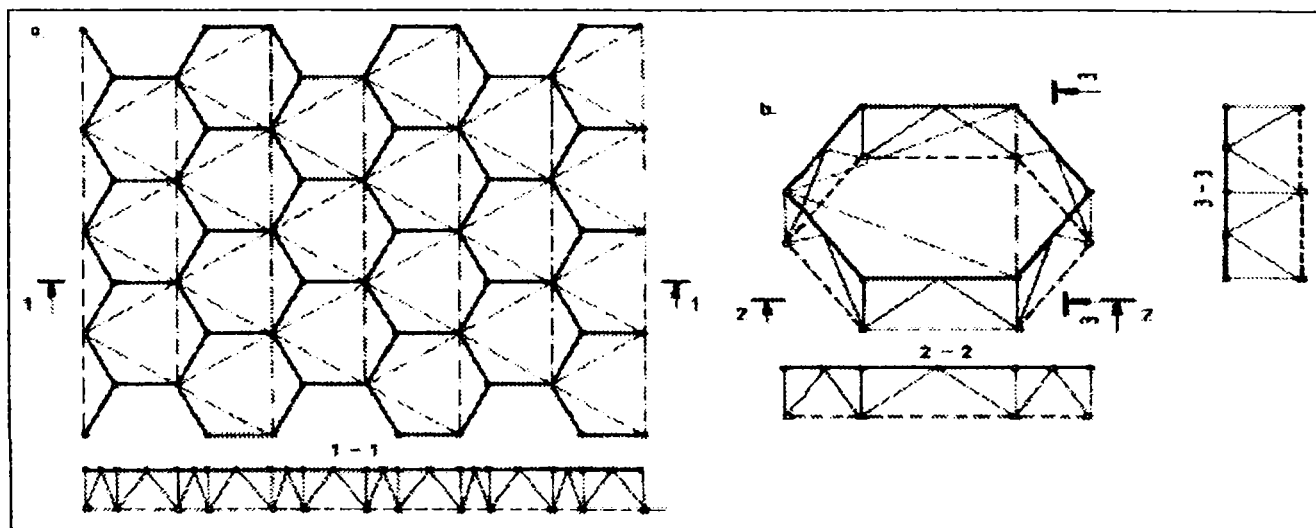


Fig. 2.11. Structură spațială reticulată cu barele tălpilor așezate în formă de hexagoane suprapuse

Rigiditatea în plan a tălpilor superioare se asigură prin dispunerea contravântuirilor triunghiulare, care leagă între ele din două în două, nodurile.

Structura se pretează a se realiza în uzină sub formă de tronsoane, care se assemblează ușor pe șantier, sau din elemente prefabricate cu tălpi hexagonale independente, care se montează pe șantier, bucată cu bucată, îmbinându-se între

ele cu șuruburi. Și în acest caz manopera cea mai multă se consumă la confecționarea în uzină a prefabricatelor de forma hexagonală.

*b) Structură spațială reticulată cu familia de bare de la talpa superioară și inferioară, așezate în formă de hexagoane suprapuse Fig. 2.12, la care nodurile tălpii inferioare și superioare de pe aceeași verticală sunt legate cu câte un montant și fiecare nod la rândul lui mai este legat cu trei diagonale, de trei noduri opuse lui de pe talpa opusă.*

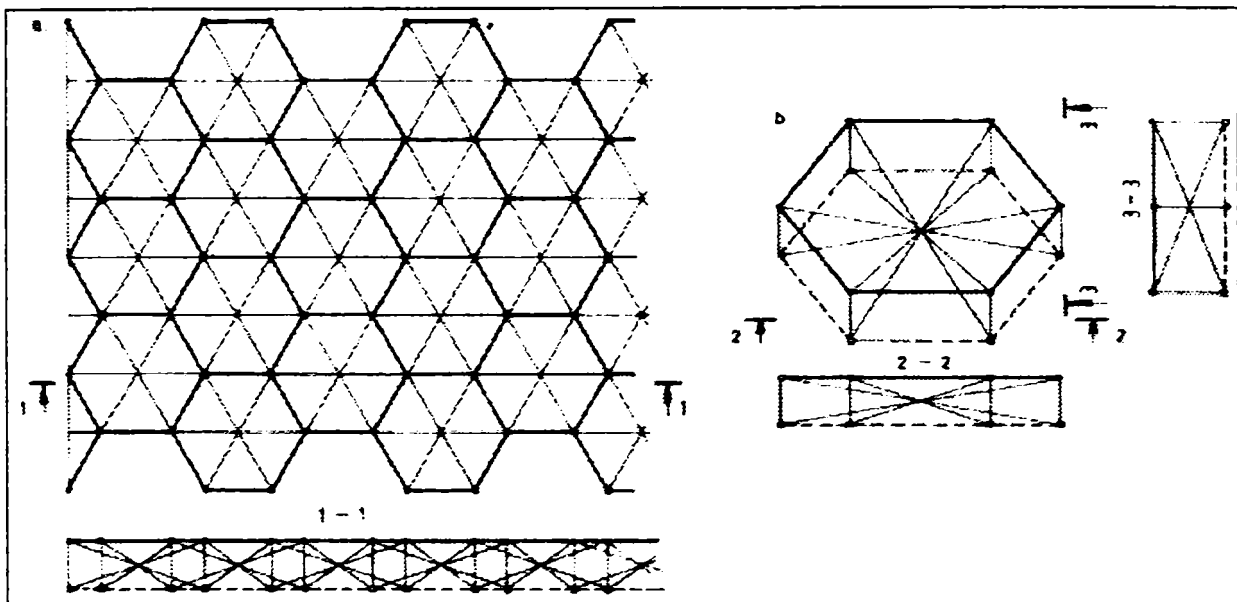


Fig.2.12. Structură spațială reticulată cu barele tălpii hexagoane suprapuse și noduri contravântuite suplimentar în planuri diferite

Diagonalele de fixare a nodurilor sunt dispuse ca în Fig. 2.12.b astfel: fiecare nod de pe talpa superioară este legat printr-o diagonală de nodul tălpii inferioare de pe colțul opus al hexagonului, rezultând astfel o structură asemănătoare spițelor de la o roată. Teoretic aceste diagonale se întâlnesc pe verticala proiecției centrului de greutate al hexagoanelor, în planul median, realizarea practică făcându-se prin întreruperea diagonalelor la acest nivel, iar prinderea lor pentru asigurarea continuității, se realizează cu un dispozitiv special, confecționat astfel, ca să nu modifice direcția teoretică a acestora. Vederea în plan Fig. 2.12.a, arată că fiecare nod este legat cu trei diagonale care trec prin proiecția centrelor de greutate a celor trei hexagoane care mărginesc nodul respectiv.

Structurile se pot realiza sub formă de tronsoane în uzină, ca piese

hexagonale independente, care pe șantier doar se assemblează cu șuruburi.

c) *Structuri spațiale reticulate cu familiile de bare de la talpa superioară și inferioară, așezate în formă de hexagoane, decalate unele față de altele, Fig. 2.13* astfel încât trei noduri ale hexagonului tălpii superioare se găsesc în proiecția centrelor de greutate ale celor trei hexagoane de la talpa inferioară, care se întâlnesc în nodul tălpii inferioare, situat pe verticala proiecției centrului de greutate a hexagonului tălpii superioare, iar celelalte trei noduri se suprapun cu nodurile hexagoanelor tălpii inferioare.

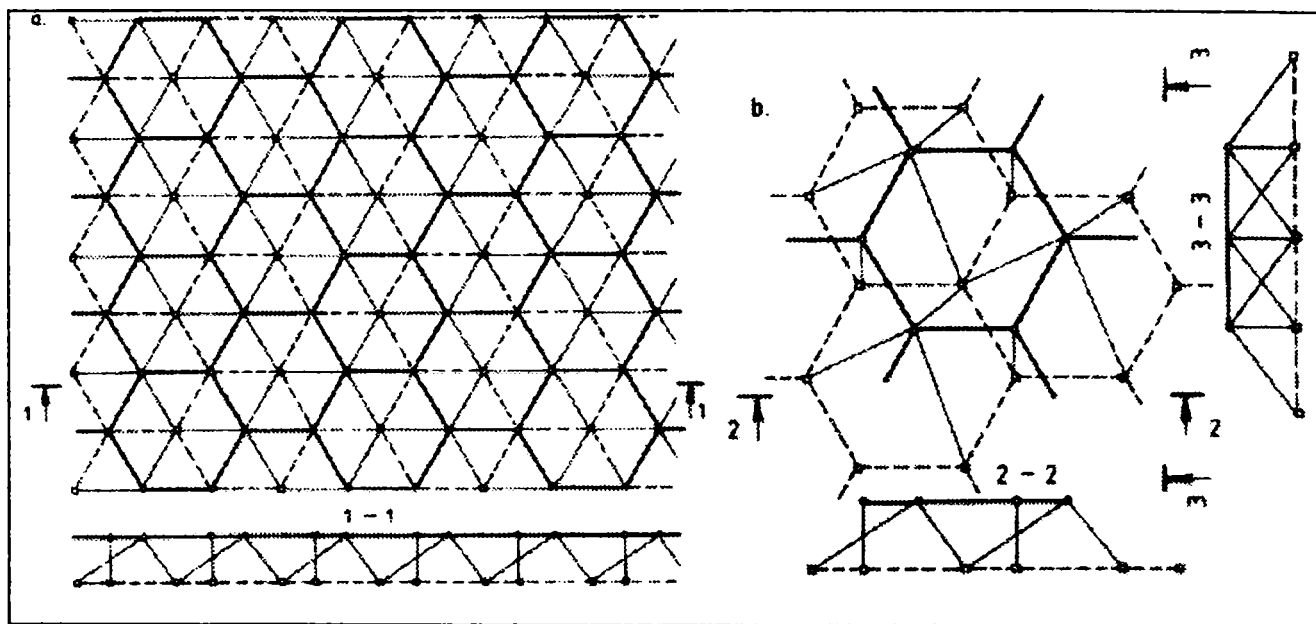


Fig. 2.13. Structură spațială reticulată sistem hexagonal la talpa superioară și inferioară, decalate unele față de altele

La această structură, nodurile care se găsesc în proiecția centrelor de greutate a hexagoanelor tălpii superioare respectiv inferioare, sunt fixate cu câte trei diagonale de nodurile de pe talpa opusă, noduri care se găsesc în proiecția centrelor de greutate a celor trei hexagoane care mărginesc nodul fixat.

Nodurile care se suprapun sunt legate între ele prin montanți.

Dispunerea nodurilor, respectiv fixarea lor prin diagonale și montanți se detaliază în Fig. 2.13.b.

Structura se poate realiza din tronsoane, sau din elemente piramidale cu baza hexagon și muchiile (diagonale) din două în două colțuri, atât pentru talpa superioară cât și pentru talpa inferioară.

Dintre structurile cu tălpi sub forma de hexagoane, ultima structură este cea mai aerisită, cu cele mai puține bare de legătură, deci cu greutatea cea mai mică și manopera cea mai puțină.

Acoperișurile cu sisteme hexagonale pot să aibă învelitorile din prefabricate de beton armat hexagonale, iar dacă este necesară dispunerea panelor, ele se pot așeza de-a lungul a două laturi paralele a hexagonului, respectiv peste diagonala care este paralelă cu acestea și care unește cele două noduri opuse.

Rezemarea primelor două structuri, cu tălpi hexagonale, se recomandă, din modul de alcătuire, să se facă doar la nodurile tălpi inferioare, iar a treia structură se poate rezema, atât în nodurile tălpii inferioare cât și în nodurile tălpii superioare.

#### **2.2.6. Structuri spațiale reticulate sistem hexagonal, la talpa superioară și sistem triunghiular la talpa inferioară**

Structurile spațiale reticulate realizate în această soluție constructivă, au familiile de bare ale tălpii superioare, așezate în forma de hexagoane, iar familiile de bare ale tălpii inferioare formează triunghiuri, cu vârfurile pe verticala proiecției centrelor de greutate ale hexagoanelor tălpii superioare Fig. 2.14.

Nodurile tălpii superioare, sunt legate fiecare cu câte trei diagonale, de nodurile tălpii inferioare, care se găsesc în cele trei proiecții ale hexagoanelor, care mărginesc aceste noduri.

Fiecare nod al tălpii inferioare, se leagă cu diagonale, de cele șase noduri ale tălpii superioare hexagonale, care-l mărginesc. În nodul tălpii inferioare mai concură șase bare din planul tălpii structurii, ceea ce complică alcătuirea acestei structuri.

Cu toate acestea, sistemul este practic, fiind posibilă realizarea lui din elemente piramidale independente cu baza hexagonală, așezate în sus și legate la vârf cu bare care alcătuiesc talpa inferioară.

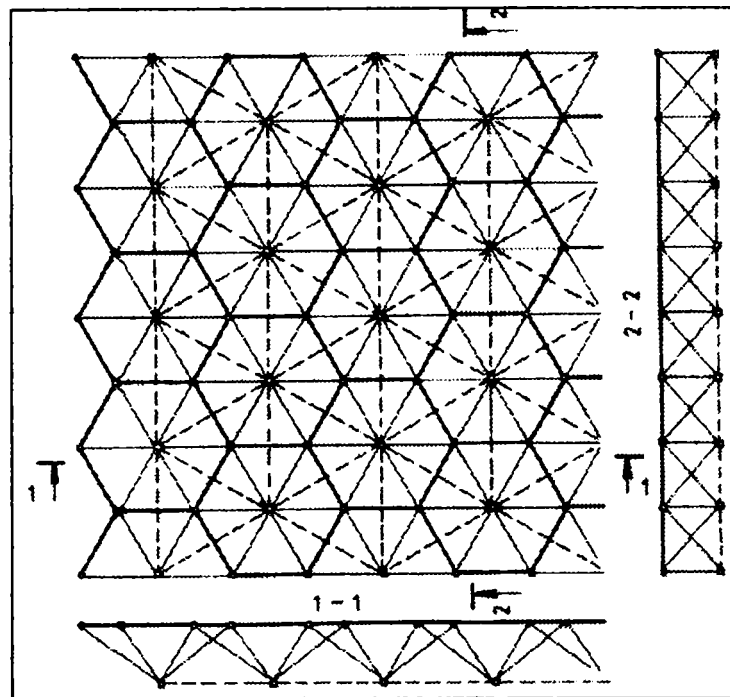


Fig. 2.14. Structură spațială reticulată sistem hexagonal la talpa superioară și sistem triunghiular la talpa inferioară

Elementele piramidale se confecționează în uzine pentru construcții metalice, iar montajul pe șantier se face îmbinându-le cu șuruburi.

Acoperișurile realizate în această variantă constructivă, se pot rezema în nodurile de la talpa inferioară sau în cele de pe talpa superioară, așezate pe aceeași linie.

### 2.2.7. Structuri spațiale reticulate, sistem hexagonal, cu diagonale în planuri denivelate

Acoperișurile cu această soluție constructivă, se alcătuiesc dintr-o structură de rezistență sub formă de hexagoane Fig. 2.15, așezată în planul median, structura rigidizată prin dispunerea diagonalelor în planuri denivelate, față de cel median, din fiecare nod pornind câte trei perechi de diagonale, pe direcții diferite, trecând peste niște contrafișe, montanți, așezați în centrele de greutate a celor trei hexagoane care mărginesc nodul, și care depășesc în sus și în jos, planul median, legându-se în continuare de nodurile opuse de pe hexagoane.

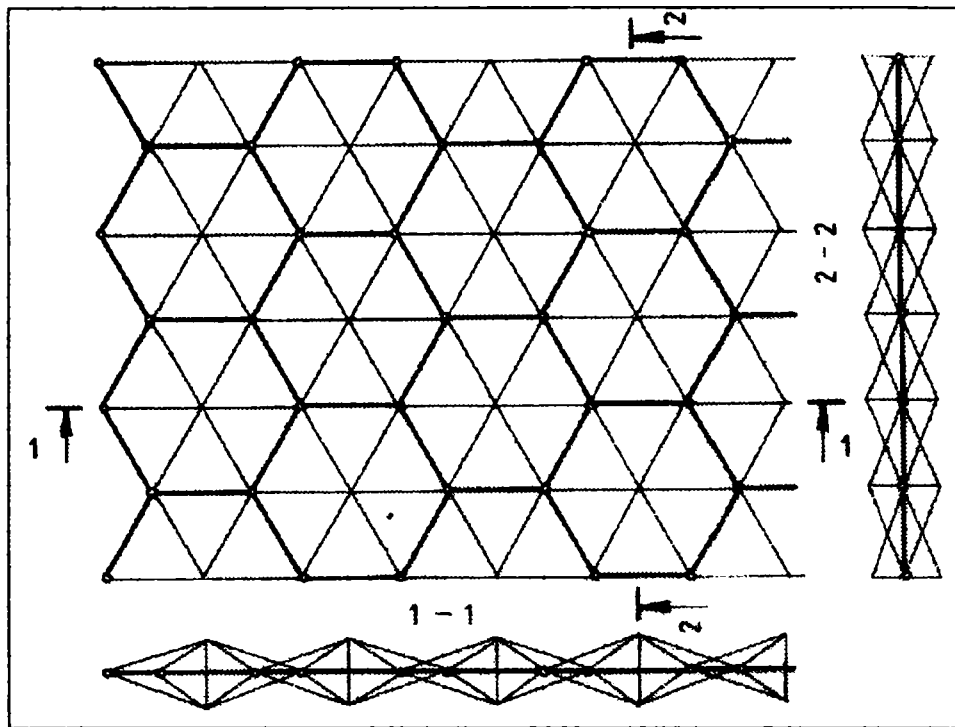


Fig. 2.15 Structură spațială reticulată sistem hexagonal cu diagonale în planuri denivelate

Alcătuirea acoperișurilor de acest gen, se pretează la a fi realizate din profile laminate, partea de structură hexagonală și contrafișele, iar din cabluri pretensionate diagonalele, care trec alternativ prin nodurile structurii și capetele contrafișelor.

Diagonalele se pot realiza și în varianta țeavă rotundă sau pătrată, la cele din planul superior și tiranții din oțel rotund, la cele din planul inferior.

Structura este constructiv complicată, mai ales în zona nodurilor structurii hexagonale, complicații apărând la realizarea prinderii diagonalelor în noduri.

### 2.3. DIMENSIUNILE UZUALE ALE STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE ÎN DUBLU STRAT DE LA ACOPERIȘURILE CENTRALELOR HIDROELECTRICE

Acoperișurile centralelor hidroelectrice realizate în soluție, structuri spațiale reticulate dublu strat [22, 27], au o formă în plan dreptunghiulară, datorită agregatelor pe care le adăpostesc și care sunt dispuse liniar [31]. Latura acoperișului, paralelă cu axa de dispunere a agregatelor (turbinelor) este de regulă



mult mai mare decât lățimea acestuia, fapt pentru care, în unele cazuri, pentru a menține situația de placă reticulată, este necesar introducerea de reazeme intermediare pe lățimea centralei, în sens transversal acestea.

Dimensiunile acoperișurilor spațiale reticulate sunt condiționate de gabaritul agregatelor adăpostite și de destinația încăperilor protejate.

Structurile spațiale reticulate se caracterizează, așa după cum s-a văzut în paragraful anterior prin:

- figura geometrică care subîmparte planul fiecărei fețe, deci de forma ochiurilor;
- poziția relativă a barelor din cele două planuri ale tălpilor în raport cu conturul structurii;
- alcătuirea relativă a celor două tălpi.

Tălpile (fețele) superioară și inferioară pot avea ochiuri pătrate, rombice, triunghiulare și hexagonale, caracterizate prin lungimi de bare identice în fiecare față.

La alegerea tipului de structură reticulată (forma ochiurilor), se va avea în vedere și forma conturului, în vederea ușurării, condițiilor de rezemare, evitând modificarea conformării regulate a nodurilor, prin îndesirea acestora și adăugarea sau eliminarea de bare componente. S-a observat în prezentarea din paragraful 2.2. că structurile reticulate cu ochiuri pătrate au cea mai mare răspândire la acest tip de acoperișuri, dată fiind și forma dreptunghiulară a conturului acoperit.

În cazuri justificate din punct de vedere funcțional sunt admise și alte forme în plan (rombice, trapezoidale, hexagonale, triunghiulare etc) cu condiția rezolvării corespunzătoare a rezemării pe contur.

Elementele geometrice de proiectare ale structurilor reticulate sunt:

**a) *Pasul structurii rețelei*** care este distanța măsurată între centrele a două noduri succesive de pe o talpă (față) și se notează cu "l".

Mărimea lui se alege din condiții de modulare, natura învelitorii și optimizarea consumului de metal pentru bare și noduri. Recomandarea pentru

dimensiunile pasului este [19] între 1.50 m și 3.00 m.

Limita inferioară apărând din condiția de densitate rațională de bare și de noduri, iar limita superioară rezultă din condiția de stabilitate a barelor comprimate sau de prindere în noduri.

**b) Înălțimea structurii**, reprezintă distanța măsurată între planele celor două tălpi (fețe) notându-se cu “h” mărimea ei, recomandându-se [19, 26] a se alege între (1/15 ... 1/20) din deschiderea minimă în plan, a acoperișului, care în cazul centralelor hidroelectrice este lățimea acesteea.

**c) Unghiul diagonalelor cu planul tălpilor (fețelor)**, se notează cu “ $\gamma$ ”, se alege astfel încât să permită o alcătuire rațională a nodurilor și o corelare judicioasă între înălțime și pasul structurii, alegându-se între valorile de  $45^0$  și  $60^0$  [19, 26, 27].

Între pasul structurii ( $l$ ) și înălțimea acesteia ( $h$ ), lungimea diagonalelor ( $l_d$ ) și unghiul diagonalelor “ $\gamma$ ” există următoarea relație:

$$\bullet \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{h\sqrt{2}}{l} \quad l_d = \frac{l}{2 \cos \gamma} = \frac{h}{\sin \gamma} \quad (2.1)$$

pentru structurile planar pătrate diagonale;

$$\bullet \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{2h}{l} \quad l_d = \frac{l}{\sqrt{2} \cos \gamma} = \frac{h}{\sin \gamma} \quad (2.2)$$

pentru structurile planar pătrate simple.

**d) Numărul de intervale** (pasuri) în lungul fiecărei laturi de contur, care este dat de raportul dintre lungimea structurii și pasul acesteia ( $L/l$ ) respectiv de raportul dintre lățimea structurii reticulate și pasul acesteia ( $B/l$ ).

Întotdeauna acest număr de intervale se va alege astfel ca să fie număr întreg și dacă este posibil număr par.

La unele tipuri de structuri reticulate planare, cum este cazul structurilor diagonale rare, pentru ca structura să fie simetrică, se impune ca numărul panourilor pe fiecare latură să fie impar.

Dimensiunile uzuale ale structurilor spațiale reticulate folosite la acoperișurile centralelor hidroelectrice, vor ține seama de recomandările prezentate mai sus, respectiv de o execuție și montare cât mai simplă și economică și nu în

ultimul rând de calcul [8, 24, 27, 31, 48], proiectare și verificare, cât mai simplă.

## **2.4. PARTICULARITATI PRIVIND DIFERITELE MODALITATI DE REZEMARE A ACOPERISURILOR CU STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE**

Rezemarea unei structuri reticulate se face în mod obișnuit, în nodurile situate pe conturul tălpilor (fețelor) superioare sau inferioare și în cazuri excepționale și în puncte izolate (noduri) situate în interiorul rețelei.

Rezemarea pe contur se face pe grinzi de centura Fig.2.16.c,d, sau direct pe stâlpi și poate avea loc în toate nodurile de contur sau numai printr-o parte de noduri, dispuse cu regularitate [27].

Rezemarea va fi conceputa constructiv astfel încât să poată permite mici deplasări după una, două sau trei direcții (orizontal, în lungul conturului și transversal pe aceasta și vertical).

Deplasarea pe verticală va fi permisă în cazul fundării construcției pe terenuri cu tasări diferențiate - deplasări impuse - astfel încât tasarea să nu antreneze construcția. Numărul nodurilor cu deplasări libere pe verticală, nu va depăși o treime din numărul total al nodurilor de reazem, dacă este cazul.

La structurile reticulate ale acoperișurilor centralelor hidroelectrice, dat fiind specificul acestora, faptul că adăpostesc agregate hidroelectrice [31], care se dispun central în hală și terenurilor deosebit de bune (stabile) pe care se construiesc aceste hale, uneori chiar deasupra barajelor de beton (de retenție), problema rezemării acoperișurilor în noduri izolate, interioare, adică realizarea stâlpilor intermediari pe lățimea centralei, este aproape imposibilă și inutilă totodată, iar apariția tasărilor inegale cu atât mai puțin probabilă și deci deplasarea pe verticală a nodurilor de contur imposibilă.

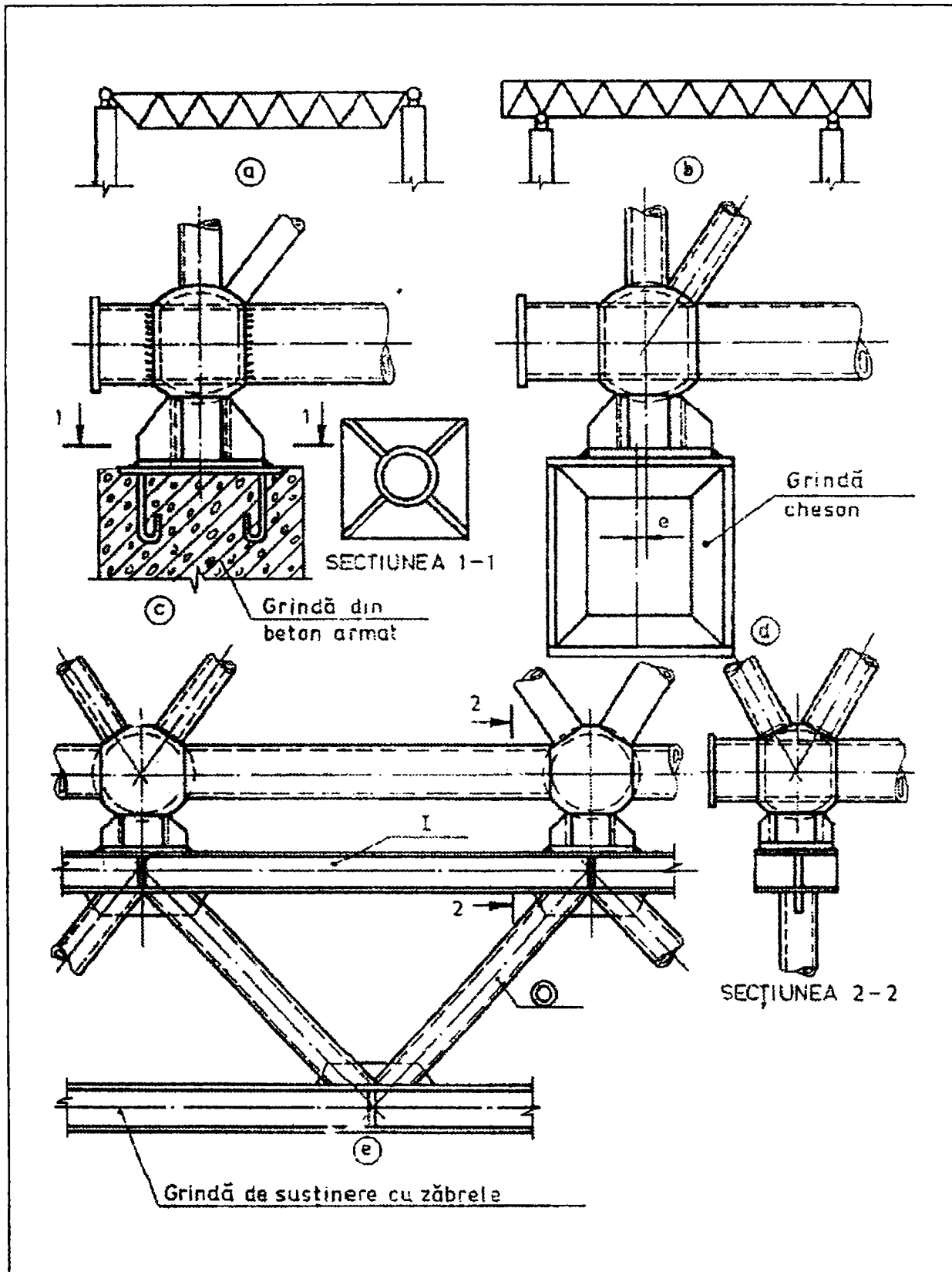


Fig.2.16. Modalități de rezemare a acoperișurilor cu structuri spațiale reticulate

Acoperișurile cu structuri spațiale reticulate folosite la centralele hidroelectrice în general, sunt astfel realizate încât nodurile de pe o latură lungă a construcției sunt rezemate articulat, pe o grindă de reazem Fig.2.16.c,d, sau în capul stâlpilor, iar nodurile de pe latura opusă se reazemă simplu având posibilități de deplasare liberă în plan orizontal, identic rezemându-se și nodurile de pe laturile scurte ale conturului (pe lățime), dându-le posibilitatea să se deplaseze libere în plan orizontal.

Acest mod de rezemare este avantajos în cazul diferentelor de temperatura în cursul exploatării, față de momentul montajului, aceasta nefiind o solicitare cu efecte majore asupra eforturilor din barele structurii, practic neglijându-se.

După modul de rezemare la una din cele doua tălpi (fete) structura reticulată necesită sau nu bare și noduri suplimentare, realizându-se o formă plană (grindă cu zăbrele) pe înălțimea structurii spațiale în plan vertical.

La lungimi mari ale suprafețelor acoperite, apare și necesitatea rezemării intermediare, pe lățime, a acoperișului, rezemare care se realizează, prin dispunerea în sens transversal acoperișului, a unor grinzi de tip cheson Fig.2.16.d, inimă plină sau cu zăbrele Fig.2.16.e, pe care să reazeme la rândul lor nodurile structurii reticulate. Diferitele modalități de rezemare a structurii reticulate și influența acestora asupra eforturilor din barele structurii se va studia în continuare, fiind o tema de bază a prezentei lucrări.

## **2.5. AVANTAJELE ȘI DEZAVANTAJELE DIFERITELOR TIPURI DE STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE PENTRU ACOPERISURILE CENTRALELOR HIDROELECTRICE**

Structurile spațiale reticulate folosite la acoperișurile centralelor hidroelectrice au următoarele avantaje:

- suprafața care urmează a fi acoperită de ele sunt foarte mari și nu necesită reazeme intermediare, fiind suficientă rezemarea lor pe contur;
- acoperișurile existente permit extinderea lor fără dificultăți deosebite în

calcul, proiectare și execuție;

- proiectarea acestora din punct de vedere a configurației geometrice, pasul, modul de rezemare este la alegerea specialistului și funcție de cerințele beneficiarului;

- structurile spațiale reticulate au greutatea proprie, comparativ cu structurile din beton, mult mai mică, fapt care duce la dimensiuni mai mici și pentru secțiunile elementelor de susținere (grinzi de contur și stâlpi):

- structurile reticulate au rigiditate mare, atât în faza de montaj, cât și în stadiul final, de exploatare:

- confecționarea structurilor reticulate și montajul acestora permite industrializarea lor, ceea ce duce la reducerea timpului necesar execuției construcției:

- manipularea și transportul barelor și subansamblelor este relativ ușoară datorită greutății reduse a acestora;

- soluțiile de montaj a structurilor reticulate este de mare diversitate, datorită și posibilităților de execuție diverse;

- structurile spațiale reticulate permit rezemarea lor simplă în diverse variante;

- ele permit fixarea de tavane false, instalații de ventilare și de iluminare;

- în cazul structurilor reticulate există posibilitatea iluminării naturale prin cupole izolate sau prin luminatoare, de dimensiunea ochiurilor rețelei.

Avantajele structurilor reticulate folosite la acoperișuri le includ în studiile tehnico - economice ca variantă, comparativ cu alte soluții constructive, având de cele mai multe ori câștig de cauză.

Dezavantajul structurilor reticulate constă în volumul foarte mare de manoperă la confecționarea lor, manoperă care ridică prețul de cost al lucrării.

## CAPITOLUL 3

### SISTEME DE NODURI FOLOSITE LA STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE

#### 3.1. GENERALITĂȚI. NOȚIUNI DE BAZĂ DESPRE NODURILE SPAȚIALE RETICULATE. ROLUL LOR ÎN STRUCTURĂ

Structurile reticulate folosite pentru acoperișuri, după cum s-a văzut în capitolul precedent, se alcătuiesc într-o mare varietate [22], atât din punct de vedere a realizării secțiunii barelor [50,51,52], (tălpi, diagonale, montanți) cât și în ceea ce privește îmbinarea acestora în sisteme speciale numite noduri ale structurilor spațiale.

Nodurile structurilor spațiale reticulate, sunt acele puncte ale structurii spațiale în care se întâlnesc și se îmbina în diferite moduri, barele care alcătuiesc structura.

Alcătuirea nodurilor depinde de secțiunea transversală a barelor, de forma în plan și în spațiu a structurii, de dimensiunile structurii și nu în ultimul rând de modul de îmbinare în noduri al barelor structurii.

Astfel, barele structurii reticulate, care sunt cu secțiunile realizate din profile laminate (corniere, profile U sau I) se îmbina în noduri relativ simple prin intermediul unor gusee, cu ajutorul șuruburilor și mai rar cu sudură.

Cele mai utilizate bare la alcătuirea structurilor retriulate sunt cele realizate din țevă cu secțiunea circulară [50] sau pătrată, care se îmbină în noduri cu sudură sau în cazul nodurilor demontabile cu șuruburi.

În structurile reticulate, nodurile se realizează în scopul de a da acestora posibilitatea realizării practice a concepției teoretice.

În aceste noduri, se descarcă încărcări ce acționează asupra structurilor [45,46,47], ele contribuie la echilibrarea și preluarea eforturilor din barele care se întâlnesc acolo; asigură indeformabilitatea structurilor și își aduc aportul la

aspectul arhitectonic deosebit al structurilor spațiale reticulate [22].

### **3.2. CLASIFICAREA SISTEMELOR DE NODURI LA STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE**

Nodurile structurilor spațiale reticulate se realizează astfel încât să fie cât mai simple ca alcătuire, realizare și montaj, cu manopera de realizare redusă, preț de cost scăzut și aspect arhitectonic plăcut.

La alcătuire se ține seama și de eforturile care se echilibrează în nod, ele fiind de importanță deosebită în zonele în care sunt supuse la eforturi de întindere.

Din punct de vedere al realizării lor constructive nodurile structurilor spațiale reticulate se împart în două categorii distincte: noduri nedemontabile și noduri demontabile.

Nodurile nedemontabile se folosesc la acoperișurile construcțiilor definitive, în cazul acestora, barele care se îmbină în noduri, se sudează și realizează structura reticulată.

Nodurile demontabile se alcătuiesc astfel încât barele care sunt concurente în nod să poată fi montate sau demontate cu ușurință, folosindu-se șuruburi obișnuite, șuruburi de înaltă rezistență pretensionate sau dispozitive speciale cu filete.

Alcătuirea sistemelor reticulate cu noduri demontabile are marele avantaj că permite demontarea completă a structurii sau atașarea de noi tronsoane în cazul în care ar fi necesară o extindere ulterioară a construcției, forța de muncă utilizată la realizarea acestor îmbinări nu necesită o pregătire deosebită, iar lucrarea odată încheiată nu trebuie verificată prin procedee complicate și sofisticate.

### **3.3. TIPURI ȘI SISTEME DE NODURI FOLOSITE PENTRU PRINDEREA BARELOR LA STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE**

În afară de cele două sisteme de noduri nedemontabile sau demontabile, structurile spațiale se mai pot realiza și din elemente spațiale realizate prin sudarea între ele a barelor care le alcătuiesc, formând tronsoane de structură, după care se



asamblează între ele cu șuruburi sau diferite alte dispozitive, realizându-se în acest fel nodurile teoretice ale structurii. În continuare se vor prezenta câteva sisteme de noduri folosite în practică în țară și străinătate din care câteva [4,5,6,7] brevetate de către colectivul disciplinei de construcții metalice, coautor fiind și subsemnatul.

### 3.3.1. Sistemul MANESMANN

Realizarea nodurilor în acest sistem, a fost patentată de firma germana Manesmann [36]. Nodul se realizează dintr-o sferă goală în interior, Fig.3.1, realizată prin sudarea a două semisfere, executate la rândul lor din tabla groasă matrițată la cald, după care se prelucrează marginea pe conturul semisferelor și se sudează pe circumferința lor. Sferele astfel realizate se folosesc ca elemente principale ale nodurilor de care se sudează cu sudură de colț, barele care alcătuiesc tălpile, diagonalele sau montanții, care se întâlnesc în nodul respectiv.

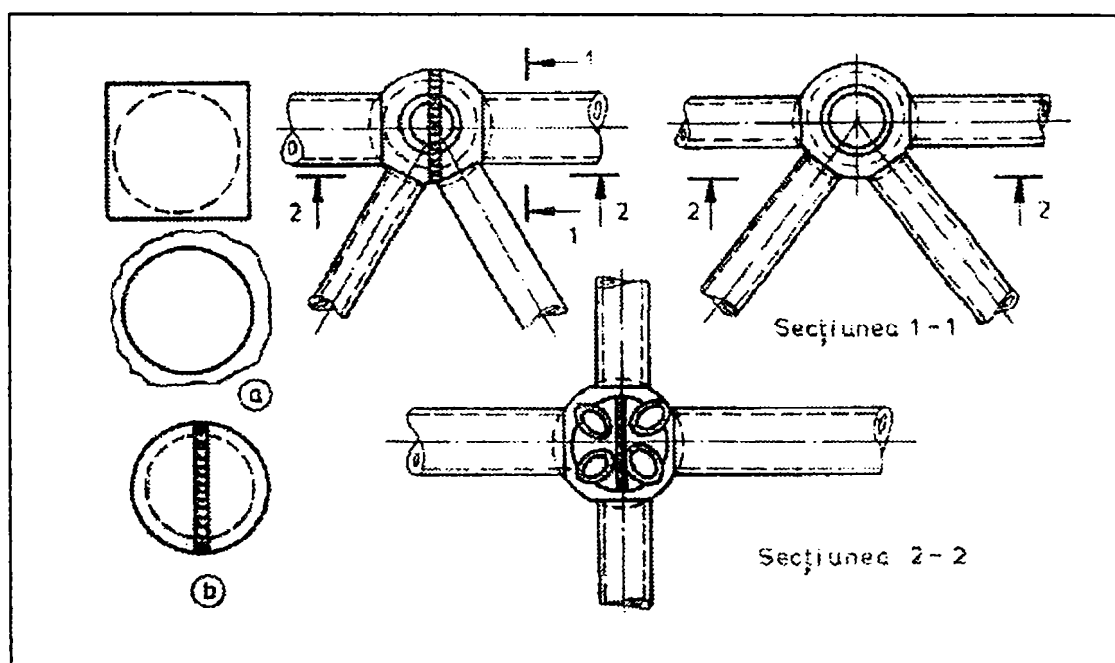


Fig.3.1 Sisteme de noduri tip MANESMANN

Barele care se sudează de sfere nu necesita o prelucrare deosebita la capete, ci doar o taiere perpendiculară pe axa lor.

Nodurile realizate în sistemul Manesmann sunt nedemontabile.

### 3.3.2. Sistemul folosit de Catedra de Construcții Metalice

Soluția constructivă folosită de sistemul Manesmann a fost îmbunătățită de specialiștii Catedrei de Construcții Metalice din Timișoara, fără să fie patentată, dar folosită la mai multe lucrări proiectate și executate în țară, cum ar fi: acoperișul "Centralei Hidroelectrice Porțile de Fier I" și acoperișurile sălilor de sport din diferite orașe din țară Fig.3.2 [27].

La început, soluția de realizare a semisferelor și în continuare a sferelor a fost menținută aceeași ca la sistemul Manesmann, dar sfera a fost găurită perpendicular pe planul sudurii, prin care s-au trecut barele transversale (dispuse pe lățimea construcției), bare pe care au fost înșirate sferile și de care au fost fixate cu sudură de colț în poziția în care s-a dorit realizarea nodului. Barele longitudinale au fost întrerupte în dreptul nodurilor (sferelor) fiind apoi sudate pe față acestora.

În acest mod solicitările din sfere au rezultat mai mici decât la sistemul german, deoarece barele cele mai solicitate fiind continue în nod, sfera este solicitată doar la diferența de eforturi din barele ce trec prin aceasta.

La alte acoperișuri, pentru a prelua din solicitările tălpilor longitudinale (întrerupte) sudate pe sfere s-au adaptat două soluții constructive, astfel: s-au folosit călăreți Fig. 3.2.c. realizați din tablă semicirculară, sudați de barele întrerupte, iar în alta varianta s-a folosit un inel interior de rigidizare a sferei care constituia și suport pentru rădăcina sudurii de îmbinare a celor două semisfere, inel care majora rezistența sferei în zona sudurii și contribuia la preluarea eforturilor din barele longitudinale întrerupte Fig. 3.2.d.

La realizarea sferelor necesare îmbinărilor în noduri pentru acoperișul sălii de sport de la Ștei - jud. Bihor, a fost utilizată o metodă îmbunătățită, realizându-se sferele din cupoane de țeavă deformată la cald, într-o matriță specială fig.3.3e, prin presare, în prealabil, în interiorul cuponului de țeavă, la mijloc, s-a sudat un inel de rigidizare. După presare și obținerea sferei, găurile se alezează, astfel ca prin ele să treacă barele transversale ale tălpilor.

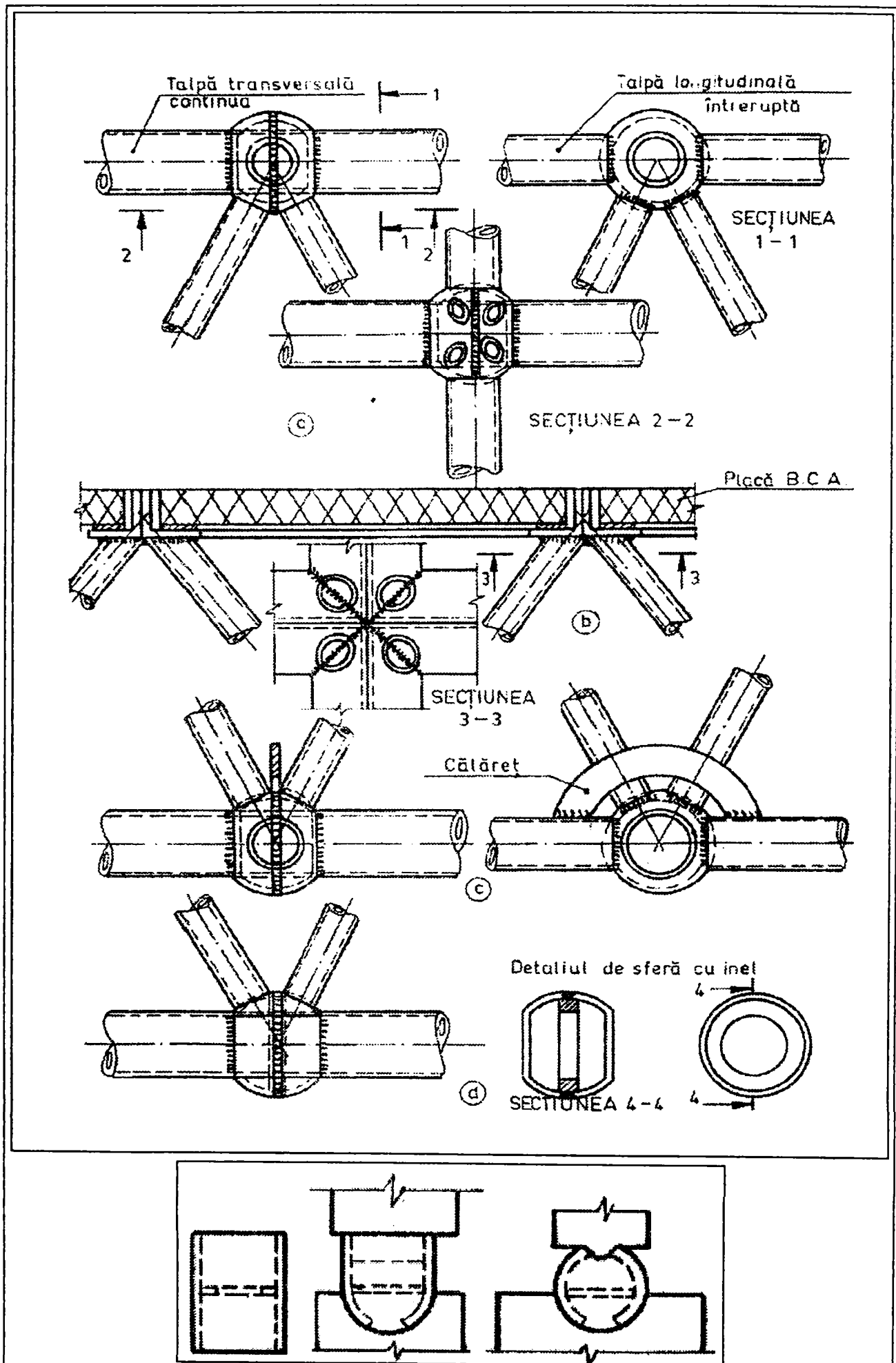


Fig.3.2 Sisteme de noduri folosite de Catedra de Construcții Metalice

Toate sistemele folosite în prezentul paragraf sunt realizate cu noduri nedemontabile.

### 3.3.3. Sistemul folosit la Amfiteatrul F<sub>1</sub> (Nicolae Maior)

Amfiteatrul F<sub>1</sub> al Catedrei de Drumuri și Fundații Timișoara, are acoperișul reticulat cu noduri realizate din cupoane de țeava Fig.3.3., închise la ambele capete cu capace, de care se sudează direct diagonalele, la partea inferioară Fig.3.3.a pentru nodul de la talpa superioară sau la partea superioară Fig. 3.3.b. pentru nodul de la talpa inferioară.

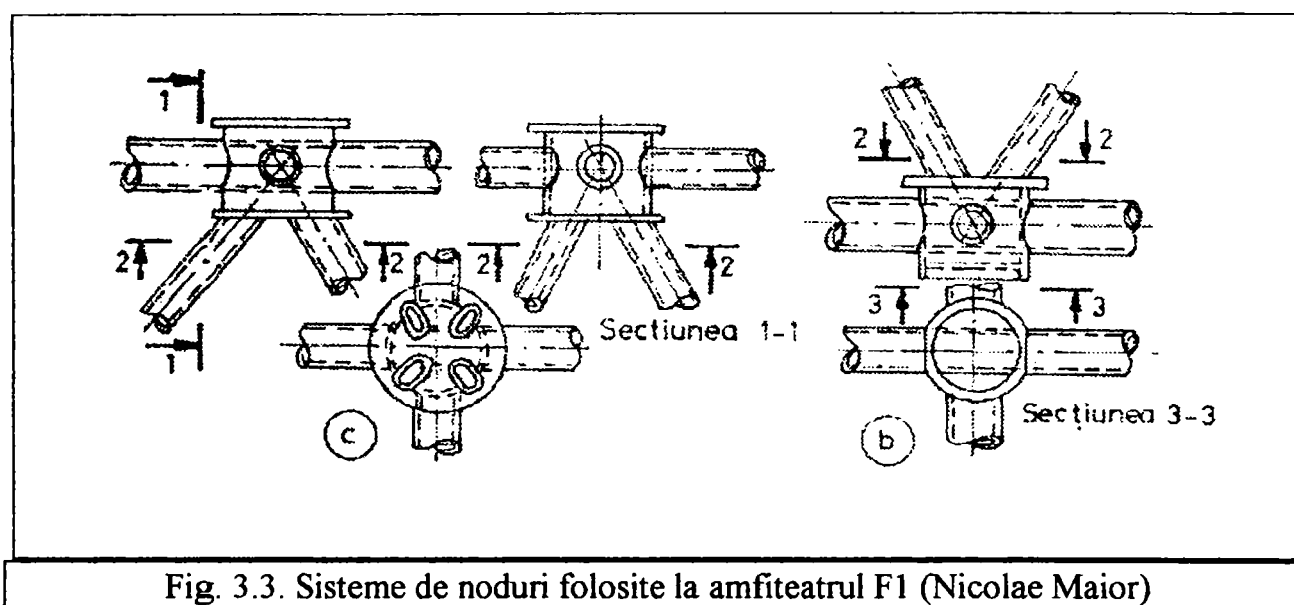


Fig. 3.3. Sisteme de noduri folosite la amfiteatrul F1 (Nicolae Maior)

Diagonalele și tălpile au fost realizate din țeavă [50]. Cuponul de țeavă care realizează nodul, este găurit pe direcția tălpii transversale, care trece continuu prin acesta sudându-se cu sudură de colț, iar talpa longitudinală este întreruptă în dreptul nodului și sudată de el. Sistemul folosit este nedemontabil.

### 3.3.4. Sistemul MERO

*Sistemul MERO* [37], folosește pentru îmbinarea barelor în noduri sfere pline din oțel sau din aluminiu, Fig.3.4, care au practicate găuri (maxim 18) a căror axe corespund cu cele ale axelor barelor care concură în nod.

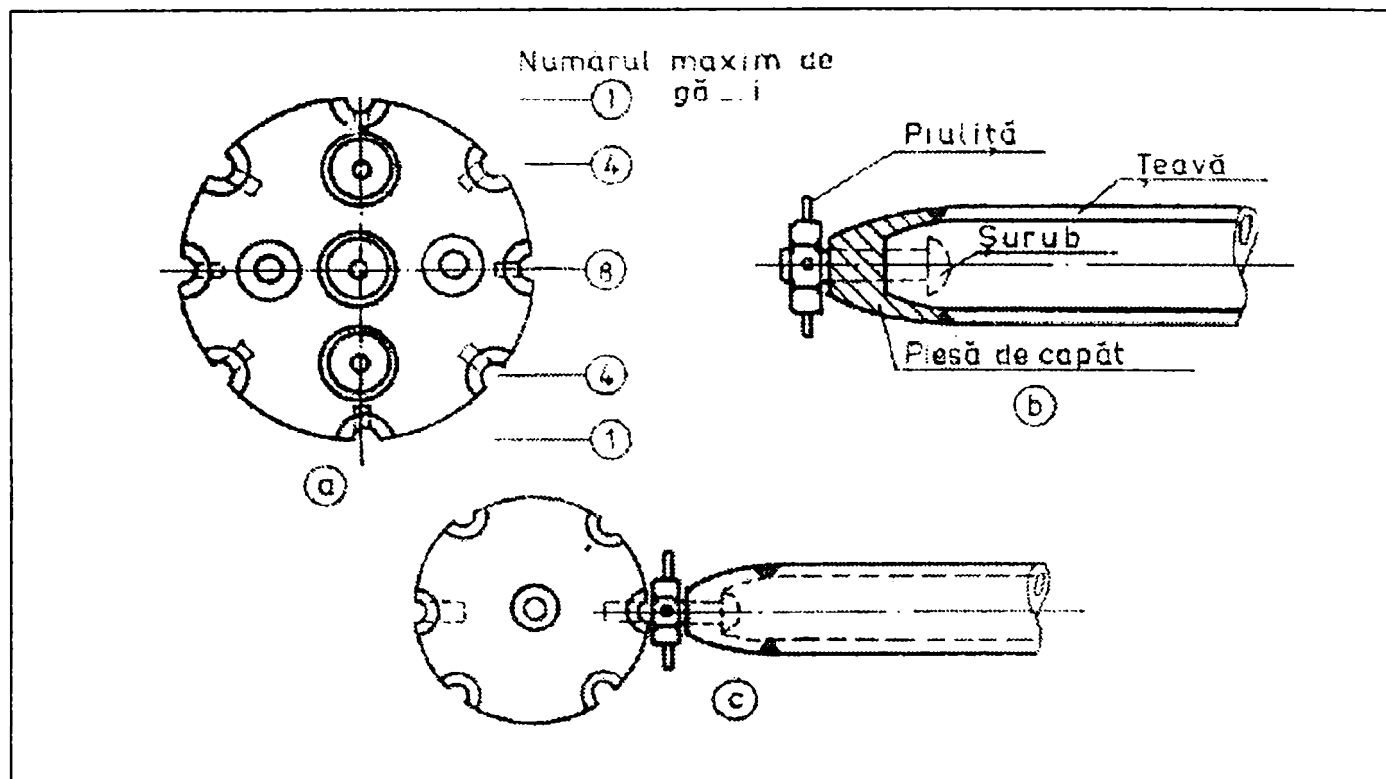


Fig. 3. 4. Sisteme de noduri MERO

Găurile din sfere sunt filetate, în ele fixându-se șuruburile din capetele barelor concurente în nod, șuruburi care se găsesc montate în niște piese speciale denumite capete de bara, sudate de țevile ce alcătuiesc barele, care se extrag din acestea și se înșurubează prin intermediul unor piulițe speciale cu aripioare în sfere.

*Sistemul MERO* a fost patentat de inginerul Mengerigenhausen din Germania și se folosește în general la construcții demontabile cu caracter nepermanent sau permanent.

### 3.3.5. Sistemul NIPON SPACE TRUSS SYSTEM

Sistemul permite prinderea barelor în noduri cu șuruburi ca și la sistemul MERO, cu deosebirea că la acesta sferile sunt goale, iar șuruburile de prindere Fig.3.5 a barelor în noduri, se introduc din interiorul sferei spre exterior.

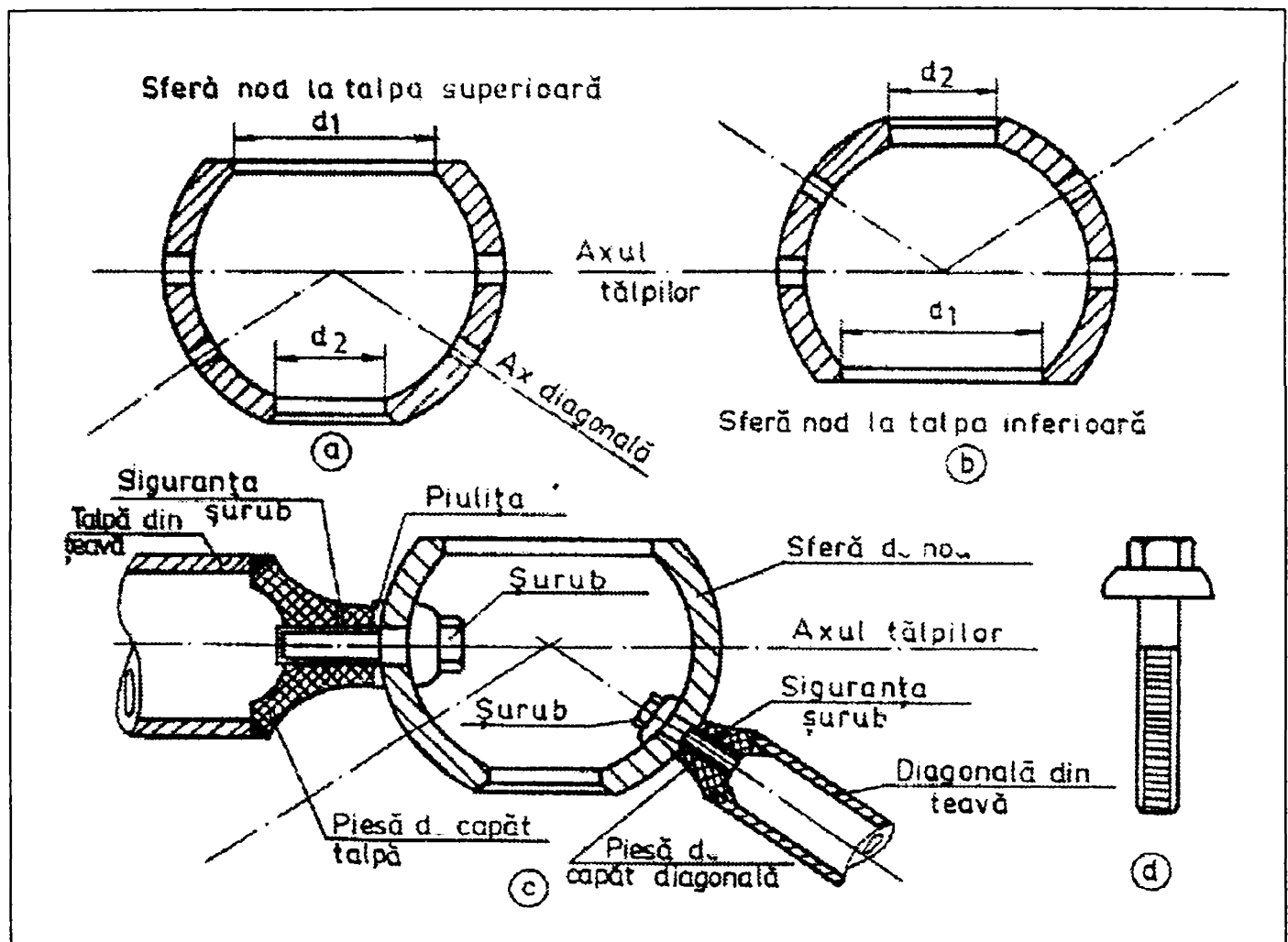


Fig. 3. 5. Sisteme de noduri – NIPON SPACE TRUSS SYSTEM

Sferele goale folosite la *sistemul japonez NIPON SPACE TRUSS SYSTEM* [38], se realizează prin matrițare din cupoane de țevă [50], fără sudură, găurile rămase după matrițare se alezează la diametrii diferiți ca mărime, spre exteriorul sistemului reticulat, realizându-se totdeauna diametrul mai mare, care să permită la montaj introducerea mâinii cu șurubul, iar apoi cu cheia pentru strângerea acestuia.

Sferelor astfel prelucrate li se practică găuri în dreptul și pe direcția diagonalelor, respectiv tălpilor, care se centreează, în nodul teoretic din centrul sferei.

Barele care se îmbină în noduri, au sudate la capete piese speciale, diferite pentru tălpi și diagonale, găurite și filetate, în care se introduc șuruburile dinspre interiorul sferei, iar pentru împiedicarea desfacerii lor, în piesele de capăt se prevăd găuri, prin care se găuresc șuruburile și se asigură cu șplinturi.

Sistemul prezentat se poate utiliza la construcții demontabile.

### 3.3.6. Sistemul spațial reticulat tip ICCPDC.

Sistemul este alcătuit din elemente piramidale, Fig. 3.6.a., brevetat de Filiala ICCPDC Timișoara și folosit la realizarea acoperișului pieții “1 Mai” din cartierul Iosefin, Timișoara, și a acoperișului laboratorului de modelări hidraulice de la Facultatea de Hidrotehnică Timișoara.

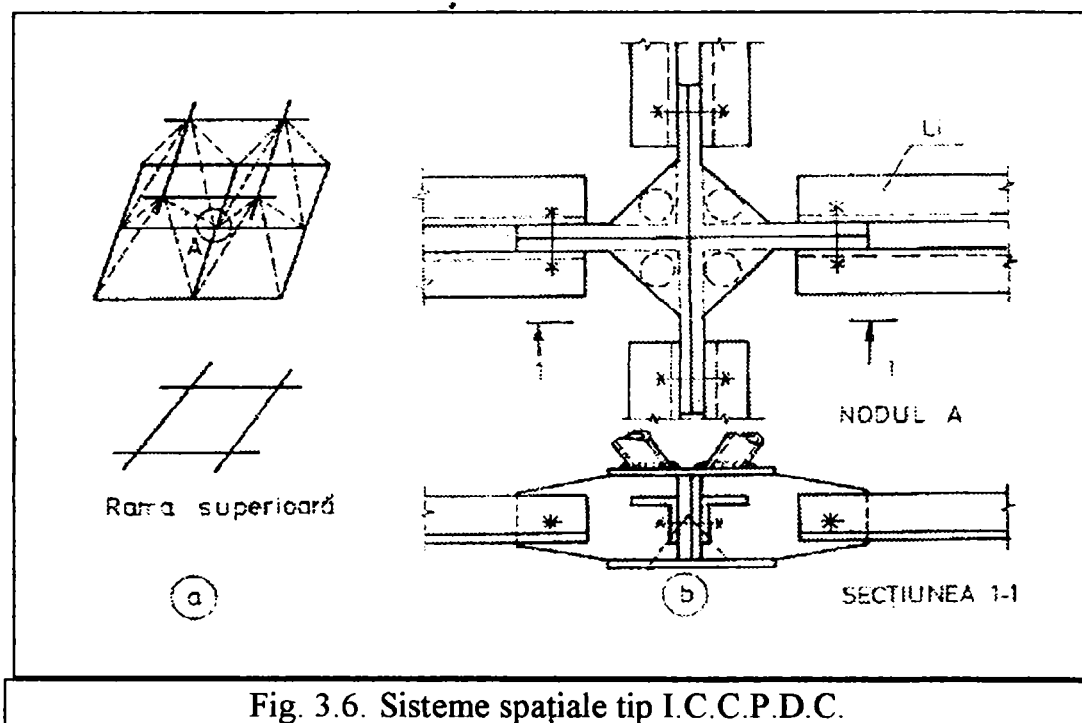


Fig. 3.6. Sisteme spațiale tip I.C.C.P.D.C.

Elementele piramidale ale sistemului, au baza în formă de pătrat realizată din corniere [51,52], iar muchiile formate din țevă [50], legate la talpa superioară de o ramă realizată din cornier sau profile U.

Cornierele folosite pentru realizarea tăpii inferioare, respectiv profilele U folosite la alcătuirea tăpii superioare, sunt realizate ca profile cu pereți subțiri îndoite la rece.

Nodul de la baza piramidei (talpa inferioară), Fig.3.6.b se alcătuiește din oțel cornier, cu pereți subțiri îmbinate între ele cu șuruburi prin intermediul unor piese speciale, formând o ramă (baza piramidei), pe care se sudează diagonalele (muchii piramidei), care sunt realizate din țevi.

Prinderea barelor în noduri se face cu șuruburi brute, astfel ca ele să fie solificate numai la întindere în tija. Ramele superioare sunt realizate din profile U formate la rece, cu pereți subțiri.

### 3.3.7. Sistemul reticulat UNISTRUT

Brevetat și utilizat în SUA [43], folosește ca bare ale structurii, corniere sau profile U realizate prin deformare la rece, atât pentru diagonale, cât și pentru tălpi.

Îmbinările în noduri ale barelor se face cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate, prin intermediul unor plăci de tip guseu Fig.3.7., care au porțiunile plane pentru prinderea tălpilor în număr de patru și înclinate pentru prinderea diagonalelor, de asemenea în număr de patru, în total în nod întâlnindu-se opt bare.

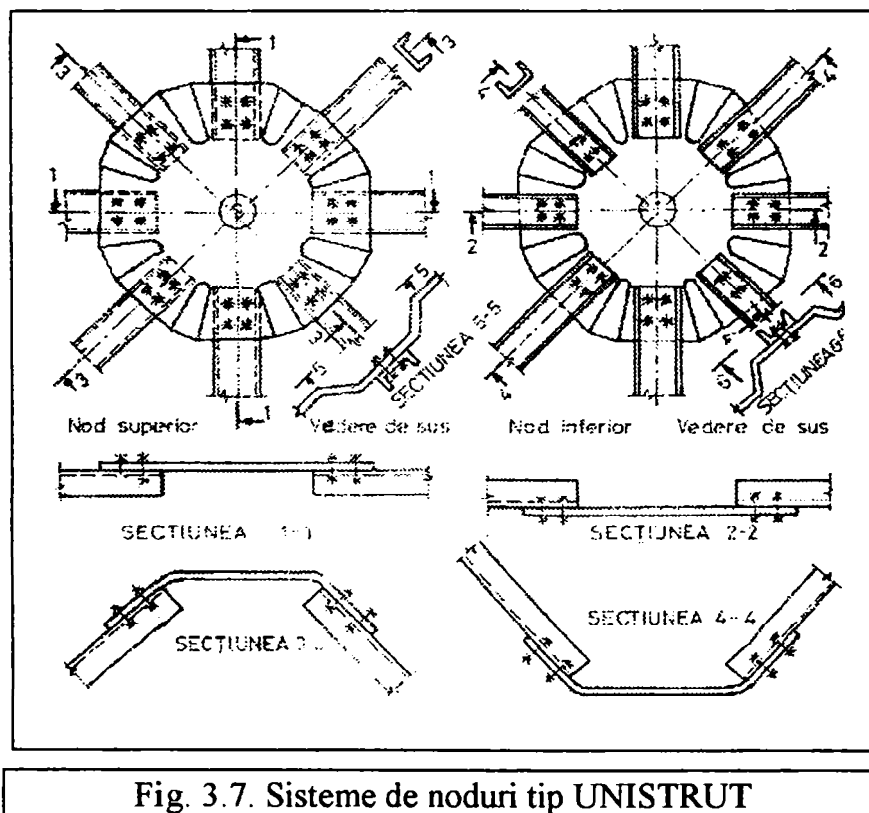


Fig. 3.7. Sisteme de noduri tip UNISTRUT

Deformarea plăcilor speciale (a guseelor), care folosesc la realizarea nodurilor, se face la cald, astfel ca porțiunilor înclinate să le corespundă direcția axelor diagonalelor sistemului.

*Sistemul UNISTRUT este demontabil.*



### 3.3.8. Sistemul spațial reticulat SPACE DECK

*Sistemul SPACE DECK* [40] a fost patentat în Anglia, unde se și utilizează, ca de altfel și în SUA.

Elementul de bază al sistemului este o piramida cu baza sus Fig.3.8., baza piramidei realizându-se sub formă de pătrat din corniere, cu aripa din planul vertical în sus sau în jos, de aceasta depinzând poziția în care se sudează diagonalele, care sunt realizate din țevi [50] și care la talpa inferioară se sudează de

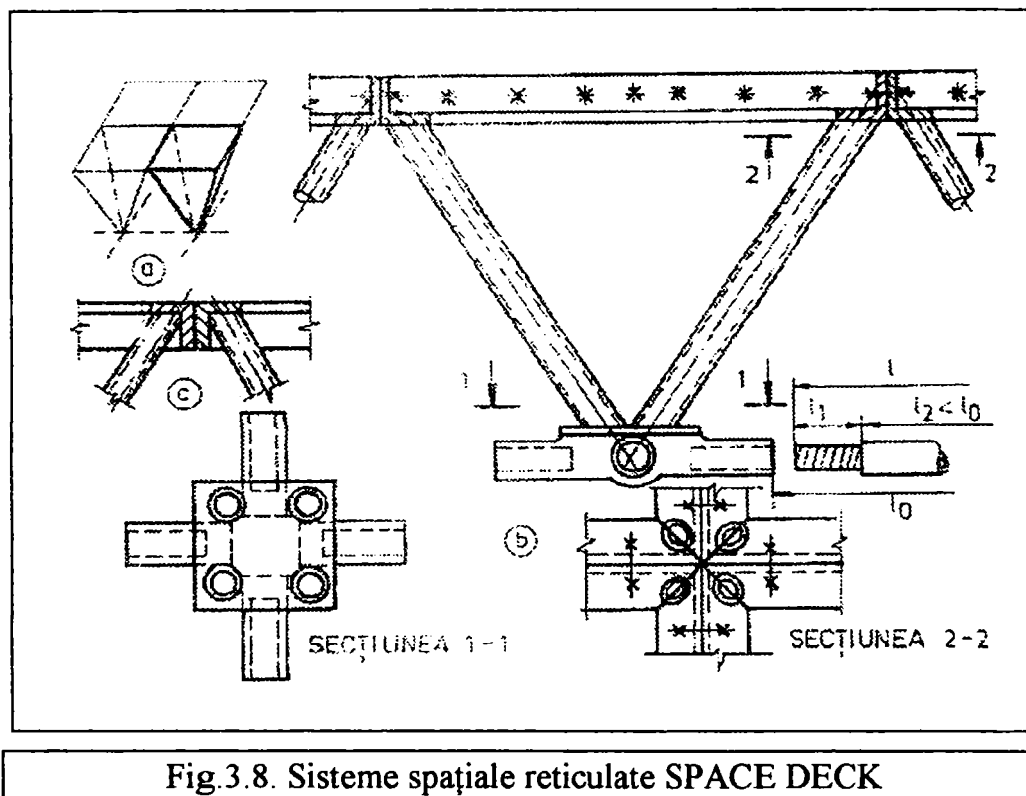


Fig.3.8. Sisteme spațiale reticulate SPACE DECK

o piesă specială, obținută prin forjare, găurită și filetată pe două direcții perpendiculare, găuri în care se înșurubează barele realizate din oțel rotund, care alcătuiesc talpa inferioară.

Ramele care alcătuiesc talpa superioară, se îmbină între ele cu șuruburi din loc în loc, iar pentru realizarea tălpii inferioare, barele realizate din oțel rotund, având capetele filetate cu filet stânga, dreapta, se înșurubează inițial mai mult în nodul deja realizat, pentru a-l lega de nodul următor se deșurubează din cel inițial,

înșurubându-se în același timp în nodul nou montat.

Pentru a se crea posibilitatea unui astfel de procedeu de montaj, este necesar ca bara care realizează talpa inferioară, să fie de lungime mai mare decât distanța teoretică dintre extremitățile celor două noduri (lumina), care urmează să se lege prin intermediul acesteia.

### 3.3.9. Sistemul de noduri UNIBAT

Sistemul a fost patentat în Franța de profesorul ing. Stephan Chateau [42].

Sistemul este alcătuit din elemente piramidale ca și sistemul SPACE DECK, care pot avea bazele triunghiuri pătrate sau hexagonale Fig.3.9.a, realizate din corniere [51,52], diagonalele din țevă [50], iar tălpile inferioare din țeava aplatizată în dreptul nodului de la talpa inferioară.

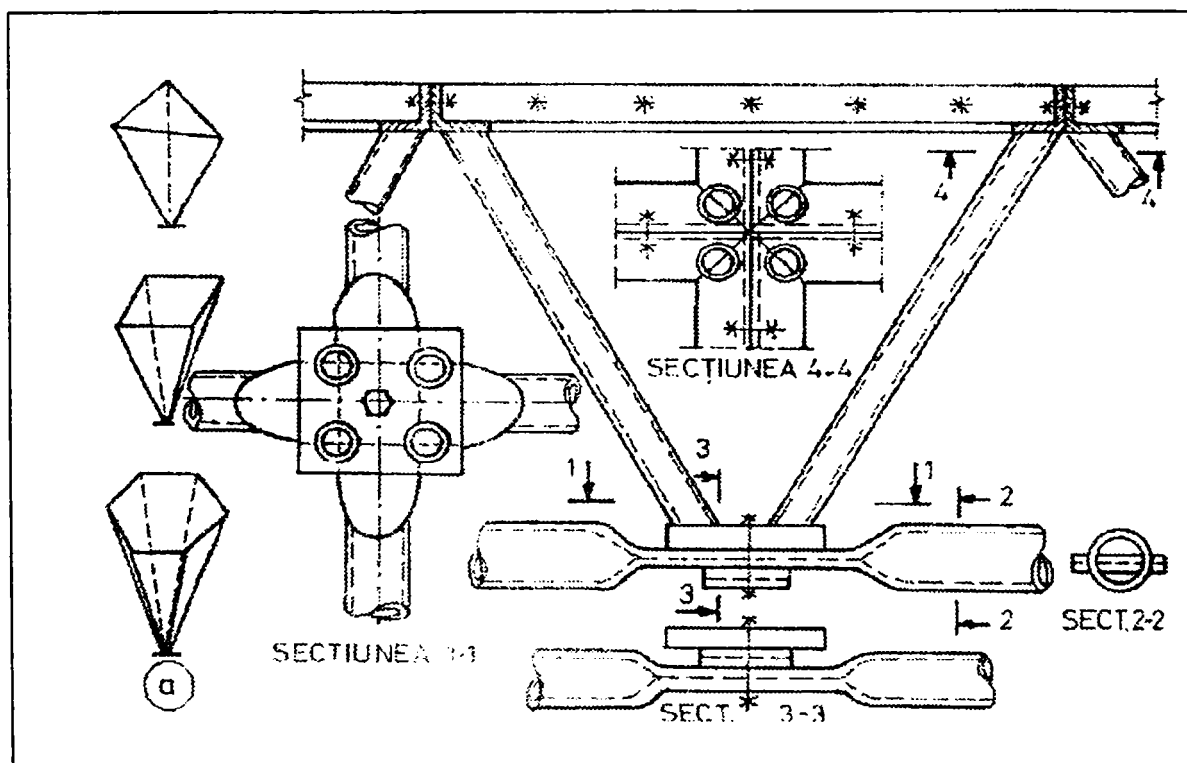


Fig.3.9. Sisteme de noduri UNIBAT

De ramele care realizează baza piramidei, talpa superioară, care se îmbină între ele, prin șuruburi din loc în loc, se sudează diagonalele, care se alcătuiesc din țevi, iar la talpa inferioară, ele se sudează de o placă pătrată, care este prevăzută la

mijloc cu o gaură, prin care trece un șurub, cu ajutorul căruia se realizează prinderea în nod a țevilor aplatizate, țevi care realizează tălpile inferioare de pe cele două direcții a structurii.

Tălpile inferioare sunt realizate din țevi continui, care doar în dreptul nodurilor se aplatizează pentru a se facilita îmbinarea cu șurubul care trece prin centrul plăcii pătrate a elementului piramidal.

Sistemul este relativ simplu de realizat în uzină, iar montajul pe șantier nu presupune probleme tehnice deosebite.

### 3.3.10. Sistemul de noduri TRIODETIC

*Sistemul de noduri TRIODETIC* [41], se folosește în special la structuri reticulate având barele realizate din țevi de aluminiu, material care se prelucrează ușor prin presare și deformare la rece, dar pot fi folosite și la structuri cu bare realizate din țevi de oțel. Sistemul este utilizat în special în Canada.

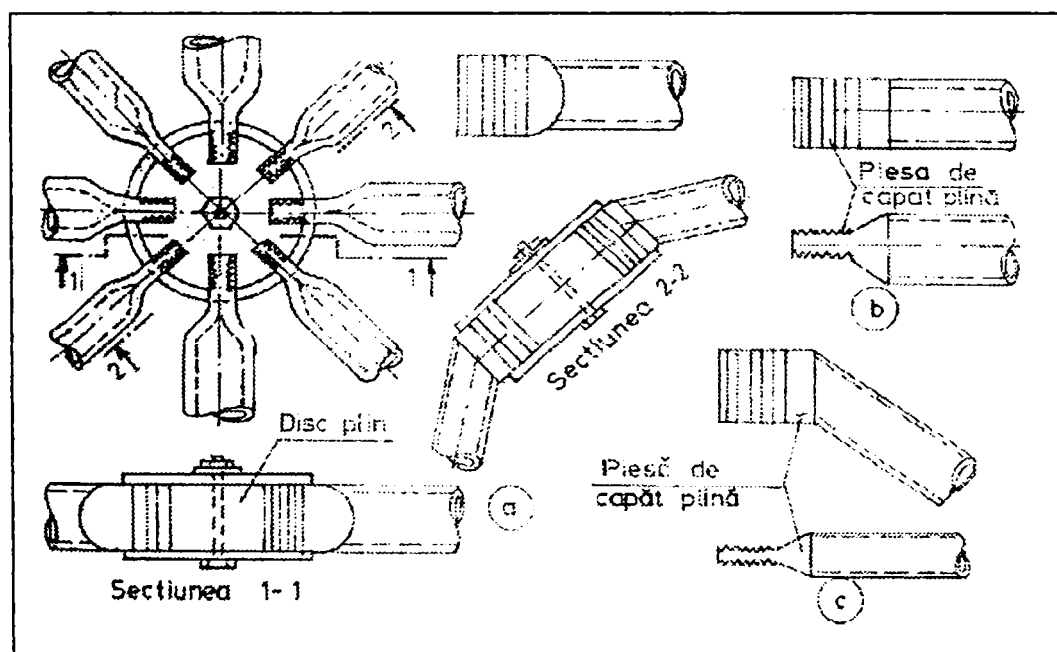


Fig.3.10. Sisteme de noduri TRIODETIC

*Sistemul TRIODETIC* are ca element caracteristic un disc metalic plin

Fig. 3.10, prevăzut cu niște canale radiale cu dinți înspre interior, axele acestor canale fiind orientate după direcția tălpilor și a proiecției diagonalelor, iar centrul discului este prevăzut cu un orificiu prin care se face prinderea cu un șurub de ambele părți, a câte unei plăci circulare, care împiedică ieșirea din canalele cu dinți (striuri), a capetelor barelor (tălpi și diagonale).

Barele care realizează tălpile, în zona de prindere în noduri la cele două capete, se aplatizează prelucrându-se prin mortezare, pasul dinților fiind același cu al celor din canalele discului de prindere, în care se introduc pe verticala forțat și se asigură sus și jos cu cele două plăci.

Aplatizarea țevilor, nu este necesară dacă la capetele acestora se sudează niște piese speciale, plate, prevăzute cu dinți de fixare Fig. 3.10.b. Ultima soluție, aceea în care se folosesc piese de capăt, se utilizează în special pentru diagonale, ele având de realizat un unghi între prelungirea capătului piesei și axul barei, egal cu unghiul pe care îl face diagonala sistemului cu planul orizontal Fig. 3.10c.

Plăcile circulare care realizează blocarea capetelor de bare în piesa specială de tip disc cu canale striate, au de regulă diametrul mai mare decât acesta, pentru a împiedica ieșirea barelor în sus sau în jos, fixarea celor trei făcându-se cu un șurub central.

### 3.3.11. Sistemul de noduri tip NODUS

Sistemul a fost patentat în Anglia [39], el utilizând un ansamblu de piese speciale Fig.3.11, pentru prinderea barelor în noduri.

*Sistemul NODUS*, are realizate barele, care formează tălpile structurii, din țevi pătrate, la capătul acestora sudându-se piese de capăt, care pe porțiunile circulare au prevăzuți dinți Fig.3.11.a, care intră în canalele cu dinți de același pas, de pe piesele de formă specială ale nodului, piese ce sunt realizate din două jumătăți și care se suprapun perfect și pot fixa, prin strângerea lor cu un șurub central, barele care formează talpa structurii.

Diagonalele structurii se realizează din țevi obișnuite (circulare), având la capete sudate piese (bride) în forma de U, cu ajutorul cărora prin intermediul unui bolț se fixează de urechile realizate în acest scop pe piesa de nod Fig. 3.11.b, de

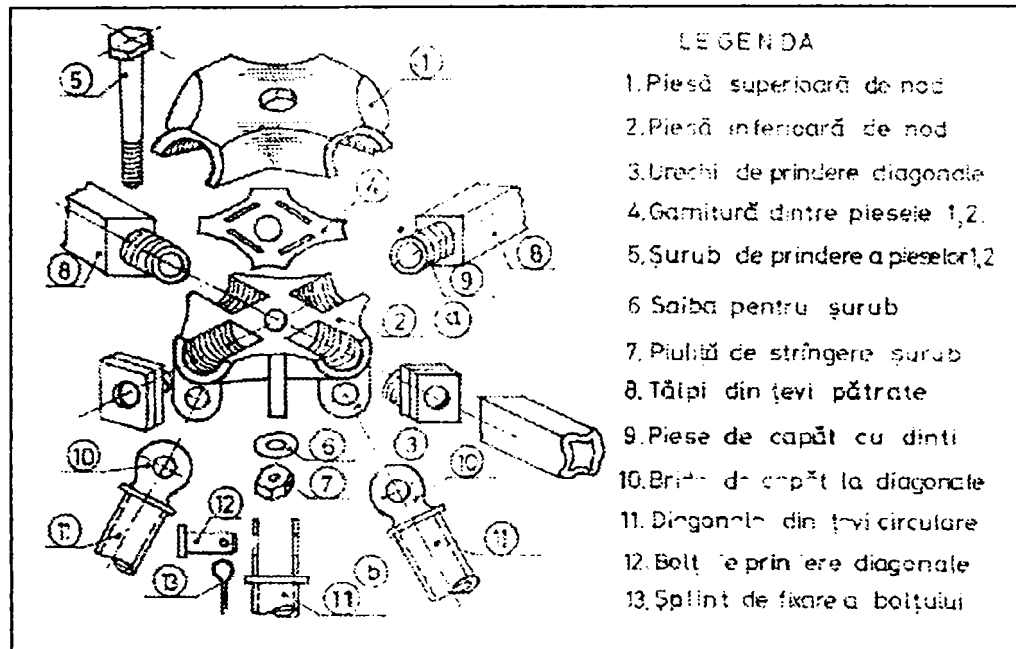


Fig.3.11. Sisteme de noduri NODUS

regula pe jumătatea care se dispune înspre interiorul structurii reticulate.

*Sistemul NODUS* pare la prima vedere complicat, este întradevăr o problemă deosebită în realizarea celor două piese de nod, respectiv a capetelor de bară, dar această greutate în realizare este compensată de simplitatea îmbinării la montaj a barelor în noduri. Acest sistem permite realizarea de structuri ușor demontabile.

### 3.3.12. Nod spațial pentru structuri reticulate TIMIS 1

Nodul de față este primul din cele patru care vor fi prezentate în continuare, și care au fost brevetate ca invenții de către câțiva din membrii colectivului disciplinei de Construcții metalice, ai Departamentului de Construcții Metalice și Mecanica Construcțiilor, subsemnatul fiind și coautor la aceste brevete de invenții.

Nodul prezentat în Brevetul de invenție nr. 95668 din 30.01.1998, intitulat

“Nod spațial pentru structuri reticulate TIMIS 1”, se referă la un nod spațial alcătuit dintr-un cupon de țevă Fig. 3.12, de care s-au sudat de-a lungul a patru generatoare, care se găsesc la capetele a doi diametrii perpendiculari, gusee, de care se fixează barele tălpii, iar pe cele doua extremități ale cuponului de țevă

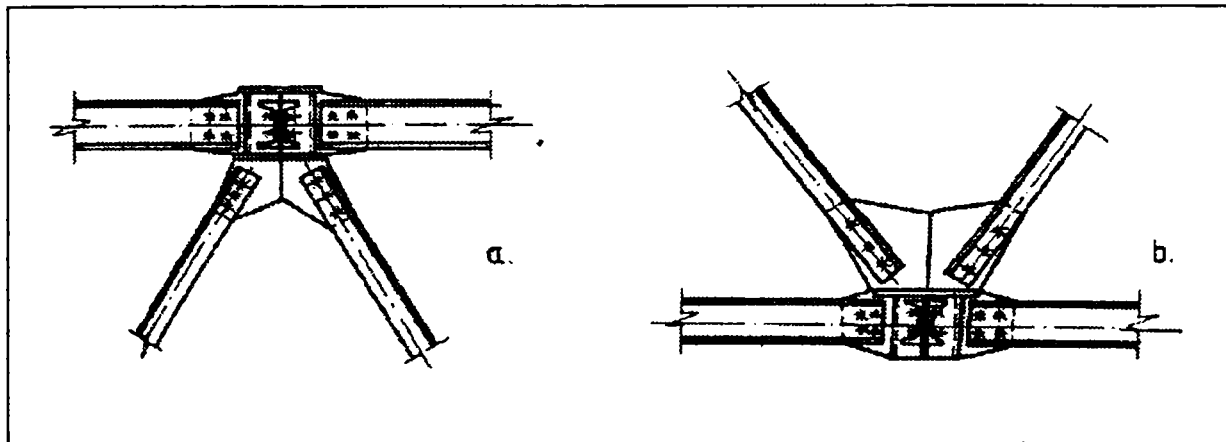


Fig.3.12. Noduri spațiale pentru structuri reticulate TIMIȘ 1

s-au sudat capace de închidere, pe unul din ele (superior sau inferior) sudându-se patru gusee, perpendiculare între ele, de care se prind diagonalele structurii, în funcție de poziția nodului în structură.

De guseele sudate pe generatoarele cuponului de țevă, se prind cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate, tălpile structurii, care sunt realizate din două profile U.

Guseele în cruce, care se sudează pe capacul superior, dacă nodul este de la talpa inferioară Fig.3.12.b și pe capacul inferior, dacă nodul este de la talpa superioară Fig. 3.12.a, se găuresc pentru a permite îmbinarea cu șuruburi în nod a diagonalelor, care se realizează la rândul lor din două profile cornier [51,52].

Profilele U pentru tălpi, cât și profilele cornier pentru diagonale, pot fi profile laminate sau profile obținute prin deformare la rece, cu pereți subțiri în funcție de eforturile din barele structurii.

Structurile care folosesc aceste tipuri de noduri sunt demontabile.

### 3.3.13. Nod sferic pentru structuri spațiale reticulate TIMIS 2.

Este și titlul brevetului de invenție nr. 99886 din 4.03.1988, care se referă la un nod realizat dintr-o sferă goală [5], căreia i s-au realizat două găuri de dimensiuni mari, prin care trece continuu talpa transversală a structurii, fiind sudată de sferă în dreptul acesteia.

În dreptul tălpilor longitudinale, respectiv a diagonalelor, se dau găuri în

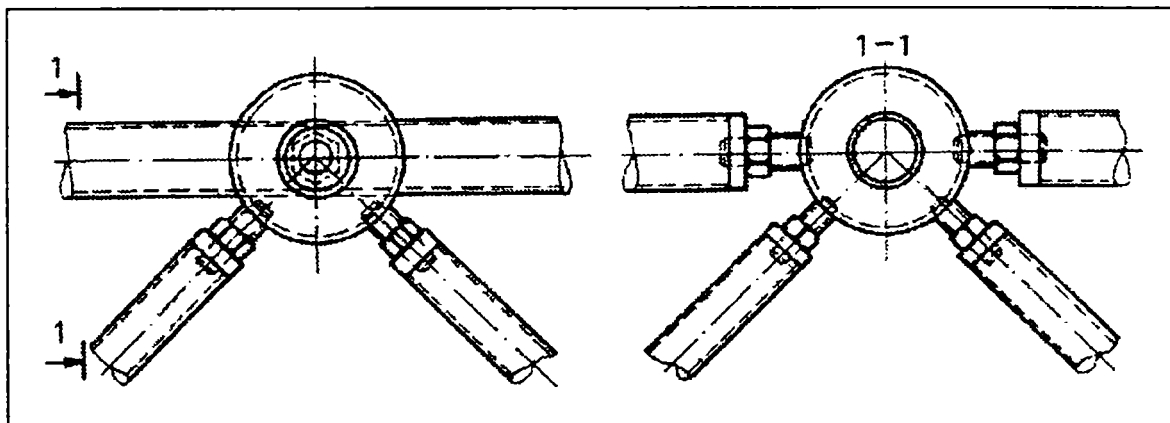


Fig.3.13. Noduri spațiale pentru structuri reticulate TIMIS 2

sferă Fig.3.13 și se sudează mufe filetate pentru a da posibilitatea prinderii barelor care realizează tălpile longitudinale și diagonale, cu ajutorul unor șuruburi de îmbinare special realizate, cu filet stânga - dreapta și piuliță hexagonală, așezată central.

Capetele barelor au pe ele sudate niște flanșe, din tablă, cu gaură filetată, astfel ca la strângerea șurubului special bara să se apropie de sferă.

Sferele goale se pot realiza printr-un procedeu deja amintit în paragraful 3.3.2., adică din cupoane de țevă, în care s-au sudat inele de rigidizare, deformată prin presare la cald în matrițe sferice, iar după răcire, gaura rămasă se alezează la diametrul necesar trecerii tălpilor transversale.

Structurile reticulate realizate cu acest sistem de noduri, sunt demontabile și simplu de asamblat.

### 3.3.14. Nod sferic pentru structuri spațiale reticulate TIMIS 3

Invenția cu acest titlu este înregistrată cu nr. 99887 din 4.03.1988 și se referă la un nod sferic [6] asemănător celui prezentat în paragraful precedent, deosebirea constând în modul de realizare a prinderii în nod, al diagonalelor și tălpilor longitudinale Fig. 3.14, realizate din țevi circulare.

Pe sferile realizate prin deformare la cald din cupoane de țevă, pe lângă găurile prin care trece talpa transversală continuu, se dau găuri mai mici pe direcția

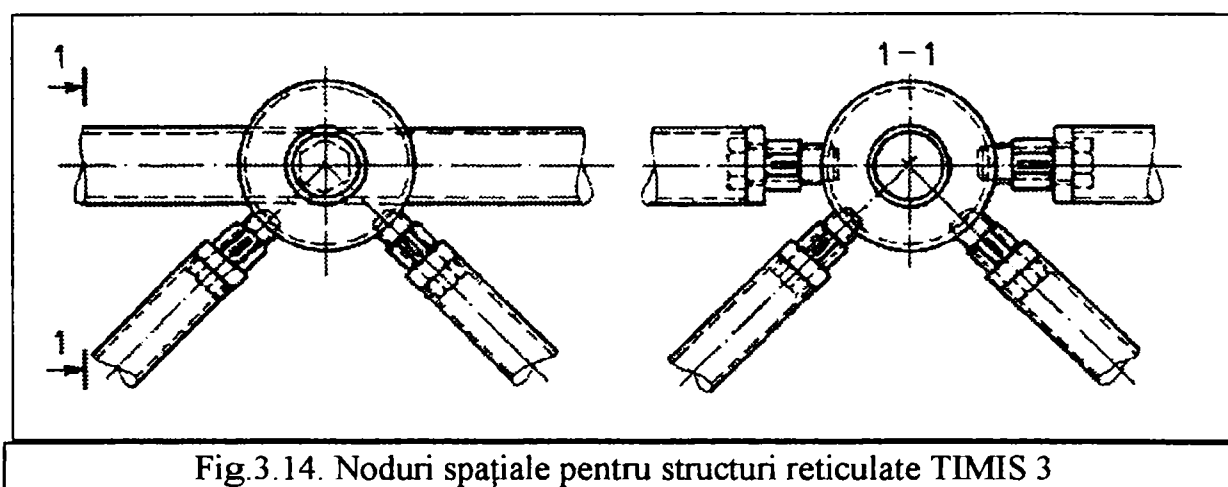


Fig.3.14. Noduri spațiale pentru structuri reticulate TIMIS 3

tălpilor longitudinale și a diagonalelor.

În dreptul acestora pe sferă se sudează piese speciale sub forma unor mufe filetate, dispuse pe direcția barelor, iar filetul din ele se continuă și în peretele sferei.

Pentru prinderea barelor de sferă, se folosesc șuruburi speciale, care se extrag din capetele de bară, fiind introduse în acestea înainte de sudarea lor de bare și se înșurubează în mufele de pe sferă și sferă, prin intermediul unor piulițe de tip hexagonal, nefiletate cu știft, ce trece prin corpul șurubului și un canal longitudinal practicat în piuliță, care antrenează șuruburile, extrăgându-le din capătul de bară și introducându-le în sferă.

Sistemul de nod este relativ simplu, barele care concură în el nu necesită



prelucrări deosebite și este demontabil.

### 3.3.15. Nod sferic pentru structuri spațiale reticulate TIMIS 4

Prezentul sistem de nod este brevetat cu nr. 99888 din 4.03.1988 și prezintă un mod de prindere a barelor în noduri cu ajutorul unui ansamblu [7] format din tije și manșoane filetate pentru tălpile longitudinale și din mufe filetate, sudate pe sfera de care se prind cu ajutorul șuruburilor, diagonalele structurii reticulate Fig.3.15.

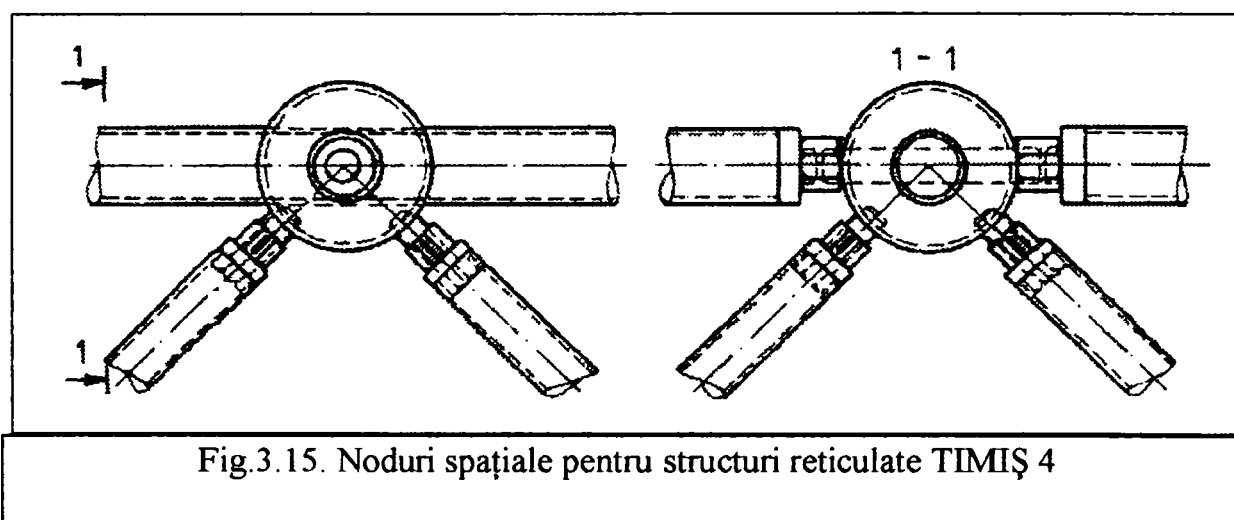


Fig.3.15. Noduri spațiale pentru structuri reticulate TIMIȘ 4

Talpa transversală trece continuu prin nod și se sudează de aceasta ca și la precedentele două sisteme.

Talpa longitudinală se întrerupe în dreptul nodului, continuitatea ei fiind asigurată printr-un ansamblu de elemente de legătură, din care cele care se găsesc pe elementul de talpă sunt capetele de bară cu tija filetată și tija care trece prin sferă fiind sudată de aceasta și având capete filetate.

Prin intermediul unor manșoane hexagonale filetate cu filete stânga - dreapta, prin strângere, realizează apropierea tălpilor longitudinale de sferă.

Diagonalele sunt prevăzute cu capete de bară nefiletate, în care înainte de sudarea lor de bare s-au introdus șuruburi de îmbinare, pe care s-au dispus câte un manșon hexagonal, nefiletat de strângere și un șplint care traversează tija

șurubului, ajutând la înșurubarea acestuia în mufa filetată, sudată pe sferă.

Hexagonul nefiletat are pe lângă rolul de strângere a șurubului și pe cel de distanțier între bară și sferă. *Sistemul TIMIS 4* este demontabil și ușor de asamblat.

Pe lângă sistemele de noduri prezentate mai sus se mai pot întâlni și alte variante constructive existente sau care se pot concepe, fără a considera că posibilitățile de proiectare și realizare a lor au fost epuizate.

### 3.4. AVANTAJELE ȘI DEZAVANTAJELE DIFERITELOR TIPURI DE SISTEME DE NODURI

Fără a minimiza sau maximaliza importanța fiecărui sistem de noduri se poate afirma ca fiecare sistem în parte are și avantaje, dar poate să aibă și mici dezavantaje în proiectarea, realizarea și exploatarea lor în practică, deci nu există avantaje fără dezavantaje și câștiguri fără pierderi.

Pentru a inventaria aceste caracteristici ale sistemelor, voi lua pe rând sistemele amintite în teza de față, arătându-le atât avantajele cât și micile lor dezavantaje, tocmai în ideea de a permite o mai justă alegere a sistemului cel mai corect, pentru un anumit tip de construcție.

*Sistemul MANESMANN* [36] prezentat în Fig 3.1, prezintă dezavantajul că matrișarea semisferelor sistemului se face la cald din bucăți de tablă de grosime “t”, care după matrișare duce la obținerea unor semisfere cu grosimi ale pereților mai mici decât cea a tablei inițiale, necesitând de asemeni manoperă suplimentară la prelucrarea piesei rezultate din matrișare, pentru a obține semisferele, care prin sudare să ducă la obținerea nodului sferic propriu-zis. Avantajul acestui sistem, constă în faptul că sferele obținute sunt goale și relativ ușoare.

*Sistemul folosit de Catedra de construcții metalice* la acoperișul Centralei Hidroelectrice Porțile de Fier I și la Sala de Sport de la Ștei, Fig.3.2, a fost îmbunătățit prin realizarea trecerii continue prin nod (sferă) a tălpii celei mai solicitate (transversale), ea fiind sudată de nod cu sudură de colț, întreruperea

făcându-se în dreptul nodului, doar pentru talpa longitudinală și pentru diagonale. Alt avantaj constă în faptul că sferile s-au realizat din cupoane de țevă [50] prin matrițare la cald în forme sferice, eliminând sudurile de îmbinare a semisferelor și realizând în final sfere cu perete mai gros decât aveau cupoanele de țevă inițiale.

**Sistemele de noduri din cupoane de țevă folosit la Amfiteatrul Nicolae Maior**, Fig. 3.3, prezintă un mic dezavantaj în sensul că talpa longitudinală, care este întreruptă în dreptul nodului (cuponului de țevă) și se sudează de acesta, necesită o prelucrare specială la capăt, figura care rezultă la intersecția dintre doi cilindri cu diametri diferiți și axe perpendiculare, dar are avantajul că piesele din nod sunt mai ușor de executat în comparație cu sferile.

**Sistemul MERO** [37], Fig.3.4, are dezavantajul că folosește sfere pline, deci relativ grele, dar prezintă avantajul că familiile de bare care se întâlnesc în nod (diagonale, tălpi) au aceleași lungimi și secțiunii și permit o montare ușoară a lor și avantajul că este un sistem demontabil.

**Sistemul NIPON SPACE TRUSS SYSTEM** [38], Fig.3.5, folosește sfere goale, realizate prin matrițare la cald din cupoane de țevă, care se prelucrează cu găuri de diametri diferiți, pe direcțiile barelor care realizează tălpile și diagonalele, manoperă sporită la realizarea acestor găuri în sfere și pentru realizarea capetelor de bară pentru îmbinare fiind un mic neajuns, acesta se reduce, dacă operația se automatizează, dar are avantajul că sunt demontabile.

**Sistemul UNISTRUT** [43], Fig.3.7, permite realizarea unor acoperișuri ușoare din bare cu pereți subțiri îmbinate în nodurile de formă specială cu șuruburi de înaltă rezistență care admit toleranța între diametrele lor și ale găurilor de 1...2 mm. Piese de nod de la talpa superioară și inferioară sunt identice și nu pot apărea erori la montaj.

**Sistemele de noduri UNIBAT** [42], Fig. 3.9 și **SPACE DECK** [40], Fig.3.8 sunt alcătuite din elemente piramidale spațiale, care se realizează în uzine specializate, reducând manopera de pe șantier, unde are loc doar asamblarea lor.

*Sistemele de noduri de tip NODUS* [39], Fig.3.11, au piesele de îmbinare în noduri de o complexitate relativ ridicată, fiind necesară multă manoperă pentru realizarea lor, iar la montaj personalul folosit va fi de calificare deosebită.

*Sistemul TIMIS 1* [4], Fig.3.12, prezintă avantajul că barele folosite sunt profile U și corniere laminate sau deformate la rece, care sunt mai ieftine decât țeava.

Îmbinările în noduri pe șantier sunt cu șuruburi, ceea ce duce la o realizare simplă, nodul ca element de rezistență, realizat din cupon de țeavă cu gusee sudate pe el realizându-se în ateliere specializate.

*Sistemele de noduri sferice TIMIS 2* [5], Fig.3.13, *TIMIS 3* [6], Fig.3.14 și *TIMIS 4* [7], Fig.3.13, se realizează din sfere goale, care la rândul lor se confecționează prin deformare la cald din cupoane de țeavă, cu toate avantajele aferente, barele care se întâlnesc în nod, îmbinându-se în acesta simplu, cu șuruburi sau dispozitive de înșurubare, cu excepția tălpii transversale, care trece continuu prin nod, sudându-se de acesta.

Manopera pentru realizarea acestor sisteme de noduri este relativ mică, atât în uzină cât și pe șantier la montaj.

Din cele prezentate mai sus putem concluziona că fiecare sistem de noduri are și avantaje și dezavantaje, fie la realizare, fie la montaj, de aceea la alegerea sistemului care urmează a fi folosit pentru o construcție se ține cont de aceste considerente, astfel că în final să se realizeze obiectivul cu eforturi cât mai mici din punct de vedere financiar și al consumului de manopera, înalt calificată.

### **3.5. PARTICULARITĂȚILE DIFERITELOR TIPURI DE SISTEME DE NODURI**

Sistemele de noduri folosite la structurile spațiale reticulate, chiar dacă au în principiu același rol, de a permite îmbinarea diferitelor familii de bare între ele și echilibrarea eforturilor diferite din acestea, ele pot să prezinte deosebiri între ele prin modul de realizare al lor, modul de îmbinare al barelor în noduri (cu sudură,

cu șuruburi) și secțiunile barelor structurii reticulate.

La sistemul *MANESMANN* [36] ca și la cel folosit de Catedra de Construcții Metalice, pentru realizarea acoperișurilor la diferite obiective proiectate și realizate în țară, elementul de rezistență, de baza, este o sferă goală în interior, de care se leagă toate barele concurente în nod cu sudură. Acestea au avantajul că barele se taie perpendicular pe axa lor la lungimea dorită.

La sistemul *MANESMANN* [36], așa cum s-a arătat deja, sfera se obține printr-un procedeu de deformare la cald a două bucăți de tablă, care dau naștere, după prelucrare, la două semisfere, cu grosimea pereților mai mică decât a tablei din care s-a obținut, care se suprapun și se sudează.

Barele care se întâlnesc în nod, se sudează pe fața sferei, ele întrerupându-se obligatoriu, fapt care creează, în special la talpa întinsă, eforturi deosebit de mari, de întindere asupra sferelor și calcule complicate, care cu metodele obișnuite nu s-ar putea realiza, fiind necesară folosirea metodei elementului finit, respectiv al calculului automat.

La sistemul folosit de Catedra de Construcții Metalice [27], în prima etapa, la realizarea acoperișului de la Centrala Hidroelectrică Porțile de Fier I, sferile s-au găurit după direcția tălpilor transversale, care este cea mai sollicitată, aceasta trecând continuu prin nod și sudându-se de acesta cu sudură de colț, iar tălpile longitudinale care s-au întrerupt la fața sferei, sudându-se de aceasta, au fost legate suplimentar între ele cu niște călăreți, Fig. 3.2.c, semicirculari, sudați de tălpile longitudinale întrerupte și care trec peste sferă.

Această soluție a fost îmbunătățită prin dispunerea în interiorul sferei a unui inel cu rol de rigidizare a sferei, în plan perpendicular tălpilor transversale și totodată cu rol de suport pentru rădăcina sudurii de îmbinare a celor două semisfere.

O soluție și mai perfecționată pusă la punct a fost aceea de realizare a sferelor din cupoane de țevă, deformate la cald prin presare în matrițe semisferice, obținându-se în acest mod sfere cu pereți mai groși decât ai cuponului de țevă de

la care s-a pornit.

Orificiile practicate în sferă, prin care s-au trecut continuu tălpile transversale, au dus la diminuarea eforturilor din acestea, datorită faptului că predau sferei doar diferența eforturilor din panourile alăturate acestea, ceea ce a dus în final la reducerea diametrului necesar pentru sfere, față de cerința inițială, când toate barele se întrerupeau și sudau la fața sferei.

*Sistemele de noduri demontabile MERO [37] și NIPON SPACE TRUSS SYSTEM [38]*, au elementul comun că barele care se îmbina în ambele sisteme folosesc șuruburi de îmbinare, dar *sistemul MERO [37]* folosește sfere pline, cu găuri filetate în care pentru prinderea barelor se înfiletează șuruburi de la exteriorul sferei, extrăgându-le din capetele barelor, pe când *NIPON SPACE TRUSS SYSTEM [38]* folosește sfere goale, cu acces de la exterior în ele, barele fixându-se de acestea, prin șuruburi care se înșurubează în capetele de bare, din interiorul sferelor spre exteriorul acestora. Pentru a ușura această operațiune, în sfera care se obține prin deformare la cald a unui cupon de țevă, se lasă o gaură care să permită introducerea șurubului, a mâinii și a cheii de strângere.

Datorită sferelor goale utilizate *NIPON SPACE TRUSS SYSTEM [38]*, este mai ușor decât *sistemul MERO [37]*.

*Sistemele spațiale din elemente piramidale de tip ICCPDC, SPACE DECK [40] și UNIBAT [42]*, au ca element comun o piramidă cu baza în sus, baza acesteea fiind de regulă pătrat, dar se poate folosi și triunghi sau hexagon, care se confecționează în atelier și se transportă suprapunându-le una peste alta cu camionul.

Particularitatea fiecărui sistem constă în alcătuirea tălpii inferioare, astfel pentru *sistemul tip ICCPDC*, talpa inferioară este realizată din corniere, deformate la rece, care se prind cu șuruburi de o piesă specială, de care sunt sudate diagonalele, din țevă, la *sistemul SPACE DECK*, la talpa inferioară se sudează o piesă specială, obținută prin forjare, găurită și filetată pe două direcții

perpendicularare în care se înfiletează barele realizate din oțel rotund, care alcătuiesc talpa inferioară, la *sistemul UNIBAT*, diagonalele se sudează la talpa inferioară de o placă pătrată, prevăzută cu o gaură la mijloc prin care se trece un șurub și cu ajutorul căruia se prind în nod țevile aplatizate, care alcătuiesc talpa inferioară.

*Sistemele UNISTRUT*, [43] *TRIODETTIC* [41] și *NODUS* [39] folosesc piese speciale pentru îmbinarea în noduri a barelor concurente. În toate cazurile, barele sunt întrerupte în noduri, doar sistemul de prindere diferă.

La *sistemul UNISTRUT*, piesele speciale de prindere în noduri se realizează din tablă deformată astfel ca să permită realizarea înclinării la unghiul dorit față de verticală sau orizontală, a diagonalelor, barele prinzându-se în nod cu șuruburi, ele fiind alcătuite din profile U cu pereți subțiri.

*Sistemul TRIODETTIC*, folosește pentru îmbinarea în nod discuri speciale cu canale radiale pe direcția diagonalelor și a tălpilor, cu un orificiu central, prin care se face prinderea cu un șurub de ambele părți a câte unei placi, care împiedică ieșirea din canalele cu dinți a capetelor barelor, aplatizate și prelucrate prin mortezare. Acest sistem se folosește în special la barele realizate din aluminiu sau alt material care se prelucrează ușor prin presare și deformare la rece.

*Sistemul NODUS*, utilizează un ansamblu de piese speciale pentru prinderea barelor în noduri, tălpile realizându-se din țevă pătrată de care se sudează piese de capăt circulare, prevăzute cu dinți, iar diagonalele din țevă obișnuită la capete având sudate bride în forma de U, care se fixează cu bolț de urechile sudate pe piesa de nod, care se situează spre interiorul sistemului.

*Sistemul TIMIS 1* [4], este format dintr-un nod alcătuit dintr-un cupon de țevă, cu două capace sudate, pe capacul dinspre interiorul structurii sudându-se patru gusee pe direcția diagonalelor, iar pe generatoarele a doi diametri perpendiculari, alte patru gusee de care se prind tălpile structurii.

Guseele sunt prevăzute cu găuri pentru a permite prinderea diagonalelor, care de regula se realizează din corniere și a tălpilor care se vor realiza din profile

laminele tip U. Profilele sunt cu pereți subțiri, presate la rece.

*Nodurile sferice de tipul TIMIS 2,3 și 4 [5,6,7]* sunt asemănătoare, dar totuși se deosebesc după modul de prindere a barelor în ele.

La toate cele trei tipuri de noduri, talpa longitudinală trece continuu și se sudează de sferă.

La *nodul sferic TIMIS 2* în dreptul tălpilor longitudinale și a diagonalelor, se dau găuri în sferă și în dreptul lor se sudează mufe filetate, în capătul barelor (diagonale, tălpi longitudinale) se sudează flanșe cu găuri filetate. Barele se prind de sferă prin intermediul unui șurub de îmbinare special cu piuliță centrală, care are și rol de distanțier între cele două tije ale șurubului cu filet stânga - dreapta, care prin strângere apropie bara de sferă.

La *nodurile sferice TIMIS 3* în dreptul tălpilor longitudinale și a diagonalelor se dau găuri și se sudează mufe, care se filetează împreună cu gaura din sferă.

Barele sunt prevăzute la capăt cu niște piese de capăt sudate, în care s-au introdus în prealabil șuruburi, prevăzute cu manșoane hexagonale și știft, care permit prin rotire extragerea șurubului din capătul de bară și înfiletarea în sferă.

La *nodurile sferice TIMIS 4*, în dreptul tălpii longitudinale, prin sferă trece o tija filetată la ambele capete, fiind sudată de aceasta, iar pe capetele barelor tălpilor longitudinale, se sudează tije filetate, prin intermediul unui manșon hexagonal cu filet stânga - dreapta se face strângerea, respectiv apropierea barei de sferă, el având și rol de distanțier. Diagonalele se prind asemănător procedurii folosite la sistemul de *noduri sferice TIMIS 3*.

Din cele prezentate se observa că deși aparent, sistemele de noduri sunt asemănătoare, fiecare din ele are elemente proprii, care le deosebesc unele de altele.

La alegerea unuia sau altuia din această mare varietate de sisteme de noduri, trebuie ținut cont dacă, construcția trebuie sau nu să fie demontabilă, de ușurința sau dificultatea de realizare a elementelor de prindere în nod și bine înțeles de costul structurii și a montajului acestora.



## CAPITOLUL 4

# OPTIMIZAREA STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE PENTRU ACOPERIȘURILE CENTRALELOR HIDROELECTRICE

### 4.1. NOTIUNI GENERALE

Calculul structurilor spațiale reticulate, care sunt elemente complexe ale construcțiilor metalice, nu se poate realiza fără utilizarea unor modele matematice, care să le reprezinte complexitatea acestora și care se pot rezolva doar folosind tehnici moderne de calcul, implicând utilizarea calculatoarelor, respectiv a programelor de calcul adecvate acestor tipuri de construcții [63,68,70].

Disciplinele matematice moderne, prin calculul operațional, pun la îndemâna proiectantului, care dorește analiza științifică în stabilirea deciziilor optime în proiectare, un vast areal de programe de calcul a solicitărilor din elementele acestor tipuri de structuri, care dau posibilitatea modelării problemelor de optimizare.

Proiectarea unui anumit sistem de structuri se poate face în mai multe variante funcție de performanța programului avut la îndemâna și de performanța calculatorului avut la îndemâna. Până la urmă, oricare ar fi aceste performanțe ale programelor sau a calculatorului, rezultatele ar trebui să fie aceleași, doar că timpul în care se ajunge la rezultat este diferit și bineînțeles favorabil programului și calculatorului cel mai performant.

Proiectarea optimă presupune stabilirea unor *variabile de proiectare* care respectă anumite condiții (restricțiile proiectării) impuse de buna comportare în exploatare (secțiuni ale barelor, dimensiuni ale pasului rețelei, dimensiuni ale incintei acoperite etc). minimizându-se sau maximizându-se o funcție de eficiența numită *funcție obiectiv*, care poate fi efort minim, tensiuni minime, deformații minime, consum de material minim pe metru pătrat sau pe total structura metalică.

Metodele aplicate pentru stabilirea soluției optime nu permite în general opțiunea de soluții calitativ diferite pentru problema studiată, dar ele conduc la

alegerea celor mai satisfăcătoare valori, sau la optimizarea soluției în concepția de proiectare a utilizatorului.

## 4.2. ETAPELE, FACTORII ȘI VARIABILELE CARE INFLUENTEAZĂ OPTIMIZAREA STRUCTURILOR RETICULATE

Optimizarea în calculul și proiectarea unor sisteme reticulate complexe, presupune câteva etape principale [32,33,34,35], care pot fi obligatorii în totalitate sau parțial, acestea fiind:

- delimitarea cadrului problemei;
- definirea criteriilor de optimizare;
- găsirea de relații între mărimile statice și cele geometrice ale elementelor structurii;
- stabilirea restricțiilor la rezemările structurii;
- rezolvarea programului matematic de optimizare analitic sau grafic, prin reprezentarea variabilelor dependente ale structurii și stabilirea minimului sau maximului, astfel ca structura să rezulte cât mai eficientă.

Analizând etapele de optimizare expuse mai sus, care sunt teoretice și general variabile la orice problemă de optimizare, în cazul tezei de față, trebuie particularizat pentru problema propusă spre studiu - *optimizarea acoperișurilor reticulate*.

Cadrul problemei de optimizare a acoperișurilor reticulate la centralele hidroelectrice, s-au stabilit în urma inventarierii centralelor hidroelectrice existente în România, pe Dunăre și râurile interioare conform celor arătate în capitolul 1 a prezentei teze, luând în considerare că parametru de baza dimensiunile în plan a centralei medii (centrala cu dimensiunea în plan cea mai des întâlnită) care a rezultat ca dimensiuni cu lățimea  $L = 24$  m, și lungimea  $B = 48$  m.

Aceasta suprafață la rândul ei urmând să fie acoperită cu o structură spațială care să aibă pasul rețelei l cuprins între (1.5 ... 3)m. Ținând cont că suprafața acoperișului trebuie să fie împărțită în număr întreg de pași de rețea, pe lățimea și

lungimea ei, din multitudinea de variante posibile s-au ales doar cele de 2m, 2.4 m și 3m, considerându-le ca fiind concludente și vor da posibilitatea de a trasa curbe caracteristice, știut fiind din geometria analitică, faptul că trei puncte determină o curbă.

După cum se va vedea în continuare pe aceste trei variante s-a efectuat studiul pentru stabilirea rețelei cu pasul optim, luând ca elemente de comparație pentru stabilirea optimului, eforturile din bare, tensiunile din ele, săgeata (deformația) structurii, consumul de material pe unitate de suprafață și consumul de material pe total structură reticulată.

Rezemările pe contur a structurilor reticulate se vor considera în prima etapă, structura articulată pe nodurile de pe o latură lungă a centralei și rezemată simplu pe latura opusă acesteia, ca de altfel și pe cele două laturi scurte, în prima fază considerându-le rezemate în fiecare nod de contur, rezeme care poate fi articulație sau simpla rezemare, funcție de așezarea pe contur a nodului.

Nodurile care se vor considera articulate, vor avea deplasările împiedecate, admițând doar rotiri, iar nodurile simplu rezemate, vor admite deplasări în planul acoperișului (două) și rotiri.

Calculul static al structurilor reticulate se va efectua prin metoda elementelor finite pentru structuri spațiale executate din bare utilizând programul de calcul SAP 90 [70].

Variabilele care definesc cadrul problemei, considerate ca fiind *variabilele de proiectare*, după cum se poate intui, vor fi:

- *pasul rețelei "l"*;
- *secțiunile barelor componente ale structurii reticulate*, bare care în prima fază au fost considerate ca fiind din țevi circulare laminate, care la aceeași familie (tălpi superioare, tălpi inferioare, diagonale) să aibă același diametru interior, doar grosimea peretelui fiind diferită, funcție de gradul de solicitare.
- *înălțimea rețelei reticulate "h"* care reprezintă distanța măsurată între

rețeaua de bare care formează talpa inferioară și rețeaua de bare care formează rețeaua tălpii superioare, care se alege conform recomandărilor din paragrafele (2.1 și 2.2) astfel încât diagonalele cu planul tălpiilor să formeze unghiul  $\gamma = 45^{\circ}-60^{\circ}$ ;

- *încărcările exterioare*, conform [45] STAS 10101/0A-77 vor lua în considerare acțiunile permanente (greutatea proprie a structurii, greutatea învelitorii cu izolația aferentă etc) și acțiunile temporare (încărcări din acțiunea zăpezii, vântului, dacă nu este favorabil și variația de temperatura, considerându-le uniform distribuite pe suprafața acoperișului, iar în calcul luându-se ca forță concentrată în noduri, evident funcție de pasul rețelei “l”.
- *modalitatea de rezemare a structurii*, care influențează eforturile din elementele acestea, prin împiedicarea sau admiterea producerii unor deplasări libere;
- *modalitatea de îmbinare a barelor în nodurile rețelei*, care se pot considera ca fiind încastrate în noduri, semiîncastrate sau articulate, acest ultim mod de prindere fiind luat în considerare și în următoarele etape de calcul;
- *centrarea barelor* se consideră că este perfectă în nodurile teoretice, pentru a elimina complicații în modul de calcul al acestora, ele considerându-se solicitate doar axial;
- *deformația transversală* (săgeata) perpendiculară pe planul structurii, se consideră foarte mică, neglijabilă, astfel încât structura se consideră în stare nedeformată;

Calculul de optimizare a structurilor reticulate ale acoperișurilor centralelor hidroelectrice, va conține obligatoriu factorii expuși mai sus, ceea ce înseamnă că un calcul obișnuit, manual, ar fi extrem de laborios, dacă nu chiar imposibil, cu luarea în considerare a tuturor restricțiilor, pe când în cazul calculului automat, acest lucru este facil, existând posibilitatea realizării de numeroase ipoteze de încărcare și restricții, rezultatele fiind rapide și cu eforturi minime, condiția primordială fiind aceea de stăpânire a aparatului matematic de operare și a

programelor de calcul, cele mai performante.

### 4.3. DEFINIREA TERMENILOR FOLOSIȚI ÎN OPTIMIZARE ÎN GENERAL

În problemele de optimizare clasică, se întâlnesc și se definesc următorii termeni, care sunt consacrați și menționați de literatura de specialitate [32,33] cu ajutorul cărora se operează pentru a se ajunge la rezultatul final, care corespunde unor valori maxime sau minime depinzând de obiectivul urmărit.

Astfel, dacă obiectivul urmărit este acela de obținere a unui consum minim de oțel pe metru pătrat de construcție, este evident că optimizarea se va referi la minimul funcției, dacă obiectivul urmărit va fi acela ca fiecare bară să fie eficient utilizată, la capacitate maximă, se va căuta să se ajungă la valori cât mai apropiate de cele maxime.

În rezolvarea problemelor de acest tip, de optimizare, vom întâlni următorii termeni:

- *Variabila de proiectare*, care reprezintă mărimi geometrice referitoare la dimensiunile barelor structurii (lungimi ale tălpilor superioare, inferioare, diagonale), dimensiuni ale secțiunilor barelor (arii, grosimi de pereți, diametrii, mărimi ale aripilor cornierelor etc), geometria rețelei (pătrat, triunghi, hexagon etc), modul de amplasare a nodurilor rețelei tălpii superioare, față de cea a tălpii inferioare.

În rezolvarea sistemelor reticulate, clasic se predimensionează barele acesteea, alegându-se secțiuni cu care se face calculul eforturilor [26,27], urmată de un calcul exact de dimensionare și verificare a barelor componente ale structurii.

În optimizarea matematică, după cum s-a prezentat mai sus se pot alege una sau mai multe variabile, stabilindu-se dependența dintre ele prin restricții matematice, aceste mărimi purtând numele de *variabile de proiectare*.

- *Restricțiile de proiectare*, reprezintă un ansamblu de relații matematice, care

descriu cât mai fidel interdependența între variabilele de proiectare în cadrul sistemelor reticulate pentru obținerea optimului urmărit.

Egalitățile din cadrul acestor restricții provin din legile generale sau specifice ale mecanicii construcțiilor, care impun anumite legături între variabilele de proiectare.

Inegalitățile din cadrul restricțiilor, semnifică imposibilitatea depășirii unor limite care sunt minimele sau maximele tehnice, cum ar fi: dimensiunile minime recomandate a se utiliza în proiectare, rezistența de calcul, zveltețea barei, funcție de tipul solicitării, lungimea minimă a cordoanelor de sudură, numărul minim sau maxim de elemente de îmbinare etc.

- *Funcția obiectiv*, exprima relația matematică dintre variabilele de proiectare și criteriile de optimizare adoptate (minimizare sau maximizare).

Valoarea funcției obiectiv, de obicei este limitată prin diverse restricții, în acest caz având de-a face cu optimizarea condiționată, iar în cazul în care restricțiile lipsesc, optimizarea este necondiționată.

Funcțiile obiectiv pot fi concepute astfel încât să exprime:

- criterii tehnice - eforturi și deformații minime;

- criterii economice - consumuri specifice și cheltuieli cu manopera minime;

- *Modelul matematic al problemei de optimizare*, presupune crearea unei funcții obiectiv (4.1) care trebuie optimizată

- funcția obiectiv:

$$F: D \rightarrow R \quad F(x) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4.1)$$

- vectorul variabilelor de proiectare:

$$X \in D, \quad D \subset R, \quad X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (4.2)$$

- funcțiile care caracterizează restricțiile de proiectare:

$$\varphi_i: D \rightarrow R; \varphi_i(X) = \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad i = 1, \dots, m \quad (4.3)$$

- restricții funcționale și restricții regionale:

$$\varphi_i(X) = 0; i = 1, 2, \dots, p; \quad \varphi_j(X) < S; j = p+1, \dots, m \quad (4.4)$$

Dacă  $\Omega \subset D$  este mulțimea soluțiilor sistemului de restricții (4.4) numite soluții admisibile, problema de optimizare este:

$$\{ F(X) | X \in \Omega \} \rightarrow \min(\max) \quad (4.5)$$

Pentru găsirea soluțiilor tehnice optime se folosesc metode de optimizare analitice sau numerice, necondiționate sau condiționate, funcție de cerința obiectiv pe care dorim să o atingem (maxim, minim), rezultatul obținându-se în urma unor reprezentări grafice, lucru, care se va urmări în continuare și în lucrarea de față.

#### **4.4. OPTIMIZAREA STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE DIN PUNCT DE VEDERE AL PASULUI REȚELEI**

##### **4.4.1. Alegerea structurilor reticulate pentru studiu**

Acoperișurile centralelor hidroelectrice realizate în soluția structuri spațiale reticulate [22], pot avea cele mai variate dimensiuni în plan [9,31], funcție de mărimea și numărul turbinelor, generatoarelor de curent, cât și de celelalte elemente auxiliare necesare exploatării acestora și care sunt adăpostite în aceeași incinta.

După cum s-a menționat deja în paragraful 4.2, din multitudinea de dimensiuni ale centralelor hidroelectrice de pe râurile interioare ale României [9,31] s-au ales pentru lățime  $L = 24$  m și pentru lungime  $B = 48$  m.

Structura reticulată dublu strat rectangulară [22], care a fost obiectul studiului, s-a ales în trei variante din punct de vedere a dimensiunilor pasului rețelei: 1 = 2m; 2.4 m și 3m. S-a ajuns la aceste dimensiuni prin eliminarea unor dimensiuni mai mici, pentru pasul rețelei, datorită numărului foarte mare de bare din componența structurii și implicit o cantitate foarte mare de date în calcul și volum mare de manoperă la realizare, iar în cazul dimensiunilor pasului rețelei, peste 3m am ținut cont de lungimile mari ale barelor componente ale rețelei, care puneau probleme în privința zvelteței, respectiv necesitatea utilizării unor elemente cu dimensiuni foarte mari.

De asemeni s-a ținut cont și de faptul ca pasul rețelei, de dimensiune "1",

permite împărțirea acoperișului în număr întreg de pași, atât pe lățimea , cât și pe lungimea lui.

Barele structurii reticulate le-am considerat ca fiind din țeava rotundă de construcții [50], de același diametru, pentru același tip de bare, (tălpi, diagonale), funcție de zona în care sunt amplasate, având grosimi ale peretelui diferite.

Am considerat barele îmbinate în noduri articulate și nu am menționat un anumit tip de nod al rețelei, în care se întâlnesc acestea.

Încărcările sunt în nodurile tălpii superioare [45,46,47] sub formă de forte concentrate, astfel ca în bare să nu apară decât solicitări axiale de întindere sau compresiune.

Înălțimea structurilor reticulate a fost considerată  $h = 1.7$  m astfel ca să fie îndeplinită condiția, ca diagonalele să formeze cu planul orizontal unghiul  $\gamma = 45^{\circ} - 60^{\circ}$  [19].

Rezemarea structurilor se face în aceasta fază a cercetării în toate nodurile de contur a tălpii superioare, pe o latură lungă și pe cele două scurte, o rezemare simplă, permițând deplasări în planul acoperișului și rotiri în plan perpendicular, iar pe cealaltă latură lungă nodurile de contur se consideră articulate, cu deplasări împiedicate doar rotirile fiind libere.

Nodurile de reazem se consideră că sunt așezate pe grinzi de contur ale centralei, rigide și cu deformații neglijabile sau pe capătul stâlpilor [27].

Solicitările din aceste grinzi de contur, ne făcând obiectul prezentului studiu, nu s-au luat în considerare.

#### **4.4.2. Stabilirea încărcărilor ce acționează pe structurile reticulate ale acoperișului**

Încărcările și gruparea acestora conform STAS 10101/OA-77 se compun din [45,46,47] încărcări permanente, temporare din zăpadă sau presiunea respectiv, suucțiunea vântului, iar gruparea acestora este gruparea fundamentală.



- *Încărcările permanente*, se compun din greutatea proprie a învelitorii tip Wallsystem PD/5, tip sandwich de 80 mm grosime, 1160 mm lățime și lungime variabilă, alcătuită din două table cutate, diferite la interior, față de exterior și un strat intermediar de termoizolație, realizat din spumă poliuretanică, având o greutate specifică pe unitatea de suprafață de  $12.27 \text{ daN/m}^2$ . De asemenea se ia în calcul greutatea estimată a panelor ca fiind în jur de  $4 \text{ daN/m}^2$ .

Greutatea proprie a barelor structurii reticulate nu se stabilește în acest calcul, deoarece în programul de calcul a structurii reticulate [68,69,70] aceasta se calculează automat, funcție de caracteristicile geometrice, arii, introduse în faza inițială, ca date de intrare. Ținând cont și de coeficientul încărcărilor, din metoda stărilor limita de calcul  $n = 1.1$ , se estimează ca valoarea încărcării permanente de calcul din greutatea învelitorii acoperișului este de  $g_p^c = 19.5 \text{ daN/m}^2$ .

- *Încărcarea cu zăpadă pe acoperiș*, calculată conform STAS 10101/21 - 92 în zona B, pentru construcție cu  $c_z = 1$  și coeficient de expunere  $c_e = 0.8$ , iar coeficientul încărcărilor  $\gamma_F = 2.54$  stabilit prin calcul, rezultă că pe unitatea de suprafață zăpadă aduce  $p_z^c = 245 \text{ daN/m}^2$  [47].

- *Încărcarea din presiunea vântului* conform STAS 10101/20-90, care în acest caz, dat fiind acoperișul cu panta foarte mică, produce sucțiune, deci descarcă învelitoarea ajungându-se la valori  $p_{v1}^c = 90 \text{ daN/m}^2$  respectiv  $p_{v2}^c = 60 \text{ daN/m}^2$ , ceea ce presupune, luarea în considerare la execuție a măsurilor suplimentare de solidarizare perfectă a învelitorii cu structura de rezistență, pentru a preîntâmpina desprinderea acesteea de pe acoperiș și avarierea ei.

Gruparea încărcărilor [45] pentru calculul solicitărilor și deformațiilor în barele structurii reticulate, se va face ca grupare fundamentală. Forțele concentrate în nodurile tălpii superioare pentru fiecare tip de structură, din cele studiate, se vor calcula ținând cont de pasul rețelei și de suprafață care-i revine fiecărui nod al tălpii superioare.

#### 4.4.3. Aspecte teoretice privind calculul cu metoda elementelor finite

Metoda elementelor finite este o metoda moderna de calcul numeric [10,20,54,62] a unor probleme ingineresti cu ajutorul calculatorului, prin care se determina valorile unor funcții necunoscute, care pot fi deplasări, eforturi, tensiuni etc. Metoda este bazata pe aproximarea locala a variabilelor pe subdomenii ale domeniului analizat, numite *elemente finite*, legate între ele în puncte numite *noduri*. Funcțiile necunoscute se considera continue pe tot domeniul de studiu al elementului finit, iar aproximarea oferita de aceasta metoda este de natura fizică.

Metoda elementelor finite are o serie de avantaje:

- permite modelarea formelor neregulate prin folosirea de elemente finite cu forme și dimensiuni diferite;
- permite studierea problemelor în care proprietățile fizice ale mediului sunt diferite, neomogene, anizotrope, stratificate etc.
- condițiile limita ale problemelor studiate pot fi oricare, fără restricții;
- algoritmi și programele de calcul au un grad mare de generalitate, ceea ce permite rezolvarea unei game largi de probleme dintr-un anumit domeniu de specialitate.

Metoda elementelor finite are și unele dezavantaje, cum ar fi:

- datele de intrare sunt numeroase, necesitând un volum de muncă mare la pregătirea și introducerea lor, pentru a permite calculul;
- rezultatele obținute sunt niște ample tabele de valori numerice ale funcțiilor studiate, redate pentru toate nodurile;
- calitatea acestor rezultate, depinde de experiență și abilitatea programatorului.

Rezolvarea problemei cu metoda elementului finit, presupune parcurgerea următoarelor etape convenționale [10]:

- *alegerea tipului de element finit și a funcției de interpolare*, care din punct de vedere geometric poate fi uni, bi sau tridimensional reprezentând bare, suprafețe și volume, având ca puncte extreme noduri în care exista una sau mai

multe funcții necunoscute, numite grade de libertate;

- *discretizarea domeniului de analiza*, sau generarea rețelei de elemente finite și a matricei de conexiune, care se poate face manual sau automat printr-un program de subrutina specializat, rezultând un set de elemente finite, de noduri și o matrice de conexiune între ele, respectiv coordonatele globale ale nodurilor;
- *constituirea ecuațiilor elementelor finite și evaluarea matricelor elementare*, care descriu comportarea mediului în cuprinsul unui element finit, alcătuiesc un sistem de ecuații al elementului finit, cu un număr de ecuații, egal cu numărul gradelor de libertate a elementului, sistem de ecuații care este de forma:

$$[k]\{\phi\}_e = \{p\} \quad (4.6.)$$

unde:

$\{\phi\}_e$  - este vectorul funcțiilor nodale necunoscute pe elementul finit;

$[k]$  - matricea caracteristicilor fizico - geometrice (de rigiditate) ale elementului finit;

$\{p\}$  - vectorul încărcărilor pe elementul finit;

- *asamblarea ecuațiilor elementare în sistemul de ecuații al domeniului discretizat*, consta în asamblarea matricelor de rigiditate  $[k]$ , respectiv a vectorilor de încărcări  $\{p\}$ , pe elemente, în matricea de rigiditate și vectorul încărcării a întregului sistem;

- *rezolvarea sistemului de ecuații*, prin metode numerice liniare sau neliniare (metoda de eliminare Gauss și metoda de descompunere Cholesky, respectiv metoda Newton Raphson), obținându-se valorile funcțiilor în noduri, prezentate alfa-numeric sub forma de tabele.

În continuare pentru identificarea valorilor maxime sau minime ale eforturilor și deformațiilor, respectiv a valorilor globale, se procedează prin cercetare directă (manuală) sau prin metode de reprezentare grafice cu ajutorul unor programe [56,62], care vor fi prezentate în paragrafele următoare.

#### 4.4.4. Calculul eforturilor din barele structurilor spațiale reticulate ale acoperișului centralelor hidroelectrice

Pentru calculul eforturilor în structurile spațiale reticulate alese, pentru lățimea acoperișului  $L = 24\text{m}$  și lungimea lui  $B = 48\text{ m}$ , s-au ales așa cum s-a menționat în paragraful 4.4.1. Variantele cu pasul rețelei de 2m, 2.4m și 3 m, motivațiile fiind menționate în paragraful respectiv.

Pentru calculul cu metoda elementului finit, s-a considerat ca elementul de baza este de tip *bara*, articulat în noduri, aceste noduri pot fi în același plan, caz în care bara este componenta a tălpilor structurii, sau nodurile de la capetele barelor sunt în planuri diferite, în acest caz barele formând diagonalele structurii reticulate.

Discretizarea, respectiv generarea celor trei structuri, s-a realizat în cadrul programului SAP 90 [70], manual, prin generarea barelor tălpii superioare, tălpii inferioare și în final a diagonalelor. Numărul de bare, respectiv de noduri, pentru fiecare tip de structura, rezultate, sunt prezentate în tabelul 4.1.

**Tabelul 4.1. Numărul de bare și noduri ale celor trei structuri**

Pasul rețelei structurii "l" [m]	Număr de bare în talpa superioara	Număr de bare în talpa inferioara	Număr de bare în diagonale	Număr total de bare	Număr de noduri la talpa superioara	Număr de noduri la talpa inferioara	Număr total de noduri
2.0	612	540	1152	2304	325	288	613
2.4	430	370	800	1600	231	200	431
3.0	280	232	512	1024	153	128	281

Caracteristicile geometrice ale barelor, care s-au ales ca fiind țevi cu secțiune circulară, au fost stabilite în urma unui calcul manual al eforturilor și o dimensionare manuală a acestor bare [26], alegându-se după mai multe încercări, în final, cele care sunt cuprinse în tabelul 4.2.

Pentru calcul, structura a fost împărțită în trei zone [27], în funcție de gradul de solicitare a barelor, zona centrală "A", zona mediană "B" și zona de contur "C" care au aproximativ aceeași suprafață, adică o treime din întreaga suprafață a acoperișului.

**Tabelul 4.2. Caracteristicile geometrice ale barelor structurii**

Structura cu pasul rețelei "1" [m]	Talpa superioara. Tipul barei - Aria [cm <sup>2</sup> ]			Talpa inferioara. Tipul barei. Aria [cm <sup>2</sup> ]			Diagonale. Tipul barei. Aria [cm <sup>2</sup> ]		
	Zona "A"	Zona "B"	Zona "C"	Zona "A"	Zona "B"	Zona "C"	Zona "A"	Zona "B"	Zona "C"
2.0	108x6 19.20	108 x5.5 17.70	108x5 16.20	102x5 15.20	102x4.5 13.80	102x4 12.30	54x3.5 5.55	54x4 6.28	54x4.5 7.00
2.4	121x5.5 20.00	121x5.0 18.20	121x4.51 16.5	108x6.0 19.20	108x5.0 16,20	108x4.0 13.10	70x4.0 8.29	70x4.5 9.26	70x5.0 10.02
3.0	127x7.0 26.40	127x6.0 22.80	127x5.5 21.00	108x7.0 22.20	108x6.0 19.20	108x5.5 17.70	89x4.0 10.70	89x4.5 11.90	89x5.0 13.20

Rezemarea structurilor, s-a considerat că se realizează prin intermediul fiecărui nod de pe conturul tălpii superioare, pe una din laturile lungi ale acoperișului, toate nodurile având deplasări împiedicate, doar rotiri libere (articulații), iar pe celelalte trei laturi (două scurte și una lungă), deplasările în plan ale nodurilor, ca de altfel și rotirile s-au considerat libere.

Încărcările au fost considerate concentrate în toate nodurile structurii, mai puțin în nodurile de reazem, valorile fiind direct proporționale cu suprafața care-i revine fiecăruia, funcție de mărimea pasului rețelei, încărcarea distribuita pe unitate de suprafață fiind aceeași pentru toate structurile studiate.

În urma rulării programului de calcul al eforturilor și deplasărilor [70], s-au obținut rezultatele sub forma unor șiruri lungi de date, exprimate sub forma de tabele, rezultate care, pentru a putea fi interpretate, au necesitat o prelucrare, aranjare după cum se va arata în continuare.

Prima interpretare a datelor rezultate din calcul s-a făcut prin evidențierea deformației (săgeții) maxime a fiecărei structuri, respectiv prin extragerea valorilor maxime ale eforturilor, din fiecare tip de bara și zona, căreia îi aparțineau, așa cum se prezintă în tabelul 4.3.

**Tabelul 4.3. Eforturile maxime din barele structurii. Deformația maximă a structurii.**

Structură cu pasul rețelei 'l' [m]	Deformația maximă a rețelei "f <sub>max</sub> " [cm]	Eforturile maxime în barele tălpii superioare [daN]			Eforturile maxime în barele tălpii inferioare [daN]			Eforturile maxime în diagonale [daN]		
		Zona A	Zona B	Zona C	Zona A	Zona B	Zona C	Zona A	Zona B	Zona C
2.0	6.59	-27906	-26360	-18437	28513	25282	15664	4991	5000	5050
2.4	6.86	-33487	-30866	-17050	34090	28448	21607	8020	8100	9050
3.0	6.82	-40299	-35274	-24844	42338	31595	18294	8000	8900	9200

Dintr-o simplă privire se observă, chiar prin evidențierea doar a eforturilor maxime, ca eforturile în barele structurii cresc odată cu pasul rețelei, aceasta fiind o consecință logică a majorării forțelor concentrate din nodurile structurii, ca și consecință a majorării pasului rețelei. Se observa în schimb un lucru interesant, ca eforturile din barele care formează diagonalele structurilor reticulate, sunt doar (20 - 25)% din eforturile barelor care formează tălpile structurilor. Aceasta remarcă este bine de reținut, mai ales în perspectiva viitoare de calcul a nodurilor structurii reticulate, care urmează să fie studiate în cadrul tezei, într-un capitol separat.

De remarcat și mărimea deformațiilor pe ansamblul structurii, adică a sagetii, care este sub valoarea raportului  $L/350$ .

Datorită modului foarte extins de evidențiere a datelor rezultate din calcul, în vederea unei mai ușoare comparații între diversele dimensiuni ale rețelelor și bine înțeles a optimizării structurilor din acest punct de vedere, s-a născut ideea de asociere a unui sistem de reprezentare **3D**, a eforturilor și tensiunilor unitare, prin asocierea valorilor acestora a unor volume de eforturi și de tensiuni, pentru rețeaua tălpilor superioare și rețeaua tălpilor inferioare, în cazul celor trei dimensiuni ale ochiurilor rețelei, aflate în studiu.

Cu ajutorul utilitarului "PLOT 88" [67] s-a executat operația de postprocesare a rezultatelor determinând:

- reprezentarea eforturilor respectiv a tensiunilor într-o reprezentare plană, obținută printr-o interpolare după două direcții, utilizând *funcții spline* de gradul 3;
- reprezentarea eforturilor, respectiv a tensiunilor, într-o reprezentare spațială,

utilizând o rețea cu maximum 50x50 puncte la bază.

- calculul volumelor asociate de eforturi și tensiuni.

Utilitarul “PLOT 88” este prevăzut cu un modul denumit “*volume.exe*” cu ajutorul căruia se pot calcula prin trei procedee de evaluare diferite (metoda trapezelor, metoda Simpson, metoda Simpson 3/8) volumul cuprins între un plan de referință cu normala paralela cu axa z, suprafața spațială de interpolare a eforturilor și tensiunile din rețeaua de bare a tălpilor și patru plane care delimitează marginile rețelei de puncte. Planul de referință ales poartă numele de “*baza de referință inferioara*” și reprezintă nivelul 0.00.

Vizualizarea grafică a volumelor asociate de eforturi ( $V_N$ ) pentru tălpile superioare (T.S) și inferioare (T.I.). sunt prezentate în fig. 4.1, respectiv în fig.4.2., pentru cele trei variante ale pasului rețelei (a; pentru  $l = 2\text{m}$ , b; pentru  $l = 2.4\text{ m}$ , c; pentru  $l=3\text{m}$ ), aceasta prezentând doar jumătate din lungimea acoperișului ( $B/2$ ).

Vizualizarea volumelor asociate de tensiuni ( $V_\sigma$ ) pentru tălpile superioare (T.S.) și tălpile inferioare (T.I) sunt prezentate în fig. 4.3. și fig. 4.4. pentru cele trei variante ale pasului rețelei și de asemeni doar pe jumătate din lungimea acoperișului ( $B/2$ ).

În tabelul 4.4. se evidențiază volumele asociate de eforturi ( $V_N$ ) calculate pentru cele trei dimensiuni de rețea, pentru talpa superioara (T.S), cu cele trei metode de evaluare).

**Tabelul 4.4. Volume asociate de eforturi ( $V_N$ ) pentru talpa superioara (T.S).**

Metoda de evaluare a volumelor	Volume $V_N$ pentru T.S. pentru rețele cu “l”[mc]		
	$l = 2.0\text{ m}$	$l=2.4\text{m}$	$l= 3.0\text{m}$
Trapezoidală	16401060	19629580	24828600
Simpson	16406520	19635800	24835400
Simpson 3/8	16406580	19635480	24835200

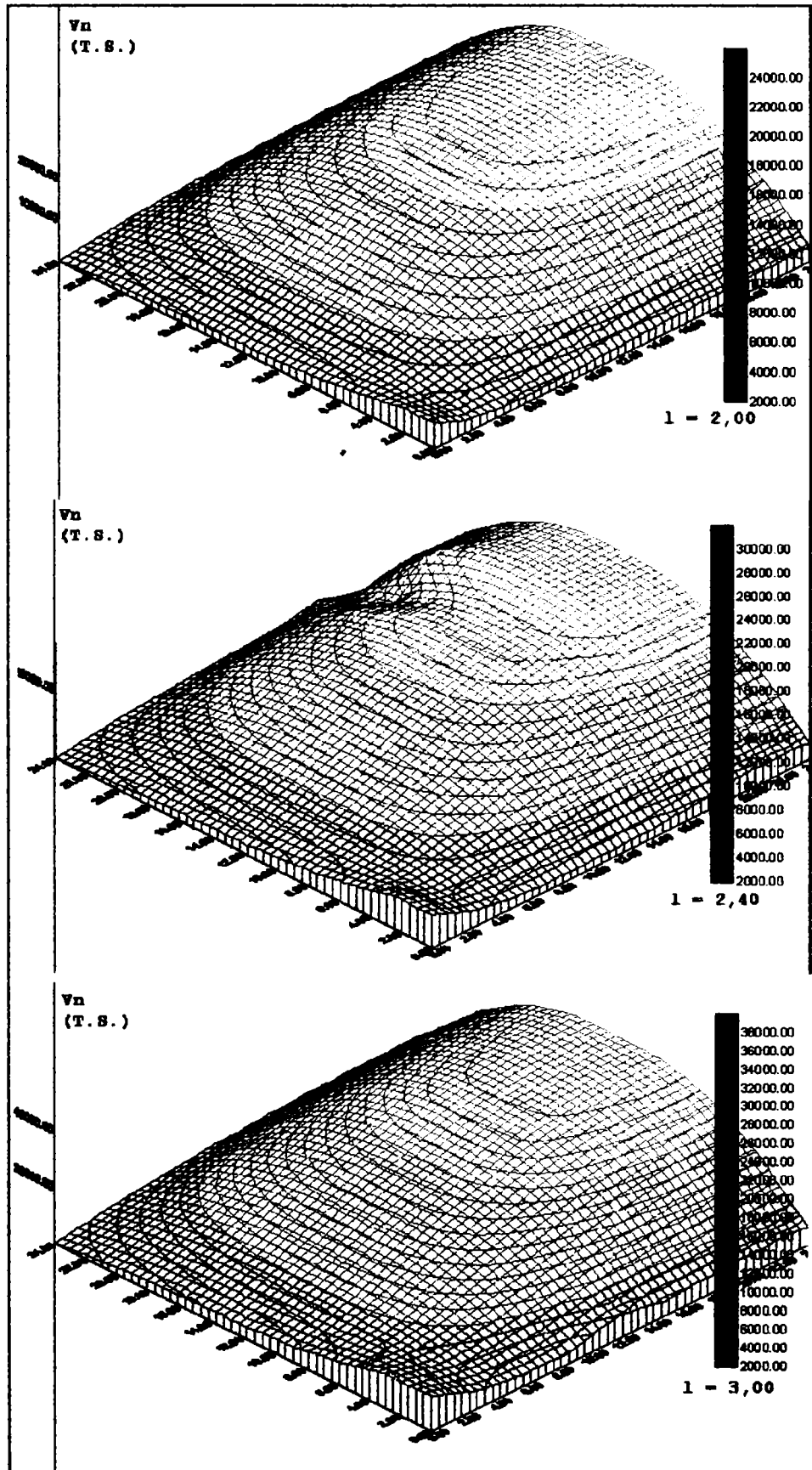


Fig. 4.1. Volume asociate de eforturi  $V_N$  pentru talpa superioară



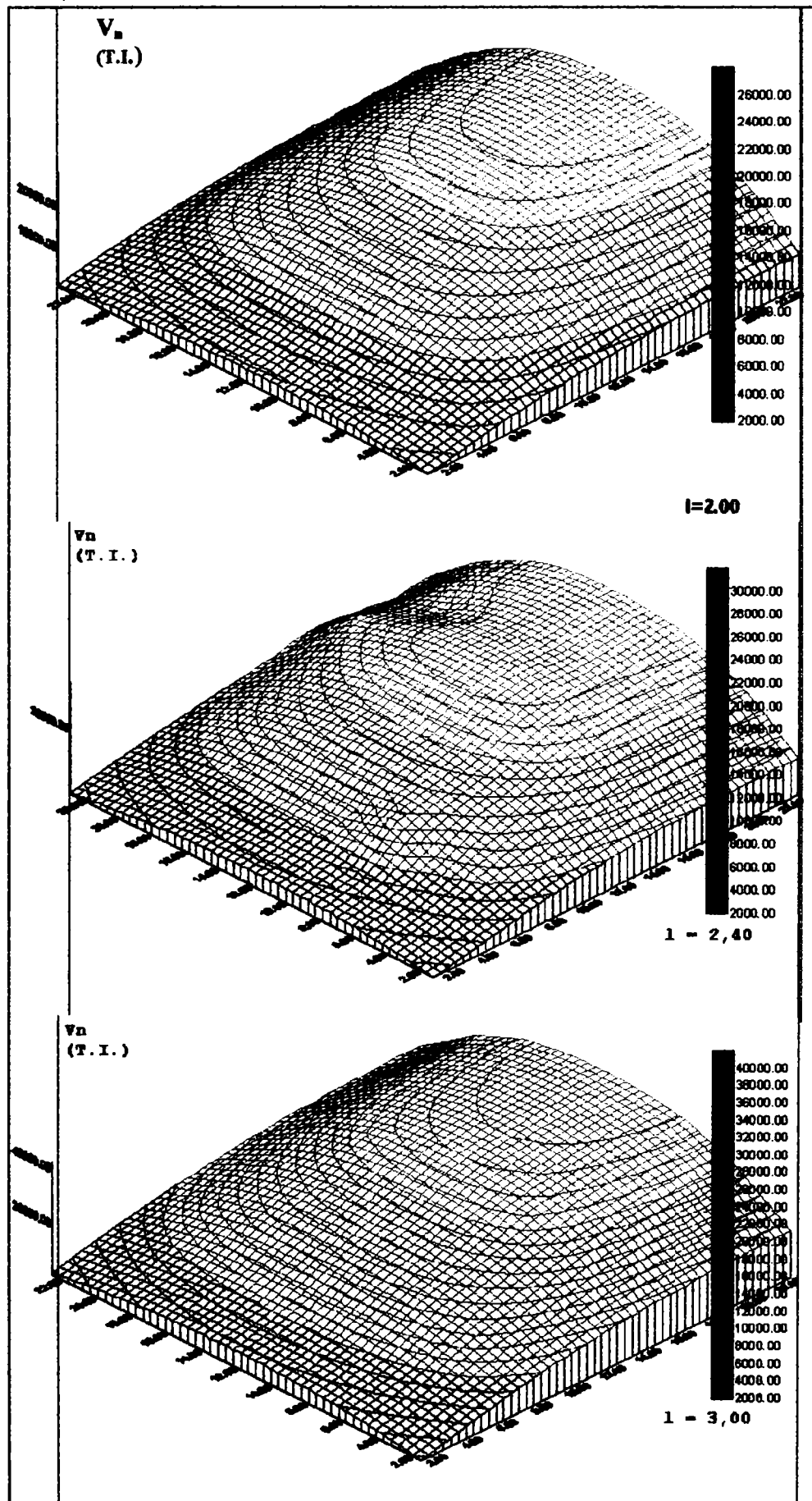


Fig. 4.2. Volume asociate de eforturi  $V_N$  pentru talpa inferioară

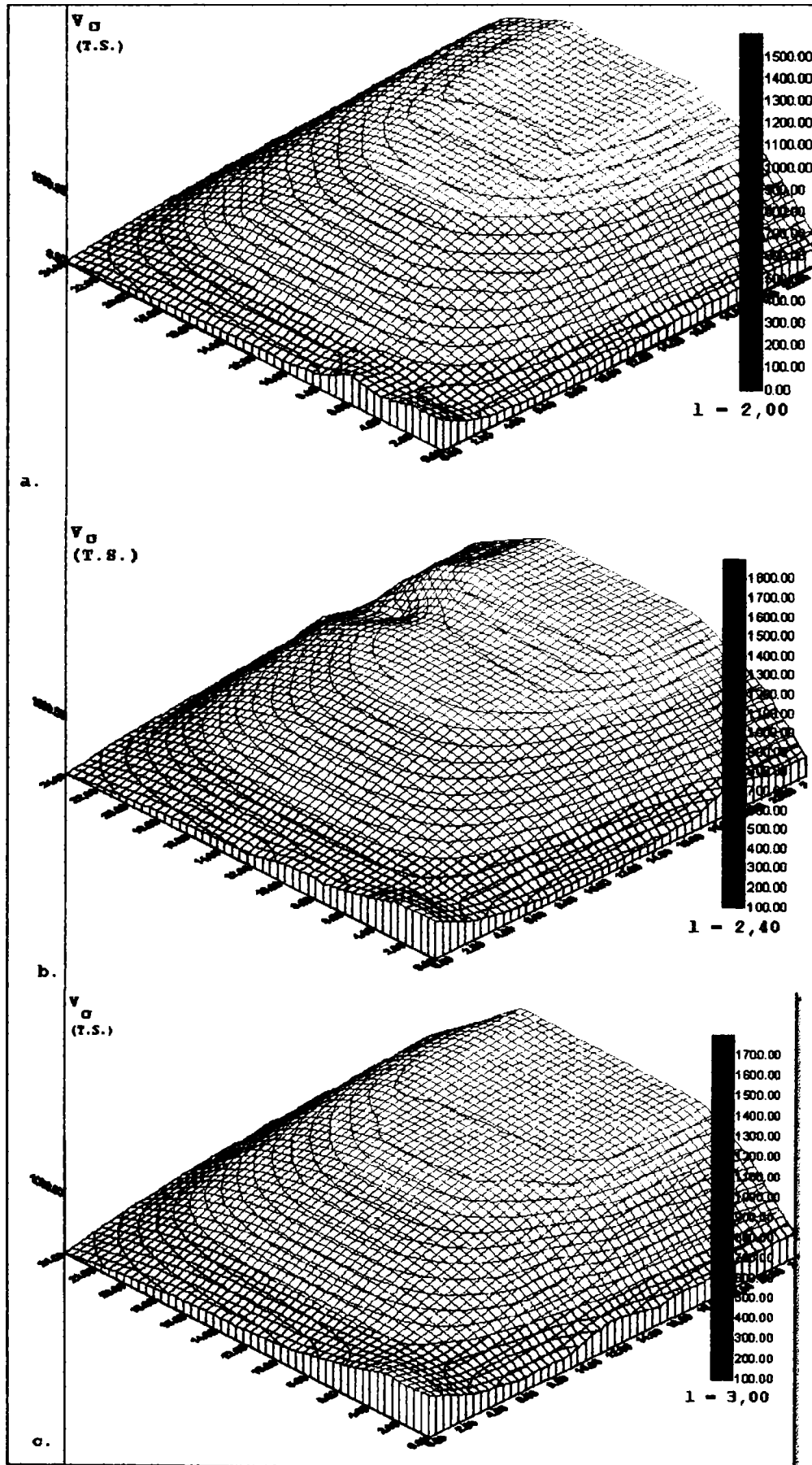


Fig. 4.3. Volume asociate detensiuni  $V_{\sigma}$  pentru talpa superioară

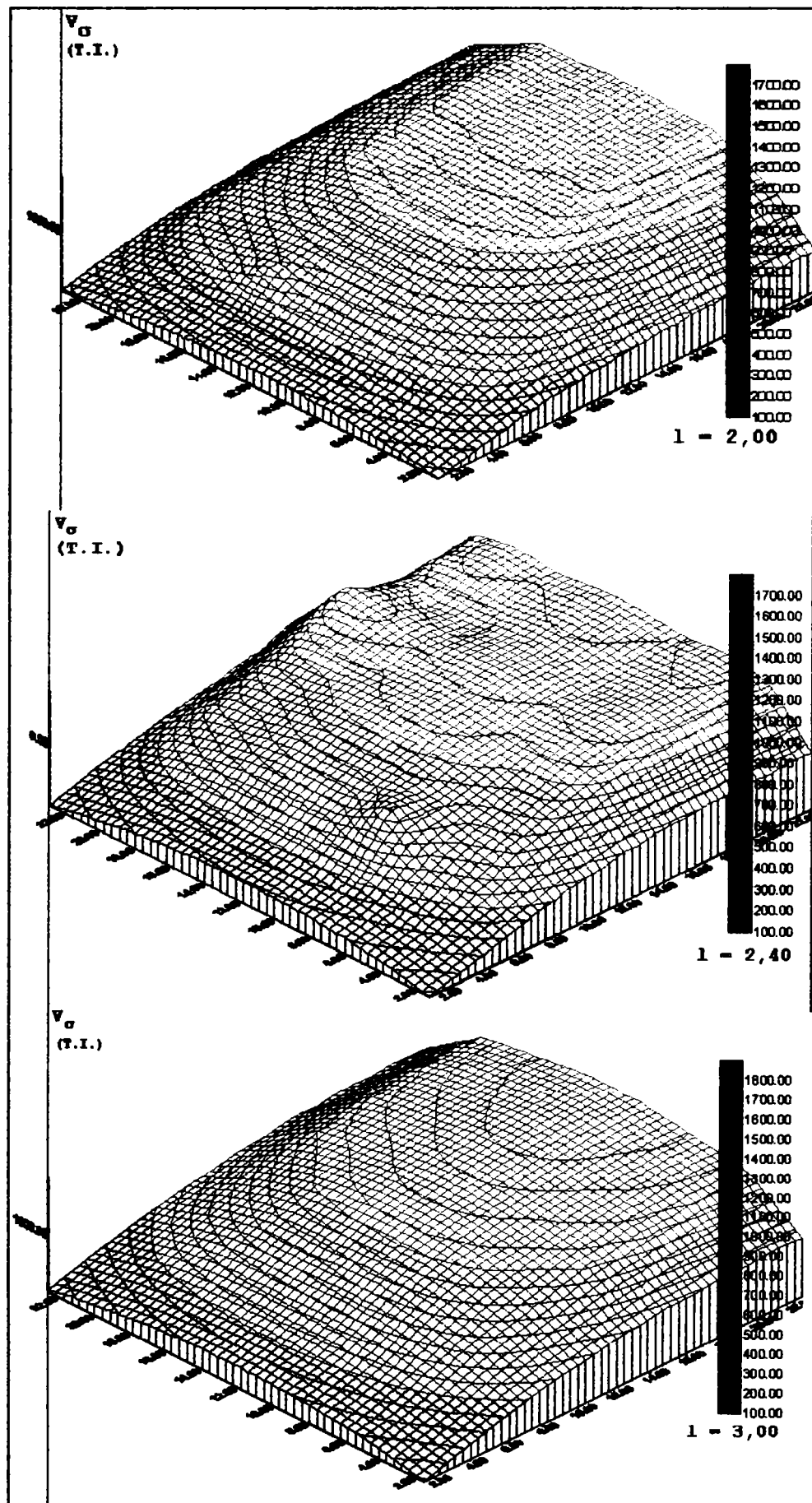


Fig. 4.4. Volume asociate detensiuni  $V_\sigma$  pentru talpa inferioară

Tabelul 4.5. evidențiază volumele asociate de eforturi ( $V_N$ ) calculate pentru cele trei dimensiuni de rețea ale tălpii inferioare (T.I).

**Tabelul 4.5. Volume asociate de eforturi ( $V_N$ ) pentru talpa inferioara (T.I).**

Metoda de evaluare a volumelor	Volume $V_N$ pentru T.I. pentru rețele cu "l" [mc].		
	l=2.0 m	l=2.4 m	l=3.0 m
Trapezoidală	15234460	18033540	21830200
Simpson	15238420	18037640	21834400
Simpson 3/8	15238400	18037560	21834600

Tabelul 4.6. cuprinde volumele asociate de tensiuni unitare ( $V_\sigma$ ) calculate prin cele trei metode de evaluare, pentru talpa superioară (T.S.) cu cele trei dimensiuni ale pasului rețelei (l).

**Tabelul 4.6. Volumele asociate de tensiuni unitare ( $V_\sigma$ ) pentru talpa superioara (T.S.)**

Metoda de evaluare a volumelor	Volume ( $V_\sigma$ ) pentru T.S. pentru rețele cu "l"[mc]		
	l = 2.0 m	l=2.4 m	l=3.0 m
Trapezoidală	1045846	1226068	1295264
Simpson	1046208	1226484	1295642
Simpson 3/8	1046206	1226462	1295632

Tabelul 4.7 ilustrează volumele asociate de tensiuni unitare ( $V_\sigma$ ) calculate pentru talpa inferioara (T.I) pentru cele trei dimensiuni ale pasului rețelei (l), prin cele trei metode de evaluare.

**Tabelul 4.7. Volumele asociate de tensiuni unitare ( $V_\sigma$ ) pentru talpa inferioara (T.I).**

Metoda de evaluare a volumelor	Volume ( $V_\sigma$ ) pentru T.I. pentru rețele cu "l"[mc]		
	l = 2.0 m	l = 2.4 m	l = 3.0 m
Trapezoidală	1106452	1131484	1082364
Simpson	1106780	1131804	1082576
Simpson 3/8	1106780	1131804	1082568

Pentru a ilustra mai evident, variația volumelor asociate eforturilor și tensiunilor unitare, din tabelele 4.4, 4.5, 4.6 și 4.7 în raport cu pasul rețelei, l", în fig. 4.5 se reprezintă grafic acest lucru, observând modul în care variază aceste

mărimi .

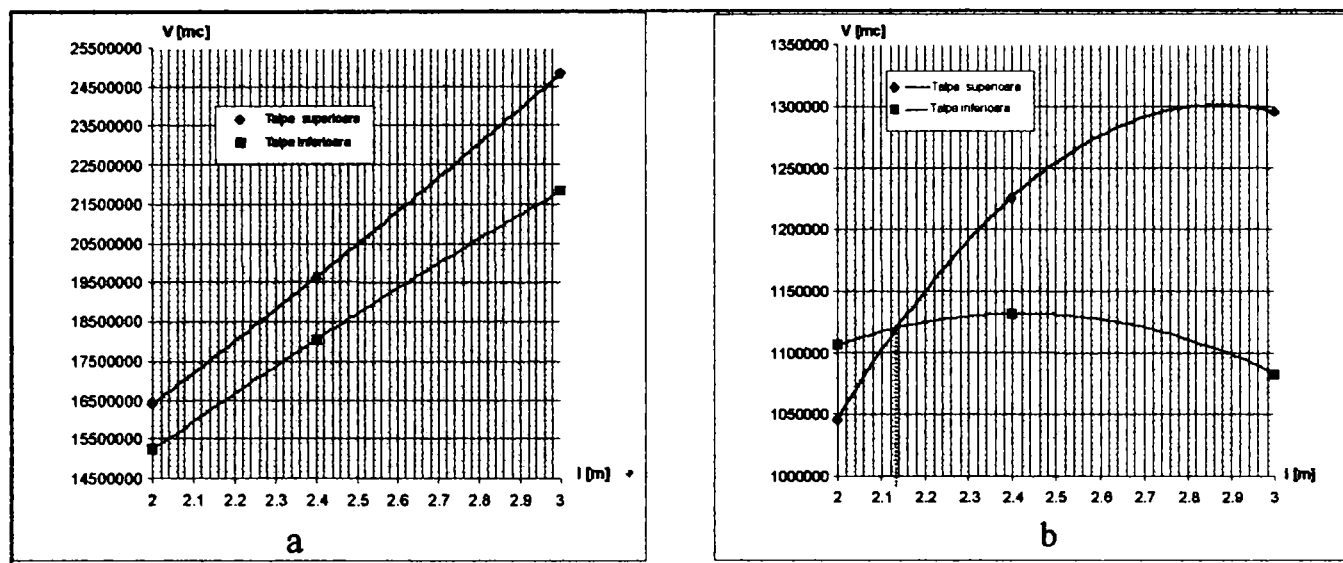


Fig.4.5. Variația volumelor asociate  $V_N$  și  $V_\sigma$  cu pasul rețelei "l"

Din variația eforturilor în barele tălpilor superioare și inferioare ale structurii ,prezentate în fig. 4.5.a., se observa că acestea cresc odată cu majorarea pasului rețelei "l".

În cazul reprezentării volumelor asociate tensiunilor unitare, (fig. 4.5.b) se observa pentru rețeaua care formează talpa superioara (T.S.) o creștere continuă, odată cu creșterea pasului rețelei, iar pentru rețeaua care realizează talpa inferioara , (TI) tensiunile unitare cresc de la rețeaua cu pasul de 2m spre cea cu pasul de 2.4 m, iar în continuare are loc o scădere valorică a acestora.

Curbele care reprezintă variația volumelor asociate tensiunilor unitare în cele două tălpi (T.S. și T.I), pentru o anumita valoare a pasului rețelei "l", se intersectează într-un punct pentru care coordonata de pe axa orizontala este apropiata de  $l = 2.135$ m, constituind pasul optim al rețelei, pentru care cele două tălpi sunt identic sollicitate.

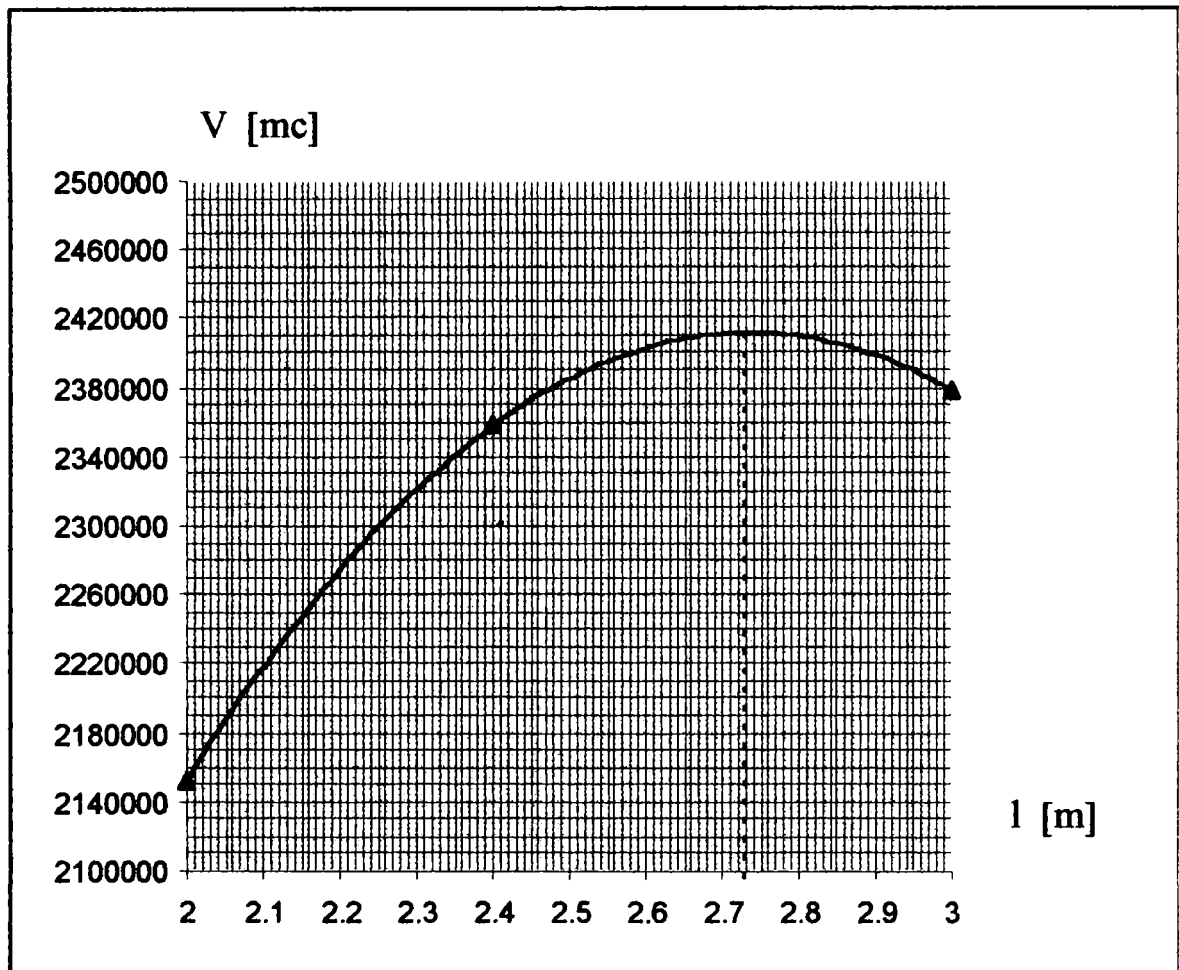


Fig.4.6. Variația volumelor asociate cumulate a tensiunilor din tălpile superioare și inferioare

Pentru a pune în evidența folosirea la maxim a rezervei de rezistență în cele două tălpi ale structurilor în graficul din fig. 4.5.b, am recurs la următorul artificiu, am însumat volumele asociate tensiunilor, pentru fiecare tip de rețea și am reprezentat-o într-un grafic, fig. 4.6. din care se remarcă faptul că pe ansamblu, utilizarea la maxim a rezervei de rezistență ar corespunde unui pas al rețelei  $l = 2.725$  m.

Având în vedere cele constatate anterior, că pentru rețeaua cu pasul  $l=2.135$  m rezulta același volum asociat de tensiuni, pentru ambele tălpi și că pentru rețeaua cu pasul  $l=2.725$  m se obține volumul maxim asociat al tensiunilor, rezulta că din punct de vedere al utilizării cât mai complete a rezervei de rezistență, rețeaua ar trebui să aibă pasul cuprins între aceste valori, ceea ce ne sugerează, printr-o simplă medie aritmetică, valoarea pasului rețelei de  $l = 2.4$  m.

Pentru a constata, din punct de vedere a cantității de material, respectiv a consumului de otel pe unitate de suprafață, pentru fiecare parte componenta a structurii reticulate, care este variația în funcție de pasul rețelei, în tabelele:

**Tabelul 4.8. Dimensiunile, numărul și greutatea barelor structurii cu  $l = 2.0$  m**

Zona în care se situează bara	Talpa superioara			Talpa inferioara			Diagonalele		
	Tipul secțiunii	Nr. de bare x lung.	Greutatea [kg]	Tipul secțiunii	Nr. de bare x lung.	Greutatea [kg]	Tipul secțiunii	Nr. de bare x lung.	Greutatea [kg]
"A"	108x6	52x2.0	1567	102x5.0	80x2.0	1909	54x3.5	384x2.21	3669
"B"	108x5.5	162x2.0	4500	102x4.5	182x2.0	3942	54x4.0	384x2.21	4186
"C"	108x5	398x2.0	10125	102x4.0	278x2.0	5371	54x4.5	384x2.21	4670
			16192			11.222			12525

**Tabelul 4.9. Dimensiunile, numărul și greutatea barelor structurii cu  $l = 2.4$  m**

Zona în care se situează bara	Talpa superioara			Talpa inferioara			Diagonalele		
	Tipul sect.	Nr. bare x lung.	Greut. [kg]	Tipul sect.	Nr. bare x lung.	Greut. [kg]	Tipul sect.	Nr. bare x lung.	Greut. [kg]
"A"	121x5.5	42x2.4	1583	108x6.0	66x2.4	2387	70x4.0	266x2.4	4175
"B"	121x5.0	120x2.4	4116	108x5.0	82x2.4	2503	70x4.5	266x2.4	4662
"C"	121x4.5	268x2.4	8329	108x4.0	222x2.4	5477	70x5.0	266x2.4	5131
			14.028			10367			13.968

**Tabelul 4.10. Dimensiunile, numărul și greutatea barelor structurii cu  $l = 3.0$  m**

Zona în care se situează bara	Talpa superioara			Talpa inferioara			Diagonalele		
	Tipul sect.	Nr. bare x lung.	Greut. [kg]	Tipul sect.	Nr. bare x lung.	Greut. [kg]	Tipul sect.	Nr. bare x lung.	Greut. [kg]
"A"	127x7.0	32x3.0	1989	108x7.0	52x3.0	2719	89x4.0	171x2.72	3904
"B"	127x6.0	62x3.0	3329	108x6.0	74x3.0	3346	89x4.5	171x2.72	4341
"C"	127x5.5	186x3.0	9201	108x5.5	106x3.0	4417	89x5.0	171x2.72	4815
			14519			10482			13060

4.8, 4.9, 4.10, se prezintă dimensiunile secțiunilor, numărul de bare, lungimile și greutatea acestora, pe categorii și zone, din care se poate deduce consumul specific pe unitate de suprafață.

Reprezentarea grafică din fig. 4.7.a, vizualizează consumul de otel în diferitele categorii de bare ale structurii reticulate (tălpi, diagonale) în funcție de pasul rețelei, iar graficul din fig. 4.7.b, vizualizează consumul specific de otel pe

unitate de suprafață, la diferite dimensiuni ale pasului rețelei, considerând suprafața totală ca fiind  $L \times B$ , adică 1152 metri pătrați.

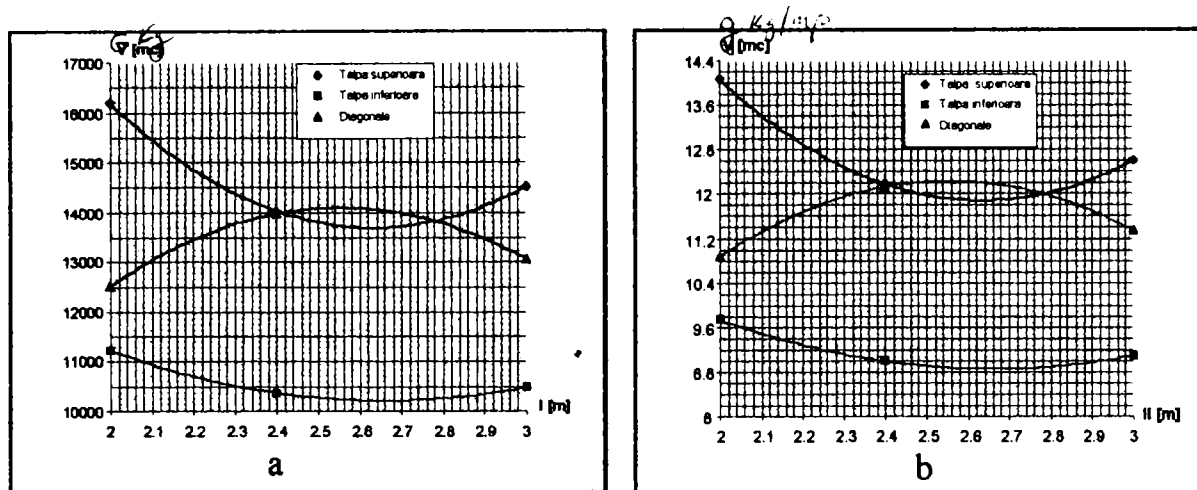


Fig.4.7 Variația consumului total (a) și specific (b) de material, pentru diferitele categorii de bare și pași ale rețelei structurii reticulate.

#### 4.4.5. Concluzii

Analizând tabelele 4.8,4.9,4.10 și reprezentările grafice din fig.4.7, se remarcă faptul că în barele care realizează rețelele tălpilor superioare și inferioare, consumul minim de oțel este pentru rețeaua cu pasul apropiat de  $l = 2.4$  m, iar pentru rețeaua de bare care realizează diagonalele, consumul de oțel este maxim pentru structura cu pasul  $l = 2.4$  m, dar nu exagerat cantitativ. Astfel, fata de rețeaua cu pasul  $l = 3.0$  m doar cu un procent de 6% mai mare, iar fata de consumul de oțel de la structura cu pasul rețelei de  $l = 2.0$  m, doar cu 11.5 % mai mare, dar în compensație față de această structură, care are 1152 de bare în componenta diagonalelor, rețeaua cu  $l = 2.4$  m are doar 800 de bare, care realizează diagonalele, ceea ce va duce la un volum de manopera mult mai redus pentru situația a două, respectiv avantaj. De asemeni din fig. 4.6., care reprezintă variația volumelor asociate a tensiunilor din barele tălpilor structurilor reticulate, cu diferite valori al pasului rețelei, se poate remarca faptul ca rețeaua cu pasul  $l=2.4$  m este cea optima, ținând cont și de observația din fig. 4.5.b., ca pentru  $l = 2.135$  m, valorile volumelor asociate a tensiunilor în cele doua tălpi, sunt egale (cele doua curbe se intersectează).



În urma acestor studii se poate concluziona că, din punct de vedere al pasului rețelei structurilor reticulate, optimă, rezultă structura cu pasul rețelei  $l = 2.4$  m, în barele căreia eforturile ar fi undeva la nivel mediu, dintre eforturile relativ mici din structura cu pasul  $l = 2.0$  m și eforturile mari ale barelor din structura cu pasul  $l = 3.0$  m, iar din punct de vedere al consumului de material, cel puțin în componența tălpilor, sunt cele mai scăzute, iar în diagonale, diferența în plus este relativ mică, nesemnificativ în comparație cu câștigul obținut, prin reducerea numărului de bare, respectiv a volumului de manoperă, pentru îmbinarea acestora în noduri.

## **4.5. OPTIMIZAREA STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE DIN PUNCT DE VEDERE AL ÎNĂLȚIMII STRUCTURII.**

### **4.5.1. Considerații generale**

Înălțimea structurii reticulate, este distanța măsurată între planele celor două tălpi, notată cu “h” mărime care se recomandă [19] să se aleagă în limita (1/12 ... 1/18) din deschiderea minima în plan a structurii.

Cazul studiat are dimensiunile în plan 24x48 m, ceea ce ne face să alegem mărimi ale înălțimii structurii cuprinse între 1.4 ... 2.0 m.

Altă recomandare în alcătuirea și alegerea înălțimii structurii este și aceea privind unghiul pe care îl fac diagonalele cu planul tălpilor notat cu “ $\gamma$ ” care va fi cuprins între  $45^{\circ}$  ...  $60^{\circ}$ , astfel încât să se poată alcătui rațional nodurile și să existe o corelare judicioasă între înălțimea structurii și pasul acesteea.

Ținând cont de aceste recomandări, vor fi alese câteva variante de înălțimi de structuri reticulate, care vor fi studiate în continuare.

În tabelul 4.11, se prezintă câteva variante de structuri și caracteristicile geometrice aferente rețelei care are pasul  $l = 2.40$  m (lungimea diagonalelor  $l_d$ , unghiul diagonalelor cu planul tălpilor “ $\gamma$ ”).

**Tabelul 4.11. Caracteristici geometrice**

h [m]	$l_d$ [m]	$\pi \gamma$
1.50	2.265	41 <sup>0</sup> 30'
1.60	2.332	43 <sup>0</sup> 20'
1.70	2.402	45 <sup>0</sup> 05'
1.80	2.474	46 <sup>0</sup> 40'
1.90	2.548	48 <sup>0</sup> 10'

Dintr-o privire sumară s-ar părea că variantele care îndeplinesc recomandările de proiectare încep de la  $h = 1.70$  m, dar se va trece la calculul eforturilor în tălpi și diagonale reprezentându-le de asemeni cu ajutorul volumelor asociate.

#### **4.5.2. Calculul eforturilor din barele structurii spațiale reticulate cu diferite înălțimi**

Pentru calculul eforturilor din barele structurii reticulate care are pasul rețelei  $l=2.40$  m și înălțimile cuprinse între 1.50 m și 1.90 m, cu creșterea de 0.1 m a înălțimii s-a folosit programul SAP 90, profitând de datele inițiale, pe care le aveam din calculele anterioare deja introduse și structura generată, rămânând doar pentru fiecare variantă să se facă modificări la alegerea înălțimii structurii. Caracteristicile geometrice ale secțiunii barelor (diametrii, grosimile de perete, ariile, razele de girație) au fost menținute acelea cu care s-a lucrat (rulat) în fazele anterioare.

Rularea programului de calcul al eforturilor și deplasărilor, a dus la obținerea unui volum imens de date (eforturi) care au necesitat prelucrarea și aranjarea lor în tabele sub forma de coordonate, care au fost folosite ca date de intrare pentru reprezentarea lor sub forma unor volume asociate de eforturi, pentru tălpi și diagonale și calcularea acestora cu utilitarul "PLOT 88" și SURFER", procedeul fiind identic cu cel prezentat în paragraful 4.4.4. al prezentei teze.

În prima fază, s-au stabilit pentru diferitele variante de structuri, eforturile maxime din tălpile structurilor reticulate și rigiditatea (săgeata) acestora, toate aceste date fiind prezentate în tabelul 4.12.

**Tabelul 4.12. Eforturi și deplasări maxime**

h [m]	$N_{max}$ [daN]	$f_{max}$ [cm]
1.50	38570	8.669
1.60	36190	7.683
1.70	34090	6.867
1.80	32190	6.180
1.90	30500	5.605

Din datele prezentate în tabelul 4.12 se observă că în cazul structurii reticulate cu  $h = 1.50$  m, efortul maxim este mare, iar rigiditatea cea mai scăzută, adică este varianta cu săgeata cea mai mare, diferență, față de următoarea structură cu  $h = 1.60$  m, în ceea ce privește săgeata fiind de aproape 1.00 cm, la diferența de înălțime de 10 cm a structurii.

Urmărind evoluția eforturilor și a săgeților (deformațiilor) structurii, se observă că acestea scad, iar valoarea cu care scad nu este constantă, ea micșorându-se cu cât crește înălțimea structurii, dar nici acest lucru nu se poate admite să fie oricât, deoarece se iese din recomandările uzuale de proiectare bine stabilite și se ajunge ca barele să se dimensioneze doar din condiții de zveltețe, apărând pericolul de flambaj și în special la barele care realizează diagonalele.

Pentru a concluziona se poate spune că, toate cele prezentate mai sus arată că în următoarele studii se poate renunța la varianta  $h = 1.50$  m, cel puțin atunci când vor fi studiate eforturile din diagonalele structurii, care nu au valori mult diferite funcție de înălțimea rețelei.

În tabelele 4.13, 4.14, 4.15, se prezintă volumele asociate de eforturi pentru tălpile superioare, inferioare și diagonale, calculate prin cele trei procedee de evaluare ( metoda trapezelor, metoda Simpson și metoda Simpson 3/8) iar în fig. 4.8 și fig. 4.9 sunt vizualizate volumele asociate de eforturi în tălpi și diagonale, pentru structuri cu diferite înălțimi (de la 1.5 - 1.9 m).

**Tabelul 4.13. Volume asociate de eforturi ( $V_N$ ) pentru talpa superioară (T.S.).**

H [m]	Volume $V_N$ asociate tălpii superioare cu metodele de evaluare: [mc]		
	Trapezoidală	Simpson	Simpson 3/8
1.50	22144800	22151800	22151400
1.60	20827800	20834400	20834200
1.70	19629580	19635800	19635480
1.80	18443600	18449280	18448840
1.90	17640320	17646080	17645740

**Tabelul 4.14. Volume asociate de eforturi  $V_N$  pentru talpa inferioară (T.I.).**

H [m]	Volume $V_N$ asociate a tălpii inferioare cu metodele de evaluare: [mc]		
	Trapezoidală	Simpson	Simpson 3/8
1.50	20203000	20207600	20207400
1.60	18974060	18978360	18978200
1.70	18033540	18037640	18037560
1.80	17092200	17093400	17093300
1.90	16530340	16536200	16535800

**Tabelul 4.15. Volumele asociate de eforturi  $V_N$  pentru diagonale (D)**

h [m]	Volume $V_N$ asociate diagonalelor cu metodele de evaluare : [ mc]			Volume pozitive [mc]	Volume negative [mc]	Volume cumulate în valoare absoluta
	Trapezoidală	Simpson	Simpson 3/8			
1.60	444188	444432	444530	1662180	1217484	2879664
1.70	396140	396398	396462	1579002	1182374	2761376
1.80	389090	389340	389400	1514352	1124790	2639142
1.90	378766	379028	379084	1455156	1075940	2531096

Vizualizarea volumelor asociate de eforturi prezentate în tabelele 4.13-4.15 în fig. 4.8 și fig.4.9, nu reprezintă, ca aspect, ceva spectaculos și mult diferit, față de cele prezentate la optimizarea din punct de vedere al pasului rețelei, în fig. 4.1 și fig. 4.2, doar în cazul vizualizării volumelor asociate de eforturi în diagonale, fig. 4.9.a,b,c,d, se observă modificări în formele suprafețelor, care sunt determinate de faptul că în diagonale apar alternant, eforturi de întindere, respectiv compresiune, care în figură sunt reprezentate prin porțiuni ale suprafețelor curbe concave, respectiv convexe.

Pe baza motivațiilor de mai sus, în prezenta lucrare, se vor vizualiza doar volumele asociate de eforturi în tălpile superioare, al structurilor reticulate, aspectul volumelor asociate ale eforturilor din tălpile inferioare fiind aceleași, doar valoric fiind mai mici și cele ale volumelor asociate de eforturi din diagonalele structurilor.

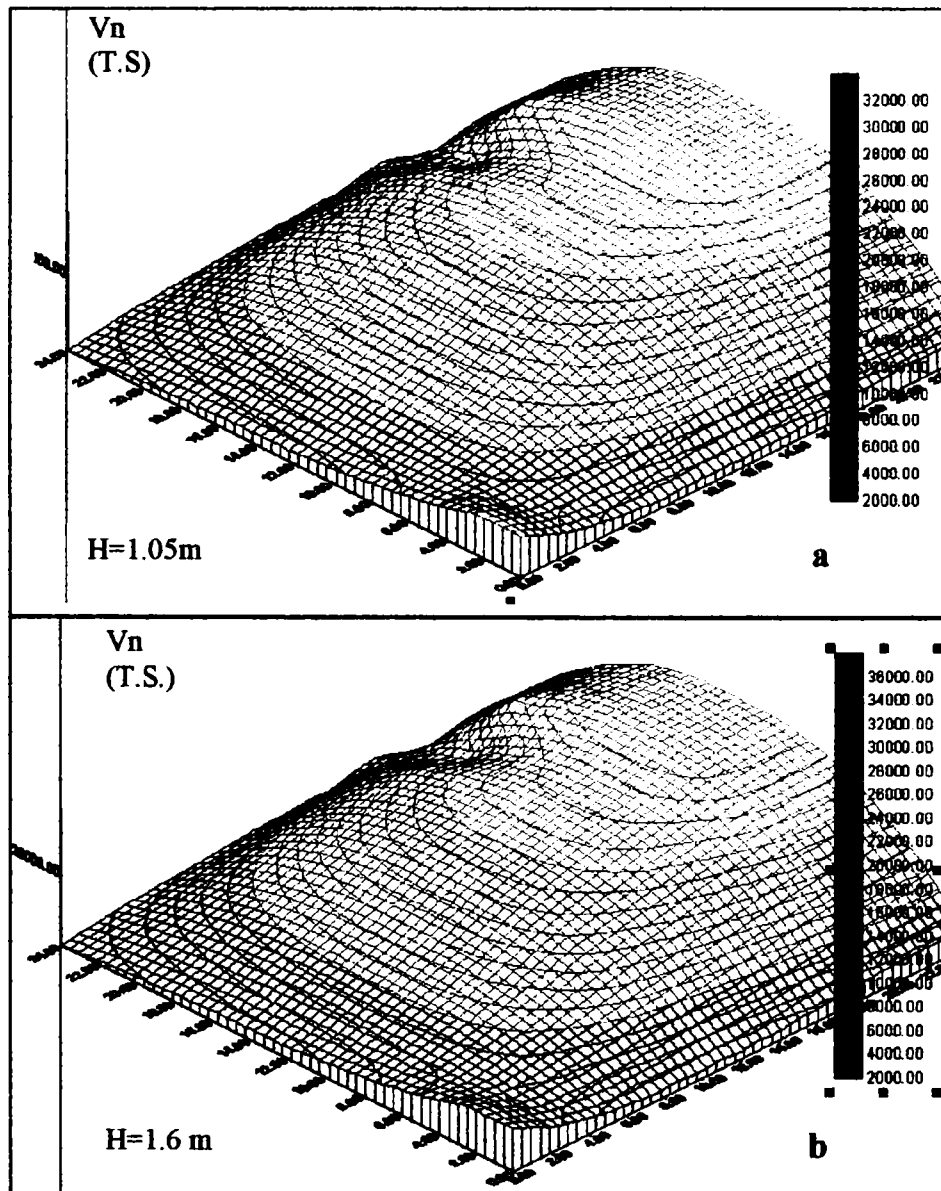


Fig. 4.8. Volume asociate de eforturi  $V_N$  pentru talpa superioară la structuri cu  $h = (1,5 - 1,9)$  m

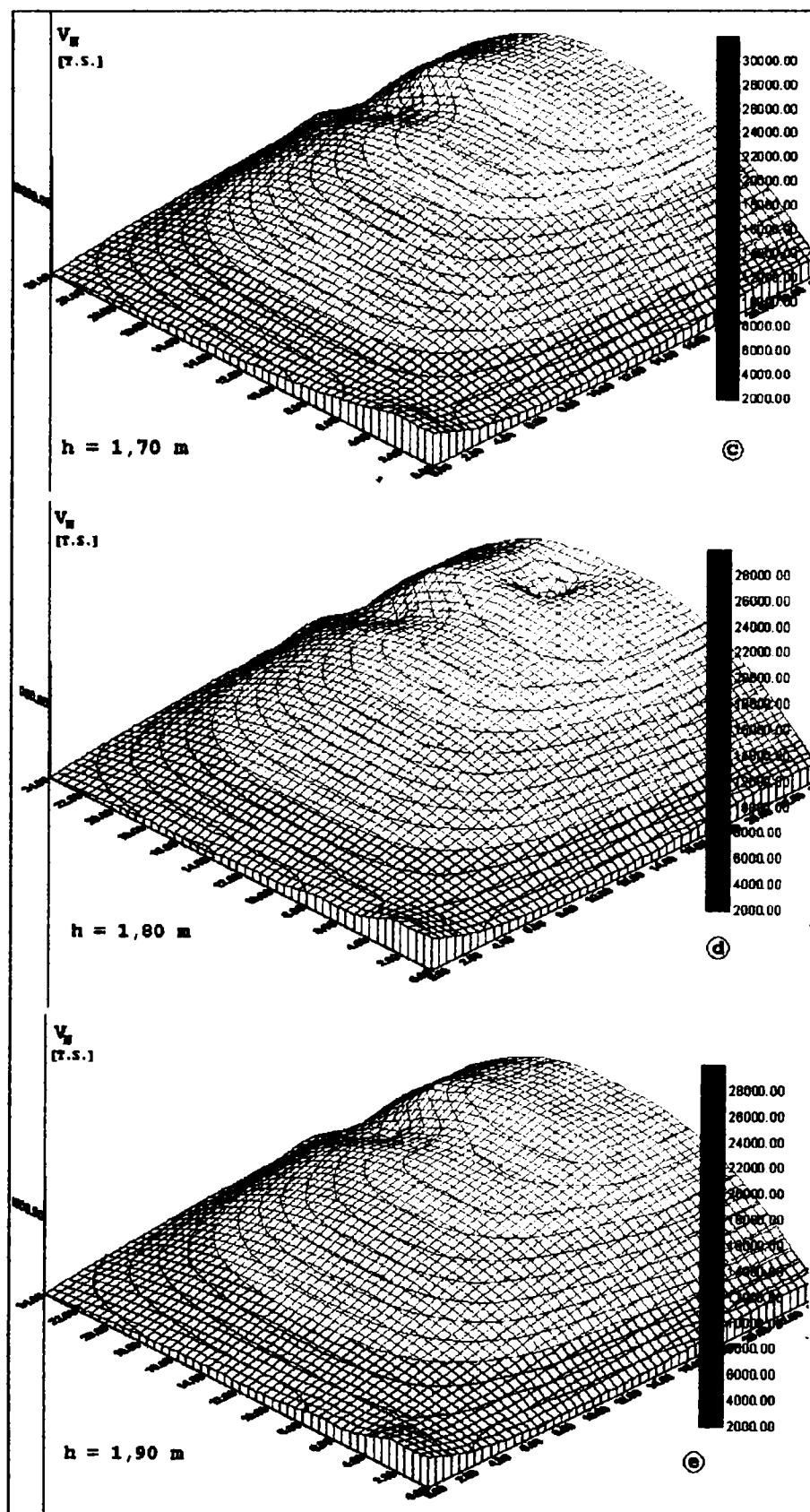


Fig.4.8 (continuare). Volume asociate de eforturi  $V_N$  pentru talpa superioară la structuri cu  $h = (1,7 - 1,9)$  m

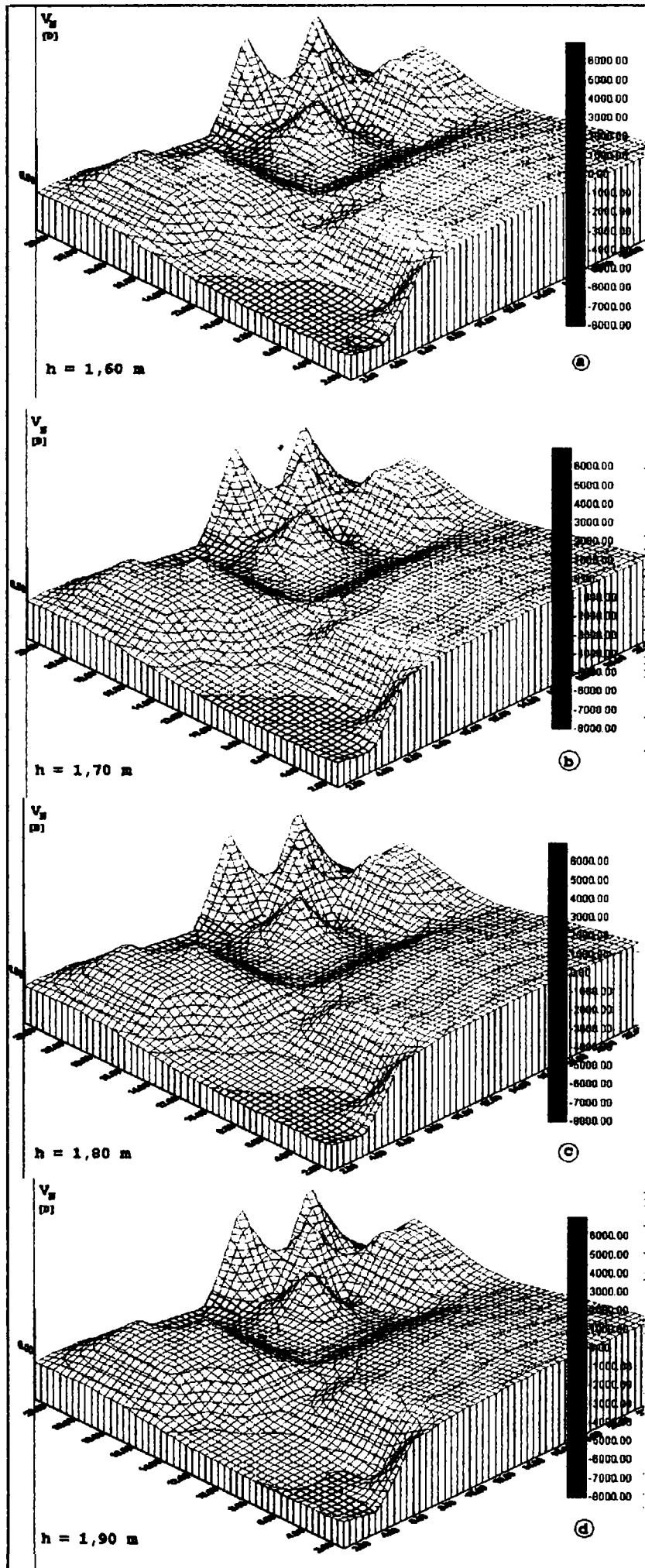


Fig. 4.9. Volume asociate de eforturi  $V_N$  pentru diagonalele structurilor cu  $h = (1,6 - 1,9) \text{ m}$

Rezultatele obținute în aceasta etapa a studiului, care sunt evidențiate în tabelele 4.13 - 4.15 pentru a se compara mai ușor, se reprezintă în cele trei grafice din fig. 4.10, care indica variația volumelor asociate de eforturi pentru tălpi și diagonale în variantele de structuri reticulate cu înălțimi  $h = (1.50 \dots -1.90)$  m.

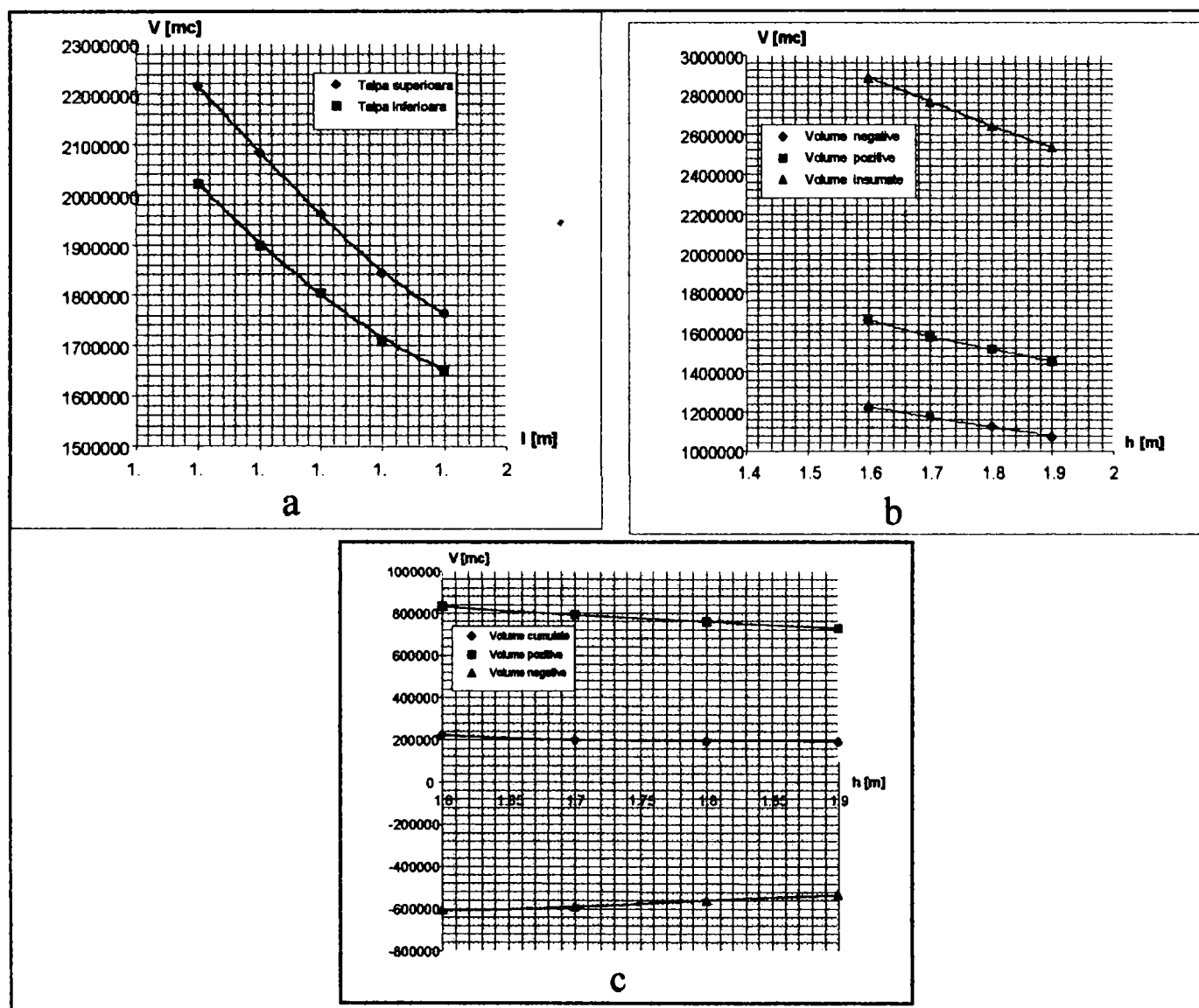


Fig.4.10. Variația volumelor asociate de eforturi VN în tălpile și diagonalele structurilor cu  $h = 1,5 - 1,9$  m

În fig. 4.10.b sunt reprezentate mărimile volumelor asociate de eforturi pentru diagonale, în valori absolute, atât pentru diagonale întinse, cât și comprimate, adică toate în zona pozitivă a graficului și rezultanta acestora, obținută prin însumarea valorilor absolute, iar în fig. 4.10.c, sunt reprezentate mărimile volumelor asociate de eforturi pentru diagonale cu semnele rezultate din calculul static și calculate cu cele trei metode de evaluare, iar rezultanta acestora,



s-a obținut prin însumarea algebrică, ea fiind pozitivă, ceea ce semnifică faptul, că în structura sunt mai multe diagonale întinse decât comprimate, fapt care reprezintă un avantaj pentru construcțiile metalice în general, excluzând apariția flambajului.

Graficele din fig.4.10, arată că mărirea înălțimii structurii reticulate este de bun augur, ducând la micșorarea eforturilor în toate categoriile de bare și automat sugerând faptul că o structura cu înălțime cât mai mare, se recomandă a fi aleasă, întrucât va avea eforturile cele mai mici.

Este adevărat ca teoretic așa se întâmplă, dar în practică este necesar a se ține cont de recomandările referitoare la înălțimile structurilor, funcție de deschiderea acestora, recomandări confirmate de structuri deja proiectate și executate, cât și de faptul că majorarea înălțimii structurii conduce la majorarea lungimii barelor, care formează familia diagonalelor și care în proporție destul de mare sunt comprimate, respectiv expuse fenomenului de flambaj.

Din recomandările de proiectare a structurilor reticulate ( înălțime a structurii, unghiul diagonalelor cu planul stâlpilor) cât și din evidențierea în tabelul 4.16 a diferențelor de eforturi, corespunzătoare structurilor cu înălțimi diferite, se observa că sunt cele mai avantajoase (ca eforturi) în cazul structurii cu  $h = 1.70$  m, în jurul acestei înălțimi rezultând diferențele cele mai acceptabile, vizând trecerea de la  $h=1.60$  m la  $h = 1.70$  m în cazul tălpilor superioare și de la  $h = 1.70$  m la  $h=1.80$  m, în cazul tălpilor superioare și a diagonalelor, la acestea din urmă diferența fiind extrem de avantajoasă.

**Tabelul 4.16. Diferențe de volum asociate de eforturi**  $\Delta V_N = V_N^{i+1} - V_N^i$  [mc]

$h_i - h_{i+1}$ [m]	Talpa superioară $\Delta V_N$ [mc]	Talpa inferioară $\Delta V_N$ [mc]	Diagonale $\Delta V_N$ [mc]
1.50 - 1.60	1317000	1228940	
1.60-1.70	1198220	<b>940520</b>	48048
1.70- 1.80	<b>1185980</b>	941340	<b>7050</b>
1.80-1.90	803280	561860	10324

Din tabelul 4.16 pentru tălpi, atât superioare cât și inferioare, se observă că

diferența este mai mică pentru  $h = 1.80$  m și  $h = 1.90$  m, dar aceste înălțimi sunt puțin mai mari ca cele cuprinse în recomandările de proiectare și deci excluse din posibilitatea de a le alege.

### 4.5.3. Concluzii

Alegerea înălțimii optime a structurilor reticulate, s-a făcut ținând cont de recomandările de proiectare în ceea ce privește raportul între deschiderea minimă a structurii și valori stabilite în decursul proceselor de proiectare și realizare a construcțiilor metalice de acest tip [19]. S-a ținut seama și de înclinarea diagonalelor față de planul tălpilor și nu în ultimul rând de lungimea acestora, care poate influența zveltețea lor și implicit stabilitatea lor la flambaj.

Rigiditatea structurilor reticulate crește odată cu înălțimea acestora, dar nu proporțional, la început mai mult, iar în continuare, diferența săgeților, calculate pentru înălțimi ale structurii, care cresc cu aceeași valoare, scad cu valori tot mai mici, așa cum se vede în tabelul 4.17, dar nici în acest caz nu se poate continua cu majorarea înălțimii structurii, pentru a obține deformațiile cele mai mici, deoarece intervin condițiile restrictive, care limitează aceasta înălțime.

**Tabelul 4.17. Deformațiile structurii și diferențele între ele**

h [m]	$f_{\max}$ [cm]	$h_i - h_{i+1}$ [m]	$\Delta f = f_i - f_{i+1}$ [cm]
1.50	8.669	1.50...1.60	0.986
1.60	7.683	1.60...1.70	0.816
1.70	6.867	1.70...1.80	0.687
1.80	6.180	1.80...1.90	0.575
1.90	5.605		

Eforturile în barele structurii scad odată cu creșterea înălțimii structurii, dar se observa ca pentru structura cu înălțimea  $h = 1.70$  m, acestea au diferențele cele mai

mici comparativ cu cele ale structurilor cu înalțimi mai mari  $h = 1.80$  m și mai mici  $h = 1.60$ m, iar valoric ele nu sunt nici exagerat de mari ca să necesite dimensiuni mari ale barelor și nici foarte mici, ca să oblige la dimensionare din condiție de zveltete.

Coeficienții de zveltete pentru diagonalele structurilor cu înalțimi  $h > 1.70$ m, cresc, ajungând să fie dimensionate din condiții de rigiditate și nu de solicitare la capacitatea maximă portantă, ceea ce duce la consum suplimentar de materiale metalice.

Eforturile și deformațiile structurii reticulate cu  $h = 1.70$  m și  $h = 1.80$ m adică la cca  $(1/14 \dots 1/15) L$  sunt optime, ceea ce face ca această structură în comparație cu celelalte studiate să fie desemnata ca fiind **structura cu înalțime optimă**, pentru acoperișul cu dimensiunile 24x48 m.

## **4.6. OPTIMIZAREA STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE, DIN PUNCT DE VEDERE AL MODULUI DE REZEMARE**

### **4.6.1. Considerații generale**

În calculul, proiectarea și execuția structurilor reticulate pentru acoperișuri, modul de rezemare al acestora, pot influența eforturile din barele structurii cât și volumul de manoperă consumată în acest scop.

Reazemele structurii spațiale, sunt elemente importante și deosebite de celelalte componente ale structurii, prin modul lor de acțiune, ele pot modifica din punct de vedere static, rezemarea structurii și implicit introducerea de eforturi suplimentare în structură.

În prezentul paragraf, se vor considera rezemări ale structurii doar la nodurile de contur, de la talpa superioară, respectiv de la talpa inferioară, alcătuite sub formă de articulații și reazeme simple, astfel încât să elimine eventualele tendințe de ridicare ale structurii de pe conturul construcției, ca urmare a unei eventuale succțiuni, datorate vântului, ipoteza eliminată din calcul deja din start.

Rezemările se vor realiza astfel ca pe una din laturile lungi acoperite, toate

să fie articulații, care să nu permită deplasări, decât rotiri ale structurii, iar pe celelalte laturi rămase, să se facă rezemare simplă, care să permită deplasări în planul structurii și rotiri în plan perpendicular acestea.

În lucrarea de față, se vor trata și studia, acoperișuri reticulate cu rezemari pe conturul tălpii superioare și inferioare, concluzionându-se în final, care va fi ipoteza de rezemare cea mai avantajoasă.

#### **4.6.2. Rezemarea structurilor spațiale reticulate în nodurile de contur ale tălpii superioare**

Această modalitate de rezemare, a structurilor spațiale reticulate, prezintă de la început un mic dezavantaj în sensul că, porțiunea de acoperiș de sub planul tălpii superioare se află în incinta construcției acoperite, în acest fel reducând din spațiul util al acestea pe înălțime, o porțiune egală cu înălțimea structurii reticulate și astfel obligând majorarea înălțimii; stâlpilor de susținere sau a pereților de susținere a structurii reticulate, pentru a asigura sub structură gabaritul util necesar. În schimb, are avantajul că asupra structurii acoperișului, pe înălțimea sa, nu va acționa presiunea laterala a vântului.

După modul de rezemare a structurilor reticulate în nodurile de contur ale tălpiilor superioare, variantele, respectiv ipotezele studiate au fost următoarele:

- Ipoteza 1 - rezemarea structurii reticulate în fiecare nod de contur al tălpii superioare;
- Ipoteza 2 - rezemarea structurii reticulate din două în două noduri de contur ale tălpii superioare;
- Ipoteza 3 - rezemarea structurii reticulate din patru în patru noduri de contur ale tălpii superioare;
- Ipoteza 4 - rezemarea structurii reticulate din cinci în cinci noduri de contur ale tălpii superioare.

Calculul eforturilor și deformațiilor barelor se va face în toate ipotezele enumerate pentru structura cu dimensiunea în plan de **24 x 48 m**, pasul rețelei  **$l = 2.40 \text{ m}$**  și înălțimea structurii reticulate  **$h = 1.70 \text{ m}$** , cu încărcările stabilite în paragraful 4.4.2., cu ajutorul programului de calcul automat SAP 90 [70].

După rularea programului și prelucrarea datelor s-a trecut la reprezentarea volumelor asociate de eforturi în tălpile structurii, cu ajutorul utilitarului “PLOT 88” și “SURFER”, care sunt vizualizate în fig. 4.11, 4.12, 4.13, 4.14.

Vizualizarea volumelor asociate de eforturi în cele patru ipoteze de rezemare pe conturul tălpii superioare, dau posibilitatea observării repartiției eforturilor în ipotezele de rezemare și o primă comparare calitativă a acestora.

*Ipoteza 1* de rezemare fig.4.11. este deja cunoscută și folosită în subcapitolele 4.4 și 4.5., în care s-a stabilit pasul optim al rețelei, respectiv înălțimea optimă a structurii reticulate, reprezentarea grafică a volumelor asociate de eforturi în tălpi, prezentând volume cu suprafețe netede fără denivelări spectaculoase, ceea ce arată că în barele structurii nu sunt eforturi mult diferite în zone învecinate, iar mărimea și distribuția lor este normală, crescând de la contur spre mijlocul structurii.

*Ipoteza 2* de rezemare fig.4.12. din două în două noduri de contur, în reprezentarea volumelor asociate de eforturi în tălpi, se observă că pentru talpa inferioară, asemănător cu reprezentarea de la ipoteza 1, nu sunt modificări spectaculoase în forma suprafeței, doar ca valorile înscrise pe scala de măsură sunt mai mici, în schimb pentru talpa superioară este foarte sugestivă în a prezenta faptul că eforturile nu mai sunt constante, iar dispunerea nodurilor de reazem se evidențiază prin valori maxime, ale suprafeței curbilini în dreptul acestora, linia de referință fiind conturul structurii.

*Ipoteza 3*, care s-a vizualizat în fig. 4.13 și prezintă volumele asociate de eforturi pentru tălpile superioare și inferioare, la care rezemarea se realizează din patru în patru noduri de contur, aduce o noutate în sensul că efectul rezemării în nodurile de contur ale tălpii superioare, se resimte și asupra eforturilor din barele tălpii inferioare, după cum se arată în fig. 4.13.b., este drept că nu cu aceeași valoare și nu cu aceleași creșteri și descreșteri bruște ale mărimii efortului ca și la talpa superioară.

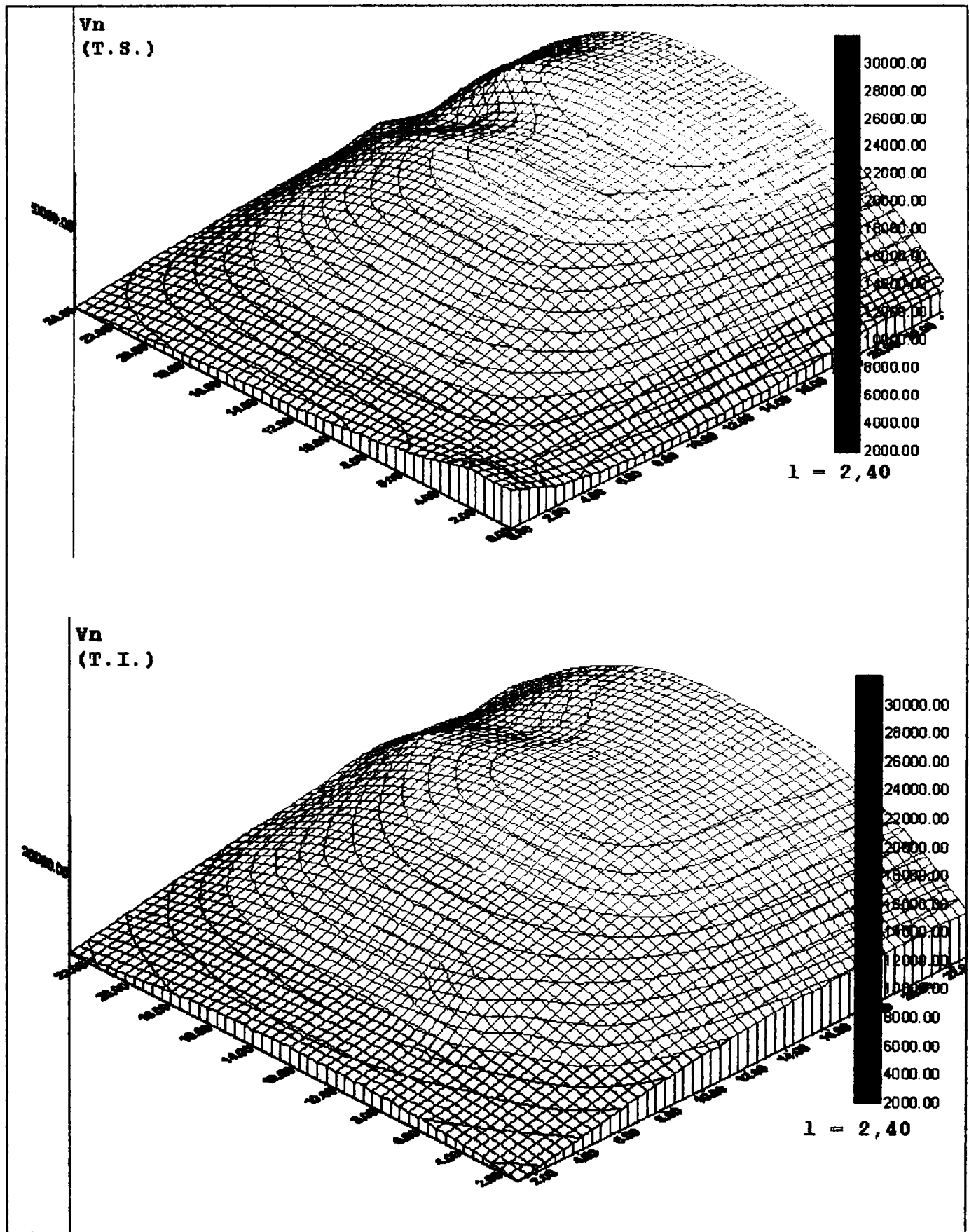


Fig. 4.11. Volume asociate de eforturi  $V_N$  pentru tăpile superioare și inferioare în ipoteza 1 de rezemare (în fiecare nod de contur)

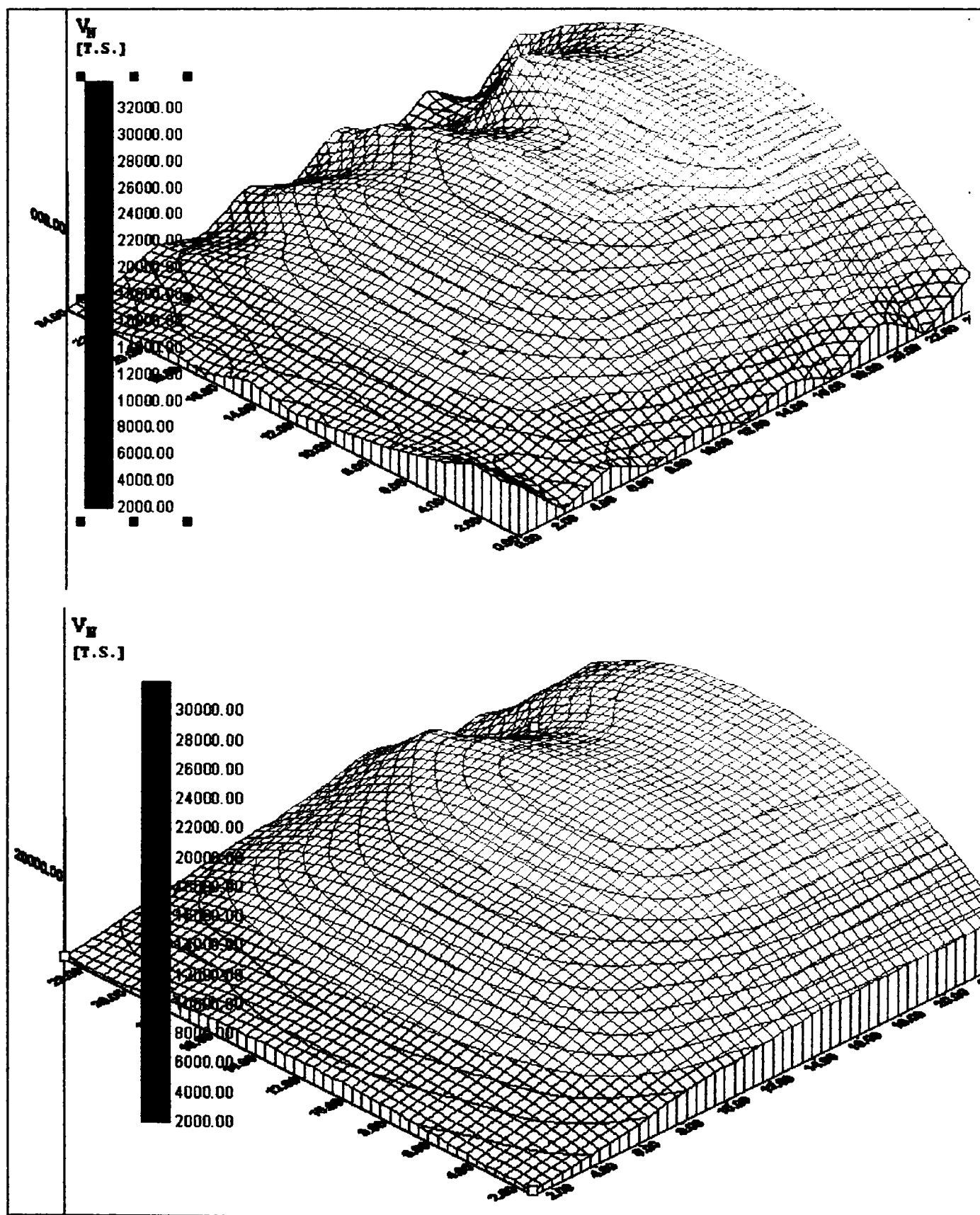


Fig. 4.12. Volume asociate de eforturi  $V_N$  pentru tălpile superioare și inferioare în ipoteza 2 de rezemare (din 2 în 2 noduri de contur)

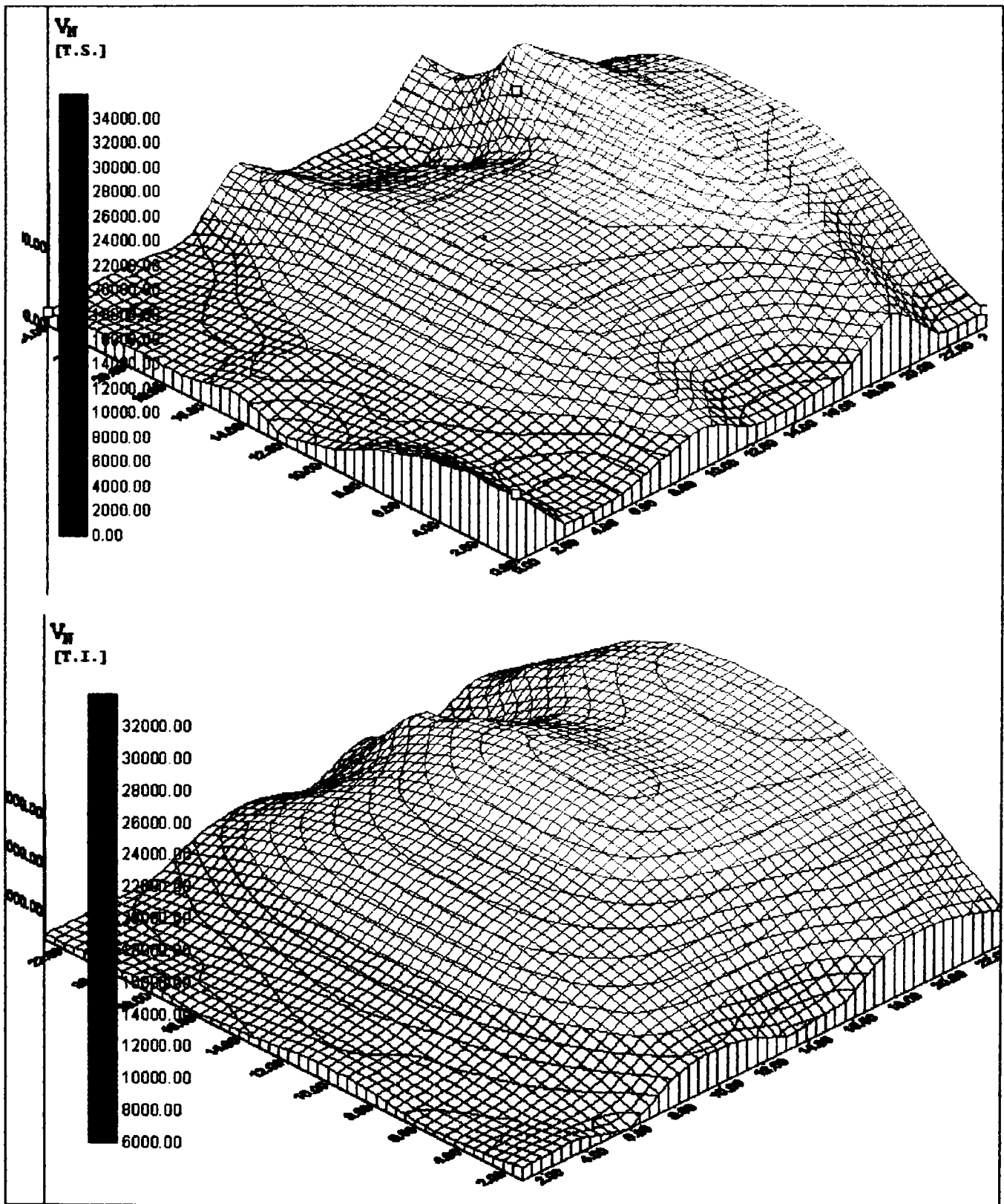


Fig. 4.13. Volume asociate de eforturi  $V_N$  pentru tăpile superioare și inferioare în ipoteza 3 de rezemare (din 4 în 4 noduri de contur)



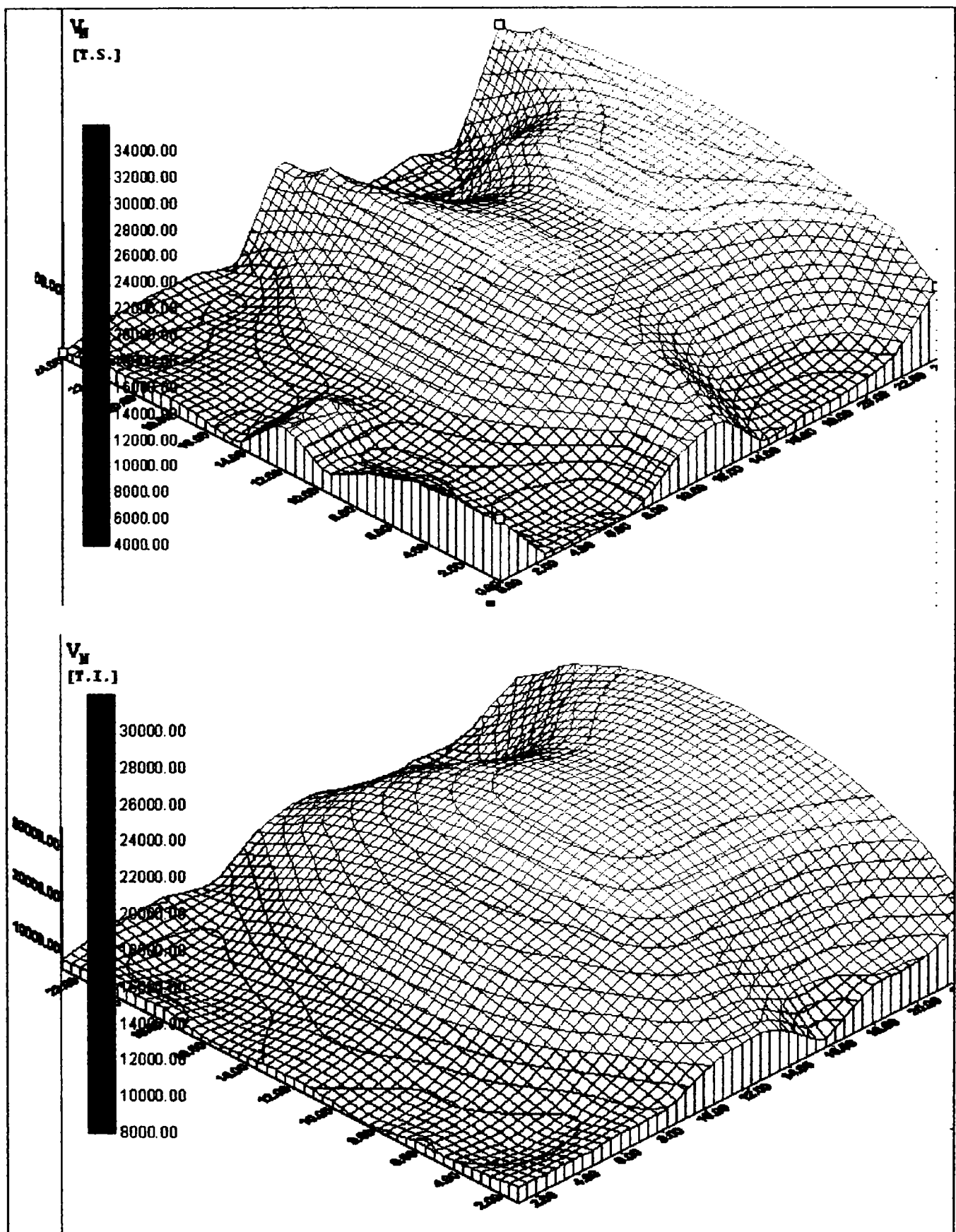


Fig. 4.14. Volume asociate de eforturi  $V_N$  pentru tăpile superioare și inferioare în ipoteza 4 de rezemare (din 5 în 5 noduri de contur)

În această ipoteză de încărcare, doar dintr-o simplă comparare a scalei gradate, cu aceea de la ipotezele precedente, ne arată că eforturile în bare sunt mult mai mari, iar reprezentarea grafică evidențiază valori ale eforturilor foarte neomogene, cu creșteri și scăderi substanțiale.

**Ipoteza 4**, de rezemare din cinci în cinci noduri de contur, reprezentată în fig. 4.14, ca volume asociate de eforturi pentru cele două tălpi, arată a fi cea mai spectaculoasă, respectiv cea mai denivelată și în special talpa superioară fig. 4.14.a, cu salturi mari ale eforturilor în dreptul reazemelor și “căderi” tot atât de spectaculoase între ele.

La talpa inferioară, fig. 4.14.b., influența rezemării este resimțită, dar distribuția eforturilor este normală și fără creșteri bruște ale acestora.

Din vizualizarea volumelor asociate de eforturi ale tălpilor, nu s-a reușit să se evedentieze care ipoteză de rezemare, la talpa superioară, ar fi cea optimă, deși calitativ s-ar părea că ipoteza 1 - rezemare în fiecare nod de contur, are repartitia eforturilor în tălpi cea mai uniformă.

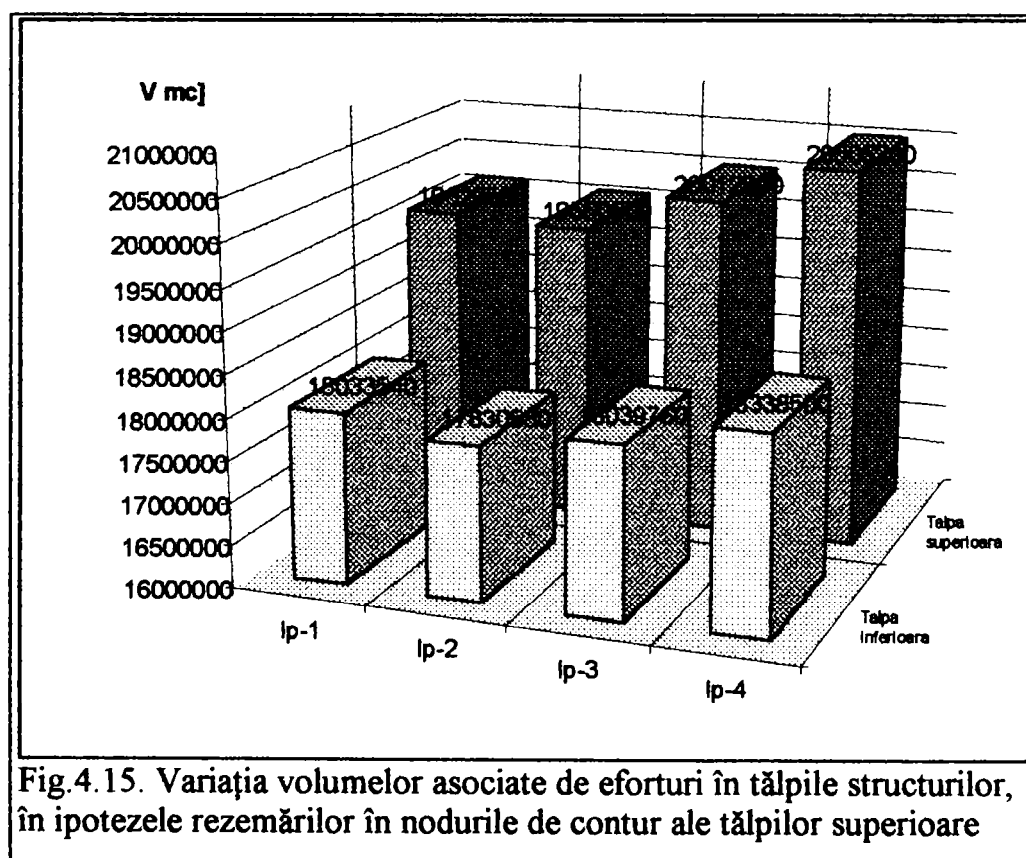
**Tabelul 4.18. Volume asociate de eforturi ( $V_N$ ) pentru tălpile structurilor (T.S. și T.I.) în diferite ipoteze de rezemare pe contur la talpa superioară.**

Ipoteza de rezemare	$f_{\max}$ [cm]	Volume asociate de eforturi evaluate cu metodele: [mc]	
		Trapezoidală Simpson Simpson 3/8 pentru talpa superioară(T.S):	Trapezoidală Simpson Simpson 3/8 pentru talpa inferioară (T.I.):
Ipoteza 1	6.867	19629580	18033540
		19635800	18037640
		19635480	18037560
Ipoteza 2	7.026	19560500	17830580
		19564080	17835060
		19562380	17834840
Ipoteza 3	7.597	20012800	18039760
		20016000	18043160
		20013000	18043080
Ipoteza 4	7.979	20505200	18338500
		20501800	18339440
		20499800	18339160

Pentru a ajunge la o concluzie evidenta și palpabila, au fost calculate cu metodele utilizate și în subcapitolele precedente, volumele asociate de eforturi în tălpi, care sunt evidentiata în tabelul 4.18.

Analizând variația volumelor asociate de eforturi pentru tălpile structurii, se remarcă faptul că, ipoteza 2 de rezemare a structurii reticulate din doua în doua noduri de contur de la talpa superioara, da cele mai mici valori, deci admite un minim, adică este structura optima din punct de vedere a rezemării la talpa superioara.

Pentru a se realiza o comparație cât mai sugestivă, am reprezentat grafic în fig. 4.15, volumele asociate de eforturi pentru tălpi în cele patru ipoteze.



Examinarea graficelor evidenziază faptul că în cazul ipotezei 2 de rezemare, structura este cel mai puțin solicitată, deci optimă, dar nici în cazul ipotezelor 1 și 3 de rezemare creșterea volumelor asociate nu sunt semnificative, astfel pentru ipoteza 1, volumul asociat efortului este cu 0.3% mai mare, respectiv în cazul ipotezei 3 cu 2.3 % mai mare decât volumul asociat efortului calculat

pentru ipoteza 2.

Alegerea modului de rezemare, datorită valorilor apropiate ale eforturilor în barele tălpilor, se va face și din considerente economice și constructive.

În ipoteza 1 de rezemare, numărul nodurilor de reazem este mare, asta ar presupune fie o rezemare a nodurilor pe o grindă cu o rigiditate deosebită, pentru a nu suferi deplasări pe verticală, care sunt excluse din start, fie că sub fiecare nod de reazem să se așeze un stâlp, ipoteză care nu are justificare.

În ipoteza 3 de rezemare, numărul nodurilor de reazem este cel mai mic, așezarea lor pe o grindă de contur ar fi posibilă, ca de altfel și dispunerea câte unui stâlp sub fiecare nod de reazem, în acest caz traveea rezultând egală cu 9.60 m.

În ipoteza 2 de rezemare, numărul nodurilor de reazem este satisfăcător, ele nefiind prea multe, dar în același timp nici prea rare, iar așezarea lor pe stâlpi, ar presupune ca traveea construcției să fie de 4.8 m.

În concluzie, după cele expuse mai sus, se considera că rezemarea la talpa superioară a structurilor reticulate *este optimă în ipoteza 2 de rezemare, adică din două în două noduri.*

În tot acest studiu, eforturile în diagonalele structurii reticulate, nu s-au evidențiat, deoarece ele sunt foarte mici, în comparație cu cele din tălpi, aproape constante și nu constituie elemente care să poată hotărî alegerea optimului.

#### **4.6.3. Rezemarea structurilor spațiale reticulate în nodurile de contur ale tălpii inferioare**

Rezemarea structurilor spațiale reticulate la talpa inferioară prezintă avantajul că nu mai ocupă spațiul din volumul centralei, pe înălțime, iar stâlpii pe care se reazemă structura, în acest caz vor fi mai scurți cu cel puțin mărimea înălțimii structurii reticulate, ceea ce va duce la secțiuni mai reduse din acest punct de vedere, întrucât scad lungimile de flambaj.

Rezemarea structurilor spațiale la talpa inferioară, mai prezintă și avantajul că pe înălțimea structurii, în spațiul dintre talpa superioară și talpa inferioară a

acestea pot monta geamuri care să asigure o iluminare naturală cât mai bună în centrală, dar acestea vor trebui să fie de grosime mare sau armate, întrucât asupra lor vor acționa presiunea vântului.

După posibilitățile de rezemare a structurii reticulate în nodurile de contur ale tălpii inferioare, în prezenta lucrare s-au studiat următoarele ipoteze de rezemare:

- ***Ipoteza 5*** - rezemarea structurii reticulate în fiecare nod de contur al tălpii inferioare;
- ***Ipoteza 6*** - rezemarea structurii reticulate din două în două noduri de contur ale tălpii inferioare;
- ***Ipoteza 7*** - rezemarea structurii reticulate din trei în trei noduri de contur ale tălpii inferioare.
- ***Ipoteza 8*** - rezemarea structurii reticulate din patru în patru noduri de contur ale tălpii inferioare.

Calculul eforturilor și deformațiilor în barele structurii se face cu programul SAP 90, considerând structura încărcată cu încărcările stabilite în subcapitolul 4.4.2.

Rezultatele obținute în urma calculului automat [70] au fost transpuse în imagini, sub forma unor volume asociate de eforturi [56,67] pentru tălpile superioare și tălpile inferioare, ale structurilor reticulate, redată în fig. 4.16 - 4.19, folosind utilitarele "PLOT 88" și "SURFER", după o prealabilă și laborioasă prelucrare a datelor, rezultate în urma calculului cu programul SAP 90. Nici în această fază a studiului nu s-au luat în calcul eforturile din diagonalele structurilor, deoarece în ele apar eforturi foarte mici, comparativ cu cele din tălpi și fără diferențe notabile pentru diferitele ipoteze de rezemări, care să poată orienta concluzia de optim, spre una sau alta din structurile studiate. Numeroase bare care formează diagonalele și în aceste ipoteze sunt dispuse și dimensionate în structură din condiție de zveltete.

Vizualizarea volumelor asociate de eforturi în tălpile structurilor reticulate,

considerate ca fiind rezemate în nodurile de contur ale tălpilor inferioare în ipotezele 5,6,7 și 8, permit în prima fază o apreciere calitativă a lor, respectiv observarea monotoniei sau a diferentelor de eforturi în diversele modalități de rezemare.

***Ipoteza 5***, de rezemare în fiecare nod de contur a tăpii inferioare a structurii, vizualizată în fig. 4.16, nu prezintă modificări spectaculoase în reprezentarea volumelor asociate de eforturi pentru tăpile superioare și inferioare, singura deosebire la prima vedere, față de aceeași ipoteza de rezemare, dar la nodurile de contur ale tălpilor superioare, în valorile maxime ale volumelor reprezentate care în acest caz sunt mai mici.

***Ipoteza 6***, de rezemare, din două în două noduri de contur ale tălpilor inferioare, care are volumele asociate de eforturi în tăpi vizualizate în fig. 4.17, pentru talpa inferioară fig. 4. 17.b. în zona conturului de rezemare, se observă o denivelare a suprafeței volumului reprezentat, cu valori marite în dreptul reazemelor, care scad între acele puncte și aceasta în special pe latura lungă, acolo unde reazemele se considera articulatii, dar nu au fluctuațiile care apar în ipoteza 2, fig. 4.12.a, pe conturul de rezemare.

Talpa superioară nu prezintă diferențe vizibile la reprezentarea volumelor asociate, față de similara ei de la ipoteza 5, doar că se remarcă valori ceva mai mari.

***Ipoteza 7*** de rezemare, din trei în trei noduri de contur ale tălpilor inferioare, vizualizată în fig. 4.18 prin volumele asociate de eforturi în tăpi, față de ipoteza 6, prezintă deosebiri la eforturile din tăpile superioare, în care se poate remarca, pe contur, zona punctelor de rezemare prin valori mai ridicate a suprafeței curbilinii, care semnifică valorile eforturilor.

Această ipoteză de rezemare, din trei în trei noduri de contur la tăpile superioare nu s-au studiat întrucât nu era posibilă realizarea ei, astfel ca structura să prezinte axa de simetrie, care să fie situată pe jumătatea lungimii construcției.

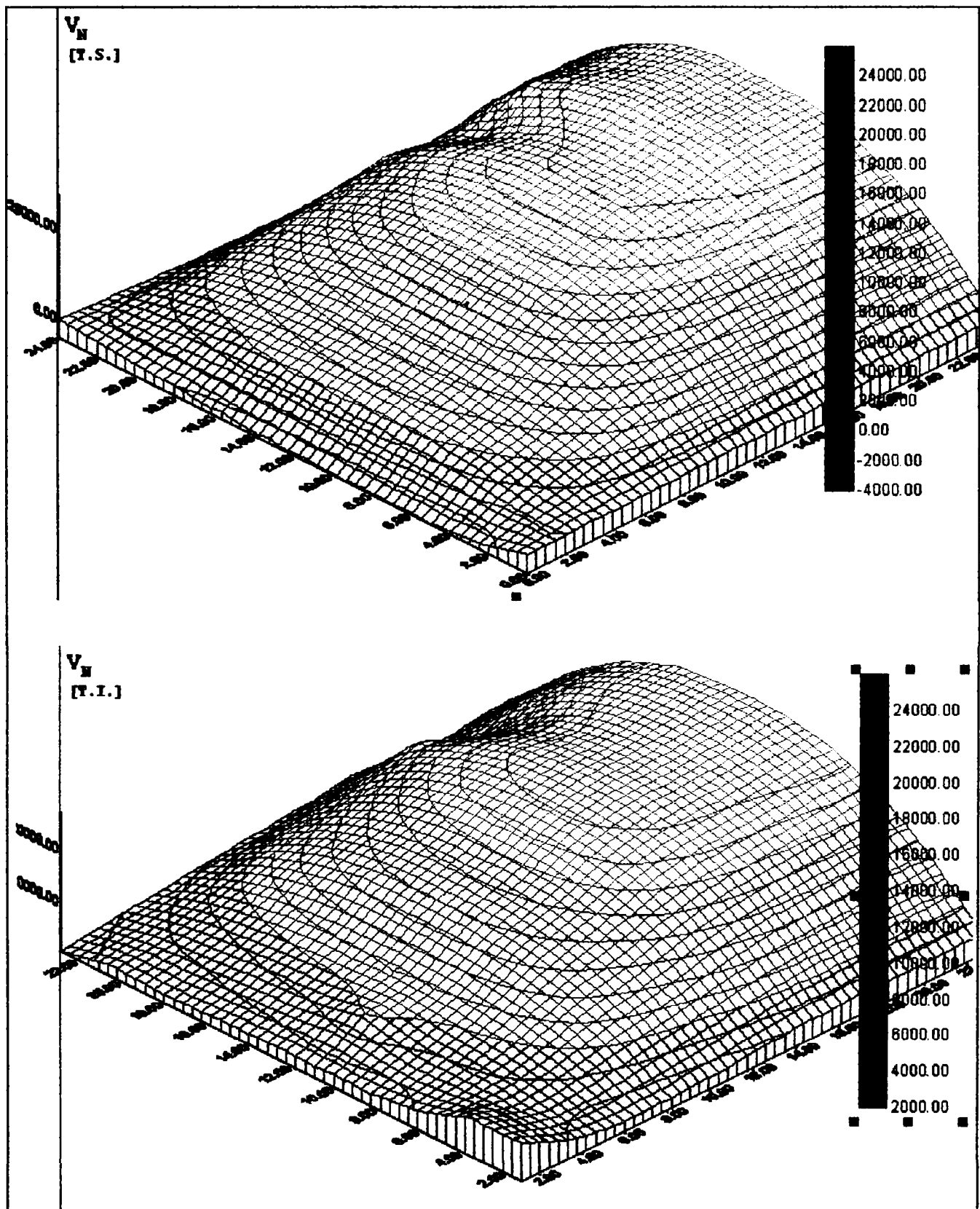


Fig. 4.16. Volume asociate de eforturi pentru tălpile superioare și inferioare în ipoteza 5 de rezemare (în fiecare nod de contur)

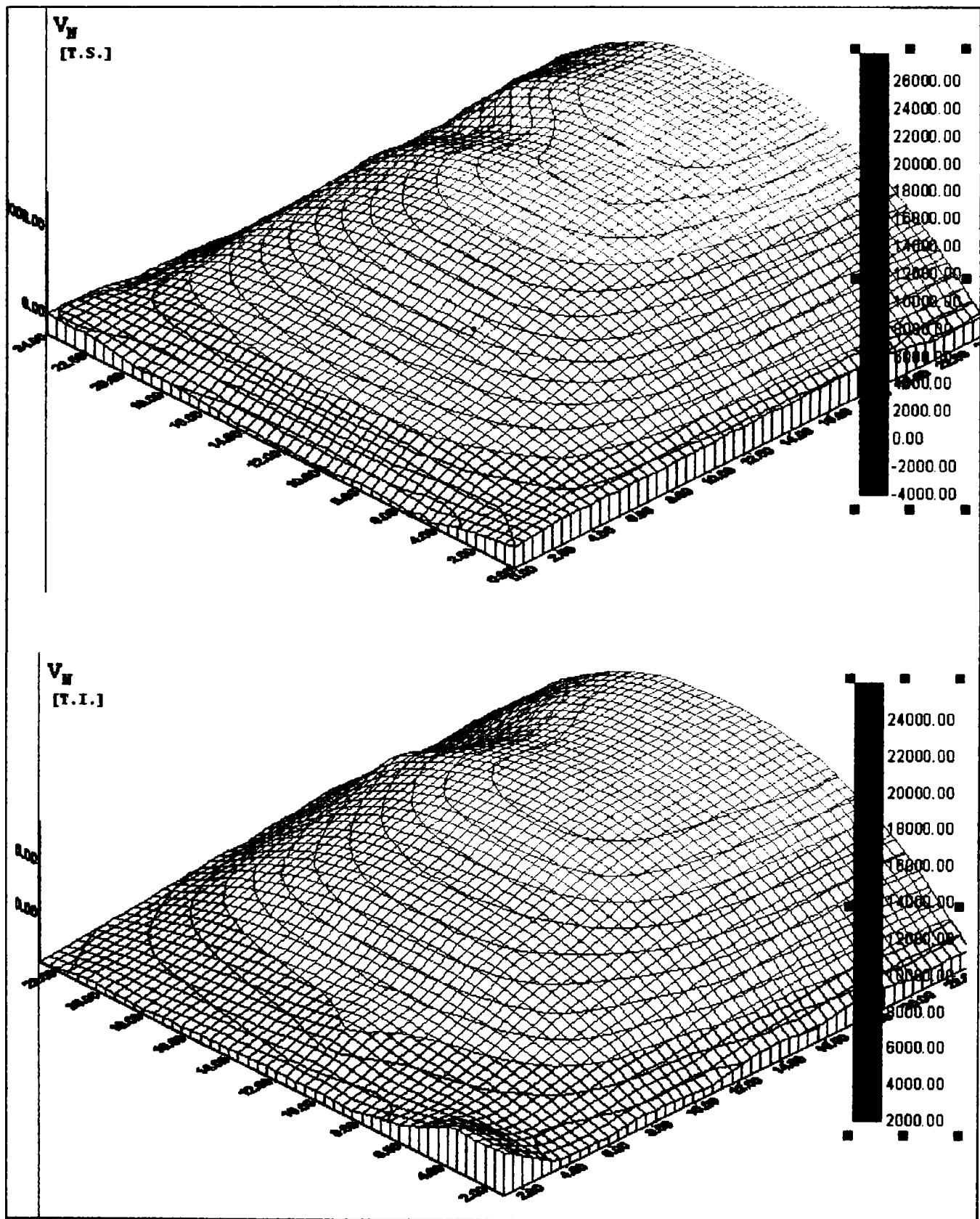


Fig. 4.17. Volume asociate de eforturi pentru tălpile superioare și inferioare, în ipoteza 6 de rezemare (din 2 în 2 noduri)



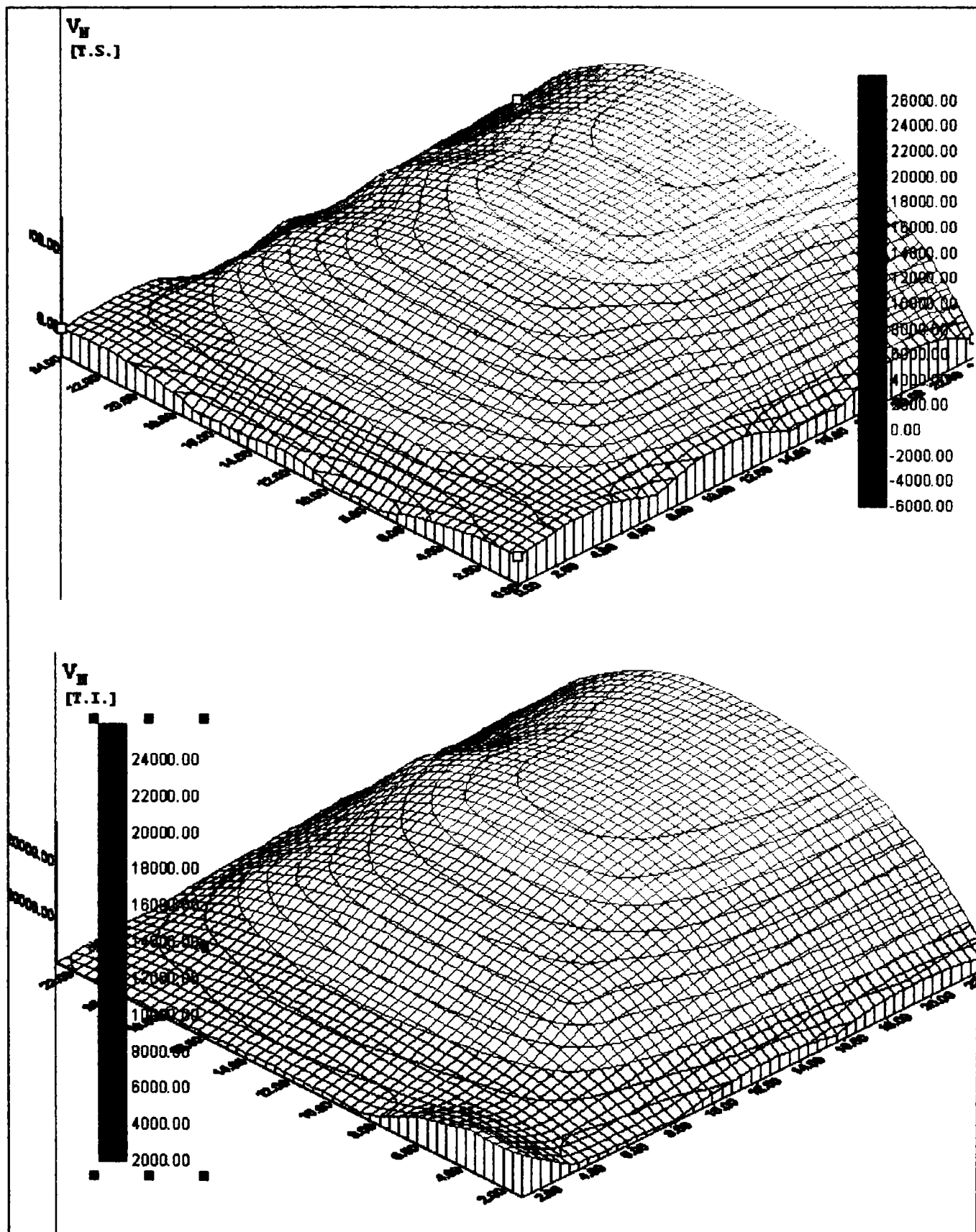


Fig. 4.18. Volume asociate de eforturi pentru tălpile superioare și inferioare în ipoteza 7 de rezemare (din 3 în 3 noduri)

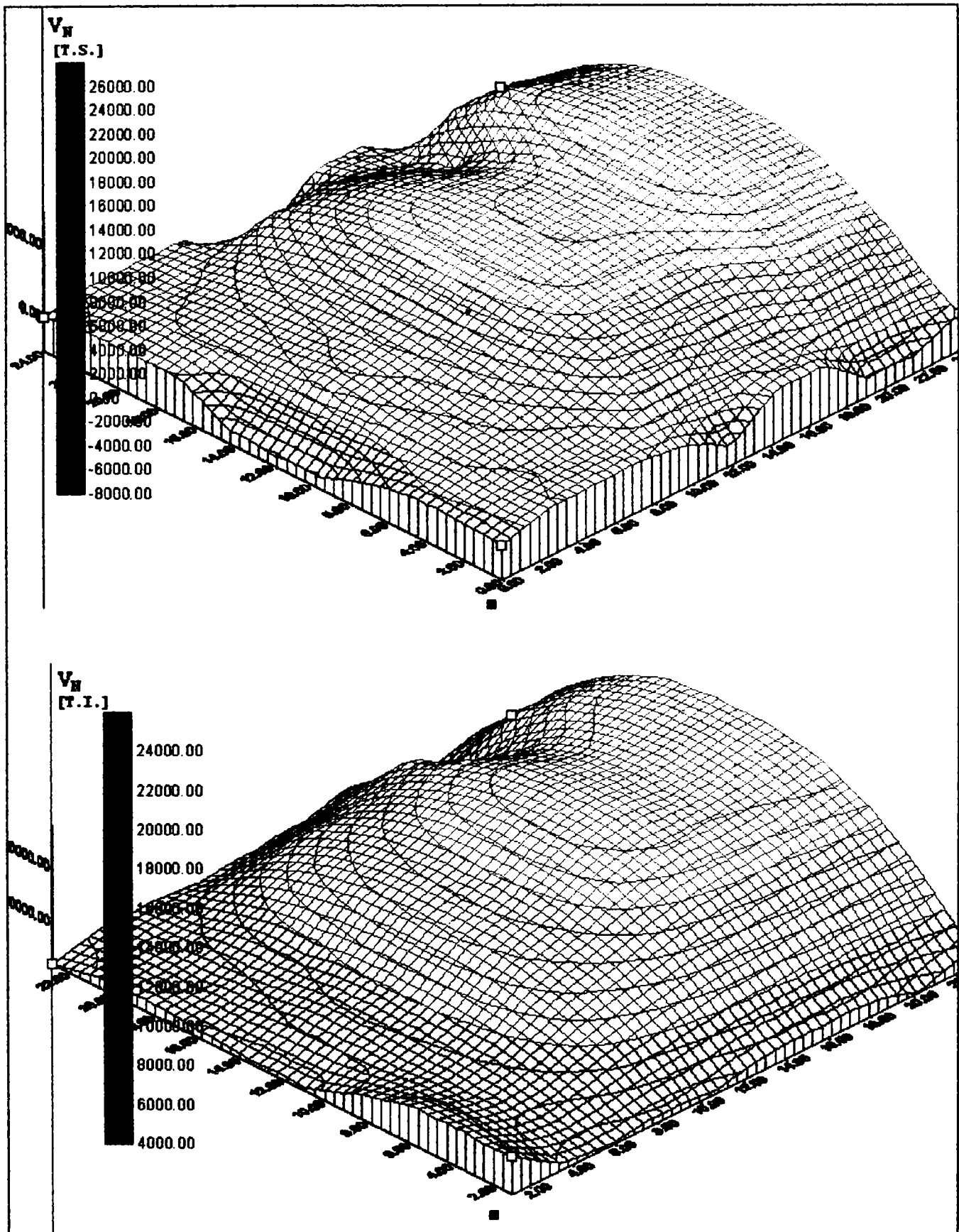


Fig. 4.19. Volume asociate de eforturi pentru tăpile superioare și inferioare în ipoteza 8 de rezemare (din 4 în 4 noduri de contur)

**Ipoteza 8** de rezemare, din patru în patru noduri de contur ale tălpii inferioare, vizualizată prin volumele asociate de eforturi în tălpi în fig. 4.19, pentru talpa inferioară se remarcă o ușoară “denivelare” în zona reazemelor, fig. 4.19.b, care în cazul tălpii superioare, fig.4.19.a, este mult mai evidentă și ca variație și ca marime, în special pe zona de contur.

**Tabelul 4.19. Volume asociate de eforturi ( $V_N$ ) pentru tălpile structurilor (T.S. și T.I.) în diferite ipoteze de rezemare pe contur la talpa inferioară.**

Ipoteza de rezemare	$f_{max}$ [cm]	Volume asociate de eforturi evaluate cu metodele: [mc]	
		Trapezoidală Simpson Simpson 3/8 pentru talpa superioara(T.S):	Trapezoidală Simpson Simpson 3/8 pentru talpa inferioara (T.I):
Ipoteza 5	4.581	14375220	13217440
		14383360	13221120
		14383160	13221040
Ipoteza 6	4.614	14433420	13256680
		14441280	13260220
		14441320	13260180
Ipteza 7	4.708	14476440	13318400
		14484200	13321800
		14484600	13321820
Ipoteza 8	4.846	14743020	13429380
		14751440	13432480
		14750980	13432340

Observarea calitativă a tuturor acestor ipoteze studiate, nu duce deocamdată la nici o concluzie evidentă și de aceea s-a trecut la calculul marimii volumelor asociate de eforturi, prin cele trei metode de evaluare, rezultate care sunt centralizate în tabelul 4.19, în care se vor consemna și deformațiile maxime ale structurilor (sageata maxima  $f_{max}$ ).

Parcurgerea tabelului centralizator, care conține deformații ale structurii ( $f_{max}$ ) și volume asociate de eforturi în tălpile structurii ( $V_N$ ) evidențiază faptul că, odată cu majorarea distanței între nodurile de reazem pe contur, se produce și o creștere a sagetii, respectiv a volumelor asociate de eforturi, care de fapt semnifică

solicitarile din barele tălpilor structurilor.

Făcând un calcul al procentului de creștere al volumelor asociate de eforturi în tălpi și a deformației (săgetii) se remarca faptul că, în talpa superioară față de ipoteza 5 de rezemare în ipoteza 8 de rezemare, volumul asociat de eforturi crește cu 2.55%, iar în talpa inferioară doar cu 1.6%, în intervalul aceluiași ipoteze, săgeata crește cu 5.8%.

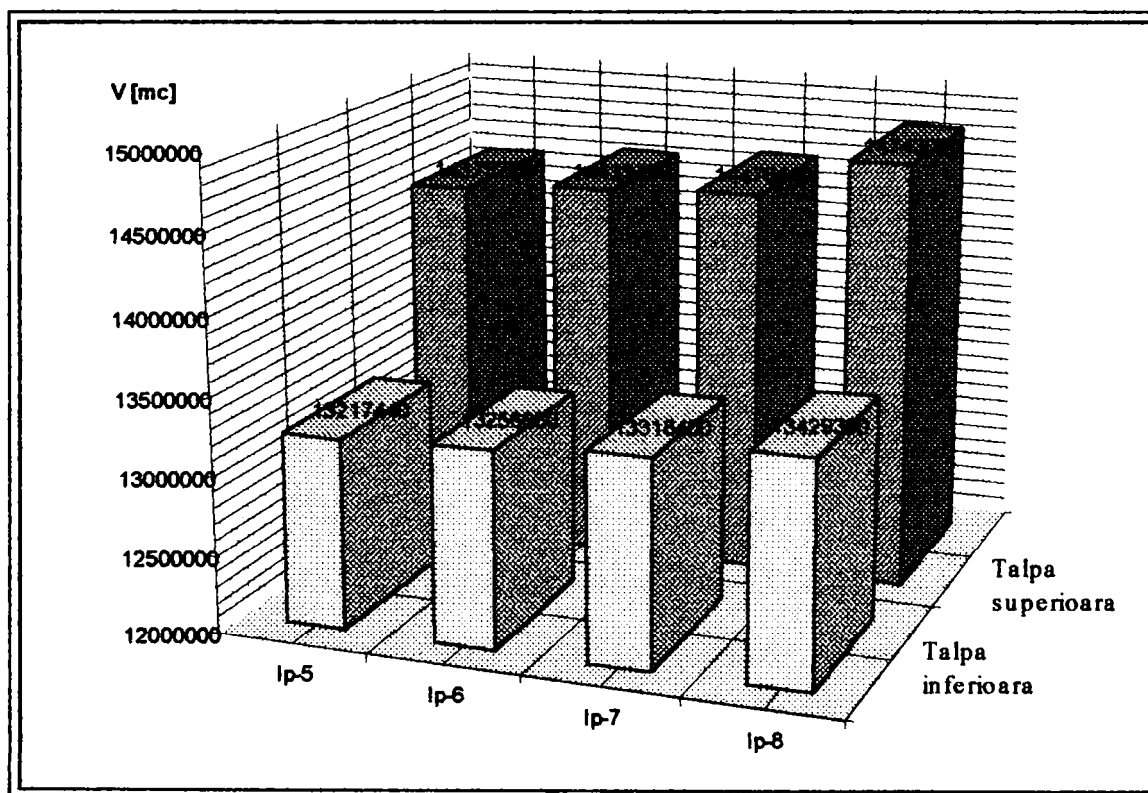


Fig.4.20. Variația volumelor asociate de eforturi în tălpile structurilor, în ipotezele rezemărilor în nodurile de contur ale tălpilor

Vizualizarea grafică a acestor volume asociate de eforturi și variația acestora se prezintă în fig. 4.20, în toate cele patru ipoteze studiate pentru rezemarea structurilor la tălpile inferioare.

Pronunțarea în favoarea uneia din cele patru ipoteze studiate, în această fază este dificilă, deoarece diferențele de eforturi de la minim la maxim, de la ipoteza 5 la ipoteza 8, sunt mici, la fel și pentru deformații, nu ar fi lipsit de interes a urmări creșterile valorice, succesive între cele patru ipoteze studiate, creșteri care vor fi evidențiate în tabelul 4.20.

**Tabelul 4.20. Volume asociate de eforturi în tălpi, deformații și creșterile acestora, în funcție de ipotezele de rezemare la talpa inferioară,**

Ipoteza de rezemare	Talpa superioară		Talpa inferioară		Sageata	
	$V_N$ [mc]	$\Delta V_N$ [mc]	$V_N$ [mc]	$\Delta V_N$ [mc]	$f_{max}$ [cm]	$\Delta f$ [cm]
Ipoteza 5	14375220		13217440		4.581	
		58.200		<b>39.240</b>		<b>0.033</b>
Ipoteza 6	14433420		13256680		4.614	
		<b>43.020</b>		61.720		0.094
Ipoteza 7	14476440		13318400		4.708	
		266.580		110.980		0.138
Ipoteza 8	14743020		13429380		4.846	

Din tabelul 4.20 se remarca faptul că ipoteza de rezemare 6, adică din două în două noduri de contur ale tălpilor inferioare, este cea optimă, atât din punct de vedere al eforturilor cât și cel al deformațiilor.

Justificarea celor afirmate mai sus se face prin constatarea că diferența cea mai mică la creșterea volumelor asociate de eforturi și sargeți, se înregistrează față de ipoteza 6 de rezemare, valori care în tabelul 4.20, sunt evidențiate clar.

În concluzie, *la structurile reticulate spațiale cu rezemare în nodurile de contur ale tălpilor inferioare, rezemarea optimă este, în cazul dispunerii acestora din două în două noduri de contur*, care permite constructiv atât rezemări în capetele stâlpilor, cât și pe grinzi de contur, cu rigiditate foarte mare. Această remarcă, adică alegerea ca optimă a rezemării din două în două noduri, nu exclude și folosirea altor ipoteze de rezemare, dat fiind diferențele relativ mici în privința eforturilor și deformațiilor.

#### **4.6.4. Rezemarea structurilor spațiale reticulate în nodurile de contur și intermediar**

Studiile efectuate în paragrafele anterioare au evidențiat ca optime situațiile în care rezemarea se face pe conturul structurilor spațiale reticulate din două în două noduri, atât la talpa superioară cât și la talpa inferioară a acestora.

Pornind de la aceste situații de optim, în continuare a fost studiat efectul dispunerii unor reazeme intermediare, transversale, la nivelul nodurilor tălpii inferioare, de o parte și cealaltă a panoului prin care trece axa de simetrie a lungimii structurii reticulate.

Motivația alegerii acestui mod de dispunere a reazemelor intermediare este următoarea:

- nodurile tălpii inferioare în care se vor dispune reazemele, vor fi așezate simetric, față de mijlocul structurii, deci nu vor deranja simetria structurii, permitând în continuare studiul comportării acestora doar pe jumătate din lungimea ei;
- acest mod de alegere a nodurilor de rezemare intermediară, transversală, va permite realizarea sub structura spațială reticulată, pe toată lățimea ei, a unei grinzi cu zăbrele spațiale, triunghiulare cu baza în sus în nodurile căreia se vor rezema, nodurile tălpii inferioare a structurii spațiale reticulate, grindă care va avea rigiditate foarte mare, împiedicând deplasarea pe verticală a nodurilor structurii reticulate;
- alegerea acestei modalități de rezemare, la nodurile tălpii inferioare, pentru ambele cazuri de rezemare pe contur și nu rezemarea în nodurile tălpii superioare, în cazul rezemării pe contur la talpa superioară, se justifică și prin faptul că această a doua variantă, menționată mai sus, ar duce la modificarea completă a structurii spațiale reticulate, obținându-se două structuri noi, identice, de dimensiunii în plan  $L$  și  $B/2$ , întrerupându-se în acest mod continuitatea tălpii inferioare a structurii și practic, compararea rezultatelor cu cele două din paragrafele anterioare nu ar fi posibilă, fiind vorba de structuri cu dimensiuni în plan total diferite, ca de altfel și în alcatuirea ei interioară;
- alegerea unei grinzi cu zăbrele triunghiulare spațiale pentru rezemarea transversală prezintă dezavantajul că reduce spațiul util de sub structură și necesită pe o latură și cealaltă a construcției stâlpi, care să preia încărcările de la aceasta.

Acest dezavantaj este și mai accentuat în cazul structurilor spațiale reticulate rezemate pe contur în nodurile talpii superioare, întrucât în această ipoteză, din start, structura ocupă din înălțimea centralei un spațiu de înălțime egală cu grosimea (înălțimea) structurii reticulate.

Tinând cont de considerentele de mai sus, s-a trecut la realizarea celor două variante de structuri, cu menținerea încărcărilor de la variantele precedente, care au fost desemnate ca optime, iar rezemarea transversală în nodurile talpii inferioare a

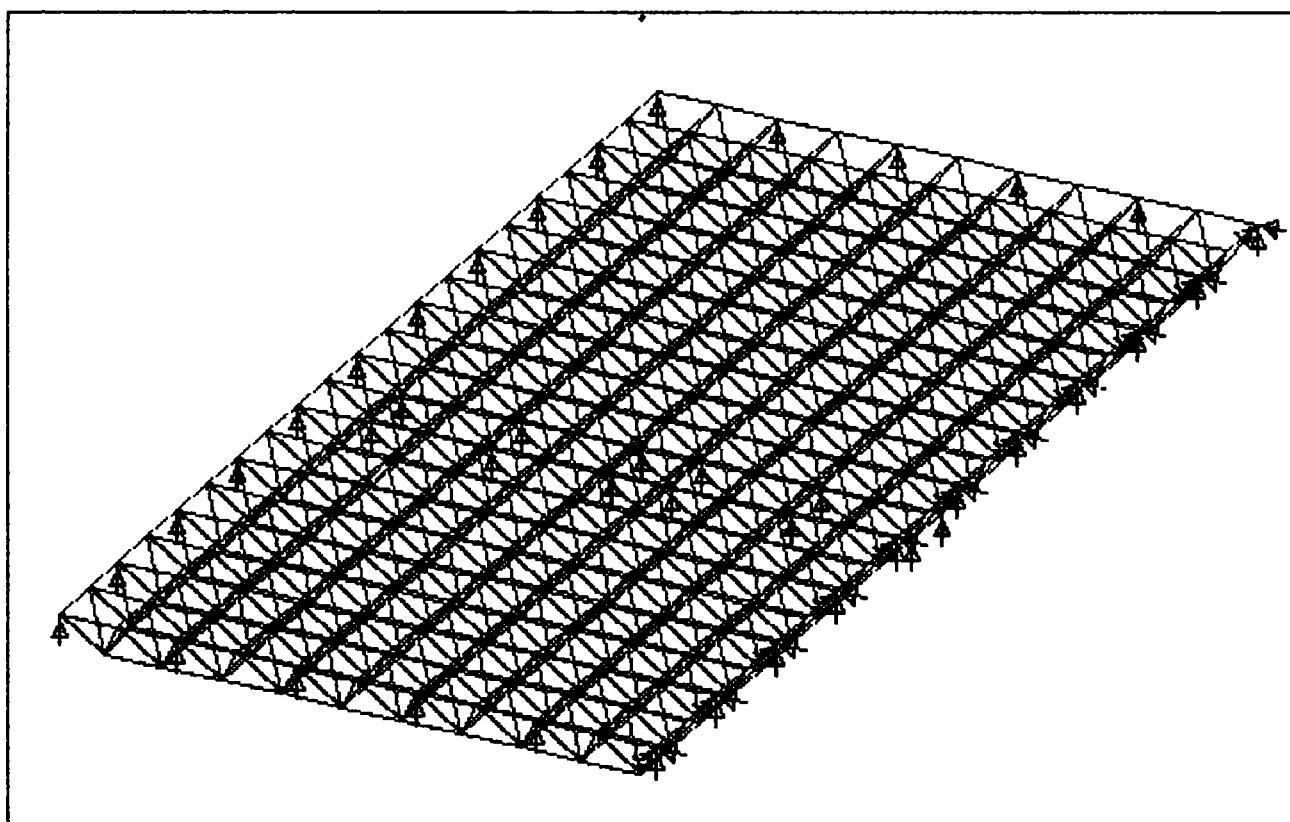


Fig.4.21. Structură reticulată rezemată din două în două noduri de contur la talpa superioară și transversal în nodurile panoului de simetrie de la talpa inferioară – ipoteza 9  
fost considerat din două în două, astfel ca nici simetria în raport cu axa longitudinală a structurii spațiale a acoperisului, să nu fie deranjată.

Calculul eforturilor și deformațiilor s-au efectuat cu programul SAP 90 [70], iar reprezentarea grafică a volumelor asociate de eforturi cu PLOT 88 [56,67].

**Ipoteza 9**, de rezemare a structurii spațiale reticulate, este aceea în care structura reticulată se consideră rezemată din două în două noduri pe conturul acoperisului, la nivelul talpii superioare și transversal, la talpa inferioară, din două în două noduri ale panoului transversal, care conține axa de simetrie transversală a structurii, fig. 4.21.

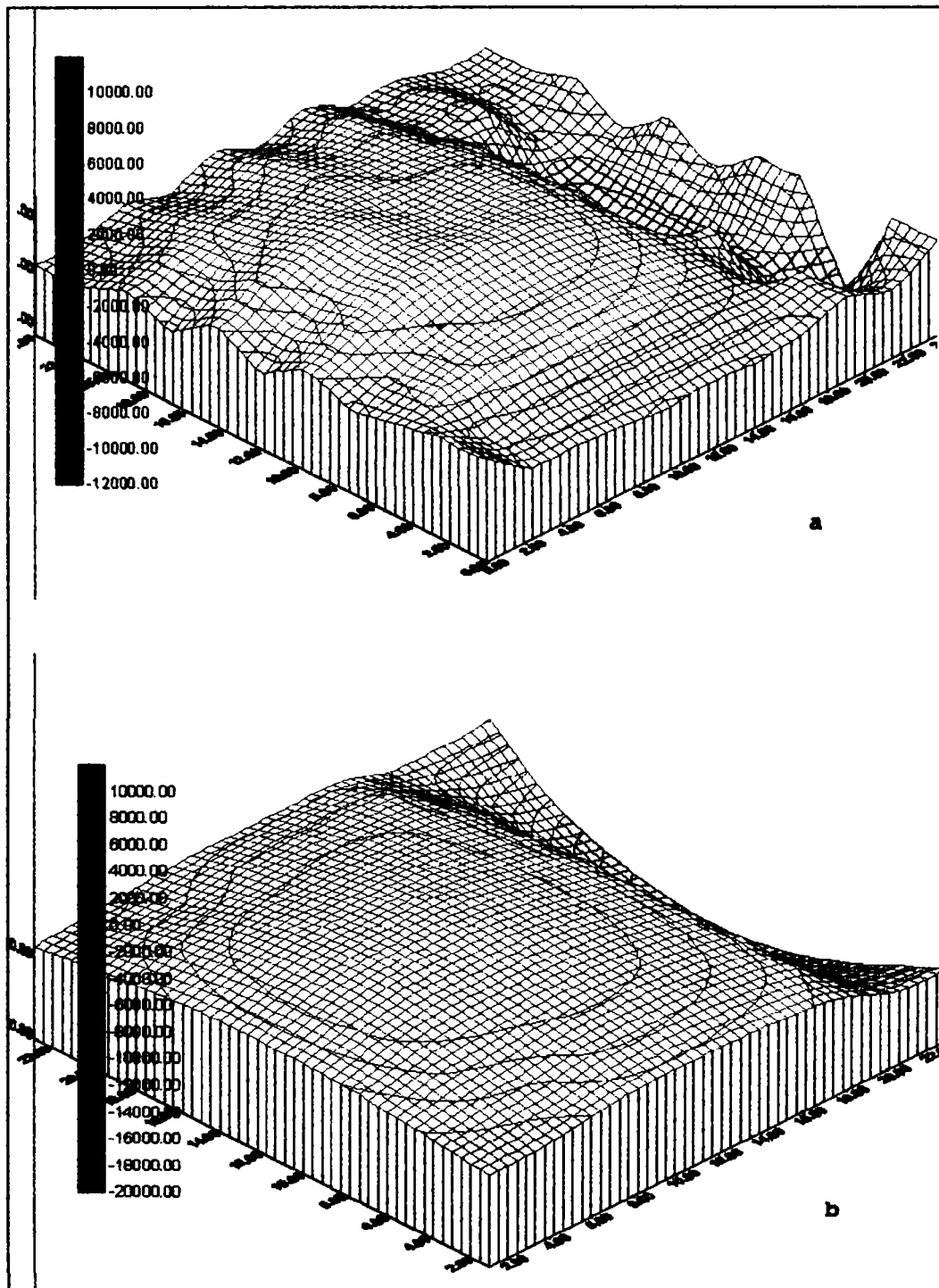


Fig. 4.22. Volume asociate de eforturi pentru tălpile superioare și inferioare în ipoteze 9 de rezemare (din 2 în 2 noduri)



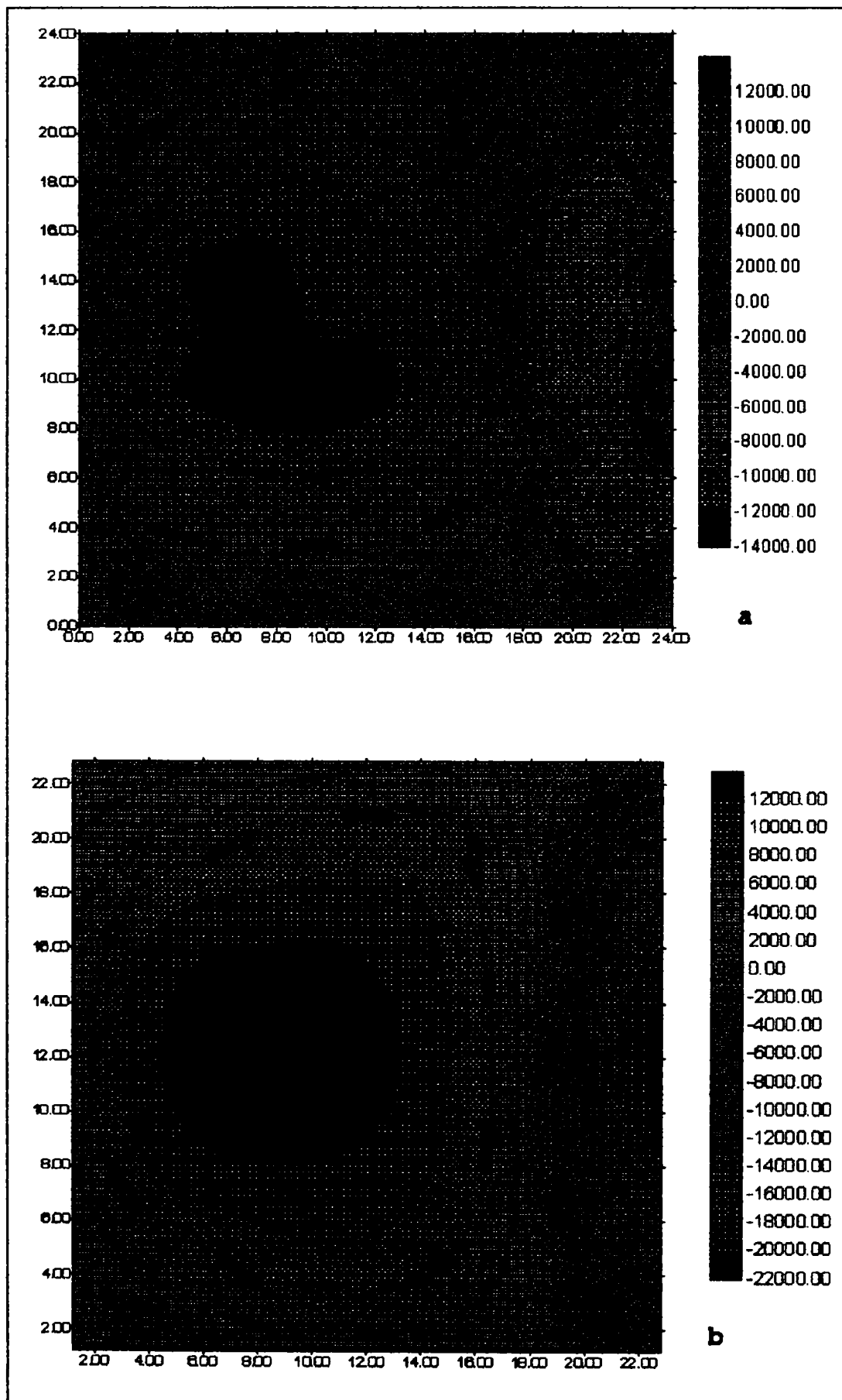


Fig. 4.23. Reprezentarea zonelor cu același efort la talpa superioară și inferioară în ipoteza 9 de rezemare

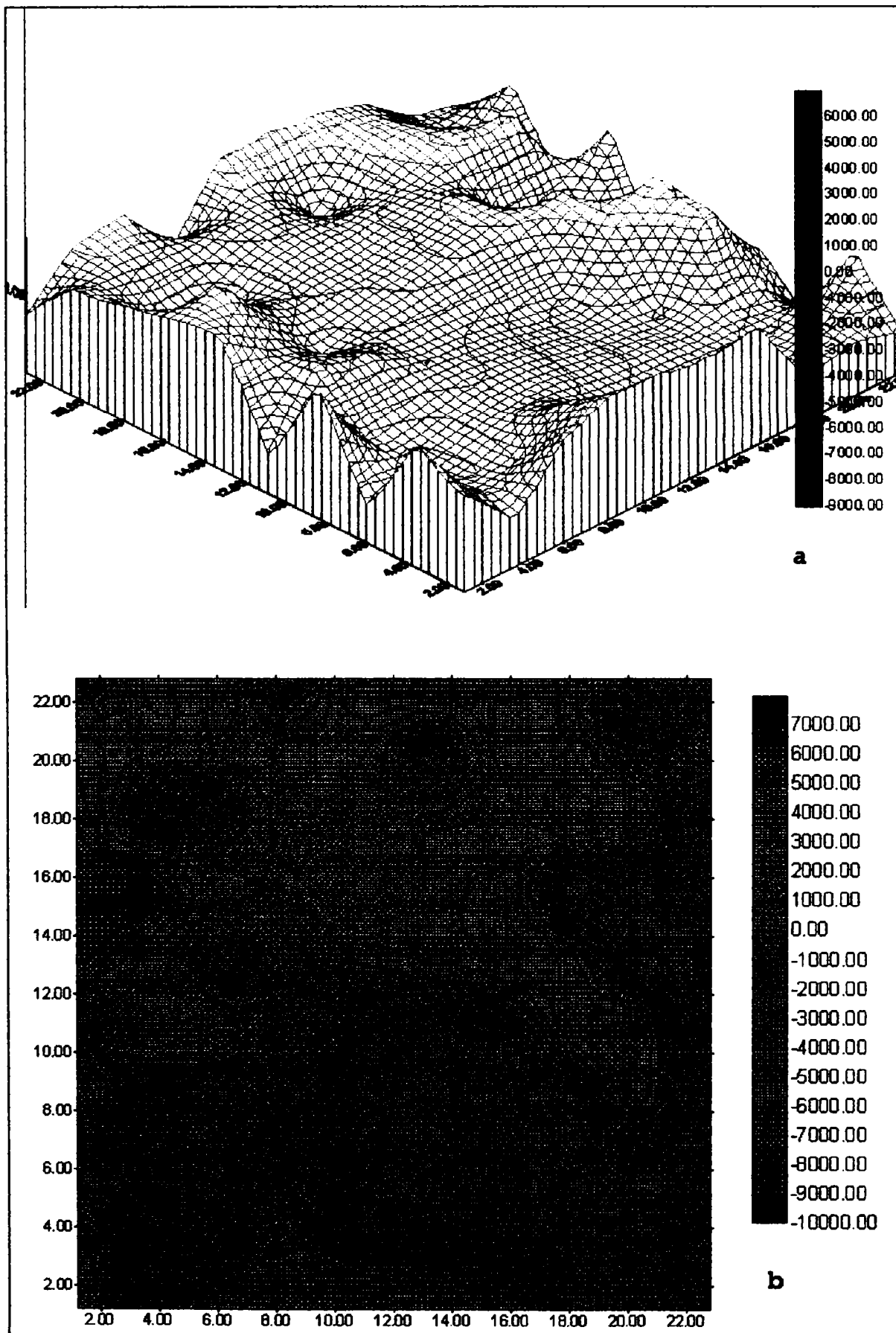


Fig. 4.24. Volume asociate de eforturi în diagonale în ipoteza 9 de rezemare și reprezentarea zonelor cu aceleași eforturi

Vizualizarea variația eforturilor pe jumătate din structura studiată se prezintă

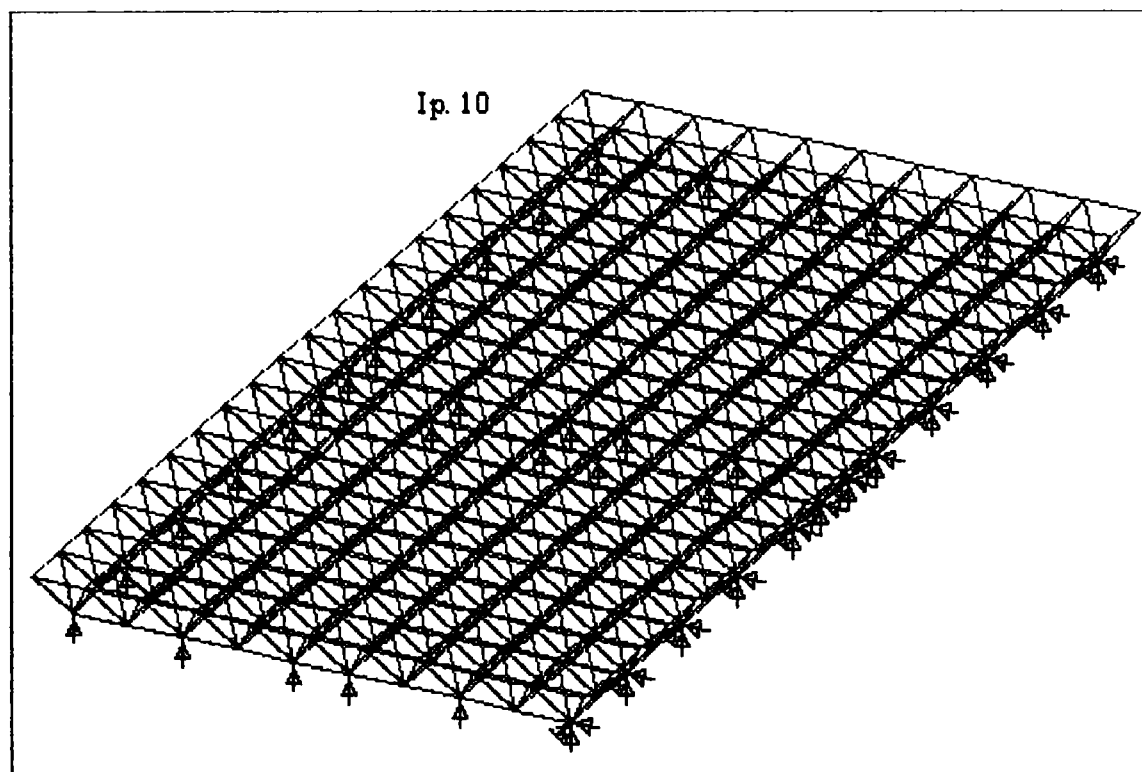


Fig.4.25. Structură reticulată rezemată din două în două noduri de contur ale talpii inferioare și transversal în nodurile panoului de simetrie de la talpa inferioară - ipoteza 10

în fig. 4.22a,b. pentru talpa superioară respectiv pentru talpa inferioară, în fig. 4.23 a,b. reprezentarea în plan a zonelor cu același efort de la nivelul talpii superioare respectiv talpii inferioare, iar în fig. 4.24a,b. variația eforturilor în diagonalele structurii și zonele de efort egal din acestea.

**Ipoteza 10**, de rezemare a structurii spațiale reticulate am considerat-o ca fiind, aceea în care structura este rezemată din două în două noduri de contur la nivelul talpii inferioare și transversal, din două în două noduri ale panoului talpii inferioare, care este considerat, ca este panou ce conține axa de simetrie pentru lungimea structurii acoperisului, fig. 4.25.

Vizualizarea variației eforturilor pe jumătate din structura studiată pentru talpile superioare și inferioare, sunt continute în fig. 4.26 a și b, reprezentarea în plan a zonelor cu același efort de la nivelul talpii superioare și inferioare în fig. 4.27 a și b, iar în fig. 4.28 a și b se prezintă variația eforturilor în diagonalele structurii și zonele de eforturi egale din ele.

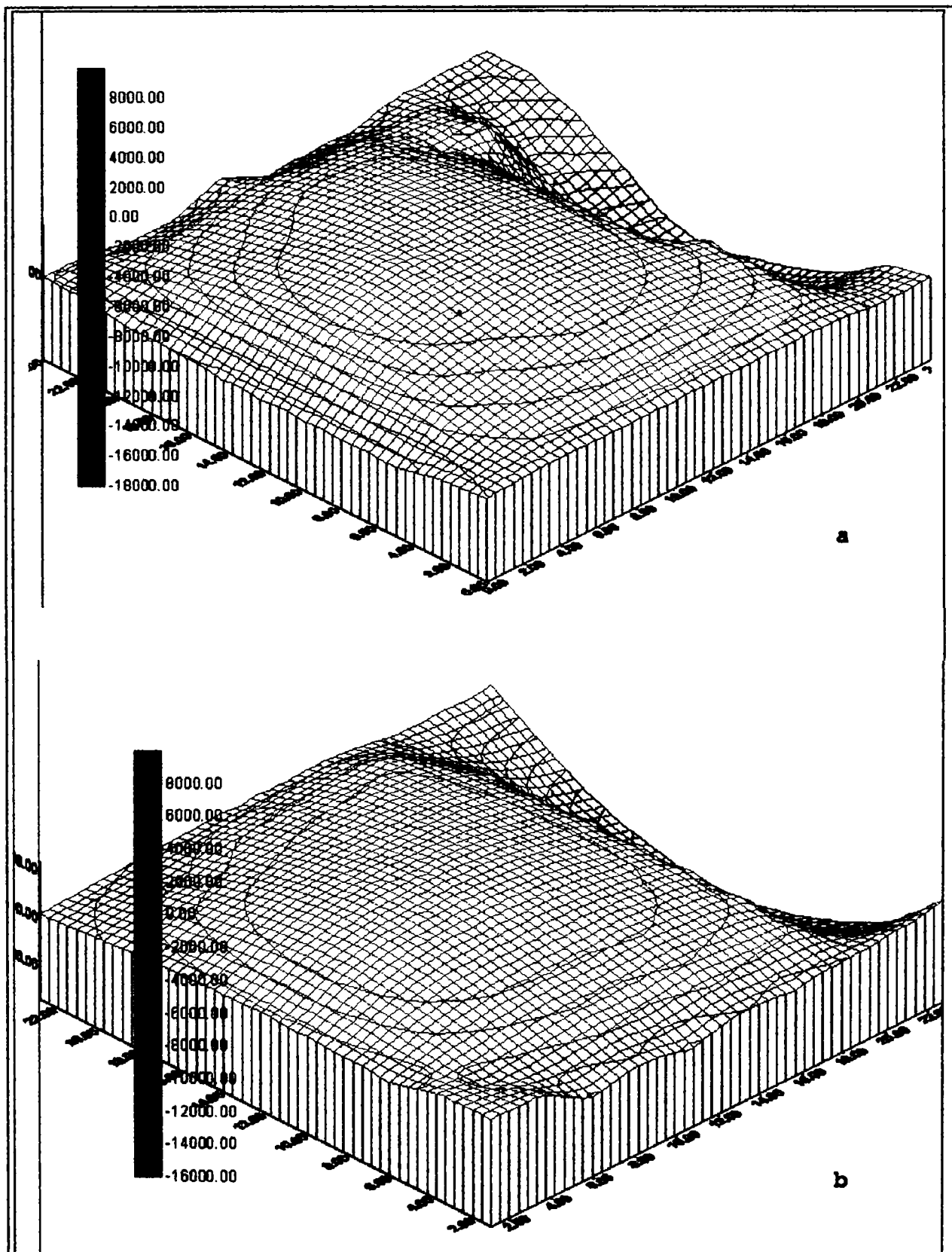


Fig. 4.26. Volume asociate de eforturi pentru tălpile superioare și inferioare în ipoteza 10 de rezemare (din 2 în 2 noduri de contur la talpa inferioară și transversal din 2 în 2 noduri la talpa inferioară)

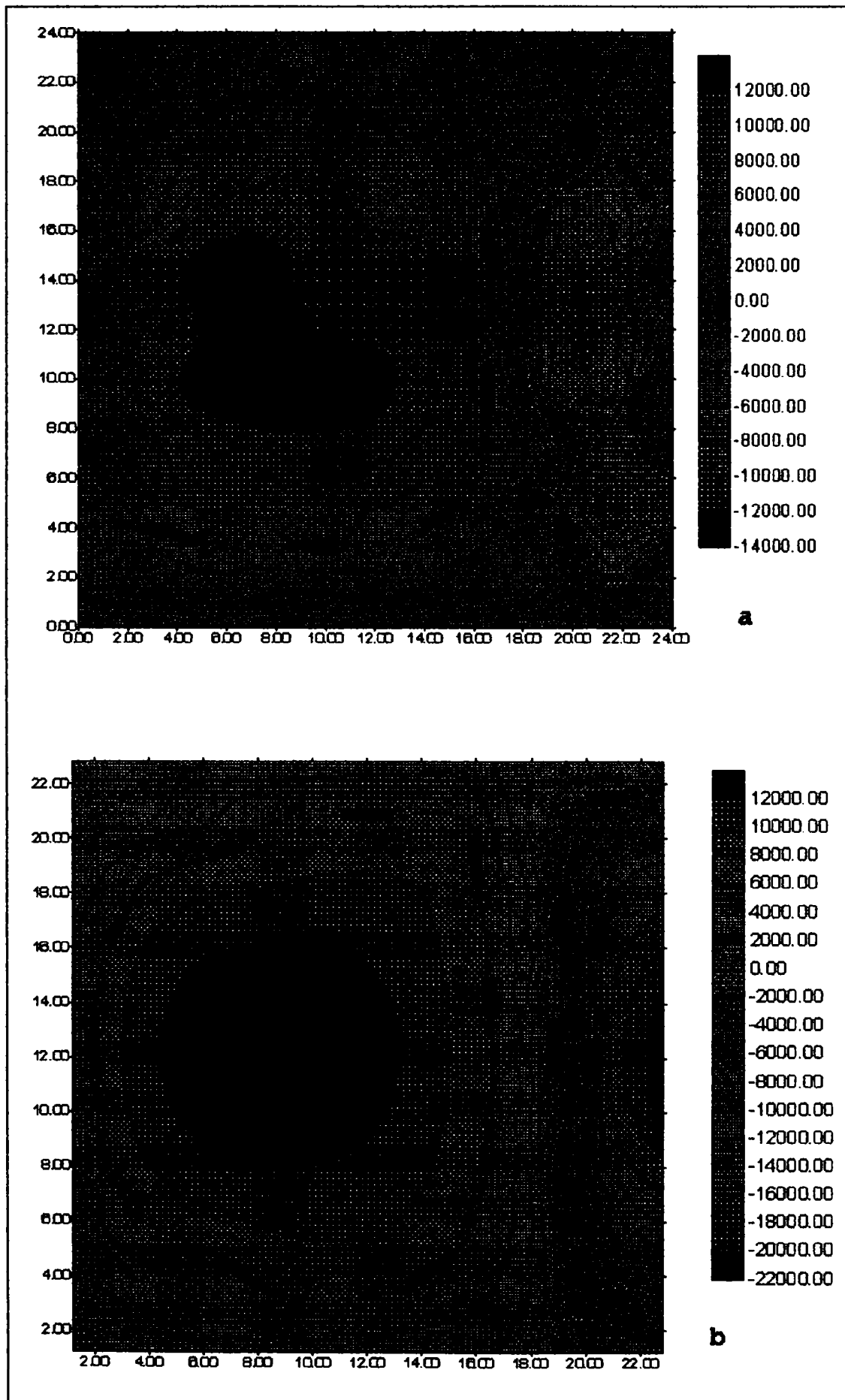


Fig. 4.27. Reprezentarea zonelor cu același efort de la talpa superioară și inferioară în ipoteza 10 de rezemare

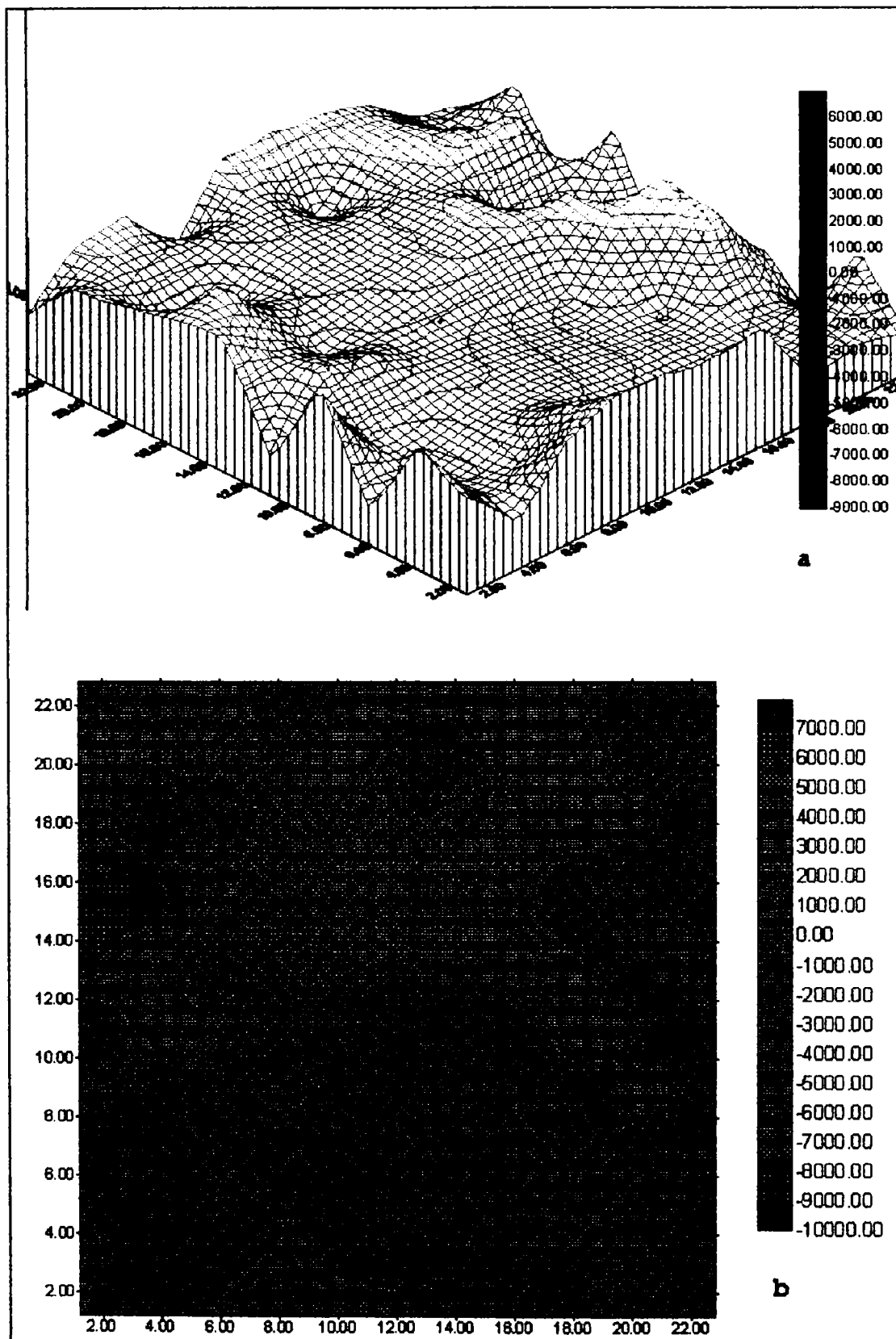


Fig. 4.28. Volume asociate de eforturi în diagonale în ipoteza 10 de rezemare și reprezentarea zonelor cu aceleași eforturi

Cu ajutorul utilitarului SURFER [56] volumele cuprinse între suprafețele care reprezintă variația eforturilor din tălpile superioare fig. 4.22.a, 4.26.a, tălpile inferioare fig. 4.22.b, 4.26.b și diagonale fig. 4.24 a, 4.28a, și suprafața de referință zero, se calculează în cadrul utilitarului WINSURF cu trei metode de aproximare, respectiv evidențiindu-se și valori pozitive și negative, care corespund întinderii sau comprimării barelor din structură.

Valorile volumelor asociate eforturilor pentru cele trei tipuri de bare ale structurilor (tălpi superioare, tălpi inferioare și diagonale) și cele două ipoteze de rezemare a structurilor (ipoteza 9 și ipoteza 10) ca și săgeata maximă a structurilor spațiale reticulate sunt prezentate în tabelele 4.21 și 4.22.

**Tabelul 4.21. Volume asociate de eforturi pentru tălpi și diagonale în ipoteza 9 de rezemare a structurii reticulate**

Volume calculate prin aproximarea: (Metoda de aproximare)	Volume asociate de eforturi pentru: [ mc ]			$f_{\max}$ [ cm ]
	Talpa superioară	Talpa inferioară	Diagonală	
Trapezoidală	-5348740	4795320	107340	2.56
Simpson	-5348680	4797120	106694	
Simpson 3/8	-5347100	4797160	106982	
Volume pozitive	1112228	6421960	1109700	
Volume negative	-6460980	-1626810	-1002554	
Volum cumulat în valori absolute	7573208	8048770	2112254	

**Tabelul 4.22. Volume asociate de eforturi pentru tălpi și diagonale în ipoteza 10 de rezemare a structurii reticulate**

Volume calculate prin aproximare (Metoda de aproximare)	Volume asociate de eforturi pentru: [mc]			$f_{\max}$ [ cm ]
	Talpa superioară	Talpa inferioară	Diagonală	
Trapezoidală:	- 3282460	3987440	-397140	1.93
Simpson:	-3286260	3989080	-393546	
Simpson 3/8	-3285.260	3989160	-393886	
Volume pozitive:	1875138	5147580	674818	
Volume negative:	-5157560	-1160196	-1071964	
Volume cumulate în valori absolute:	7032698	6307776	1746782	

Analiza rezultatelor obținute și înscrise în tabelele 4.21, 4.22, pentru ipotezele 9, respectiv 10 de rezemare a structurilor reticulate, duce la următoarele concluzii:

- din punct de vedere al rigidității structurii (săgeții) ipoteza 10 este mai avantajoasă, întrucât săgeata este cu aproximativ 33% mai mică decât în cazul ipotezei 9 de rezemare;
- eforturile în tălpile superioare și inferioare ale structurii sunt în cazul ipotezei 10 de rezemare cu aproximativ 7%, respectiv 28% mai mici decât în cazul ipotezei 9 de rezemare a structurii, de asemenea pentru diagonale efortul total este cu 21% mai mic, dar se observa și din tabelul 4.22, că în cazul ipotezei 10 de rezemare efortul predominant în diagonale, este cel de compresiune;
- dispunerea unor reazeme intermediare, transversale, duce la apariția unor importante eforturi de întindere la nivelul tălpii superioare și de compresiune la nivelul tălpii inferioare, după cum se vede din tabelele 4.21 și 4.22, iar zona lor de apariție este aceea a reazemelor transversale, fapt care se poate observa și din fig. 4.23 și 4.27, care reprezintă domeniile cu eforturi egale;
- observând fig. 4.23 și 4.27 în care se delimitează domeniile cu eforturi egale, rezultă că structura concepută inițial din punct de vedere al ariilor barelor componente, în trei zone distincte, la aceste ipoteze de rezemare, nu mai este valabilă, ea necesitând o redimensionare a barelor, prin reducerea ariei acestora, corespunzătoare noilor valori ale eforturilor și noilor zone de valori maxime și minime;
- analizând valorile maxime ale eforturilor din tălpile structurilor, în cele două ipoteze de rezemare, din tabelul 4.23, se observă că ele apar în aceleași bare 315 și 706, care sunt bare componente ale tălpii superioare respectiv tălpii inferioare, iar eforturile sunt de întindere, respectiv de compresiune, nefiind tipurile respective de bare, ca apartenență;



**Tabelul 4.23. Eforturile maxime din barele talpilor structurii în ipotezele 9 și 10 de rezemare**

Tipul barei	Bara	Efortul maxim din bara în: [daN]	
		Ipoteza 9	Ipoteza 10
Talpa superioara	315	21750	18080
Talpa inferioara	706	-20570	-16790

- aceste observatii, presupun ca la dimensionarea barelor dintr-o anumita forta (talpa) a structurii, în momentul verificarii, sa se ia în calcul si posibilitatea aparitiei unui efort de semn opus;
- dimensionarea barelor diagonalelor structurii, în ipoteza 10 de rezemare, se va face în majoritatea cazurilor din conditie de zveltete, datorita faptului ca eforturile din ele sunt mici, dar de compresiune;
- reprezentare grafica din fig. 4.29, prezinta volumele asociate de eforturi din talpile superioare si inferioare în ipotezele de rezemare 2 si 6 din care prin dispunerea reazemelor intermediare, transversale, au rezultat ipotezele de

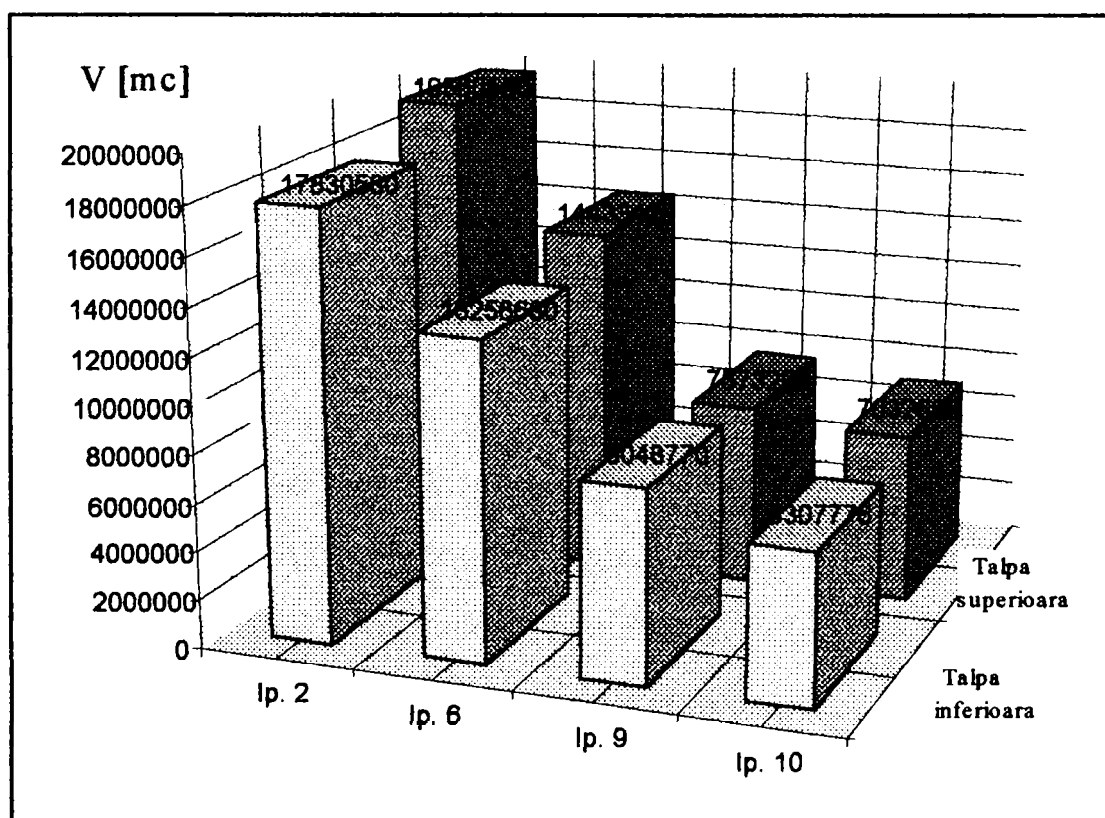


Fig. 4.29. Variația volumelor asociate de eforturi în tălpile structurilor, în ipotezele rezemării din două în două noduri de contur la talpa superioară și inferioară (ipotezele 2 și 6) și transversal în nodurile panoului de simetrie al tălpii inferioare (ipoteza 9 și 10)

rezemare 9 și 10, reprezentare din care se observă avantajele ipotezei 10 de rezemare în ceea ce privește mărimea efortului total în valoare absolută. Valorile volumelor asociate de eforturi pentru ipotezele 2 și 6 de rezemare fiind prelevate din tabelele 4.18 respectiv 4.19;

- reprezentarea grafică a zonelor de eforturi egale în diagonalele structurilor fig. 4.24b și fig. 4.28 b, în ipotezele 9 și 10, nu arată o delimitare așa de evidentă a domeniilor ca în cazul eforturilor din tălpile structurilor, datorită alternanței lor ca semn;
- procedeul de reprezentare în plan a domeniilor cu eforturi egale este deosebit de util în dimensionarea pe zone a barelor structurilor și în special a celor care sunt componente ale tălpilor acestora.

Structurile rezemate pe contur și transversal la talpa inferioară, astfel ca să nu le modifice acestora împărțirea interioară, sunt avantajoase indiferent de conturul de rezemare, la talpa superioară sau inferioară, dar în final, opțiunea ar înclina spre rezemarea pe contur la nivelul tăpii inferioare, datorită câtorva avantaje în plus față de rezemarea pe contur la nivelul tăpii superioare, avantaje deja menționate în acest paragraf.

În final, este important de menționat, că opțiunea pentru aceste modalități de rezemare a structurilor se va lua, nu numai în funcție de valoarea eforturilor din barele structurii ci și de complexitatea tehnologiei de execuție și a soluțiilor tehnice de realizare a structurilor spațiale reticulate și nu în ultimul rând a grinzilor spațiale transversale.

De asemeni se va avea în vedere la proiectare și posibilitatea realizării multora din barele structurii din condiții constructive și de zveltete, ceea ce până la urmă, la aceste dimensiuni ale acoperișurilor, ar putea să nu justifice alegerea acestor modalități suplimentare de rezemare a structurilor.

#### 4.6.5. Concluzii

Studiul comportării structurilor spațiale reticulate, din punct de vedere al modului de rezemare pe contur, la talpa superioară sau inferioară, permite menționarea faptului ca în ambele ipoteze de rezemare, *cea mai buna ipoteza este aceea în care structura se rezemă din două în două noduri de contur*, soluție care duce la eforturi minime în structura, sau cele mai acceptabile și la posibilitate practică de execuție cu manoperă minimă.

Comparația sumară, a rezultatelor înregistrate în tabelul 4.18, care reprezintă deformații și volume asociate de eforturi calculate pentru ipoteze de rezemare la talpa superioară, cu rezultatele înregistrate în tabelul 4.19, reprezentând deformații și volume asociate de eforturi pentru structuri în ipotezele de rezemare la talpa inferioară, duce la concluzia imediată, că al doilea tip de rezemare este mult mai avantajos, întrucât atât deformațiile cât și eforturile în barele structurii sunt mai mici. Astfel, la eforturi, respectiv volume asociate de eforturi, se remarcă o scădere cu 35 % a acestora pentru rezemare la talpa inferioară, față de rezemarea la talpa superioară, iar în privința săgeții, procentul este și mai edificator, prin faptul că săgeata structurii în cazul rezemării la talpa inferioară scade cu 52% față de rezemarea ei la talpa superioară.

Dezavantajul acestei soluții de rezemare, la talpa inferioară, constă în faptul că ea înalță în plus construcția cu valoarea înălțimii structurii, mărime care va aduce în plus suprafață expusă presiunii laterale a vântului.

În funcție de situațiile concrete, studiul recomandă alegerea rezemării pe contur din două în două noduri, ca fiind optimă și posibilitatea realizării acesteea la talpa superioară sau la talpa inferioară, aceasta din urma având atuul că duce la eforturi mai mici în bare și deformații mai mici, decât cealaltă ipoteză de rezemare.

Studiul comportării structurilor reticulate spațiale, rezemate din două în două noduri de contur ale tălpilor superioare, respectiv inferioare, simultan cu rezemarea în sens transversal din două în două noduri ale panoului tălpii inferioare, care

conține axa de simetrie a structurilor, au evidențiat următoarele: rigiditatea structurii crește foarte mult prin dispunerea reazemelor suplimentare transversale, astfel în cazul rezemărilor pe contur la talpa superioară și transversal (ipoteza 9), săgeata este de 2.74 ori mai mică decât în cazul rezemării doar în nodurile de contur ale tălpii superioare (ipoteza 2), de asemeni în cazul rezemărilor, în nodurile de contur ale tălpii inferioare și suplimentar în nodurile transversale ale tălpii inferioare (ipoteza 10) săgeata este de 2.39 ori mai mică decât în cazul rezemării structurii doar în nodurile de contur ale tălpii inferioare (ipoteza 6), mărimi care s-au obținut prin compararea rezultatelor din tabelul 4.18 cu 4.21 și din tabelul 4.19 cu 4.22.

Realizarea unor reazeme intermediare în cazul celor două structuri, au evidențiat apariția unor importante eforturi de întindere în barele tălpii superioare, respectiv de compresiune în barele tălpii inferioare în zona de rezare transversală. De asemeni s-a observat o redistribuire a zonelor de eforturi în cazul tălpilor structurilor, fig. 4.23, și 4.27, ceea ce presupune o modificare în totalitate a procesului operației de dimensionare, față de ipotezele anterior studiate, care vor duce la redimensionarea barelor și micșorarea secțiunii acestora, multe din ele, fiind alese din condiție de zveltețe, în special la diagonale, având eforturi mici, dar de compresiune.

În urma studiului și a reprezentării grafice a volumelor asociate de eforturi din tălpile structurilor reticulate în ipotezele 2,6,9 și 10 în fig. 4.29, atât pentru tălpile superioare cât și pentru tălpile inferioare, cele din diagonale nefiind determinante, s-a constatat că ***ipoteza 10 de rezare, dă cele mai reduse eforturi și ar fi structura optimă de utilizat pentru acoperișurile centralelor hidroelectrice***, cu rezerva că realizarea reazemelor transversale și a elementelor de susținere a acestora, implica realizarea de structuri suplimentare, care să fie astfel executate încât să nu deranjeze exploatarea normală a centralei.

## CAPITOLUL 5

### STUDIUL COMPORTARII UNUI NOD ORIGINAL, FORMAT DINTR-UN CUPON DE ȚEAVĂ, AVÂND GUSEE SUDATE DE CARE SE PRIND BARELE CU SURUBURI

#### 5.1. GENERALITĂȚI. DESCRIEREA NODULUI STUDIAT

Barele structurilor spațiale reticulate, pentru a se menține în poziția lor din situația de exploatare se îmbină în nodurile teoretice prin intermediul unor piese, care poartă denumirea de noduri ale structurii.

Realizarea acestora, se poate face într-o gamă foarte diversă, după cum a fost prezentat în capitolul 3, în care s-a făcut o prezentare relativ aprofundată a variantelor de realizare a lor, fără a avea pretenția că s-au prezentat în totalitate soluțiile existente și că nu ar mai exista alte posibilități de rezolvare a prinderii barelor în noduri.

Variatatea structurilor spațiale reticulate [22, 19], cât și ingeniozitatea soluțiilor de asamblare a barelor în nodurile acestora [4, 5, 6, 7, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43], cu eforturi materiale și financiare cât mai mici, au dus și vor duce în continuare, la descoperirea și conceperea de noi variante și modalități de prindere a barelor în nodurile rețelei, cu posibilitate de demontare în timp a acestora, sau fără această posibilitate.

Nodul care urmează să fie studiat în continuare se aseamănă parțial cu cel descris în paragraful 3.3.12. denumit TIMIȘ 1 [4], dar având și diferențe din punct de vedere constructiv.

Nodul se compune dintr-un cupon de țeavă de un anumit diametru și lungime, la care pe patru generatoare ale acestuia, care sunt situate la extremitățile a doi diametri perpendiculari, se sudează patru gusee de care urmează să se fixeze barele care realizează tălpile structurii reticulate, fie prin sudură, fie mai ales cu

ajutorul șuruburilor, ca în cazul de față.

Cele două capete ale cuponului sunt acoperite cu câte un capac, care se îmbină de acesta cu ajutorul sudurii pe contur.

Capacele, sunt de diametri diferiți și realizate astfel:

⊗ capacul dinspre interiorul structurii este de diametru egal cu cel al cuponului de țevă, eventual cu câțiva milimetri mai mic, pentru a permite realizarea sudurii de colț pe conturul lui, pentru îmbinarea cu capătul cuponului. Pe el se sudează în cruce, rotit la  $45^{\circ}$  față de guseele tălpilor de pe generatoarele cuponului, patru gusee de care urmează să se lege diagonalele structurii reticulate, fie cu sudură dacă structura se realizează nedeterminabilă, fie cu șuruburi în cazul de față.

⊗ capacul dinspre exteriorul structurii, se realizează cu diametrul mult mai mare decât cuponul de țevă, de care se îmbina cu sudură de colț, pe conturul de contact cu acesta, capacul are rolul de legare suplimentară a barelor, care compun rețeaua tălpilor, când acestea sunt realizate cu secțiuni compuse din corniere sau profile U, dând posibilitatea descărcării unei părți din eforturile barelor concurente în nod. Când nodul este la talpa superioară a structurii, pe aceste capace acționează încărcarea adusă de învelitoarea acoperișului cu toate elementele ce o compun, inclusiv paneele acoperișului. De acest capac, barele care compun rețeaua tălpilor, se pot prinde cu sudură sau cu șuruburi.

Nodul astfel realizat este un element care asigură o rigiditate sporită structurii și indeformabilitate sporită întregului acoperiș.

## **5.2. STABILIREA DIMENSIUNILOR NODULUI REALIZAT DIN CUPOANE DE ȚEAVĂ**

Dimensiunile nodului structurii reticulate realizat din cupoane de țevă, se stabilesc în primă fază, ținând cont de câteva recomandări constructive [19] întâlnite și la alte tipuri de noduri, astfel:

⊗ pentru a evita pierderea stabilității locale a cuponului de țevă din care se realizează nodul, acesta trebuie să aibă satisfăcuta condiția:

$$\frac{d}{t} \leq 120 \frac{2400}{\sigma_c}$$

unde: d - diametrul exterior al țevii;

t - grosimea peretelui țevii;

$\sigma_c$  - limita de curgere a oțelului folosit;

☼ diametrul țevii "d" din care se taie cuponul de țeavă se va alege (1/14...1/18)l din pasul rețelei astfel, ca guseele care se sudează pe capac, pentru prinderea în nod a diagonalelor, să fie suficient de late, ca sub efectul efortului din diagonale să nu depășească rezistența de calcul;

☼ grosimea peretelui cuponului de țeavă din care se realizează nodul nu va fi sub 6 mm;

☼ înălțimea (lungimea) cuponului de țeavă se va alege tot din condiție de rezistență, având în vedere efortul corespunzător din barele tălpii care îi revine guseului de pe generatoarea acestuia și nu mai mică decât dimensiunea laminatelor care realizează secțiunea barelor;

☼ capacul mai dezvoltat al nodului se alege astfel ca porțiunea lui care iese în exteriorul conturului cuponului, să permită prinderea barelor tălpilor cu lungimea minimă de sudură recomandată (cincisprezece grosimi ale cordonului de sudură) sau prinderea barelor cu minim două perechi de șuruburi, dispuse la distanța minimă între ele, având diametrul ( 1/5 ...1/8)l din pasul rețelei;

☼ guseele de prindere a barelor în noduri se vor alege din condiție de transmitere optimă a efortului de la bară la cuponul de țeavă, fără a depăși rezistența de calcul, ținând cont de recomandările pentru alegerea grosimilor acestora în funcție de eforturile maxime din barele concurente în nod, dar nu mai mici de 4 mm grosime;

☼ barele structurii spațiale reticulate la care se folosesc aceste tipuri de noduri, realizate din cupoane de țeavă, se recomandă să fie alcătuite din profile laminate la cald, corniere [51, 52] sau profile U și din profile cu pereți subțiri, obținute prin deformare la rece din fâșii de tablă subțire. Dimensiunile lor rezultă

în urma dimensionării cu metodele clasice din rezistența materialelor, în plus la barele comprimate, ținându-se cont și de posibilitatea pierderii stabilității, prin flambaj, iar în zona de prindere de guseu, când aceasta se realizează cu șuruburi, se ține seama și de slăbirea secțiunii datorită găurilor necesare introducerii șuruburilor de îmbinare.

Stabilirea tuturor acestor dimensiuni pentru nodul realizat din cupoane de țeavă, cât și cele pentru barele structurii nu prezintă o problemă dificilă pentru cei obișnuiți cu calculul construcțiilor metalice.

După stabilirea acestor dimensiuni, problema cea mai importantă constă în a verifica pe ansamblul nodurilor solicitările la care sunt supuse ele, permițând în final concluzionarea justei alegeri sau nu a dimensiunilor alese.

Prin metode clasice acest lucru este foarte dificil dacă nu chiar imposibil, de aceea aceste calcule vor fi efectuate cu metode moderne cu ajutorul calculatorului folosind metoda elementului finit.

### **5.3. STABILIREA ÎNCĂRCĂRILOR CARE ACȚIONEAZĂ PE NOD CA EFORTURI DIN BARE**

Structurile spațiale reticulate sunt elemente de construcții metalice foarte complicat de calculat, mai ales cu metode clasice.

Cu ajutorul calculatorului și a diferitelor programe, după cum s-a prezentat și în capitolul 4 al prezentei teze, acest calcul este mult ușurat, permițând cunoașterea eforturilor în orice bară din orice ipoteză de încărcare într-un timp relativ scurt și cu mare precizie.

Pentru structura studiată în capitolul 4 și care a rezultat ca fiind optimă, s-au ales două noduri, unul de la talpa inferioară și unul de la talpa superioară, având valorile eforturilor în barele concurente în aceste noduri, talpi și diagonale, prezentate în tabelul 5.1

Nodul structurii luat în calcul s-a considerat ca fiind compus din cuponul de țeavă și cele două capace ale acestuia, guseele de pe capacul mic și de pe



generatoare excluzându-le, ele fiind reprezentate doar prin eforturile pe care le transmit sub formă de încărcări pe structura de rezistență a nodului.

Pentru calculul nodului cu metoda elementelor finite în spațiu, s-a considerat ca element de bază, un tetraedru cu dimensiunea de aproximativ 0.0192m, de tip SOLID 92 [68] și cu ajutorul programului ANSYS 5.0, s-a generat pe întreaga structură a nodului o rețea de 5960 elemente de tip tetraedru și care în plan au apărut ca elemente triunghiulare.

**Tabelul 5.1. Valorile eforturilor în barele concurente în nodurile 327 și 105 ale structurii reticulate**

Poziția nodului	Nodul	Tipul barei	Bara	Efortul din bară (daN)		
în talpa inferioară	327	Talpa Inferioară	516	33934		
			517	32612		
			696	5746		
			706	5520		
		Diagonale	1171	-676		
			1172	524		
			1191	-573		
			1192	872		
în talpa superioară	105	Talpa Superioară	95	-33058		
			96	-33357		
			304	-6711		
			315	-6389		
		Diagonale	1150	-655		
			1151	-175		
			1170	-796		
			1171	-676		
		Încărcare concentrată în nod				1523

Eforturile din barele concurente în nodurile structurii au fost repartizate ca forțe concentrate în nodurile rețelei generate de programul ANSYS 5.0 [1], proporțional cu numărul nodurilor rețelei din dreptul guseelor de prindere a diagonalelor pe capac, a tălpilor pe cele patru generatoare a cuponului, iar pentru direcția tălpilor cu solicitări maxime (transversal) și pe capacul mare, pe porțiunea exterioară cuponului, pe o lățime egală cu lățimea barelor tălpilor, care s-au considerat ca fiind realizate din corniere cu aripi egale [51]. Suplimentar la nodul de la talpa superioară, s-a considerat și încărcarea adusă de învelitoarea

acoperișului, ea fiind distribuită pe rețeaua generată pe capacul mare, dar numai pe suprafața delimitată de conturul bazei cuponului de țevă.

Această distribuție a încărcărilor pe nodurile astfel discretizate, se poate observa în figurile 5.1 a și b, prima reprezentând nodul de la talpa inferioară, iar a doua, nodul de la talpa superioară cu încărcările aferente.

În structura spațială, nodul de la talpa inferioară se așează cu capacul mare în jos; respectiv cu orientarea axei  $oz$  cu sensul pozitiv în sus, adică spre talpa superioară, iar nodul de la talpa superioară cu capacul mare în sus, iar orientarea axei  $oz$  cu sensul pozitiv va fi orientată înspre rețeaua ce realizează talpa inferioară.

La ambele noduri, axa  $ox$  este orientată în sens transversal structurii, de aceea eforturile din barele structurii, care s-au transformat în încărcări pe nod, sunt mari, în comparație cu cele rezultate din transformarea eforturilor din barele orientate longitudinal față de structură, respectiv după axa  $oy$ .

Încărcările rezultate din eforturile ce acționează în diagonale pe capacul mic, sunt foarte mici în comparație cu cele mai mici din tălpi. Printr-o comparație sumară care se poate face în tabelul 5.1, se observă că în unele cazuri ele abia depasesc 10 % din valoarea eforturilor minime din tălpile orientate longitudinal.

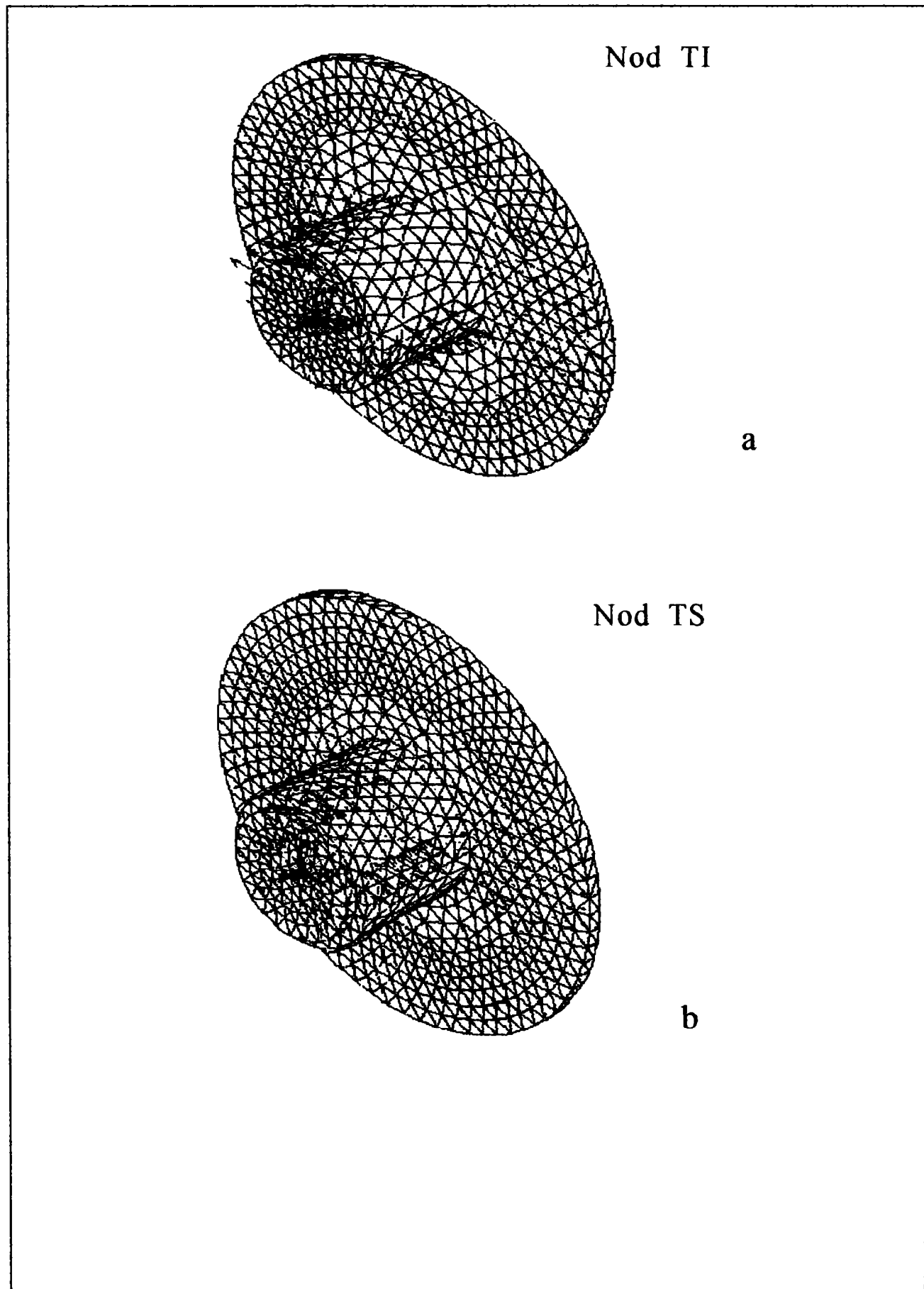


Fig.5.1 Distribuția încărcărilor pe nodurile structurii de la talpa inferioară și superioară

## **5.4. ANALIZA CU METODA ELEMENTELOR FINITE A STĂRII DE TENSIUNI ȘI DEFORMAȚII, ÎN NODURILE REALIZATE DIN CUPOANE DE ȚEAVĂ.**

### **5.4.1. Considerații generale**

Nodurile realizate din cupoane de țevă, ca de altfel și celelalte variante de realizare a acestora, sunt structuri deosebit de complicate, privitor la calculul lor, deoarece nu se pot reduce la elemente simple din statică și în plus ele sunt spațiale și solicitate spațial.

Metodele de calcul a lor, respectiv de stabilire a stărilor de tensiuni și deformații, cele mai uzitate sunt cele care au la bază elementul finit [10, 14, 17, 18, 20, 24, 28, 54, 62, 63, 68, 70], de diferite tipuri, calcul care nu se poate efectua decât cu ajutorul programelor de calcul automat [1, 67, 70], dat fiind numărul foarte mare de ecuații și de necunoscute, care poate ajunge la ordinul miilor și chiar a zecilor de mii.

În analiza de față s-a folosit metoda elementelor finite, elementul de bază fiind de tip SOLID 92, adică un tetraedru cu fețele triunghiuri, iar calculul propriu zis s-a efectuat cu programul ANSYS 5.0 [1].

Inițial s-au ales dimensiunile nodului realizat din cuponul de țevă cu două capace de diametri diferiți, care s-a generat cu programul ANSYS 5.0 și care a fost discretizat prin împărțire în elemente finite, rezultând 5960 elemente de tip tetraedre.

Structura fiind spațială și încărcările tot spațiale, determinarea stării de deformație și eforturi unitare, s-a obținut prin integrarea unor sisteme de ecuații cu derivate parțiale, care respectă condițiile de margine impuse.

Modelarea stării de eforturi unitare rezultă din condițiile de echilibru static scrise pentru elementul infinitezimal, decupat din structură cu ajutorul ecuațiilor cu derivate parțiale astfel:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + f_x &= 0 \\
 \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + f_y &= 0 \\
 \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + f_z &= 0
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

Aceste ecuații li se asociază **relațiile generale de legătură dintre deformațiile specifice și deplasări:**

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{Bmatrix} = [\partial] \cdot \{u\}
 \tag{5.2}$$

unde:  $\{\varepsilon\}$  - reprezintă vectorul deformațiilor specifice;

$\{u\}$  - reprezintă vectorul componentelor deplasărilor;

$[\partial]$  - matricea operator

Relația de legătură dintre eforturi și deformațiile specifice din domeniul liniar al comportării materialului, este exprimată prin legea generalizată a lui Hooke:

$$\{\sigma\} = [E]\{\varepsilon\}
 \tag{5.3}$$

unde:

$\{\sigma\}$  - este vectorul componentelor eforturilor unitare

$$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx};$$

[E] - este matricea simetrică a constantelor elastice, care pentru starea de deformație spațială în cazul materialelor izotrope, are următoarea formă:

$$\{E\} = \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\mu}{1-\mu} & \frac{\mu}{1-\mu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\mu}{1-\mu} & 1 & \frac{\mu}{1-\mu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\mu}{1-\mu} & \frac{\mu}{1-\mu} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

unde:  $E, \mu$  - reprezintă modulul de elasticitate, respectiv coeficientul Poisson al oțelului  $E = 2.1 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$ ,  $\mu = 0.3$ .

#### 5.4.2. Ecuațiile generale ale metodei elementelor finite

În metoda variațională, pentru determinarea ecuațiilor în elemente finite, se asociază o funcțională  $U_p$  care reprezintă energia potențială totală a structurii, care în formulare matricială are următoarea formă generală:

$$u_p = \int_V \frac{1}{2} \{\epsilon\}^T \{\sigma\} dV + \int_V \{\epsilon\}^T \{\sigma_0\} dV - \int_V \{u\}^T \{f\} dV - \int_S \{u\}^T \{p\} dS \quad (5.5)$$

în care sunt precizate:

- energia de deformare produsă de eforturile unitare  $\sigma$ ;
- energia de deformare produsă de eforturile unitare inițiale  $\sigma_0$ ;
- energia potențială produsă de lucrul mecanic al forțelor masice  $f$ ;

- energia potențială produsă de lucrul mecanic al încărcărilor exterioare  $p$ , care acționează pe suprafața exterioară (laterală) a structurii.

Modul de operare al metodei elementelor finite, constă în divizarea domeniului  $V$  în  $m$  elemente de volum  $V_i$  arbitrare. Funcția asociată  $U_p$ , care aproximează energia potențială totală a structurii, se poate particulariza pentru un element curent "i". Se exprimă astfel deplasările generale  $u(x,y,z)$  din cadrul elementului curent "i" în funcție de valorile nodale ale deplasărilor  $\delta$  prin intermediul unor funcții de aproximare.

În formulare matriceală, relația de aproximare a deplasărilor  $u(x,y,z)$  are următoarea formă generală:

$$\{u(x, y, z)\} = \{u_x, u_y, u_z\}^T = [N(x, y, z)]\{\delta\}_i \quad (5.6)$$

în care:  $[N]$  - reprezintă matricea funcțiilor de aproximare;

$\{\delta\}_i$  - vectorul deplasărilor nodale asociate elementului de discretizare.

Derivând relația deplasărilor (5.2) în raport cu coordonatele sistemului global de referință, în formulare matriceală, relațiile dintre deformațiile specifice  $\{\varepsilon\}$  și deplasările nodale  $\{\delta\}_i$ , arata astfel:

$$\{\varepsilon\} = [B]\{\delta\}_i \quad (5.7)$$

în care coeficienții matricei  $[B]$ , se obțin prin derivarea funcțiilor de interpolare  $[N]$  în raport cu coordonatele sistemului de referință.

Asemănător, legea generalizată a lui Hooke (5.3), în formulare matriceală, se exprimă în funcție de deplasările nodale astfel:

$$\{\sigma\} = [E][B]\{\delta\}_i \quad (5.8)$$

Utilizând notațiile (5.6), (5.7) și (5.8) în relația funcționalei (5.5), precizată pentru un anumit element finit curent "i", se obține relația generală a funcționalei:

$$U_p |_i = \frac{1}{2} \{\delta\}_i^T \left( \int_V [B]^T [E][B] dV \right) \{\delta\}_i + \{\delta\}_i^T \int_V [B]^T \{\sigma\}_i dV - \{\delta\}_i^T \int_V [N]^T \{f\} dV - \{\delta\}_i^T \int_S [N]^T \{p\} dS \quad (5.9)$$

În expresia funcțională asociate  $U_p$  (5.9), integrala din paranteză reprezintă matricea de rigiditate pentru elementul curent "i".

$$[K_i] = \int_V [B]^T [E][B] dV \quad (5.10)$$

iar vectorul forțelor care acționează în nodurile elementului (forțe nodale provenite din eforturile inițiale, forțe masice și forțe distribuite pe suprafața elementului) este:

$$\{r_i\} = -\{\delta\}_i^T \int_V [B]^T \{\sigma_0\} dV + \{\delta\}_i^T \int_V [N]^T \{f\} dV + \{\delta\}_i^T \int_S [N]^T \{p\} dS \quad (5.11)$$

Utilizând aceste notații, relația funcționalei asociate pentru un element curent "i", (5.9) va avea următoarea formă generală:

$$U_p|_i = \frac{1}{2} \{\delta\}_i^T [k_i] \{\delta\}_i - \{\delta\}_i^T \{r_i\} - \{\delta\}_i^T \{F_i\} \quad (5.12)$$

în care al treilea termen reprezintă contribuția energiei potențiale provocată de acțiunea forțelor concentrate în nodurile elementului.

Energia totală a întregii structuri, se obține prin însumarea contribuțiilor elementelor componente ale structurii discretizate.

Operațiile de adunare a vectorilor și matricelor de rigiditate se realizează prin re poziționarea și extinderea lor la dimensiunea structurii, iar relația generală devine:

$$U_p = \frac{1}{2} \{\delta\}^T \left( \sum_1^n [k_i] \right) \{\delta\} - \{\delta\}^T \left( \sum_1^n \{r_i\} \right) - \{\delta\}^T \left( \sum_1^n \{F_i\} \right) \quad (5.13)$$

iar dacă se utilizează notațiile:

$$[K] = \sum_1^n [k_i]; \quad \{R\} = \sum_1^n \{r_i\} + \sum_1^n \{F_i\} \quad (5.14)$$

se obține într-o formă compactă expresia:

$$U_p = \frac{1}{2} \{\delta\}^T [K] \{\delta\} - \{\delta\}^T \{R\} \quad (5.15)$$

Se diferențiază funcționala (5.15) în raport cu necunoscutele  $\delta$  care reprezintă condiția de minimalizare a energiei potențiale totale și apoi se egalează cu zero. Astfel se obține sistemul de ecuații algebrice liniare:

$$[K] \{\delta\} + \{R\} = 0 \quad (5.16)$$



unde:

[K] - reprezintă matricea asamblată a domeniului;

[R] - reprezintă vectorul asamblat al relațiilor de condiție aferente domeniului;

{ $\delta$ } - reprezintă vectorul asamblat al deplasărilor în nodurile domeniului;

Rezolvând sistemul de ecuații (5.16) rezultă deplasările necunoscute  $\delta$  ale discretizării, care înlocuite în relațiile de legătură dintre eforturi și deformațiile specifice din domeniul liniar al comportării materialului (5.8), se obțin eforturile specifice în nodurile structurii discretizate.

### 5.4.3. Discretizarea domeniului de analiză. Date generale

Pentru studiul care urmează s-a considerat un nod al structurii reticulate realizat dintr-un cupon de țevă de 120 mm lungime, 152 mm diametrul exterior, 12 mm grosime peretele cuponului de țevă și 432 mm diametrul capacului mare al nodului care s-a ales de aceeași grosime cu peretele cuponului de țevă.

Domeniul precizat s-a discretizat utilizând elemente finite spațiale de tip tetraedru cu 10 noduri, 4 în colțurile elementului și 6 la mijlocul muchiilor, rezultând elementul SOLID 92, care va împărți întreaga structură în 5960 elemente de acest tip.

Studiul stării de deformații și tensiuni se realizează cu programul ANSYS 5.0, care este suficient de performant pentru a rezolva sistemul mare de ecuații de tipul (5.16) ca după obținerea deplasărilor necunoscute din relația (5.8) să se evidențieze eforturile specifice în nodurile structurii discretizate.

Aplicarea forțelor, care se face în nodurile rețelei obținute, în zona guseelor de prindere a barelor (tălpi și diagonale) de nod, se face după un calcul sumar de distribuire a eforturilor din bare la numărul nodurilor rețelei din zona de îmbinare a guseelor mai sus amintite, inclusiv pe porțiunea corespunzătoare de pe capacul mai dezvoltat.

Mărimea acestor încărcări sunt prezentate în tabelul 5.1, funcție de tipul

nodului care urmează să fie studiat.

Pentru ca structura (nodul) să poată fi studiată și să fie în echilibru, a fost necesar un artificiu, introducând trei legături, în cele trei colțuri a suprafeței uneia din barele tetraedrului, care conține originea sistemului, legături care anulează atât deplasările cât și rotațiile după cele trei direcții în spațiu.

Toate dimensiunile nodului și încărcările pe acesta respectiv constantele cerute de program s-au introdus în conformitate cu cele din sistemul internațional.

#### 5.4.4. Analiza statică. Prezentarea rezultatelor

Simularea numerică prin metoda elementelor finite a avut ca efect obținerea câmpului deplasărilor și eforturilor unitare în toate nodurile discretizării, din încărcările provenite din eforturile în barele structurii concurente în nodurile studiate. Prin operațiile de postprocesare a deplasărilor și eforturilor unitare s-au obținut imaginile sintetice, care prin procedee de captare [67, 68], permit vizualizarea lor și conduc la aprecieri calitative asupra stării de deformații și tensiuni din nodurile studiate.

Pentru ca această apreciere să fie mai facilă, imaginea deplasărilor și tensiunilor apare colorată, bineînțeles semnificația (legenda) culorilor însoțind imaginea. Mărimea, maximă și minimă apare ca valoare pentru deplasări și tensiuni, celelalte valori fiind apreciate prin diferite culori, bineînțeles, având semnificații precise.

Se va observa că blocajul de pe capacul mic al nodului (cele trei legături) influențează dar numai zonal valoarea tensiunilor, de aceea pentru a fi evidentă influența lor, se va reprezenta nodul cu și fără acest capac, observând consecințele, respectiv mărimile tensiunilor. De reținut că mărimile din legendele reprezentărilor grafice sunt exprimate ca unități de măsură în S.I. (eforturi unitare în Mnewtoni/metru pătrat, iar deformațiile în metri).

În fig.5.2. s-au reprezentat eforturile unitare echivalente  $\sigma_{ech}$ , pe nodul tălpii inferioare în varianta, nod complet (fig.5.2.a) și varianta nod fără capacul mic, care conține cele trei puncte de blocaj (fig.5.2.b) și deformația totală a nodului (fig.

5.2.c) sub acțiunea încărcărilor exterioare.

Comparând valorile maxime ale eforturilor unitare echivalente, la cele două variante amintite, se observă că în cazul nodului complet  $\sigma_{ech}^{max} = 5930 \text{ daN/cm}^2$  în timp ce pe nodul la care i s-a eliminat porțiunea de capac, care conține punctele de fixare arbitrar alese,  $\sigma_{ech}^{max} = 2870 \text{ daN/cm}^2$  ceea ce pentru un element realizat din oțel OL 52 este mai mult decât satisfăcător.

În fig. 5.3. sunt reprezentate eforturile unitare normale  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  pe nodul tălpii inferioare complete, în fig.5.4. sunt reprezentate aceleași eforturi unitare normale pe nodul tălpii inferioare fără capac, iar în fig. 5.5 eforturile unitare normale pe nodul tălpii inferioare secționat, pentru a se facilita observarea influenței încărcărilor și asupra părții interioare a cuponului de țeavă.

În fig.5.6. sunt reprezentate eforturile unitare tangențiale  $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$  pe nodul tălpii inferioare complete, în fig. 5.7, sunt reprezentate aceleași eforturi unitare tangențiale, dar pe nodul tălpii inferioare fără capacul mic, iar în fig.5.8. eforturile unitare tangențiale pe nodul tălpii inferioare secționat.

În fig. 5.9 sunt reprezentate eforturile unitare normale principale  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , pe nodul tălpii inferioare complete, în fig.5.10 pe nodul tălpii inferioare fără capacul mic și în fig.5.11 pe nodul tălpii inferioare secționat.

În fig. 5.12 sunt reprezentate deformațiile  $u_x, u_y, u_z$  ale nodului tălpii inferioare întreg, iar în fig. 5.13, aceleași deformații, dar pentru nodul tălpii inferioare fără capacul mic.

Pentru o mai ușoară observare a diferenței de eforturi unitare între nodul tălpii inferioare cu capac și nodul fără capac, toate valorile maxime care apar înscrise în legenda reprezentărilor vor fi prezentate în tabelul 5.2, consemnare care va permite și o comentare a acestor valori.

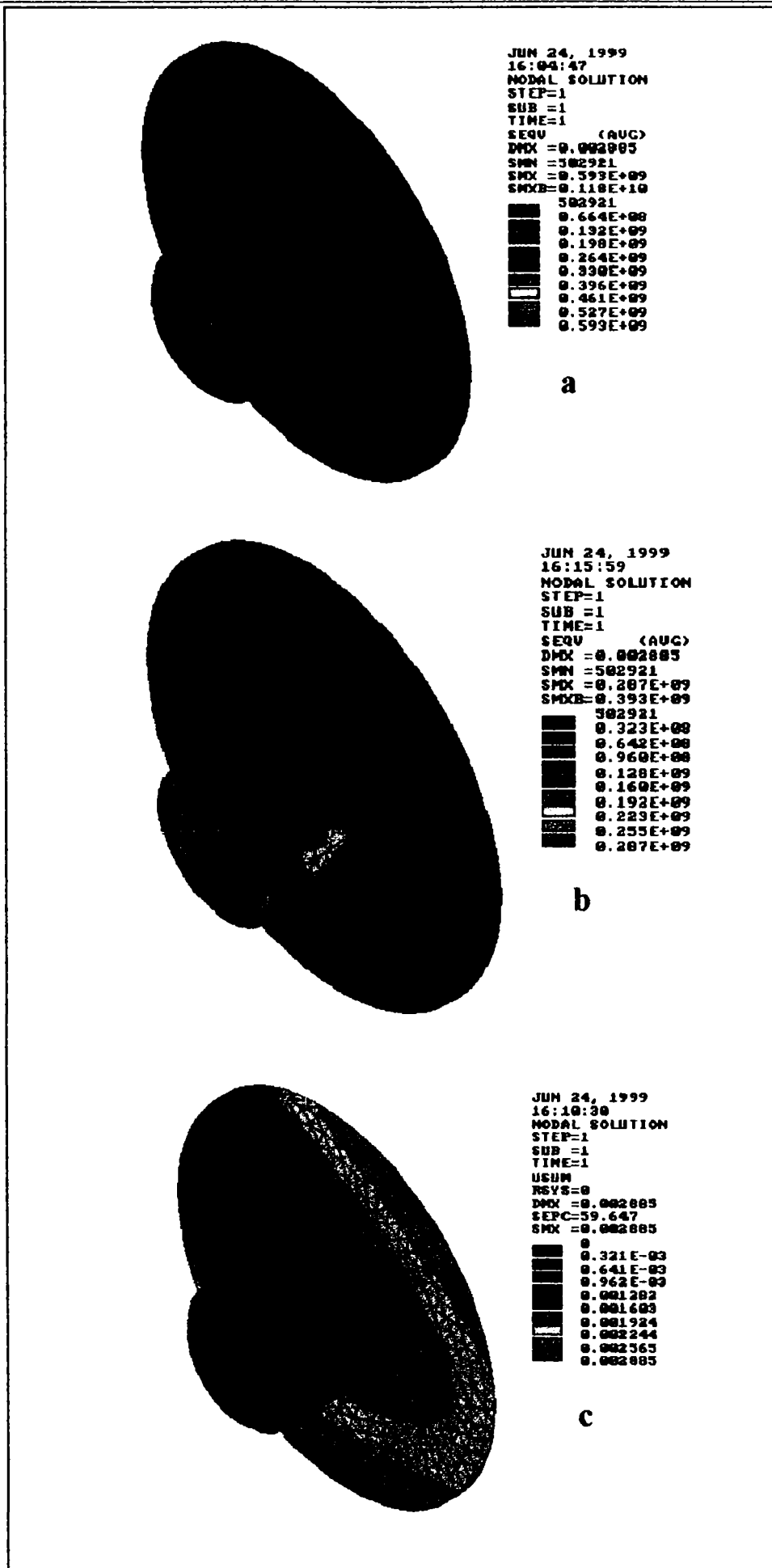


Fig. 5.2. Eforturile unitare echivalente  $\sigma_{ech}$  pe nodul tălpii inferior ??? complet și fără capac și suma deformațiilor  $\mu(x,y,z)$

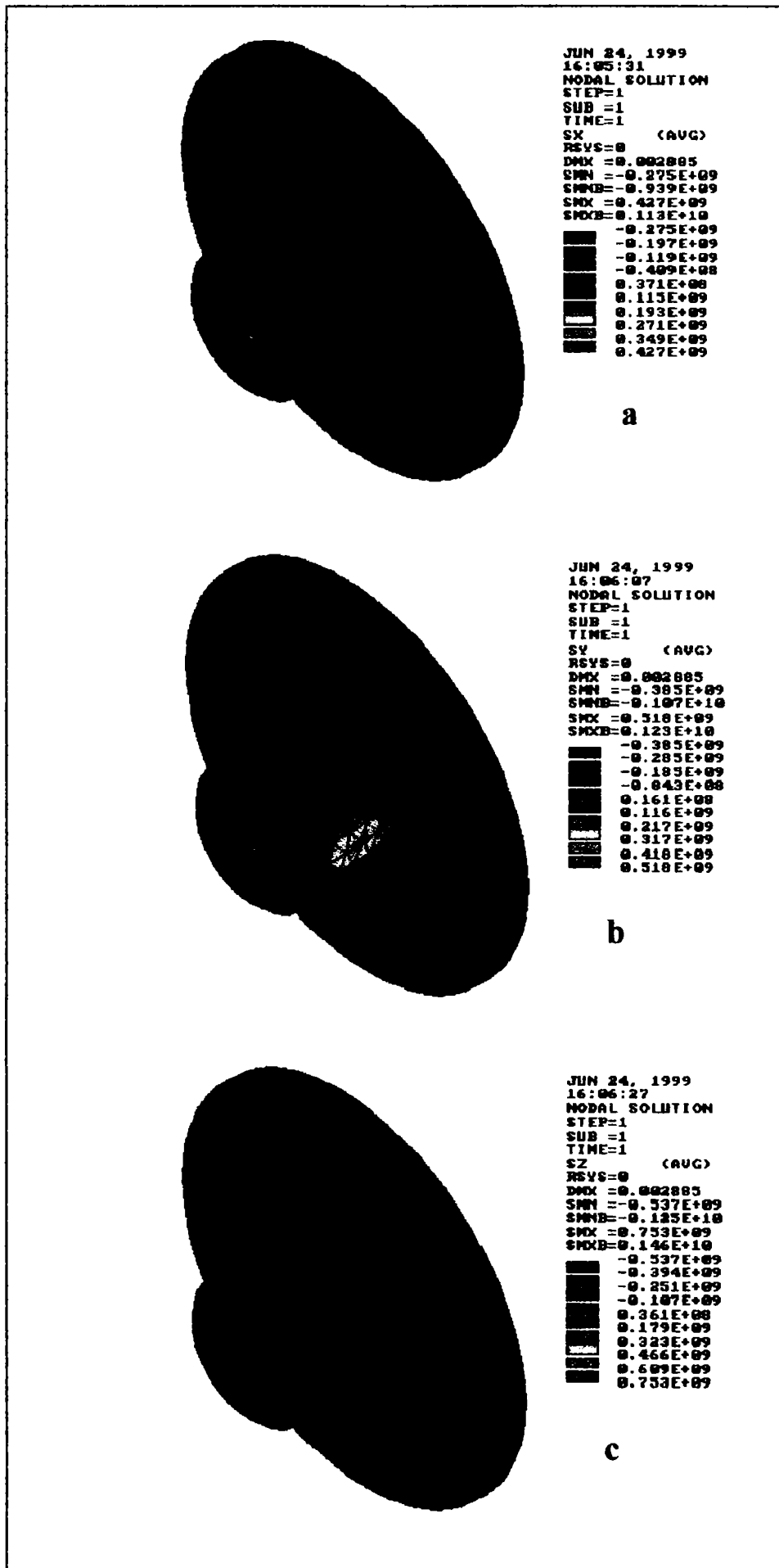


Fig. 5.3. Eforturile unitare normale  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  pe nodul de la T.I. complet

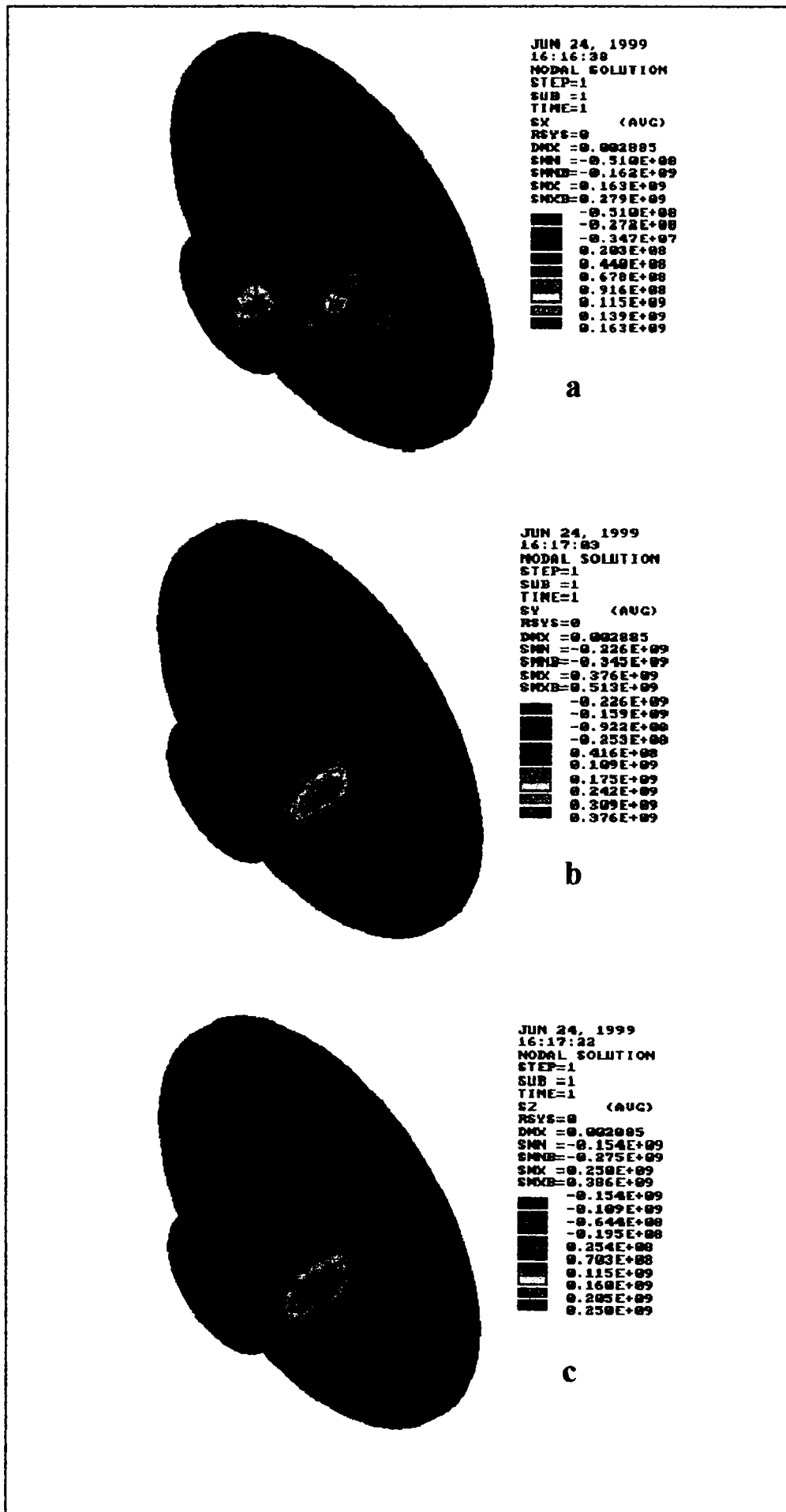


Fig. 5.4. Eforturile unitare normale  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  pe nodul de la T.I. fără capacul mic

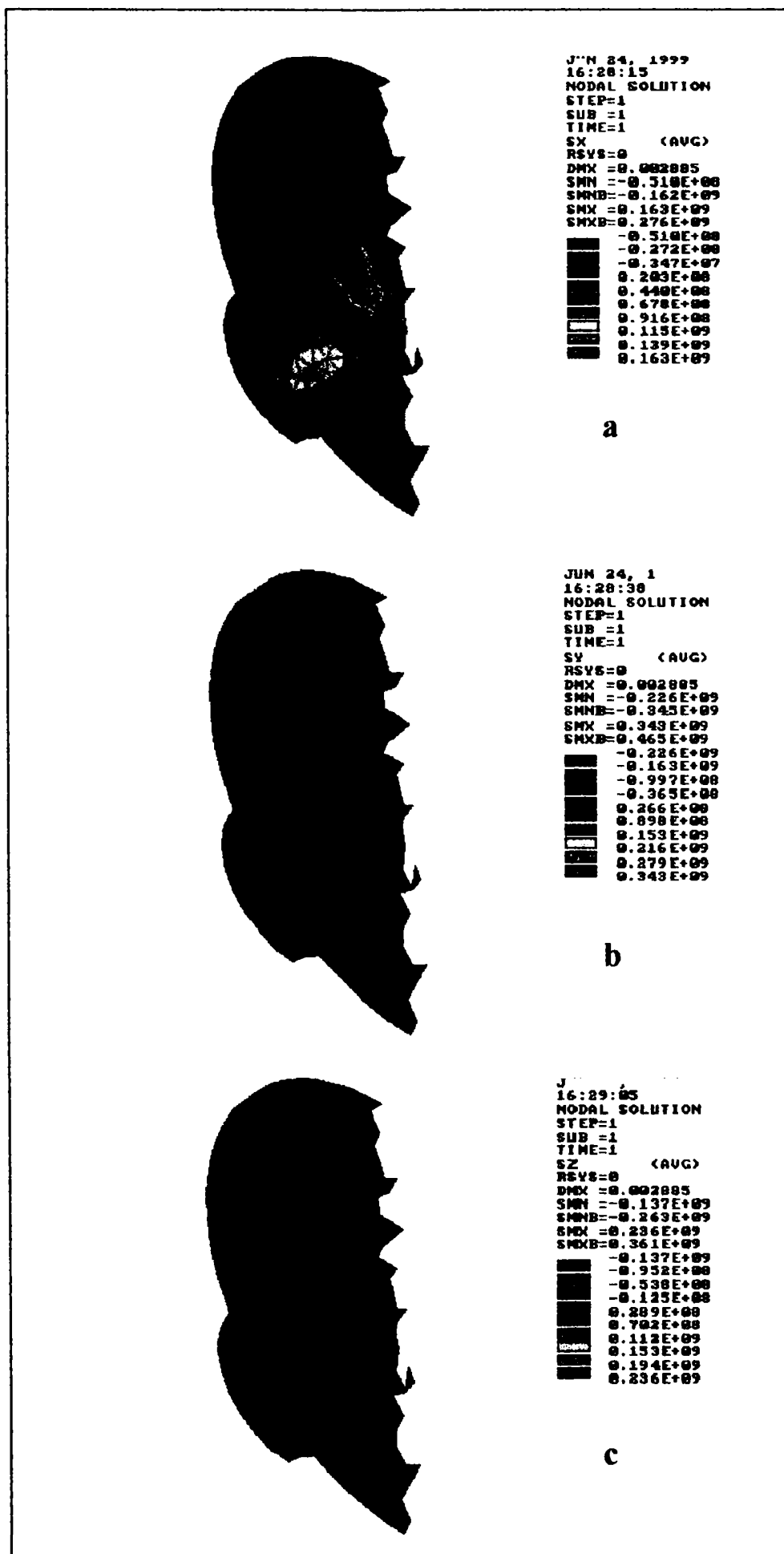


Fig. 5.5. Eforturile unitare normale  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  pe nodul tălpii inferioare secționat

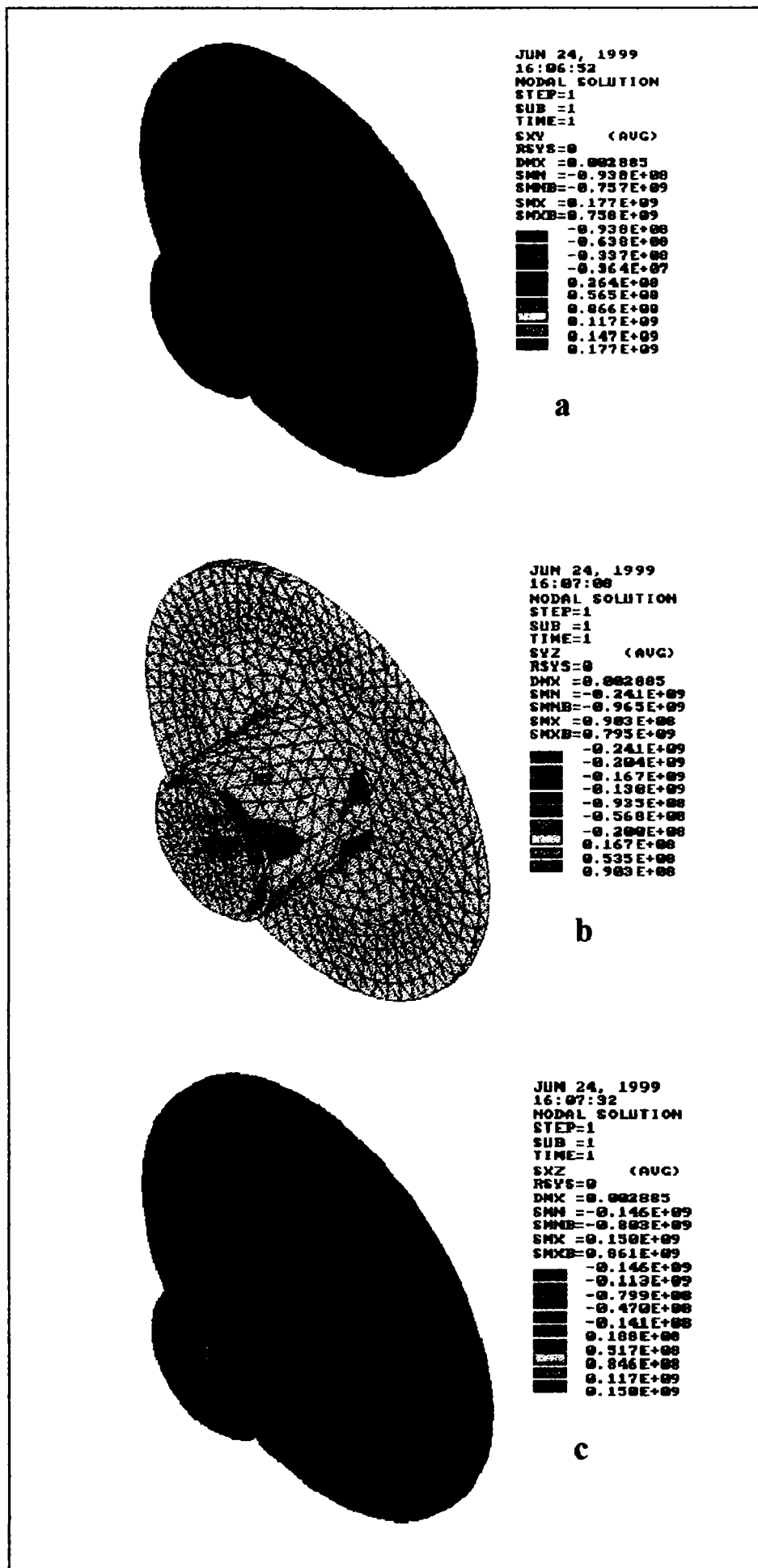


Fig. 5.6. Eforturile unitare tangențiale  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{xz}$  pe nodul tălpii inferioare cu capac (complex)



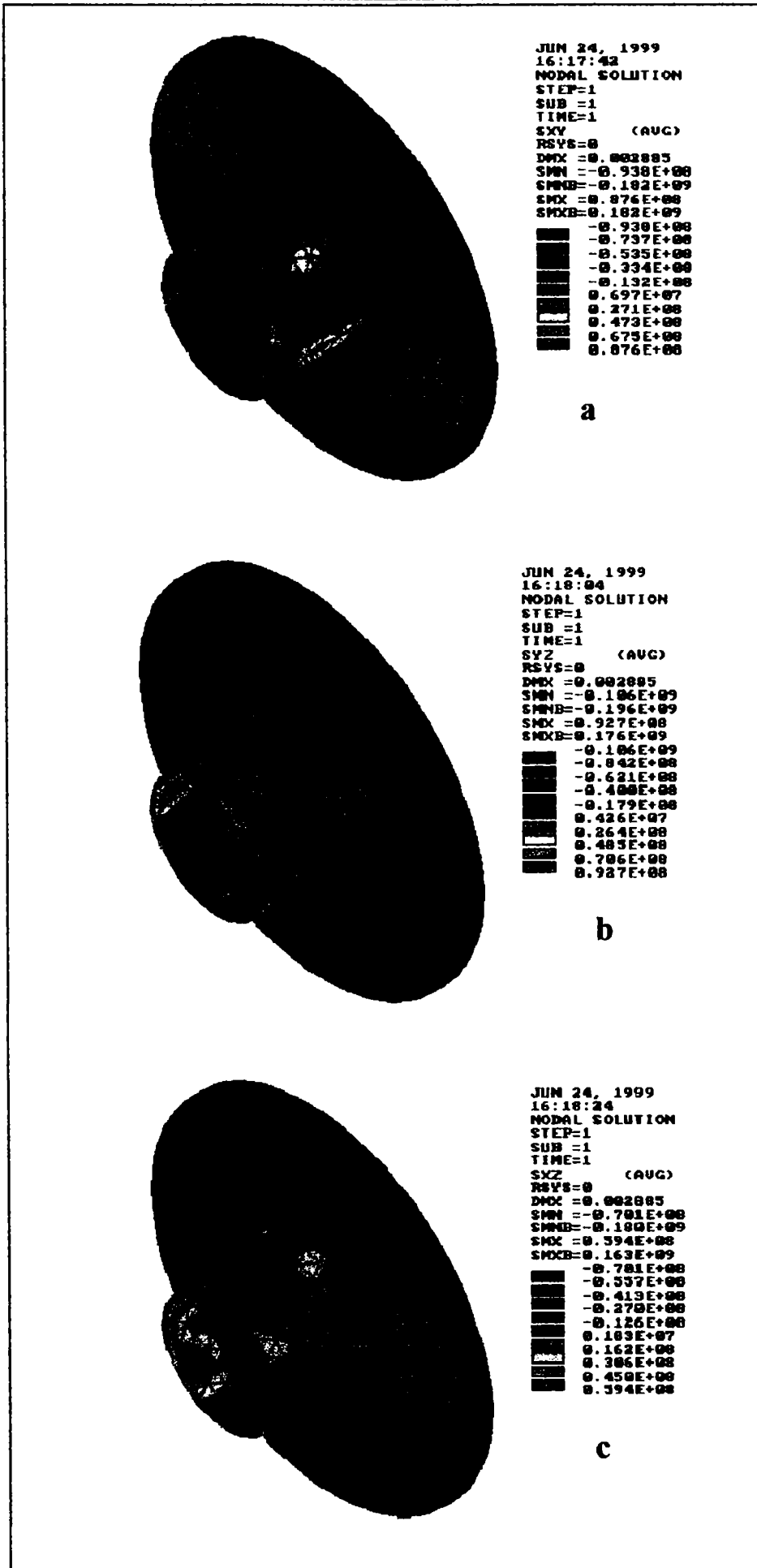


Fig. 5.7. Eforturile unitare tangențiale  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{xz}$  pe nodul tălpii inferioare fără capac

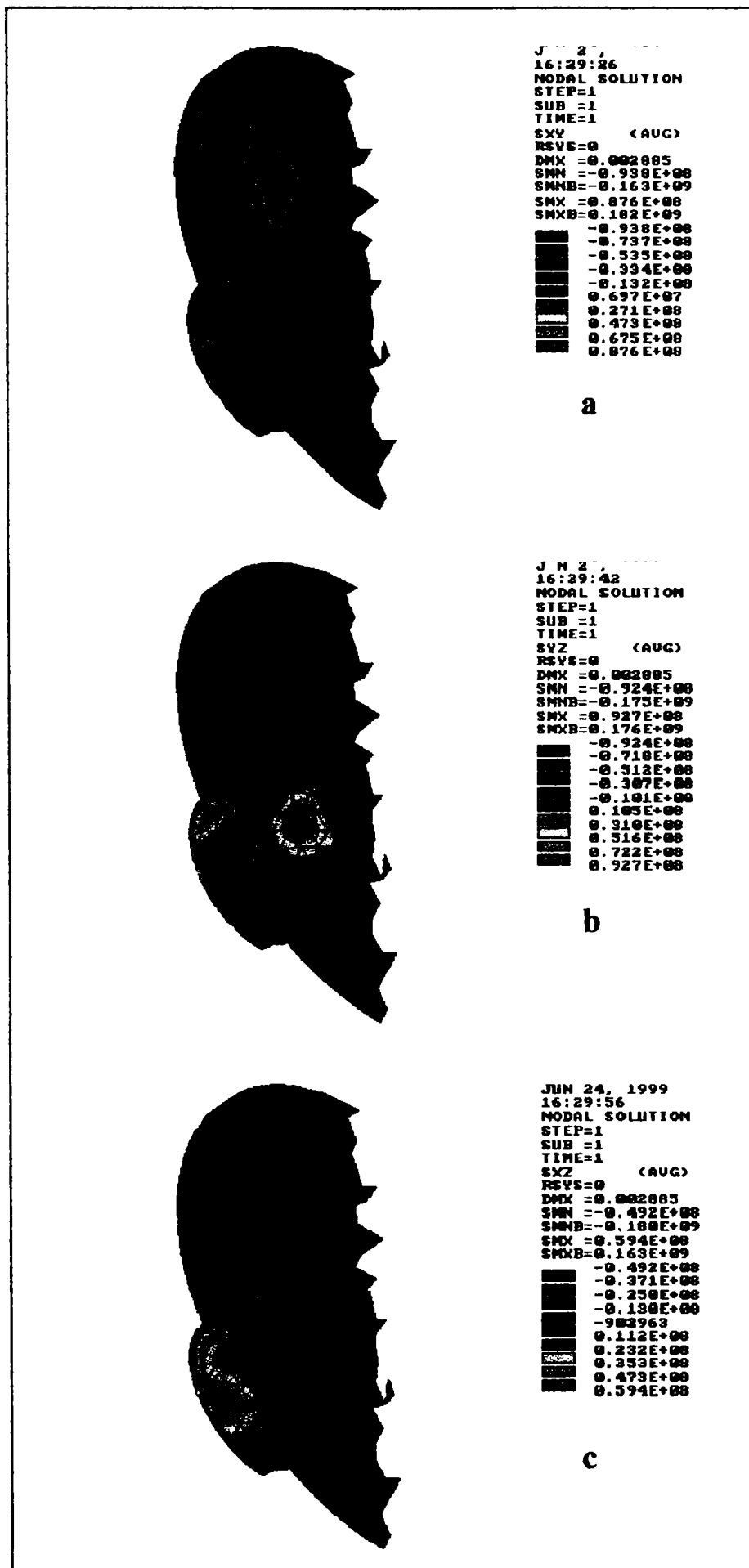


Fig. 5.8. Eforturile unitare tangențiale  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{xz}$  pe nodul tălpii inferioare secționat

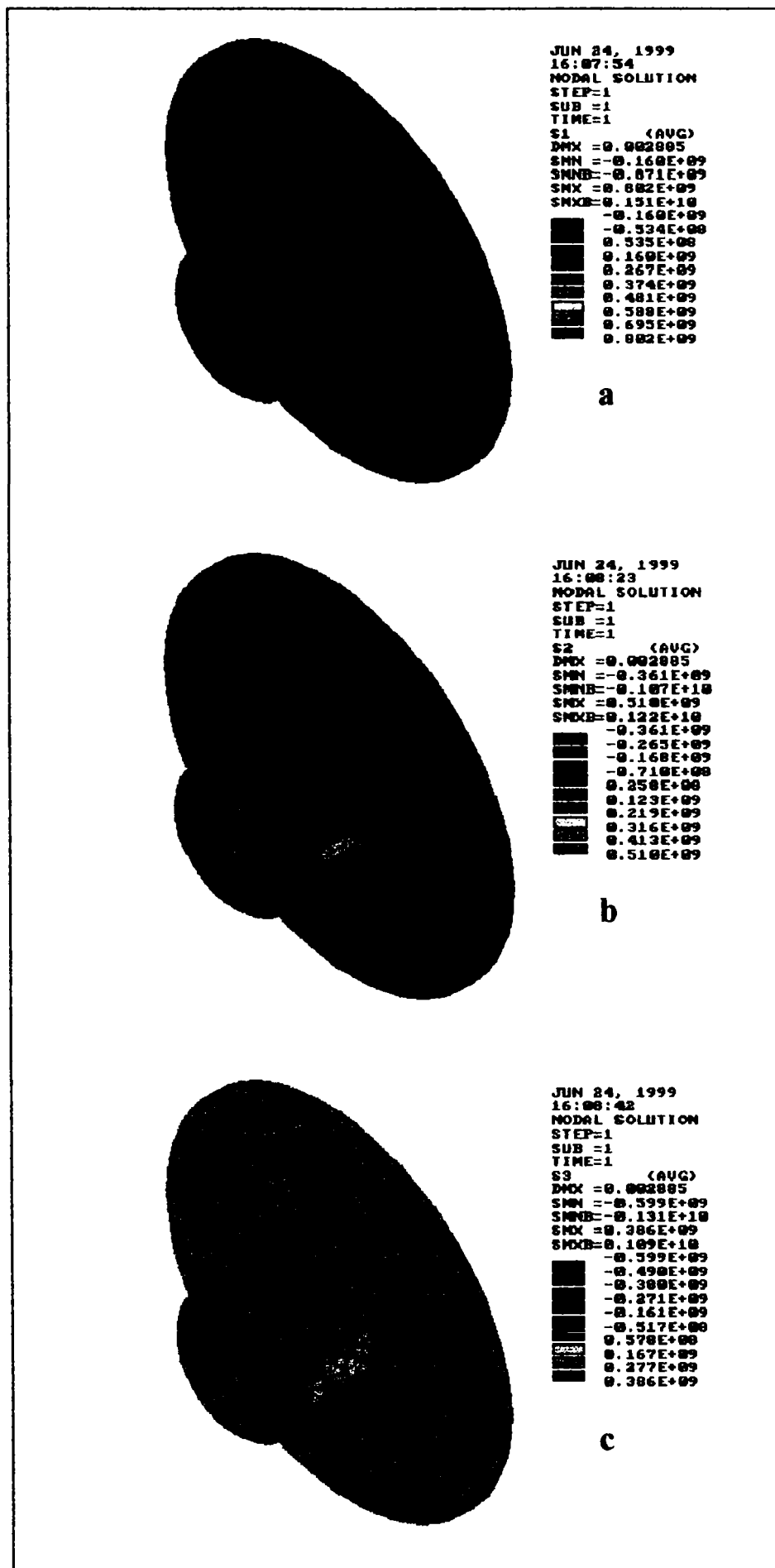


Fig. 5.9. Eforturile unitare normale principale  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  pe nodul tăpii inferioare complet

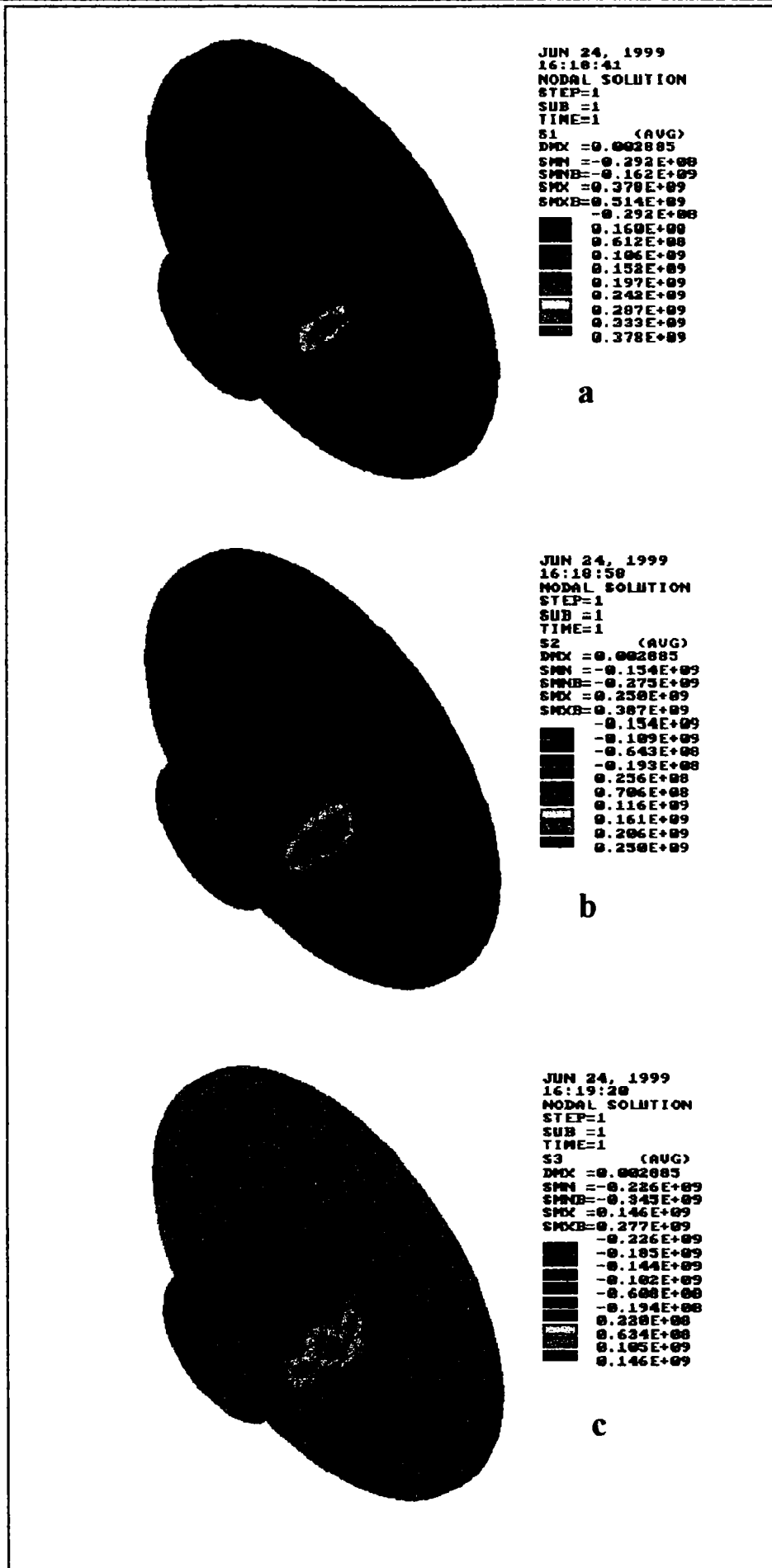


Fig. 5.10. Eforturile unitare normale principale  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  pe nodul tăpii inferioare fără capac

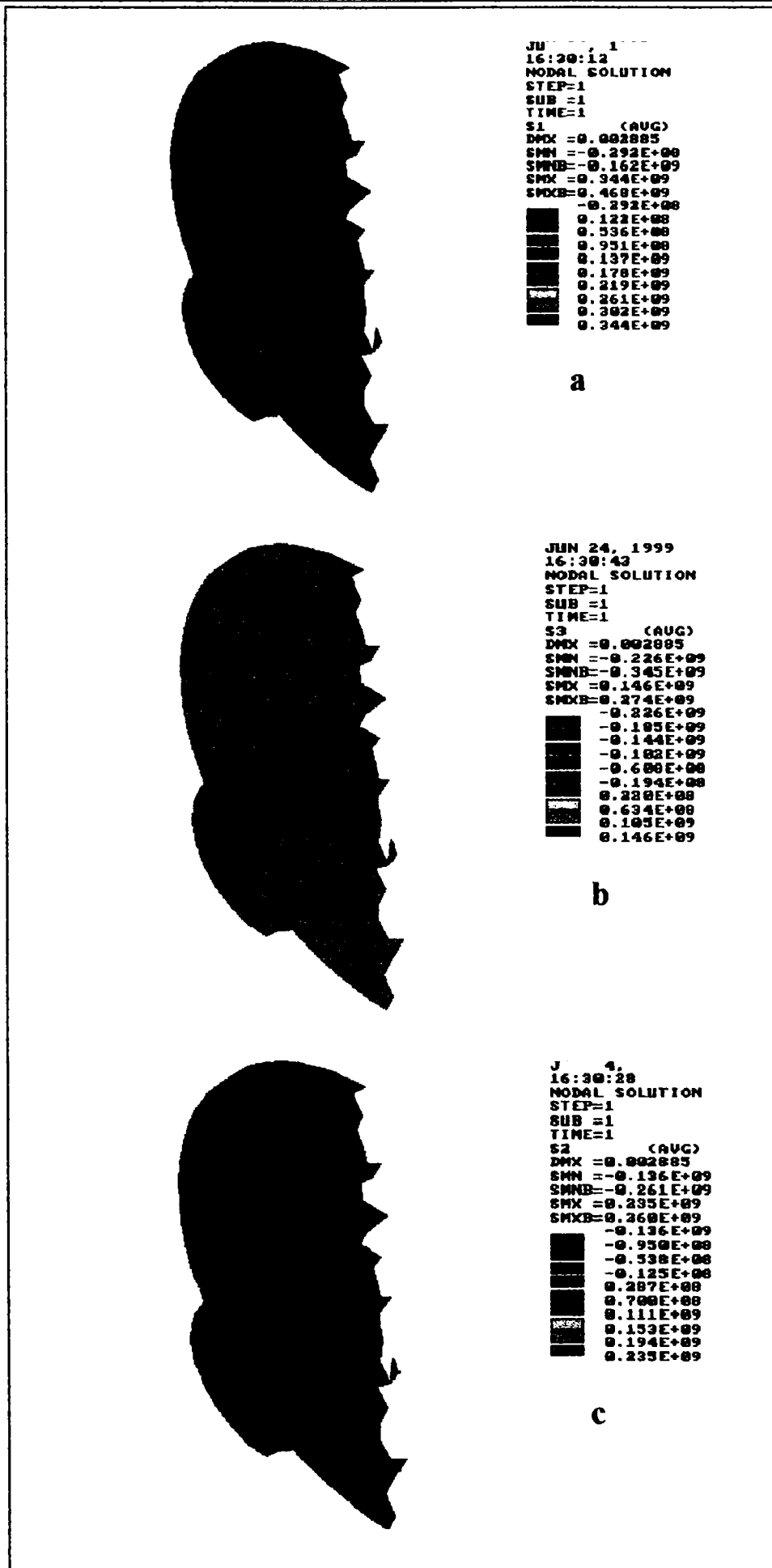


Fig. 5.11. Eforturile unitare normale principale  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  pe nodul tălpii inferioare secționat

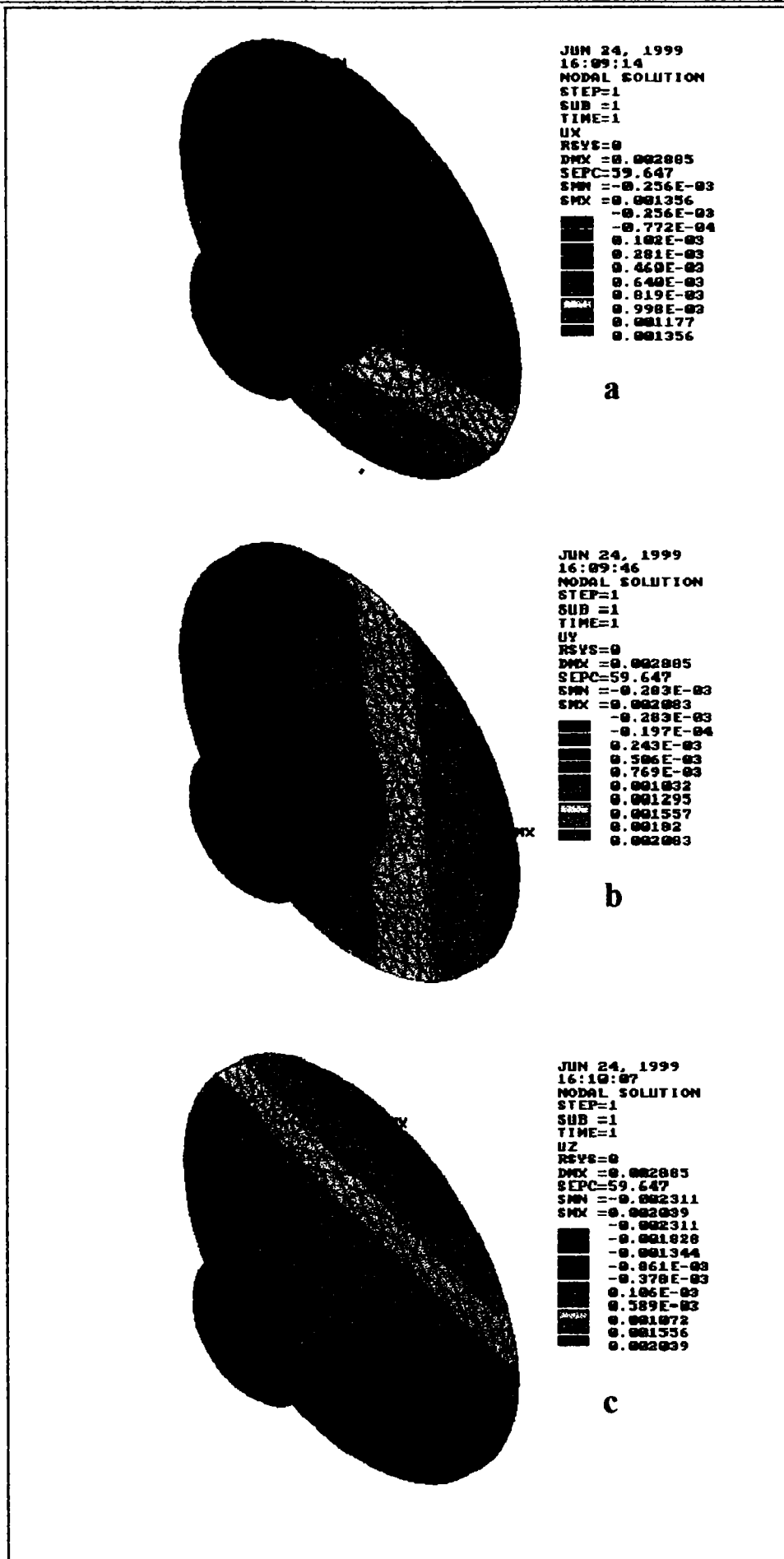


Fig. 5.12. Deformațiile  $u_x$ ,  $u_y$ ,  $u_z$  pentru nodul tăpii inferioare complet

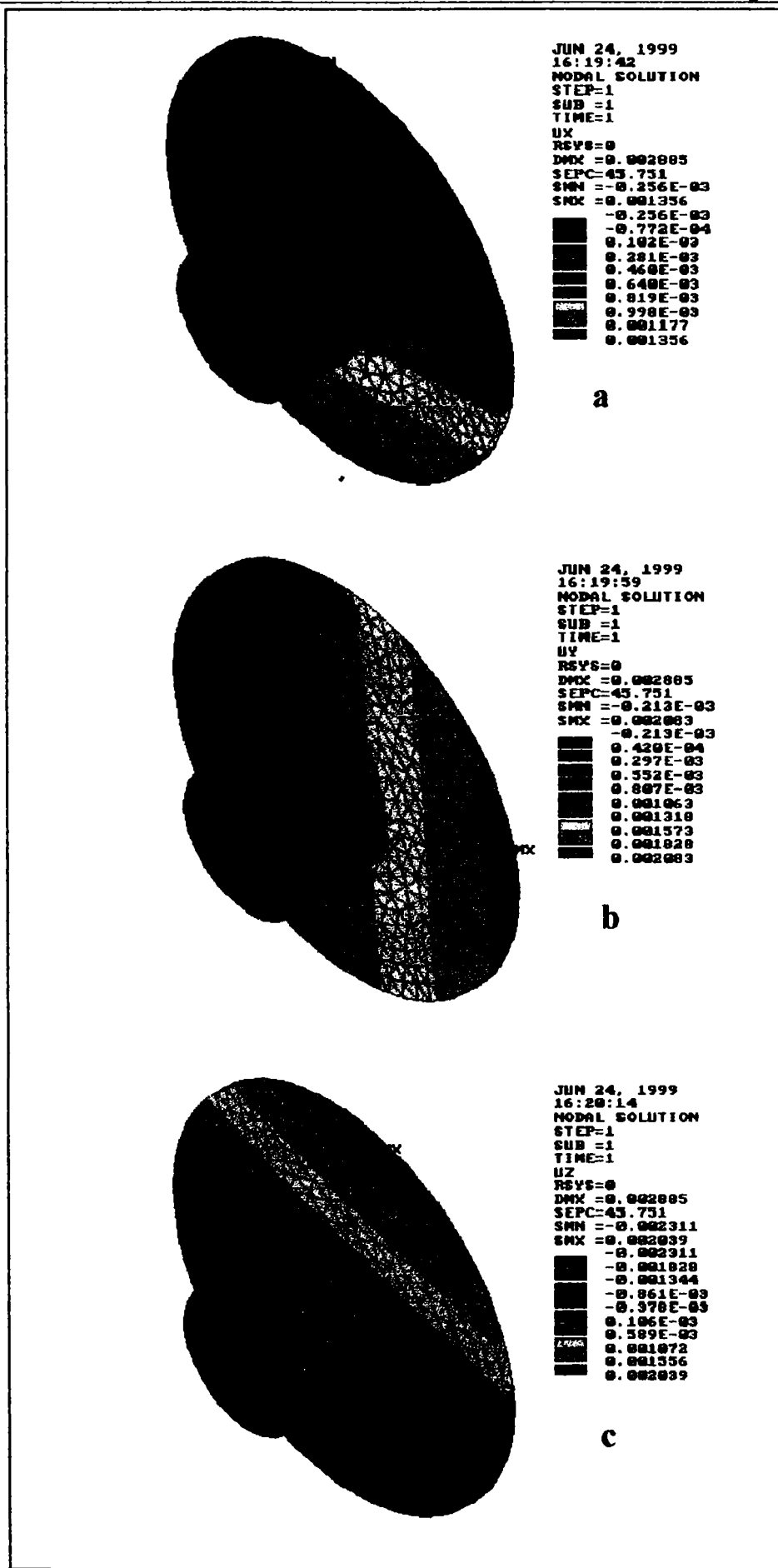


Fig. 5.13. Deformațiile  $u_x$ ,  $u_y$ ,  $u_z$  pentru nodul tălpii inferioare fără capac

Tabelul 5.2. Eforturi unitare și deplasări înregistrate pe nodul tălpii inferioare

Tipul de efort sau deformație	Efortul sau deformația	Pe nodul complet [daN/cm <sup>2</sup> ];[m]	Nodul fără capac [daN/cm <sup>2</sup> ];[m]
Efortul unitar echivalent	$\sigma_{ech}$	5930	2870
Efortul unitar normal	$\sigma_x$	4270	1630
	$\sigma_y$	5180	3760
	$\sigma_z$	7530	2500
Efortul unitar tangențial	$\tau_{xy}$	1770	876
	$\tau_{yz}$	903	927
	$\tau_{xz}$	1500	594
Efortul unitar principal	$\sigma_1$	8020	3780
	$\sigma_2$	5100	2500
	$\sigma_3$	3860	1460
Deplasări	$u_x$	0.001356	0.001356
	$u_y$	0.002083	0.002083
	$u_z$	0.002039	0.002039
	$u_{(x,y,z)}$	0.002885	0.002885

Analizând mărimile eforturilor unitare pe nodul complet și pe nodul fără capac, se observă o diferență evidentă în defavoarea celui de al doilea respectiv o scădere a valorii acestora cu peste 50% în majoritatea cazurilor. Aceasta se explică prin faptul că, pe capacul mic al nodului, acolo unde s-au introdus artificial trei puncte de reazem, apar niște eforturi unitare mari, artificial create, care pe structura reală, pe care nu există acele noduri de blocaj, nu apar și nu se comite nici o eroare dacă se renunță la acea porțiune din nod.

În orice caz, eforturile din diagonale sunt foarte mici, comparativ cu cele din tălpile structurii reticulate, ele nedepășind 10% din cele mai mici eforturi ale tălpilor, dar diagonalele își au și ele rolul lor bine definit, acela de a face structura în ansamblu rigidă și indeformabilă, influența eforturilor din diagonale mai ales asupra indeformabilității structurii remarcându-se prin faptul că nodul indiferent de ipoteza în care s-a studiat cu sau fără capac, are aceleași deformații  $u_x$ ,  $u_y$ ,  $u_z$  și totală  $u_{(x,y,z)}$ .

La observarea atentă a culorilor care indică eforturile unitare mari, pe nodul complet, se remarcă poziționarea acestora pe capacul mic al nodului, iar la nodul



cu această porțiune îndepărtată, se remarcă valori mari ale eforturilor unitare pe porțiunea cilindrică a nodului.

Această distribuție este normală întrucât acestea sunt zonele de legătură prin intermediul guseelor între nod și tălpile structurii, zone care sunt cele mai încărcate de pe întreaga suprafață a nodului.

Deformațiile cele mai mari în schimb, apar pe capacul mare al nodului, spre marginea acestuia și mai ales în zona de prindere a tălpilor longitudinale, respectiv cu eforturi mai mici.

Pentru ca mărimile prezentate în tabelul 5.2 să fie și mai evidente, în fig. 5.14 s-au vizualizat prin trasarea grafică a acestora, pentru cele două ipoteze de prezentare, a eforturilor unitare pe nodul complet și pe nodul fără capac mic.

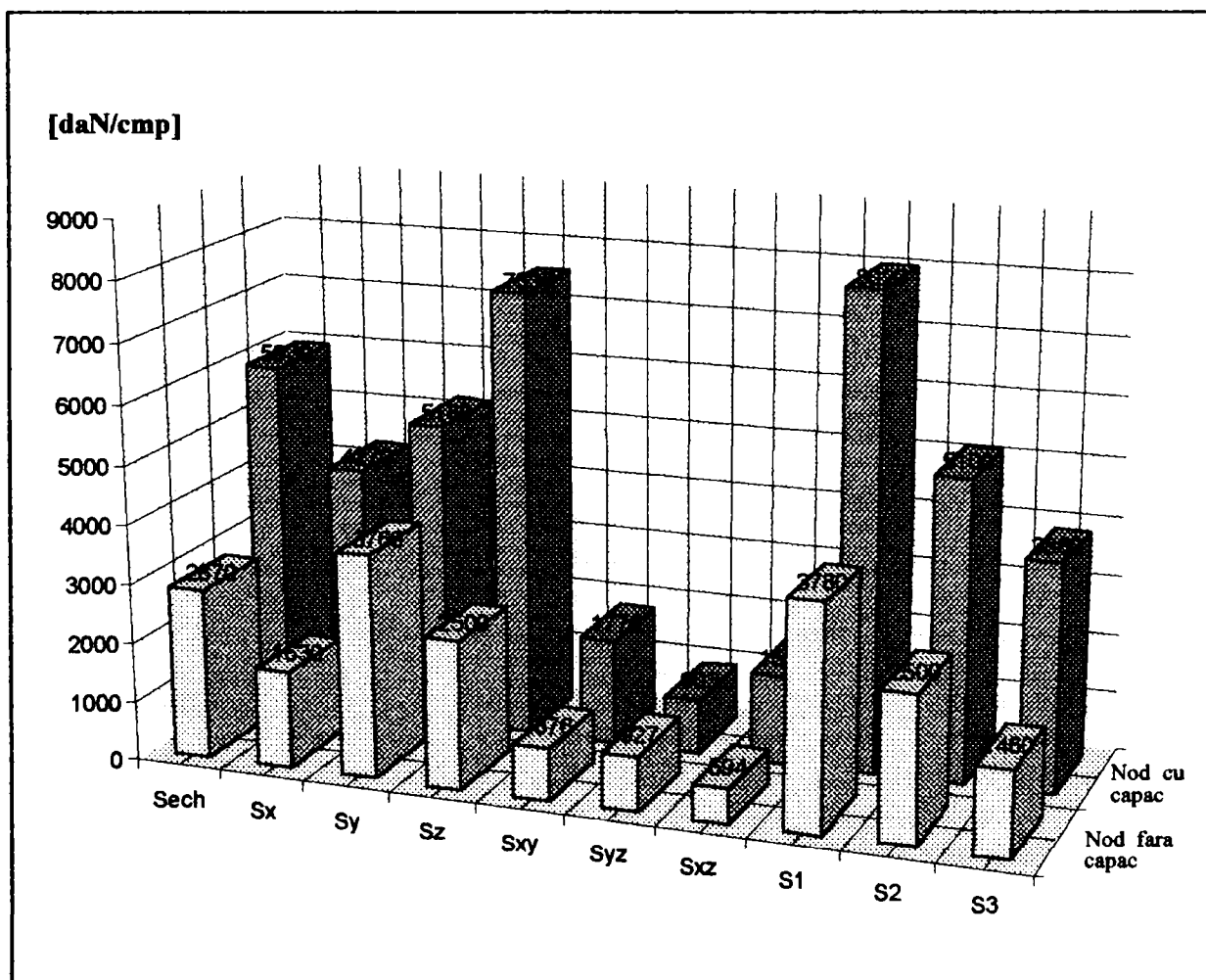


Fig.5.14. Prezentarea grafică a eforturilor unitare  $\sigma_{ech}$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  pe nodul complet și pe nodul fără capac

Toate studiile și referirile care s-au făcut până la acest nivel, în acest

paragraf, s-au realizat pentru nodul de la talpa inferioară, în care barele tălpii care se întâlnesc, au eforturi de întindere, solicitări care nu pun probleme construcțiilor realizate din oțel, care au aceeași rezistență la întindere, respectiv compresiune.

**Nodul tălpii superioare**, este încărcat cu forțele corespunzătoare, efortului din barele concurente, conform celor prezentate în tabelul 5.1, ele fiind atât în tălpi cât și în diagonale, de compresiune, în plus pe capacul mare al nodului, în interiorul suprafeței delimitate de conturul cuponului de țevă, s-a încărcat suplimentar cu cota parte din greutatea învelitorii, panelor și zăpezii, care-i revin nodului studiat.

Eforturile din bare au fost transformate în forțe, care s-au distribuit în nodurile rețelei generate pe nodul structurii cu programul ANSYS 5.0, ca la nodul tălpii inferioare a structurii.

Dimensiunile geometrice ale nodului s-au pastrat aceleași ca la nodul tălpii inferioare și de asemeni pe capacul mic al nodului, de care se prind diagonalele, s-au ales trei puncte, pe care s-au realizat cele trei blocaje, pentru a permite realizarea studiului eforturilor unitare.

Sistemul de axe are originea pe capacul mic, axa oz cu sensul pozitiv este orientată gravitațional, adică spre interiorul structurii, axa ox este așezată după direcția transversală structurii, în lungul ei acționând forțele maxime, iar axa oy este orientată longitudinal structurii. Și în acest caz eforturile din diagonale sunt doar 10% din eforturile minime din tălpile structurii, sau chiar mai mici. Pentru a nu repeta ceea ce deja s-a constatat la nodul de la talpa inferioară, după ce a fost rulat cu ajutorul programului ANSYS 5.0 și s-au obținut rezultatele, observând apariția acelor valori mari ale eforturilor unitare la nivelul capacului mic, în momentul captării și reprezentării imaginii eforturilor s-a îndepărtat acel capac, pentru a nu influența rezultatul final și s-au prezentat următoarele rezultate:

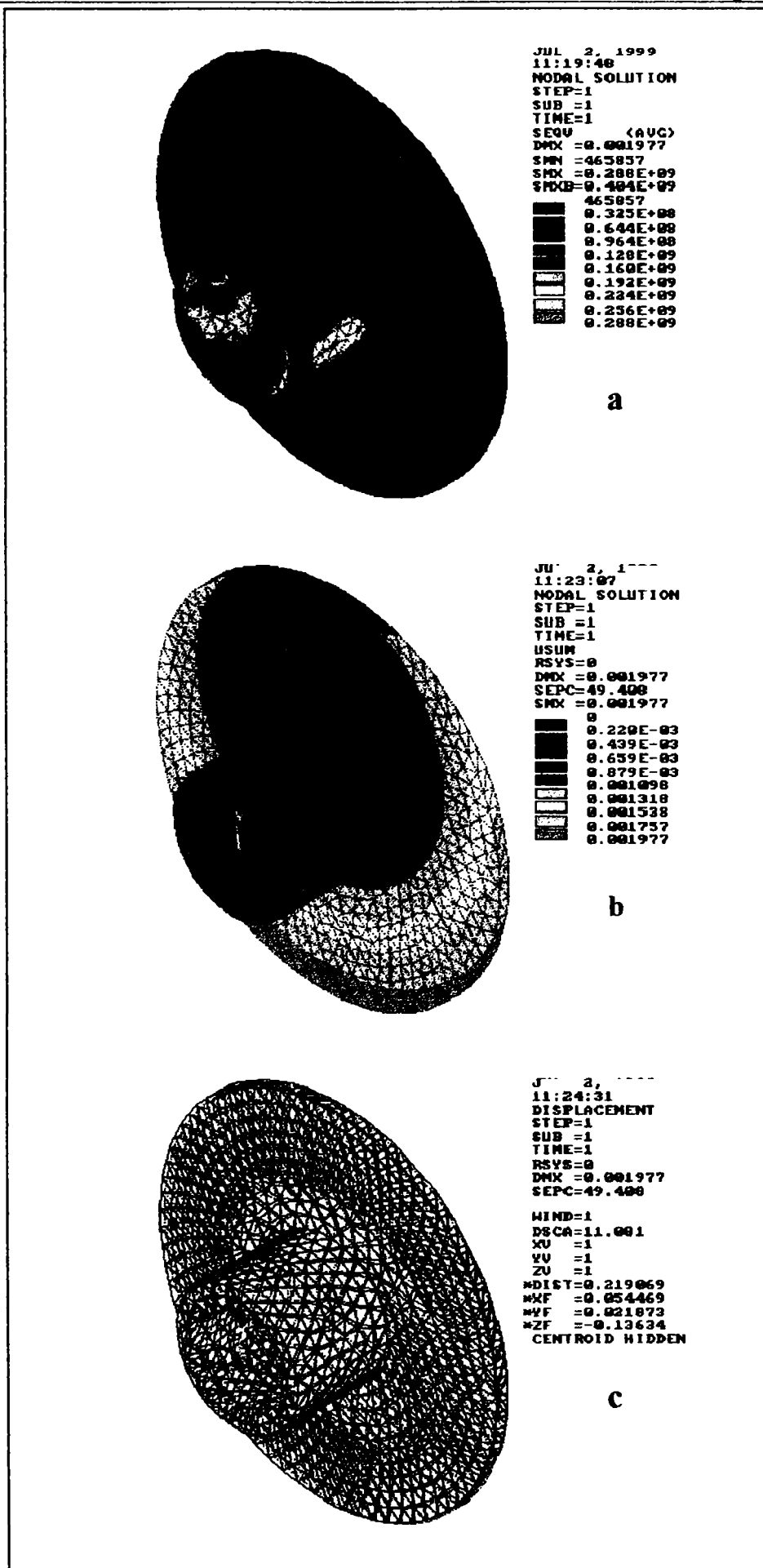


Fig. 5.15. Efortul unitar echivalent, rezultanta deplasării  $u(x,y,z)$  și deformarea nodului de la talpa superioară a structurii

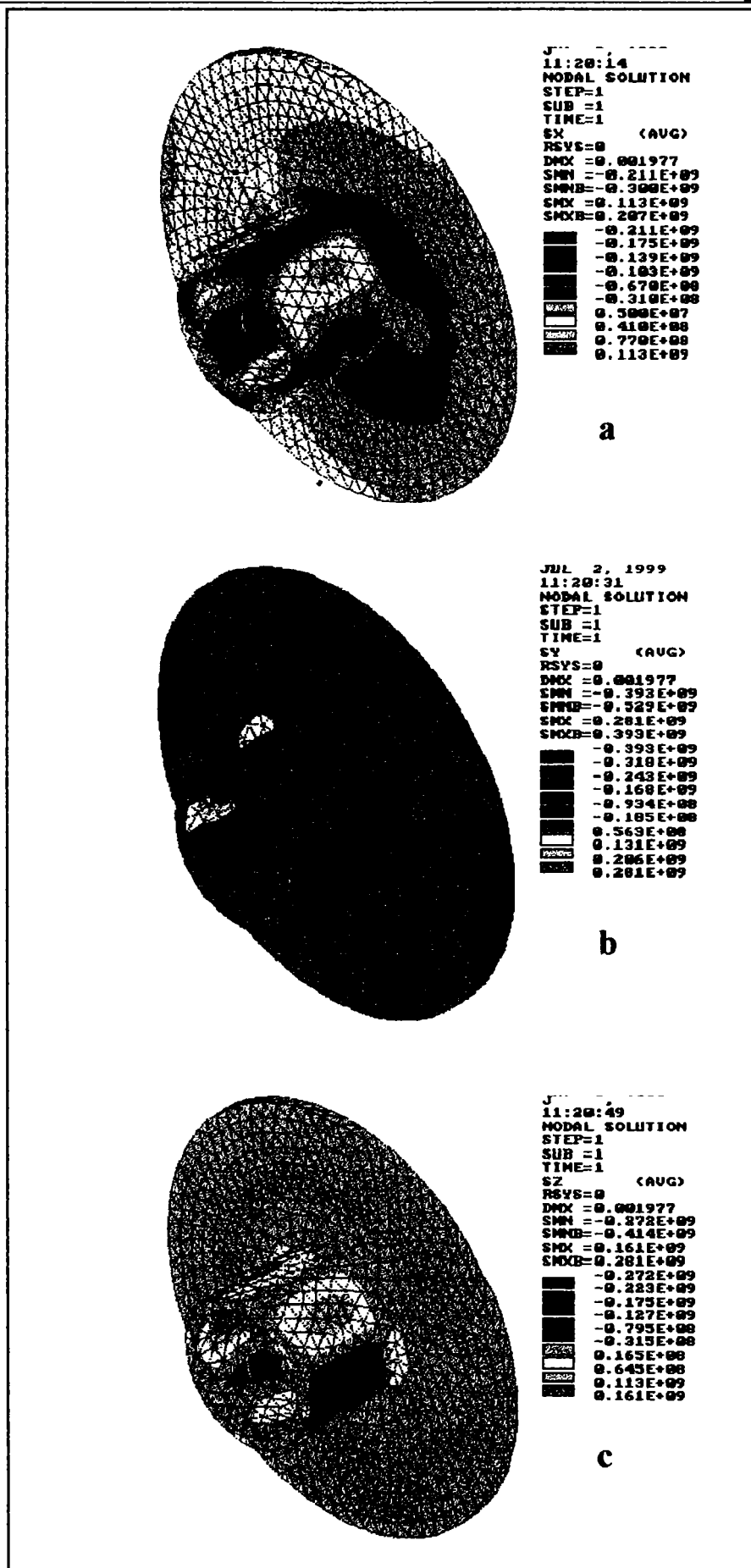


Fig. 5.16. Eforturi unitare normale  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  pe nodul tălpii superioare al structurii reticulate

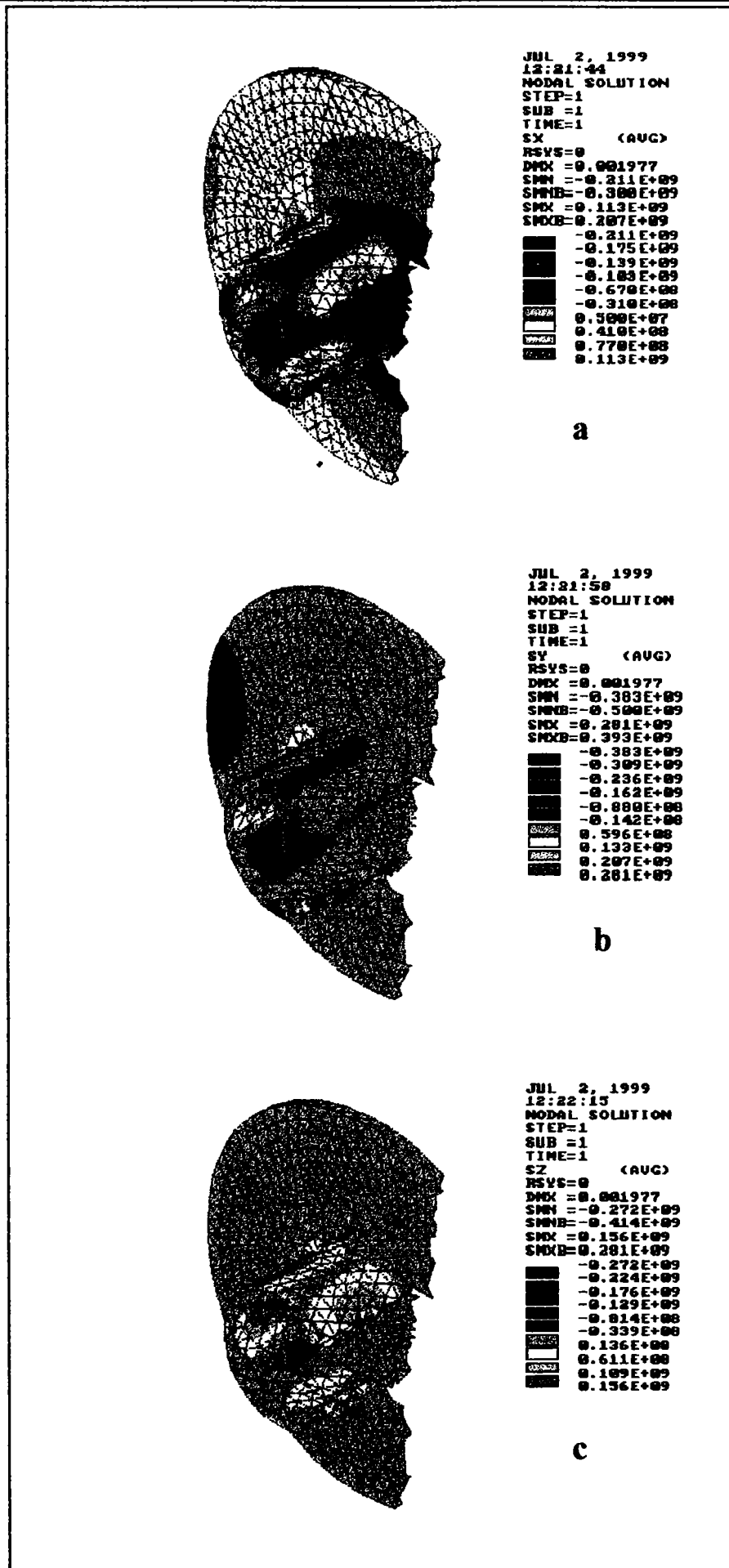


Fig. 5.17. Eforturi unitare normale  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  pe nodul secționat al tălpii superioare

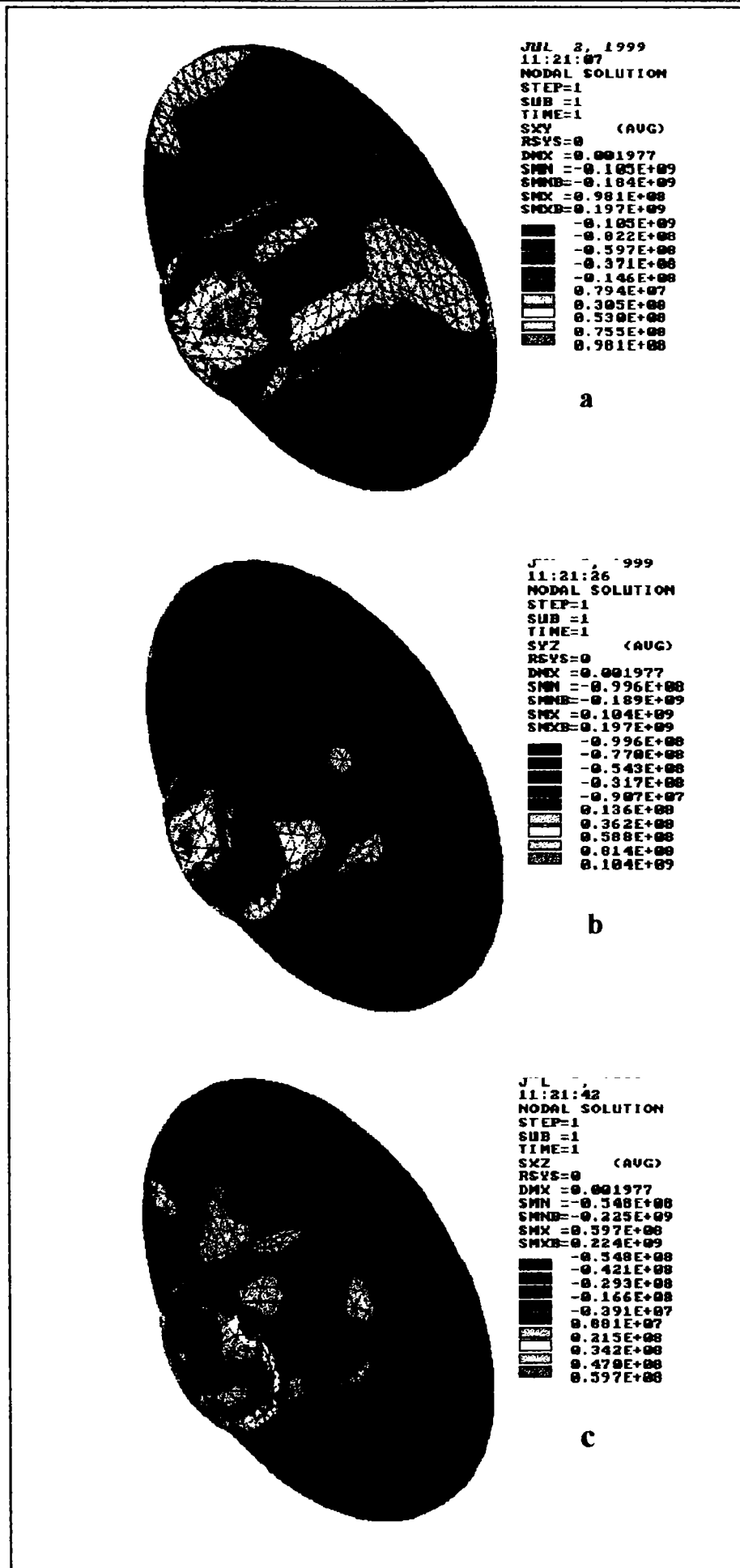


Fig. 5.18. Eforturi unitare tangențiale  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{zx}$  pe nodul tălpii superioare

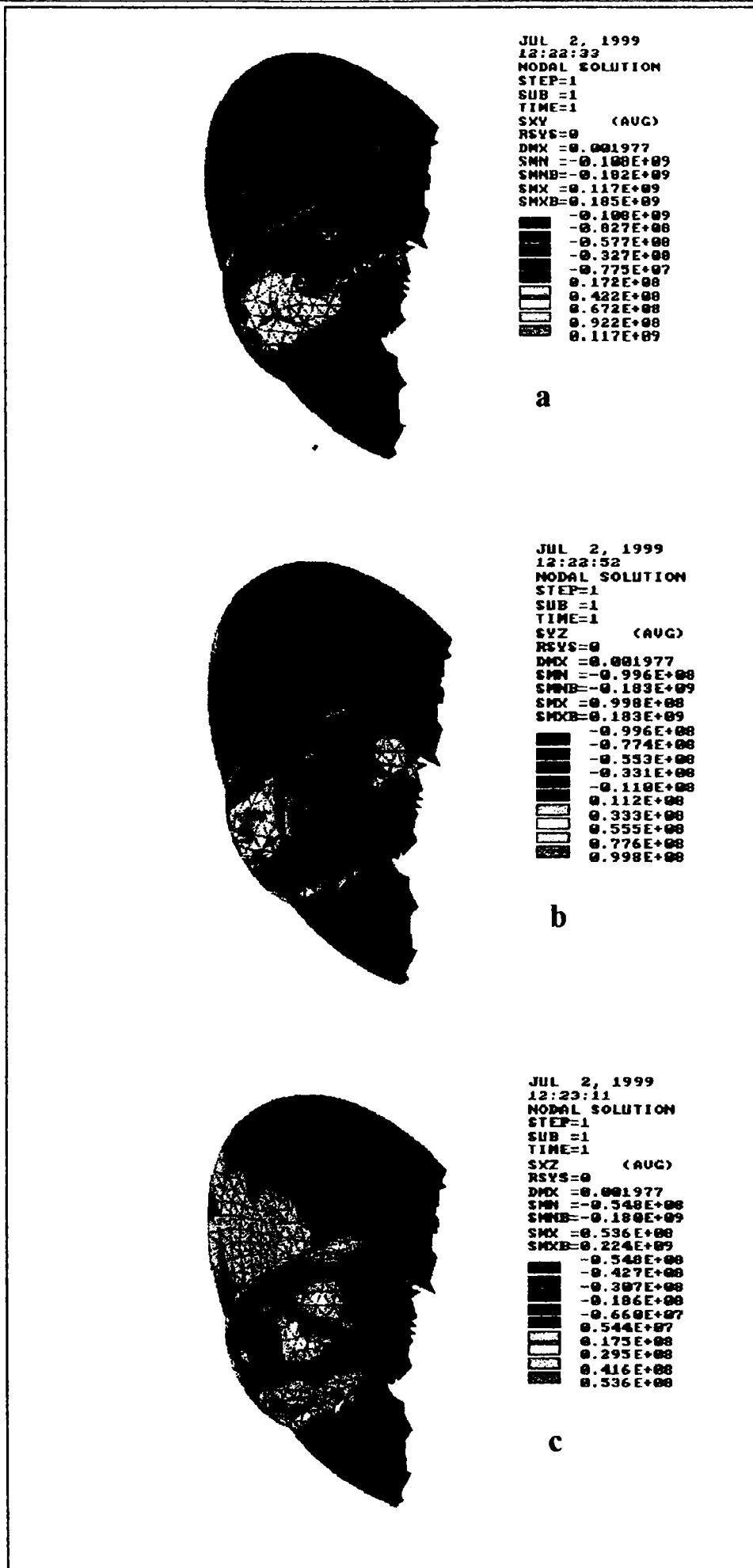


Fig. 5.19. Eforturi unitare tangențiale  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{zx}$  pe nodul secționat a tălpii superioare

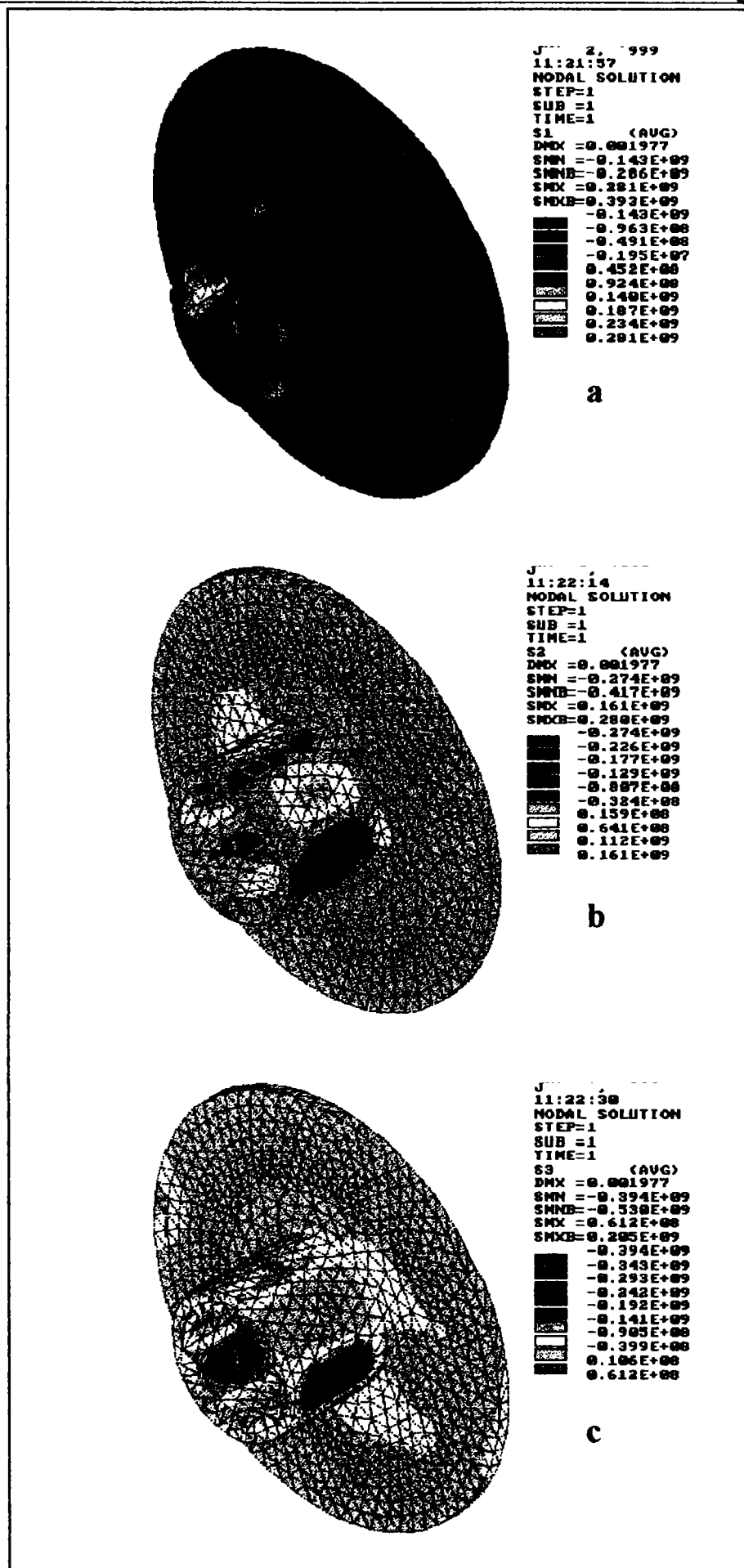


Fig. 5.20. Eforturi unitare principale  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  pe nodul tălpii superioare



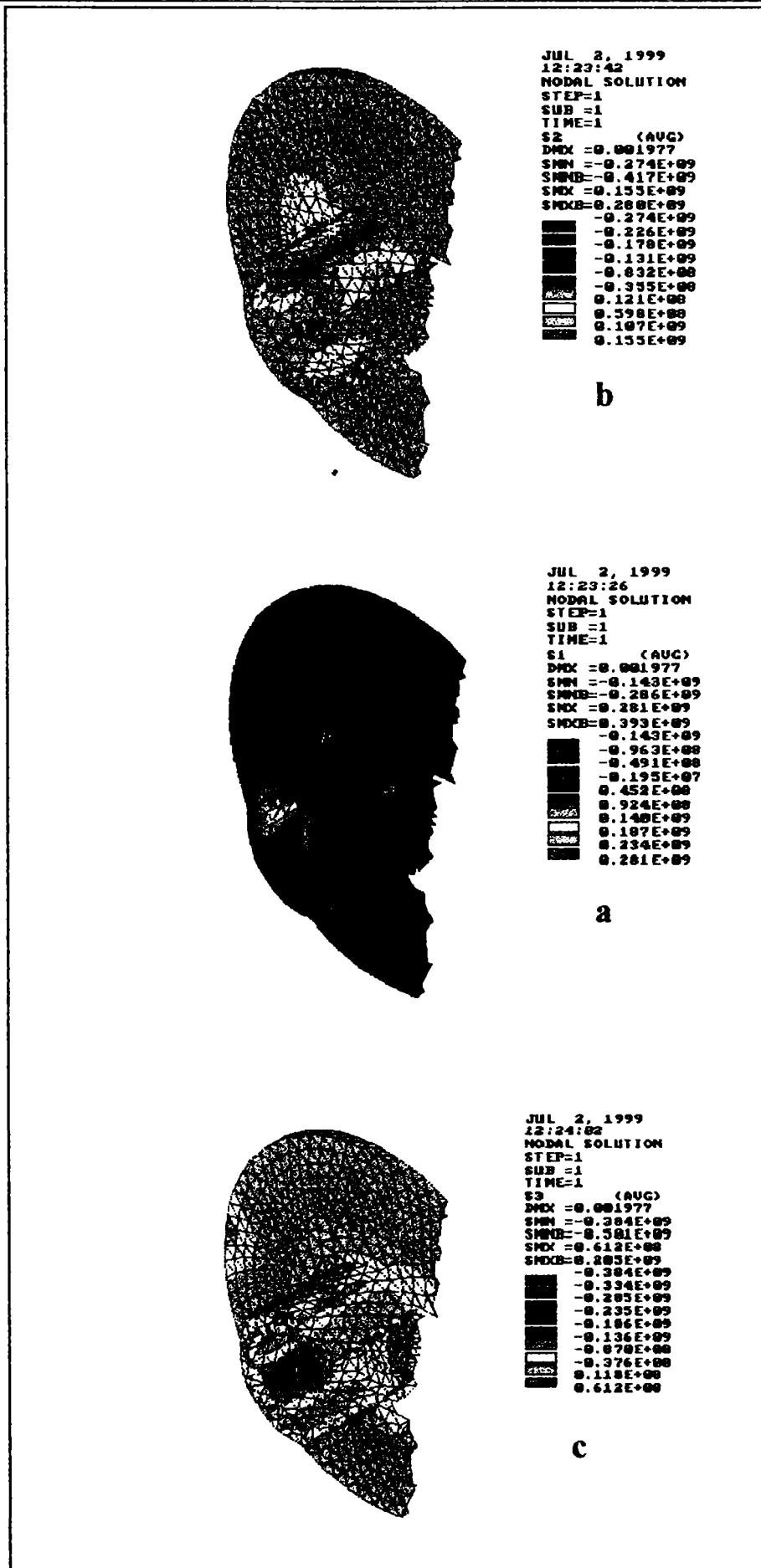


Fig. 5.21. Eforturi unitare principale  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  pe nodul secționat al tălpii superioare

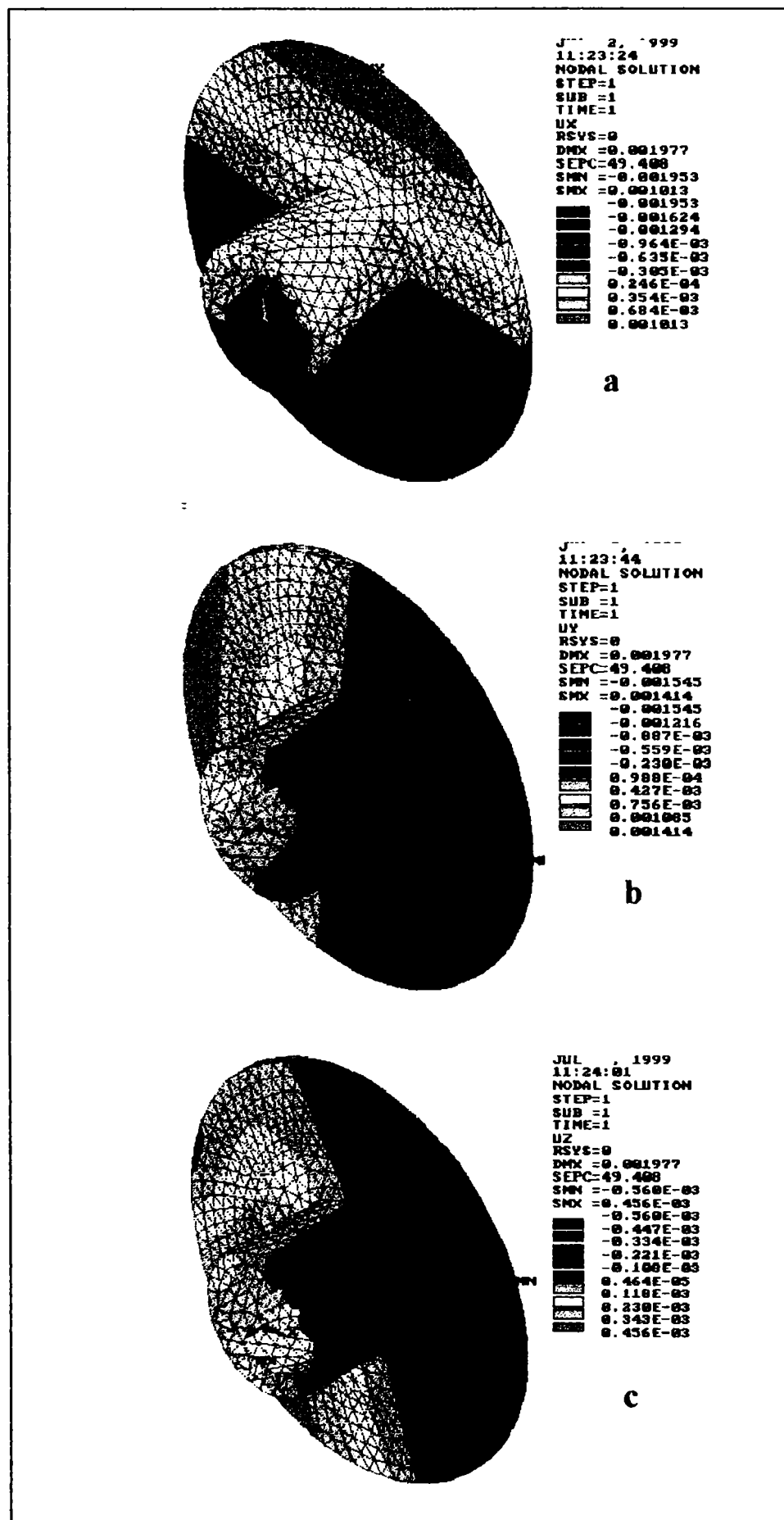


Fig. 5.22. Deplasările  $u_x$ ,  $u_y$ ,  $u_z$  ale nodului tăpii superioare a structurii reticulate

În fig. 5.15.a se prezintă distribuția pe nodul tălpii superioare, a eforturilor unitare echivalente, care ajung la valoarea maximă de  $2880 \text{ daN/cm}^2$ .

În fig.5.15b, reprezentarea sumei totale a deformațiilor (deplasărilor) evidențiază că aceasta atinge valoarea maximă de  $0.001977 \text{ m}$ , iar în fig.5.15c se prezintă cu linie întreruptă deformată în spațiu a nodului tălpii superioare.

În continuare în fig. 5.16 sunt prezentate eforturile unitare normale  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  pe nodul tălpii superioare.

În fig. 5.17 se prezintă eforturile unitare normale  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  pe nodul secționat al tălpii superioare.

În fig. 5.18 se prezintă eforturile tangențiale  $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$  pentru nodul tălpii superioare.

În fig. 5.19 se prezintă eforturile unitare tangențiale  $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$  pentru nodul secționat al tălpii superioare.

În fig. 5.20 se prezintă eforturile unitare principale  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  pe nodul tălpii superioare.

În fig. 5.21 se prezintă eforturile unitare principale  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  pe nodul secționat al tălpii superioare.

În fig. 5.22 sunt prezentate deplasările  $u_x, u_y, u_z$  ale nodului tălpii superioare.

Pentru ca aceste imagini care exprimă eforturi unitare, să poată fi interpretate cu ușurință, se vor evidenția în tabelul 5.3, pentru fiecare tip de efort unitar, valorile maxime de compresiune respectiv de întindere de pe nod.

Din eforturile unitare prezentate în tabelul 5.3, valorile cele mai evidente, care saltă din ordinul de mărime al celorlalte, sunt  $\sigma_y = -3930 \text{ daN/cm}^2$  și  $\sigma_3 = -3940 \text{ daN/cm}^2$ , care semnaleză faptul că la solicitarea în raport cu axa oy, grosimea cuponului de țevă ar necesita o majorare ca mărime, lucru care în practică se poate realiza prin modificarea grosimii peretelui întregului cupon de țevă, sau practic înlocuirea acestuia cu un cupon de țevă cu grosimea peretelui majorată.

**Tabelul 5.3. Eforturi unitare maxime și minime înregistrate pe nodul tălpii superioare**

Tipul de efort unitar	Efortul unitar	Maxim de compresiune [daN/cm <sup>2</sup> ]	Maxim de întindere [daN/cm <sup>2</sup> ]
Normal	$\sigma_x$	-2110	1130
	$\sigma_y$	-3930	2810
	$\sigma_z$	-2720	1610
Tangențial	$\tau_{xy}$	-1050	981
	$\tau_{yz}$	-996	1040
	$\tau_{xz}$	-548	597
Principal	$\sigma_1$	-1430	2810
	$\sigma_2$	-2740	1610
	$\sigma_3$	-3940	612

Întrucât eforturile unitare echivalente maxime, nu depășesc 2880 daN/cm<sup>2</sup>, înseamnă că prin suprapunerea eforturilor, se ajunge la compensarea valorilor acestora în așa fel ca să nu se depășească rezistența de calcul pentru oțelul OL 52. În ceea ce privește pierderea stabilității în ansamblu a nodului (nodurilor) studiat (studiate) urmează să se facă, calculul neliniar pentru a obține factorul de multiplicare al încărcării pentru care are loc pierderea stabilității ansamblului nodului.

Deformațiile nodului sunt relativ mici, de ordinul milimetrilor, având valorile  $u_x = 0.001013$  m,  $u_y = 0.001414$  m și  $u_z = 0.000456$  m, în timp ce deformația totală  $u_{(x,y,z)} = 0.001977$  m.

Aceste deformații mici, sunt argumente în plus pentru menținerea dimensiunilor inițiale ale nodului.

Nodurile studiate din punct de vedere static cu ajutorul programului ANSYS 5.0 [1], respectiv comportarea lor în domeniul liniar, înainte de atingerea domeniului plastic, asigură proiectantul asupra comportării acestora din punct de vedere al valorilor eforturilor unitare, respectiv a deformațiilor în spațiu, permițând alegerea variantei care să satisfacă din punct de vedere a rezistenței. Aceste calcule nu sunt atât de simple cum ar fi tentat să se pronunțe un neinițiat în această metodă de

calcul, deoarece se trece printr-o multitudine de faze până la obținerea rezultatelor finale, care să fie satisfăcătoare, care sunt următoarele:

- alegerea structurii, formei, nodului dintr-o infinitate de soluții posibile;
- alegerea dimensiunilor geometrice ale nodurilor rețelei, care nu se poate realiza decât prin impunerea acestora, la început constructiv ținând cont de recomandări constructive, pentru elementele care se întâlnesc în nod, în ceea ce privește dimensiuni ale secțiunii barelor, dimensiuni ale guseelor, dimensiuni și distanțe minime necesare pentru îmbinări etc.;
- alegerea tipului de element finit, care să se preteze scopului urmărit și cu ajutorul căruia să se evidențieze cât mai fidel comportarea structurii discreditate în ansamblu cât mai fidel și cât mai exact, dar care să fie în același timp, ca număr de elemente totale minime și care să asigure în matricea de rigiditate condiția ca diagonală principală să nu conțină nici un element egal cu zero, altfel calculele rezultă eronate sau nu ajung să se finalizeze, după rulare de ordinul orelor (de la 5 - 6 ore în sus pentru o ipoteză);
- distribuirea manuală a încărcărilor în nodurile rețelei realizate din alăturarea elementelor finite, astfel încât să simuleze perfect realitatea, această acțiune necesitând și ea ore de muncă și exactitate, întrucât se face în fiecare nod de legătură cu guseele, respectiv cu cele trei componente ale forțelor, structura și încărcarea fiind spațială;
- stabilirea unor noduri “obligate” de rezemare fictive, care să fie astfel alese încât să nu influențeze eforturile unitare finale, așa cum s-a văzut mai sus și îndepărtarea cărora la final să nu influențeze starea de eforturi pe ansamblul nodului;
- rularea propriu zisă cu programul ANSYS 5.0 [1], care durează de la cinci - șase ore în sus pe fiecare variantă dorită;

- tipărirea rezultatelor la cerere, este ceva mai ușoară, iar cu ajutorul programelor de captură se pot reda în imagini aceste eforturi, în continuare interpretarea rezultatelor revenindu-i operatorului.

Pe lângă aceste studii, cercetarea trebuie continuată pentru a vedea modul de comportare a structurii prin pierderea stabilității, în momentul atingerii stadiului plastic.

#### 5.4.5. Analiza pierderii stabilității

Calculul de ordinul întâi, referitor doar la analiza stării de eforturi unitare și deformații, nu este suficient pentru astfel de structuri, luând în calcul ipoteza că pe structura astfel încărcată ar fi posibil să mai apară și alte încărcări, care ar găsi deja structura într-un anumit mod de deformare. Aceasta ar face ca încărcarea suplimentară, chiar dacă ar fi axială datorită existenței deformației pe structură, ea să apară ca o încărcare axială însoțită de moment încovoietor. În cele ce urmează se va stabili care este valoarea factorului de multiplicare a încărcării pentru care va avea loc pierderea stabilității nodului în ansamblu.

În cele ce urmează se dau câteva ipoteze și restricții de care se ține cont în această analiză:

- structura are rigiditatea constantă pe ansamblu;
- structura are eforturile cunoscute dintr-un calcul anterior de ordinul întâi.
- structura se consideră că a atins stadiul plastic;
- ipotezele și restricțiile se consideră valabile doar pentru gradele de libertate standard DOFs [ 1 ].

Acest tip de analiză este valabil pentru încovoierea bifurcată, folosind un model liniarizat al stabilității elastice.

Încovoierea bifurcată se referă la creșterea fără limite a unui nou tip de deformare care se poate analiza cu comenzile de tip ANTYPE, BUCKLE din

programul ANSYS 5.0 [1]. Problema de încovoiere este formulată în acest caz ca o problemă de voalare.

$$([K] + \lambda_i [\sigma]) \{\delta\}_i = \{0\} \quad (5.17)$$

unde:

[K] - reprezintă matricea rigidității;

[σ] - reprezintă matricea eforturilor unitare;

$\lambda_i$  - reprezintă factorul de multiplicare a încărcării;

$\{\delta\}_i$  - vectorul asamblat al deplasărilor nodale.

Vectorii sunt normalizați astfel încât cea mai mare componentă este 10.0, în acest caz tensiunile (când apar) pot fi interpretate doar ca o distribuție relativă a lor pe structura discretizată.

Pentru derularea practică a acestei analize de stabilitate, s-a rulat cu ANSYS 5.0, pentru obținerea eforturilor și deformațiilor în comportarea liniară, dar cu încărcările reduse cu o mie, pentru a respecta condiția impusă vectorilor, de a nu depăși valoarea 10.0, iar cu comanda ANTYPE, BUCKLE, s-au obținut rezultatele finale ale analizei.

Pentru nodul de la talpa inferioară, supus la forțe de întindere, s-a obținut factorul de multiplicare  $\lambda = 5.904$ ; după împărțirea cu 1000 pentru încărcările reale, iar deformată acestui nod este prezentată în fig. 5.23.

Semnificația factorului de multiplicare, este relativ simplu de arătat, el reprezentând cifra cu care se multiplică (înmulțește) încărcarea care acționează pe nodul tălpii inferioare, solicitat la întindere, pentru a ajunge la limita de stabilitate, respectiv de distrugere a lui prin pierdere a stabilității deformare generală).

Analiza nodului tălpii superioare, care este supus la eforturi de compresiune s-a desfășurat în linii generale în mod asemănător, cu mențiunea că în acest caz a fost luată în calcul posibilitatea pierderii stabilității în trei moduri de încărcare,

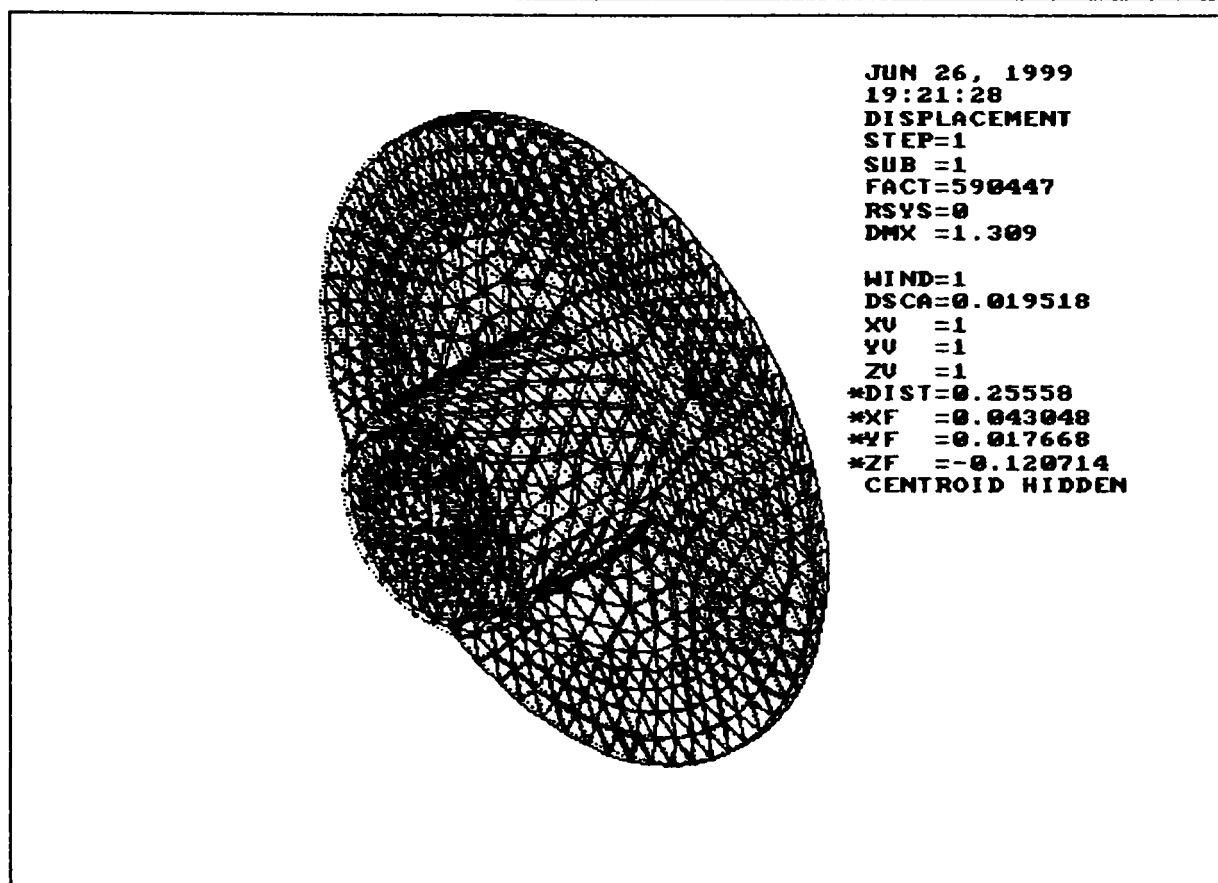


Fig.5.23. Deformata și factorul de multiplicare  $\lambda$  pentru nodul de la talpa inferioară

respectiv după cele trei direcții în spațiu, fig. 5.24.

**Modul 1** (SUB 1) fig.5.24.a s-a realizat luând în considerare creșterea încărcărilor direcționate după axa ox, pentru care factorul de multiplicare a rezultat  $\lambda = 2.550$ .

**Modul 2** (SUB 2) fig. 5.24.b s-a realizat luând în considerare creșterea încărcărilor direcționate după axa oy, pentru care factorul de multiplicare a rezultat  $\lambda = 5.359$ .

**Modul 3** (SUB 3) fig.5.24.c s-a realizat luând în considerare creșterea încărcărilor direcționate după axa oz, pentru care factorul de multiplicare a rezultat  $\lambda_3 = 7.321$



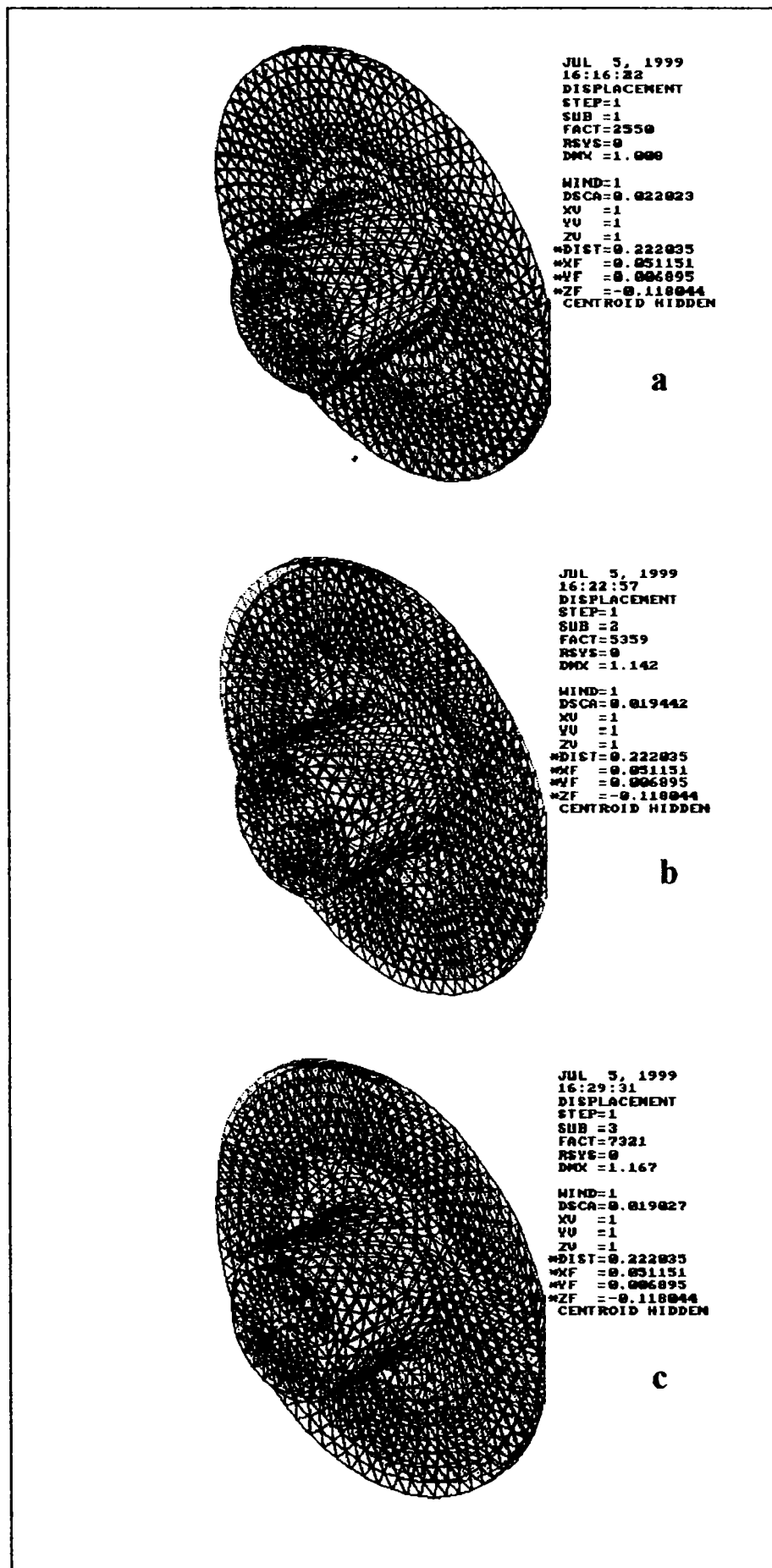


Fig. 5.24. Deformatele și factorii de multiplicare  $\lambda$  pentru nodul de la talpa superioară pentru cele trei moduri (direcții)

Semnificația acestor factori de multiplicare este aceeași ca la nodul tălpilor inferioare, ei reprezentând valoarea cu care trebuie multiplicată forțele ce acționează pe nodul tălpilor superioare, pentru ca ansamblul să-și piardă stabilitatea, după una din cele trei direcții din spațiu.

Această analiză este deosebit de importantă în procesul de dimensionare și verificare a nodurilor, alături de stabilirea eforturilor unitare și a deformațiilor, permițând alegerea finală a dimensiunilor și variantei optime de realizare a lor.

Toate aceste calcule și simulări pe calculator, cu programe performante din ultima generație, sunt de un real ajutor în procesele de cercetare și proiectare, însă în unele cazuri este necesar ca ele să fie însoțite și de realizări practice, la scară naturală și de verificat pe standuri de încercări, pentru a permite compararea rezultatelor teoretice cu cele rezultate din încercări practice. În actuala conjunctură economică generală, acest deziderat este foarte greu de realizat, atât din punct de vedere a materialului necesar, manoperei, cât mai ales a utilajelor și aparatelor necesare.

## **5.5. CONCLUZII PRIVIND MODUL DE COMPORTARE A NODULUI PROPUȘ**

Modul de realizare a nodului propus și studiat în teză, nu este o noutate absolută, în sensul că nu s-au mai realizat alte asemenea structuri, dar are totuși ceva specific, care-l diferențiază de noduri realizate din cupoane de țevă.

Deosebirea esențială a acestui nod, realizat ca element de bază, dintr-un cupon de țevă, constă în capacul realizat, la partea opusă celui de care se prind guseele de îmbinare în nod a diagonalelor, care este mult mai dezvoltat și ieșit în consolă față de limita cuponului de țevă, permițând în acest mod, ca elementele care realizează barele tălpilor să se îmbine (descarce) în nod, nu numai prin intermediul guseelor realizate ca elemente plane și sudate pe generatoarele cuponului de țevă, situate la extremitățile a doi diametri perpendiculari, ci și pe această porțiune a capacului ieșită în consolă.

Capacele (cel mare și cel mic) și guseele de pe capacul mic și de pe generatoarele cuponului de țevă se îmbină de corpul principal al nodului cu cordoane de sudură, iar barele (diagonale și tălpi) realizate cu secțiuni compuse din profile laminate sau îndoite la rece, puțin depărtate, se îmbină în nod cu șuruburi păsuite sau șuruburi de înaltă rezistență pretensionate, care admit o toleranță ceva mai mare între diametri găurilor și a șuruburilor de îmbinare, avantajos la montaj.

Avantajul acestui sistem de nod, constă în faptul că el se realizează în totalitate în uzine sau ateliere specializate, unde se poate asigura precizia de execuție necesară acestui tip de element. Barele care realizează diagonalele și tălpile structurii se pot debita, găuri și solidariza în atelier, iar la locul execuției montajul, respectiv îmbinarea lor cu șuruburi, nefiind o problemă deosebit de complicată. Asamblarea se realizează fie la sol, pentru obținerea unor tronsoane, care după aceea se ridică la poziție, fie direct la nivelul la care urmează să lucreze în exploatare, în acest ultim caz fiind necesare lucrări și cheltuieli suplimentare cu schelele și eșafodajele de susținere și de lucru a personalului executant a structurii.

Varianta optimă de realizare, se poate alege, doar printr-un calcul tehnico-economic, care să ia în considerare pentru fiecare caz în parte avantajele și dezavantajele, prețul de cost cu lucrările anexă montajului (prețul schelelor și eșafodajului) și chiria utilajelor necesare pentru ridicare în ambele variante.

Din punct de vedere a calculului static și de rezistență, cu metoda elementelor finite, după ce se cunoaște din structura reală, eforturile barelor concurente în nod, cu programe specializate în calculul cu această metodă, se poate stabili ce eforturi unitare și ce deformații apar în nod și prin încercări se ajunge la stabilirea dimensiunilor optime ale tuturor elementelor nodului.

Programul ANSYS 5.0 cu adaptarea specifică acestui tip de structură, duce la rezultate deosebit de importante, iar facilitățile care le prezintă prin reprezentarea grafică pe nod a eforturilor unitare, deosebit de sugestive, îl recomandă pentru calculul și dimensionarea nodurilor.

Diversitatea tipurilor de elemente finite, cu care se poate lucra în cazul acestui program, este un alt atu al sau în opțiunea pentru alegerea lui și nu în ultimul rând, posibilitatea obținerii factorului de multiplicare al forțelor de pe nod, pentru care acesta își pierde stabilitatea.

Din toate calculele și simulările pe calculator, a rezultat ca tipul de nod ales este utilizabil atât la talpa superioară, unde eforturile predominante sunt de compresiune, cât și la talpa inferioară, unde eforturile barelor concurente în nod sunt preponderent de întindere, excepție făcând diagonalele, în care pot apărea și eforturi de compresiune, dar cu valori foarte mici în comparație cu cele din barele care realizează tălpile.

Nodurile propuse pentru talpa superioară și inferioară, au o comportare bună din punct de vedere a rezistenței, iar deformațiile (deplasările) sunt foarte mici, de ordinul milimetrilor, ceea ce le recomandă ca fiind elemente indeformabile și folosibile pentru realizarea structurilor spațiale reticulate, care la rândul lor sunt caracterizate ca și construcții deosebit de rigide.

Toate aceste mențiuni le recomandă pentru a fi folosite ca elemente care să realizeze nodurile structurilor spațiale reticulate, deși în primă fază datorită dimensiunilor majorate ale capacului exterior structurii, tentația ar fi de renunțare la acest tip de nod, datorită consumului suplimentar de material, pentru realizarea lui.

Acest fapt constituie întradevăr un dezavantaj, dar nu suficient de argumentat pentru a renunța la structura nodului propus, aportul suplimentar la greutatea nodului nefiind semnificativă în raport cu avantajele pe care le prezintă el la realizarea montajului, așa cum s-a arătat mai sus.

Concluzia finală, legată de realizarea nodului dintr-un cupon de țevă și două capace inegale, este ca el se comportă bine atât din punct de vedere al preluării eforturilor, al deformațiilor (mici), cât și a ușurinței la realizare și montaj, ceea ce îl recomandă la utilizarea lui pentru realizarea structurilor spațiale reticulate.

## CAPITOLUL 6

### SINTEZA STUDIILOR EFECTUATE ȘI CONCLUZII

#### 6.1. SINTEZA STUDIILOR EFECTUATE ÎN CADRUL TEZEI REFERITOARE LA SISTEME DE STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE

În cadrul tezei de față, pe baza bibliografiei consultate au fost prezentate diferitele soluții de dispunere a barelor structurilor spațiale reticulate sistem dublu strat pentru a realiza acoperișurile diferitelor clădiri, printre care și a centralelor hidroelectrice.

Diversitatea acestor soluții, rezultă din modalitatea de așezare a celor trei familii de bare, care alcătuiesc talpa superioară, diagonalele și montanții și talpa inferioară, dar caracteristica de bază a structurii reticulate este dată de poziția barelor din tălpile structurii, față de marginea structurii cât și de forma geometrică în plan, care rezultă din poziționarea acestora. Astfel se utilizează structuri spațiale reticulate, la care barele care alcătuiesc rețeaua tălpilor sunt paralele cu conturul construcției, care de regulă este dreptunghiular formând ochiuri pătrate în cadrul rețelei, iar acestea la rândul lor din componența tălpilor diferite (superioare sau inferioare), pot fi cu proiecția suprapusă sau decalate cu jumătate de pas (jumătate de ochi al rețelei), legătura între nodurile rețelei barelor care realizează cele două tălpi, realizându-se cu diagonale și montanți, când este cazul.

La aceasta variantă de execuție, pentru talpa inferioară se pot elimina o parte din noduri, rezultând ochiuri ale rețelei tălpii inferioare, mai mari decât cele ale tălpii superioare, rezultând așa numitele sisteme “rare” sau economice.

Rețeaua barelor care formează tălpile structurii spațiale reticulate, se pot așeza și sub un unghi de  $45^{\circ}$  față de conturul construcției, fie numai la un nivel (talpa superioară), fie la nivelul ambelor tălpi, poziționarea proiecției ochiurilor rețelei făcându-se în același mod cum s-a arătat la cazul precedent.

De asemeni structurile spațiale reticulate, se pot realiza astfel ca barele care realizează tălpile, să formeze și alte figuri geometrice decât pătratul, realizând triunghiuri sau hexagoane, structuri care se pot utiliza și pentru acoperirea construcțiilor care au în plan altă formă decât dreptunghi sau pătrat (triunghi, cerc, hexagon etc.).

Varietatea imensă a soluțiilor de realizare a structurilor spațiale reticulate, le recomandă pentru a fi folosite pentru acoperișuri, pe lângă alte multe avantaje ale utilizării lor.

Aceste avantaje suplimentare ar consta în faptul că ele pot acoperi suprafețe mari, fără să necesite reazeme intermediare, care la nevoie se pot extinde cu relativă ușurință, având greutate proprie mică pe unitate de suprafață, rigiditate mare pe ansamblu, comportându-se ca un element solicitat la încovoiere, ceea ce face ca în tălpile structurii eforturile să fie mult mai mari decât în diagonale și montanți. Realizarea lor, confecționarea și montajul este relativ simplă și cu durată scurtă cu o precizie deosebită, montajul făcându-se la cota finală de lucru, sau la sol, după care se efectuează operația de ridicare la cotă prin diferite mijloace (hidraulice, vinciuri, macarale etc.).

Din punct de vedere a greutății acoperișului rezultat, comparativ cu alte sisteme care s-ar folosi pentru aceeași deschidere și a prețului de cost, structurile reticulate se detașează net în câștigătoare.

Aspectul arhitectonic al acestora este deosebit, permițând ca în cuprinsul acoperișului să se plaseze elemente care să permită o iluminare naturală perfectă.

Toate aceste argumente nu fac decât să încline balanța spre a opta spre acest tip de acoperiș, cu structuri spațiale reticulate, dacă ar fi de ales între mai multe variante.

Poate un singur dezavantaj ar fi de amintit, care se ia în calcul, acela că la vânturi puternice, datorită suprafeței mari orizontale, sau cu o pantă foarte mică, apare fenomenul de sucțiune, care necesită ancorarea suplimentară a acoperișului, în

cazul în care se folosește învelitoarea de tip ușor din tablă, dar și acest neajuns se poate preveni.

Acoperișurile realizate din structuri spațiale reticulate, se pot rezuma atât la talpa superioară, cât și la talpa inferioară, în nodurile de contur.

## **6.2. SINTEZA STUDIILOR ȘI REZULTATE OBTINUTE CU PRIVIRE LA SISTEME DE NODURI FOLOSITE ÎN PRACTICĂ.**

Alcătuirea sistemelor de noduri pentru realizarea structurilor spațiale reticulate, se poate face într-o mare varietate, dar ele trebuie să țină seama de o serie de factori astfel: nodurile vor ține seama de secțiunea barelor care se întâlnesc în ele, modul de îmbinare a acestora în noduri ( nedemontabile cu sudură sau demontabile cu șuruburi de diferite tipuri), care să fie cât mai practice, cu durată minimă la montaj și fără o calificare deosebită a forței de muncă.

Realizarea nodurilor structurilor spațiale reticulate este posibilă într-o diversitate nelimitată, astfel pornind de la forma cea mai simplă, în care nodul este realizat dintr-o sferă (bilă) plină în care s-au dat găuri, care au fost filetate (sistemul MERO) și în care se introduc șuruburi filetate ce leagă barele care au capetele realizate cu filet, continuând cu o soluție mai “ușoară”, în sensul că sferile realizate sunt goale la interior (sistemul MANESMANN, sistemul folosit de Catedra de Construcții Metalice la acoperișul CHE Porțile de Fier I și la diferite săli de sport, sistemul NIPON SPACE TRUSS SYSTEM etc) și în care se înșurubează spre interior sau dinspre interior spre exterior, șuruburi sau piese speciale cu filet care permit prinderea barelor structurii în noduri. În acest ultim caz, pentru a reduce eforturile asupra nodului (sferei), s-a ajuns la a permite trecerea uneia din bare continuu prin sferă, printr-o gaură alezată, bara fiind sudată de aceasta, pe conturul de la intrarea și ieșirea ei din sferă ( această bară fiind componenta tălpii transversale a structurii). Acest artificiu constructiv duce la reducerea încărcării pe nod după această direcție, sau în cazul tălpilor rețelei inferioare sudate pe fața exterioară a sferei, deci care nu trec continuu prin nod s-au sudat suplimentar între

barele care realizau talpa transversală, niște călăreți semicirculari, care treceau peste sferă fără să o atingă, contribuind în acest mod la diminuarea încărcărilor aduse de cele două bare, legate în acest mod.

Sferele goale s-au realizat fie prin deformare la cald din tablă groasă a două semisfere, care după prelucrare se sudează pe circumferință (sistemul MANESMANN, fie din cupoane de țevă deformate la cald în matrițe, sistem folosit la acoperișul sălii de sport de la Ștei jud. Bihor).

Deosebirea între cele două procedee constă în faptul că în primul caz, grosimea peretelui sferei rezultă mai mică decât a tablei din care au rezultat semisferele și faptul că semisferele obținute, necesită prelucrare și sudare pentru a obține sfera, pe când în cazul al doilea, grosimile peretelui sferei rezultate va fi mai mare decât al cuponului de țevă, supus deformării la cald, prelucrarea prin alezare fiind necesară în jurul golurilor rămase libere, prin care urmează să treacă barele transversale ale tălpilor.

Nodurile sistemelor spațiale reticulate se pot realiza și în alte modalități, din elemente simple deformate la cald pentru a realiza axarea și înclinarea corespunzătoare a barelor structurii (sistemul UNISTRUT), sau realizate din piese separate turnate sau prelucrate (cazul sistemelor SPACE DECK, TRIODETIC și NODUS), care prin asamblare simplă, prin înșurubarea barelor în piesele în prealabil executate și filetate, sau blocarea lor cu un șurub central care să mențină unite părțile componente ale nodurilor și odată cu ele barele concurente în noduri.

Nodurile prezentate succint de o diversitate foarte mare, având însă și părți comune dar mai ales deosebiri în modul lor de realizare, cât și în modul de montaj în structura spațială.

Alegerea unuia din aceste noduri în practică se va face numai după un temeinic studiu care să țină cont de specificul construcției (definitivă sau temporară), pentru a folosi noduri nedemontabile sau demontabile, timpul necesar execuției lor în ateliere specializate și la montaj pe șantier, pregătirea forței de



muncă din atelier și de la montaj, utilajele folosite la montaj, precum și elementele ajutătoare acestuia și nu în ultimul rând prețul de cost pentru realizarea nodului și a asamblării lui în structura spațială reticulată.

### **6.3. SINTEZA REZULTATELOR REFERITOARE LA OPTIMIZAREA STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE PENTRU ACOPERIȘUL CENTRALELOR HIDROELECTRICE**

Proiectarea unor structuri optime, presupune stabilirea unor variabile de proiectare, care să respecte condițiile de utilizare normală, cu cele mai reduse cheltuieli pentru execuție și exploatare și durată de viață cât mai lungă.

Optimizarea structurilor spațiale reticulate presupune:

- delimitarea cadrului problemei,
- definirea criteriului de optimizare,
- stabilirea de relații între mărimile statice și cele geometrice ale structurii, precum și a restricțiilor la rezemarea lor;
- rezolvarea programului matematic de optimizare pe cale analitică sau grafică, prin reprezentarea variabilelor dependente ale structurii.

Variabilele de proiectare, care se folosesc la optimizare, se referă la:

- pasul rețelei,
- secțiunile barelor care alcătuiesc structura,
- înălțimea rețelei structurii reticulate,
- modalitatea de rezemare a structurii și multe altele.

Optimizarea structurilor reticulate s-a făcut în cadrul tezei după trei criterii și anume:

- optimizarea din punct de vedere al pasului rețelei structurii reticulate,
- optimizarea din punct de vedere a înălțimii structurii reticulate,
- optimizarea din punct de vedere al modului de rezemare al structurii reticulate.

**Optimizarea din punct de vedere al pasului rețelei**, s-a realizat în urma studiului eforturilor (cu programul SAP 90) și a consumului de material metalic, din alcătuirea structurilor, care au avut pasul rețelelor de 2.0; 2.4 și 3.0 metri.

Studiul a condus la concluzia ca optimă rețeaua cu pasul de  $l = 2.40$  m, reprezentând a zecea parte din deschiderea  $L$  a structurii reticulate:

$$l = \frac{L}{10} \quad (6.1)$$

care are eforturi în bare relativ mici, iar consumul de material, în special în tălpi, care sunt cele mai solicitate la acest tip de structuri, a rezultat ca fiind cel mai mic, cu toate că numărul barelor, care alcătuiesc structura reticulată, nu este cel mai mic.

**Optimizarea structurilor din punct de vedere al înălțimii structurii spațiale reticulate**, s-a realizat prin studierea unor variante de înălțimi ale structurii cuprinse între  $(1/12 \dots 1/18)L$ , din deschiderea minimă a structurii, valorile alese fiind 1.50; 1.60; 1.70; 1.80; și 1.90 metri.

Pe ansamblu rigiditatea structurii crește odată cu creșterea înălțimii structurii reticulate, ceea ce se poate observa și din tabelul 4.17, care reprezintă deformațiile (săgețile) structurii, iar eforturile în barele structurii scad odată cu creșterea înălțimii acesteia.

În urma studiilor, s-a constatat, că eforturile și deformațiile structurii cu înălțimea de  $h = (1.70 - 1.80)$  metri, sunt optime, adică în limite economice și de asemeni înălțimea de  $h = 1.70$  metri a structurii care reprezintă a patrusprezecea parte din deschiderea acesteia:

$$h = \frac{L}{14} \quad (6.2)$$

și obligă diagonalele să facă unghiul de  $45^0$  cu planul tălpilor, ceea ce este ideal pentru structurile reticulate.

**Optimizarea structurilor spațiale reticulate din punct de vedere al modului de rezemare**, s-a realizat în urma studiului efectuat pe structuri cu pasul rețelei de 2.40 m, înălțimea structurii de 1.70 m și rezemări la nodurile de contur ale tălpii

superioare ( în fiecare nod, din două în două noduri, din patru în patru și din cinci în cinci noduri), ale tălpii inferioare ( în fiecare nod de contur, din două în două noduri, din trei în trei și din patru în patru noduri) și rezemarea suplimentară transversală (intermediară) la jumătatea lungimii structurii.

În ceea ce privește rezemarea în nodurile de contur ale tălpii superioare și inferioare, cea mai bună modalitate a rezultat ca fiind aceea, în care rezemarea se realizează din două în două noduri, soluție pentru care eforturile și deformațiile rezultă cele mai mici, iar dintre cele două variante, rezemarea la talpa inferioară este net avantajoasă, față de cele de la talpa superioară, prin scăderea eforturilor cu 35% pe ansamblu, iar a săgeții structurii cu 52%.

Dezavantajul acestui tip de rezemare, constă în faptul că structura înalță în plus construcția cu înălțimea sa, aducându-și aportul în acest fel la mărirea suprafeței de contact în cazul acțiunii laterale a vântului.

Studiind și ipotezele de rezemări intermediare transversale, pentru cele două cazuri de rezemare pe contur, care au rezultat optime, s-a ajuns la concluzia că varianta cea mai bună este cazul rezemării pe conturul tălpii inferioare, din două în două noduri și transversal la talpa inferioară, la jumătatea lungimii structurii. Acestea dau eforturile cele mai mici și săgeata de 2.39 ori mai mică decât la rezemarea din două în două noduri de contur ale tălpii inferioare.

Variantele optime sunt stabilite funcție de eforturile minime și deformațiile minime, alegerea în practică rămânându-i proiectantului, funcție de soluția constructivă dorită.

#### **6.4. SINTEZA REZULTATELOR OBȚINUTE PRIN STUDIILE TEORETICE ȘI ANALITICE ASUPRA UNUI NOD ORIGINAL ȘI SIMPLU DE REALIZAT DIN CUPOANE DE ȚEAVĂ.**

Nodul studiat în prezenta lucrare, este realizat dintr-un cupon de țeavă cu două capace, unul de diametrul cuponului, iar celălalt mai mare, care să permită

prinderea barelor care realizează tălpile structurii de el, astfel încât să descarce o parte din efortul lor în acest capac.

Pe generatoarele aflate la capetele a doi diametri perpendiculari, se sudează patru gusee, de care se leagă barele care formează talpa structurii reticulate.

Cu ajutorul metodei elementelor finite, respectiv cu programul de calcul ANSYS 5.0, considerându-se că structura nodului, mai sus expusă, s-a împărțit în elemente finite de tip tetraedre (SOLID 90), după care s-a trecut la analiza stării de eforturi și deformații a nodului, sub acțiunea forțelor, rezultate din transformarea eforturilor din barele concurente în nod în forțe, care s-au distribuit în nodurile rețelei create, pe suprafața nodului, în zonele în care sunt situate guseele reale.

Pentru studiu, s-au ales câte un nod de la talpa inferioară și superioară, încărcate cu eforturi reale, calculate în etapele anterioare de optimizare a structurii spațiale reticulate.

Analiza stării de eforturi și deformații, a arătat că tipul de nod ales corespunde din punct de vedere al rezistenței și al rigidității, iar continuarea analizei pentru stabilirea factorului de multiplicare al forței, care să ducă la pierderea stabilității structurii nodului în ansamblu, a arătat ca există rezervă suficient de mare până la apariția acestui fenomen.

Analiza cu metoda elementului finit, a permis evidențierea pașilor necesari în calculul stării de eforturi și deformații pe structura unui nod cu programul ANSYS 5.0, care deși este foarte exact are și unele neajunsuri în special în modul de dispunere a încărcărilor în nodurile structurii ( manual în fiecare nod corespunzător) și durata mare a rulării programului până să se obțină rezultatele.

Rezultatele odată obținute, se pot reda sub o formă foarte sugestivă, color, fiecare culoare reprezentând o anumită valoare a eforturilor unitare sau deformațiilor, iar prin metode de captare, aceste imagini pot fi redade grafic și permit discutarea lor în amănunțime.

Odată stabilită, această metodă, permite proiectanților să dimensioneze noduri ale rețelei structurii reticulate, care la dimensionare se vor alege de aceleași dimensiuni pe zone cu aproximativ aceleași eforturi în bare. Pe zone diferite modificând doar grosimile peretelui cuponului de țevă care realizează nodul, iar dacă este cazul și diametrul acestuia și al capacului mare. Nu este stabilită o regulă precisă, exactă, pentru dimensionarea nodurilor, aceasta constând în impunerea unor dimensiuni, cum ar fi:

- pentru diametrul cuponului de țevă care realizează nodul ( $1/14 \dots 1/18$ )l din pasul rețelei;
- pentru diametrul capacului mai dezvoltat al nodului ( $1/5 \dots 1/8$ )l din pasul rețelei;
- pentru grosimea peretelui cuponului de țevă, respectiv a capacului nodului, minim 6 mm, dar cu respectarea condiției de stabilitate locală, amintită mai sus;
- lungimea cuponului de țevă, respectiv înălțimea nodului, se poate alege ca fiind ( $1/1 \dots 1/1.5$ )d din diametrul acestuia;

dimensiuni care după verificare, confirmă sau nu justetea alegeri lor în faza inițială, fiind necesară majorarea, micșorarea sau în cazul fericit, menținerea lor. Această operațiune necesită un timp destul de mare, minim 5 ore, neluând în calcul timpul necesar distribuirii manuale a încărcărilor în nodurile rețelei create pe suprafața nodului structurii reticulate.

## 6.5. CONCLUZII FINALE

Lucrarea de față și-a propus un studiu asupra acoperișurilor spațiale reticulate, care pot fi utilizate pentru centralele hidroelectrice, care ar urma să se realizeze în caz de relansare a economiei naționale, cât și posibilitatea utilizării acestora la înlocuirea celor existent în caz de necesitate, sau reparații capitale ale acestora.

Teza conține câteva segmente bine conturate în care se fac referiri și prezentări ale tipurilor de structuri spațiale reticulate existente în lume și care apar

în bibliografia de specialitate, sisteme de noduri pentru astfel de structuri, mai mult sau mai puțin sofisticate, ca alcătuire și ingeniozitate la montaj, printre care și câteva brevete și cu aportul autorului tezei.

După aceste părți generale de inventariere și prezentare a sistemelor de structuri spațiale și sisteme de noduri, pentru aceste structuri, s-a trecut la câteva probleme mai concrete, cum ar fi optimizarea structurilor spațiale reticulate.

Optimizarea, ca problemă de rezolvat, este un studiu foarte vast, datorită numărului mare de factori care intervin în acest proces și a posibilității alegerii a numeroase soluții constructive pentru acest tip de structuri.

Pentru ca totuși domeniul de studiu să fie ceva mai restrâns, s-a făcut acest studiu pe o structură cu dimensiuni pe ansamblu date, care se întâlnesc cel mai frecvent la centralele hidroelectrice construite pe râurile interioare din țară.

Impunându-se aceste valori (dimensiuni) s-a eliminat un volum însemnat de muncă, prin care ar fi fost necesară aflarea dimensiunilor optime ale acoperișurilor la astfel de construcții.

Cercetarea a continuat pentru găsirea unui pas optim al rețelei, care să satisfacă din punct de vedere al eforturilor și rigidității structurii și nu în ultimul rând din punct de vedere tehnico - economic (număr redus de bare cu dimensiuni relativ mici), pentru ca să continue cu stabilirea unei înălțimi optime a structurii reticulate care să satisfacă aceleași condiții de rezistență, rigiditate și consum minim de material.

Posibilitatea rezemării structurii în mai multe moduri, a permis și găsirea celei mai bune soluții de rezolvare a ei, astfel încât eforturile din bare să fie minime, iar deformația structurii pe ansamblu cea mai redusă dintre toate ipotezele posibile și realizabile.

Studiul a continuat cu analiza, cu metoda elementului finit, pe un nod propriu, original, realizat din cupon de țevă, a stării de tensiuni și deformații, pentru a găsi o modalitate de dimensionare a acestei părți din structura spațială, care este de

importanță deosebită, având în vedere că prin el se realizează echilibrarea eforturilor barelor concurente în nod.

Cu ajutorul programului ANSYS 5.0 s-a stabilit starea de tensiuni și deformații în nod, atât în cazul când acesta este situat la talpa inferioară, cât și atunci când este parte componentă a tălpii superioare, punându-se în acest fel la punct un procedeu de calcul al nodurilor structurii reticulate. Nu este lipsit de interes a aminti și faptul că s-a stabilit și factorul de multiplicare a forței, pentru care nodul își pierde stabilitatea.

În concluzie, toate studiile și cercetările efectuate în lucrare, au fost orientate spre a da un răspuns la ce se petrece în structura spațială reticulată, a unui acoperiș în ansamblu (eforturi, deformații), intrând până în detalii la nivelul nodului, bineînțeles cu referiri doar la nodul realizat din cupon de țevă. Cu toate eforturile depuse și multitudinea studiilor realizate nu consider că problema este complet rezolvată și epuizată, rămânând loc și pentru alte cercetări și poate cu metode și mai performante asociate cu verificări în situ.

## CAPITOLUL 7

### CONTRIBUȚII ORIGINALE

#### 7.1. CONTRIBUȚII ORIGINALE

Studiile și cercetările din teza de doctorat, au avut ca scop optimizarea acoperișurilor spațiale reticulate pentru centralele hidroelectrice, dar care se poate generaliza la oricare alt tip de construcție cu dimensiuni asemănătoare și studiul unor sisteme de noduri, cu mențiunea expresă de stabilire a comportării unui nod propriu realizat din cupoane de țevă.

În cadrul capitolului 4 al tezei, în care s-au făcut cercetări privind optimizarea acoperișurilor spațiale reticulate, din mai multe puncte de vedere, s-a ajuns la următoarele rezultate.

Optimizarea din punct de vedere al pasului "l" al rețelei, a arătat faptul că din valorile posibile  $(1/8 \dots 1/12)L$  din deschiderea structurii, rezultă ca fiind optimă, aceea care reprezintă a zecea parte din deschidere  $(L/10)$ , rețea în care numărul barelor, este cel mai satisfăcător, ținând cont în același timp și de eforturile din ele și utilizarea la capacitate a secțiunii transversale a acestora.

Optimizarea structurilor spațiale reticulate, din punct de vedere al înălțimii acestora, care pot fi cuprinse între  $(1/12 \dots 1/18)L$  din deschiderea structurii, a ținut cont de câteva elemente esențiale cum ar fi:

- unghiul pe care-l fac diagonalele structurii spațiale reticulate cu planul tălpilor, care trebuie să fie în limita  $35^{\circ} - 60^{\circ}$ ;
- rigiditatea structurii spațiale reticulate, crește odată cu majorarea înălțimii acestora, fapt care s-a observat prin evidențierea săgeții la fiecare valoare a înălțimii structurii studiate;
- mărimea înălțimii structurii spațiale reticulate, are efect asupra lungimii barelor acestora, cu cât înălțimea ei crește, vor crește și lungimile barelor, fapt care



trebuie limitat, datorită pericolului apariției flambajului în barele comprimate, în special și necesitatea ca multe din ele să fie dimensionate din condiție, de zveltețe, lucru neeconomic;

- eforturile în barele structurilor spațiale reticulate scad, odată cu majorarea înălțimii acestora, remarcându-se valori accesibile în cazul structurilor cu înălțimi de (1.70 - 1.80)m ;

Având în vedere toate elementele mai sus amintite, s-a desemnat ca optimă, structura spațială reticulată care a avut înălțimea de  $L/14$  adică  $h = 1.70$  m.

Optimizarea structurilor spațiale reticulate, din punct de vedere al modului de rezemare, s-a realizat în urma comparării rezultatelor obținute pentru mai multe ipoteze de rezemare, cum ar fi:

- rezemarea structurilor spațiale reticulate în nodurile de contur ale tălpii superioare (în fiecare nod, ipoteza 1; din două în două noduri, ipoteza 2; din patru în patru noduri ipoteza 3; din cinci în cinci noduri ipoteza 4);
- rezemarea structurilor spațiale reticulate în nodurile de contur ale tălpii inferioare (în fiecare nod ipoteza 5; din două în două noduri ipoteza 6; din trei în trei noduri ipoteza 7; din patru în patru noduri ipoteza 8);
- rezemarea structurilor spațiale reticulate în nodurile de contur și intermediar, transversal (rezemare din două în două noduri de contur ale tălpii superioare și transversal la talpa inferioară din două în două noduri ale panoului care conține axa de simetrie ipoteza 9; rezemare din două în două noduri de contur ale tălpii inferioare și transversal la talpa inferioară din două în două noduri ale panoului care conține axa de simetrie ipoteza 10).

Din multitudinea acestor ipoteze de rezemare, s-a observat ca fiind cele mai bune, rezemările din două în două noduri de contur ale structurilor, fie la talpa inferioară, fie la talpa superioară, în funcție de situațiile concrete și posibilitățile de realizare a acestora.

Eforturile cele mai mici în barele structurilor spațiale reticulate, cât și deformațiile în ansamblu a structurii, au rezultat pentru ipotezele 9 și 10, adică la rezemări suplimentare transversale. Aceste ipoteze și în special ipoteza 10, rezemarea pe contur și transversal la talpa inferioară, au evidențiat că rigiditatea structurii crește foarte mult, săgeata ei scăzând de 2.39 ori față de rezemarea doar pe contur, la fel și eforturile din barele structurii, cu mențiunea că în zona rezemării transversale, vor apărea în barele tălpilor superioare, eforturi de întindere, iar în barele tălpilor inferioare, eforturi de compresiune.

La realizarea acestor rezemări transversale, din punct de vedere constructiv, se va ține cont ca elementele de susținere, să nu deranjeze buna exploatare a centralei hidroelectrice.

În paragraful 4.6 al prezentei teze, sunt prezentate în întregime studiile privind influența rezemării structurii spațiale reticulate, asupra eforturilor din barele ei, cât și a rigidității în ansamblu a acesteea.

În ceea ce privește studiul comportării nodului original, propus, ca fiind alcătuit dintr-un cupon de țevă de care se sudează, două capace, unul de diametru identic cu cel al țevii de care se sudează gusee în cruce și de care cu șuruburi se îmbină diagonalele structurii spațiale reticulate, iar celălalt capac de diametru mai mare decât al cuponului, care realizează partea de rezistență a nodului, capac de care se vor prinde cu șuruburi barele care realizează rețeaua tălpilor superioare sau inferioare, funcție de poziția nodului.

Pe generatoarele cuponului de țevă, la extremitățile a doi diametri perpendiculari, se vor suda guseele de care prin intermediul unor șuruburi, se vor îmbina barele rețelei tălpilor (superioară, inferioară).

Capacul mai dezvoltat al nodului, întotdeauna se va așeza spre exteriorul structurii spațiale reticulate, el având rol de preluare a încărcărilor aduse de învelitoarea acoperișului, sau dacă este la talpa inferioară, de el se pot agăța

elemente de iluminat, de ventilație sau diverse cabluri care trec aparent pe sub acoperiș.

Varianta optimă de nod se poate alege ținând cont de:

- calculul tehnico-economic privitor la realizarea practică a lui (manoperă, materiale etc);
- avantajele și dezavantajele utilizării acestuia;
- complexitatea calculului static și de rezistență ( cu metoda elementului finit);
- tehnica de calcul avută la dispoziție și programele utilizate.

Pentru studiul acestui nod, s-a folosit programul ANSYS 5.0, utilizând elemente finite spațiale de tip tetraedre - SOLID 92, în număr de 5960 pentru un nod. Rezultatele obținute au fost deosebite, iar modul de prezentare a lor sub formă grafică inedită, reușind cu subprograme de captare să fie posibilă prezentarea lor și în teză.

Cercetările au dus la concluzia că nodurile realizate în acest nod (dintr-un cupon de țevă și două capace inegale, cu gusee pe capacul mic și pe patru generatoare), se comportă bine atât din punct de vedere al preluării eforturilor; al deformațiilor, cât și ușurința în realizarea și folosirea lui.

Pentru aceasta, s-a consultat un număr important de material bibliografic din domeniu, care să permită organizarea studiilor teoretice și simulările pe calculator, pentru a ajunge la concluziile și aspectele prezentate în conținutul lucrării de față.

Aceste preocupări, care sunt prezentate detaliat în capitolele tezei, reliefează o parte dintre contribuțiile originale ale autorului, care ar fi:

- a) - pentru prima dată se realizează o inventariere a centralelor hidroelectrice, în funcție de dimensiunile sălii mașinilor, care adăpostește turbinele, respectiv de dimensiunile în plan ale acestora;*

- b)** - se stabilește o suprafață medie a acoperișurilor acestui tip de construcții, respectiv dimensiunile în plan care se întâlnesc la cele mai numeroase centrale hidroelectrice;
- c)** - stabilirea unei clasificări riguroase a structurilor spațiale reticulate dublu strat, folosite pentru acoperișurile construcțiilor existente, în funcție de forma ochiurilor rețelei, orientarea barelor rețelei (tălpilor) față de conturul construcției și legăturile dintre nodurile rețelelor care formează cele două tălpi ale acesteea;
- d)** - clasificarea nodurilor structurilor spațiale reticulate, funcție de faptul că sunt demontabile sau nu;
- e)** - brevetarea ca invenție a unui număr de trei noduri sferice cu modalități diferite de prindere a barelor în acestea;
- f)** - optimizarea structurilor spațiale reticulate în funcție de dimensiunile ochiului rețelei,  $l_{opt} = L/10$ , înălțimea structurii  $h_{opt} = L/14$  și modul ei de rezemare pe contur, la talpa superioară sau la talpa inferioară, folosind pentru prima dată noțiunea de “volum asociate” de eforturi, cu ajutorul cărora s-au reprezentat în spațiu variația eforturilor în barele din rețeaua tălpilor superioare, inferioare și diagonale și s-au calculat valorile totale ale eforturilor pe categorii de bare, mărimi care au fost folosite în stabilirea structurii optime din punct de vedere al eforturilor, rigidității și necesarului de material;
- g)** - realizarea unui nou sistem de nod, alcătuit dintr-un cupon de țevă, cu două capace, dintre care unul mai dezvoltat și cu gusee pe capacul mic pentru prinderea în nod a diagonalelor și pe generatoarea

*cuponului de țeavă. La extremitățile a doi diametri perpendiculari, gusee de care se prind barele care formează tălpile structurii spațiale reticulate;*

- h)** - *punerea la punct a modului de lucru în vederea analizei statice și a stării de tensiuni și de formații pe ansamblul nodului studiat;*
- i)** - *vizualizarea și captarea imaginilor, care reflectă starea eforturilor unitare și deformațiile în spațiu, pentru nodul realizat din cupoane de țeavă.*

## **7.2. UTILITATEA STUDIILOR ASUPRA STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE**

Valoarea studiilor efectuate în prezenta teză de doctorat, constă în faptul că ele pot fi utilizate în procesul de proiectare a unor astfel de rețele, indiferent de domeniul în care se utilizează, punând la dispoziția proiectanților sisteme de structuri reticulate, care se pot alege în funcție de destinația construcției și de simplitate în realizarea lor.

Sistemele de noduri, care se pot folosi la structurile spațiale reticulate, sunt de o diversitate mare, ceea ce face posibilă adaptarea la orice cerință din proiectare și execuție.

Metoda de optimizare pusă la punct cu “volum asociate de eforturi, permite folosirea ei și la alte structuri de acest gen, fiind relativ simplă dar foarte expresivă și datorită faptului că permite vizualizarea în spațiu a acestor mărimi.

Metoda este laborioasă, în sensul că după calculul eforturilor în barele structurii cu unul din programele cunoscute ( în teza de față SAP 90), ele se reprezintă în coordonatele nodului, iar suprafața înfășurătoare a acestor eforturi cu planul de referință închide un volum, care se calculează automat cu utilitare

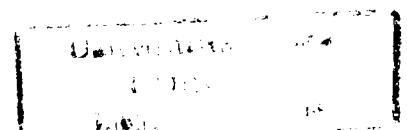
adecvate prin trei metode iterative, și care dau mărimea “volumelor asociate” de eforturi, cu care se poate în continuare opera pentru stabilirea unor valori maxime, sau minime și implicit a optimului, din punct de vedere al eforturilor.

Studiul stării de eforturi și deformații din nodul structurii, este o altă problemă rezolvată în prezenta teză, prin utilizarea programului ANSYS 5.0, care deși de durată, 5 - 6 ore, duce la rezultate bune, care pot fi utilizate în proiectare. Pe lângă neajunsul că durata de rulare a programului este mare, apare și acela că eforturile din barele concurente în nod, se transformă în încărcări concentrate, care trebuiesc distribuite în nodurile rețelei create pe nodul studiat, manual, în fiecare porțiune unde se consideră că acționează (zona guseelor).

Teza de doctorat de față, a încercat să rezolve câteva probleme care apar la proiectarea structurilor spațiale reticulate, fără să aibă pretenția că a epuizat toate variantele posibile și lasă în continuare această problemă deschisă, spre cercetare și altor lucrări, autorul fiind hotărât să dea o mână de ajutor continuatorilor în studiul problemei.

**BIBLIOGRAFIE**

- [1] \* \* \* ANSYS Theory Reference 000656 Seventh Edition SAS IP, Inc.,
- [2] Bălan Șt., Petcu V. - Calculul structurilor în domeniul plastic. Densități mecanice. Editura Academiei Române 1990.
- [3] Bebea N., - Metode pentru rezolvarea problemelor de optimizare. Aplicații. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978.
- [4] \* \* \* Brevet de invenție nr. 95668/30.01.1988 TIMIȘ 1.
- [5] \* \* \* Brevet de invenție nr. 99886/4.03.1988 TIMIȘ 2.
- [6] \* \* \* Brevet de invenție nr. 99887/4.03.1988 TIMIȘ 3.
- [7] \* \* \* Brevet de invenție nr.99888/4.03.1988 TIMIȘ 4.
- [8] Caraba I., - Construcții metalice hidrotehnice. Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara 1985.
- [9] \* \* \* - Construcții Hidrotehnice în România 1950 - 1990. Hidroconstrucția S.A. Editura Imprimerie, Librărie "Arta Grafică" București 1990.
- [10] Cuteanu E., Marinov R., - Metoda elementelor finite în proiectarea structurilor. Editura Facla. Timișoara 1980.
- [11] Dalban C., Juncan N., - Construcții metalice. Editura Didactică și Pedagogică. București 1983.
- [12] Dancea I., - Metode de optimizare. Editura Dacia Cluj 1973.
- [13] Ghiocel D., Lungu D., - Metode probabilistice în calculul construcțiilor. Editura tehnică București, 1982.
- [14] Gârbea D., Analiză cu elemente finite. Editura Tehnică București, 1990.
- [15] \* \* \* Hotărârea Guvernului României nr.261/1994. Regulament privind stabilirea categoriei de importanță a construcțiilor.
- [16] Ionescu V., Popeea C., - Optimizarea sistemelor. Editura Didactică și Pedagogică. București 1981.
- [17] Ivan M., - Calculul liniar al structurilor Editura Facla. Timișoara 1981.
- [18] Ivan M. Vulpe A., - Statica, stabilitatea și dinamica construcțiilor. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1982.
- [19] ICCPDC - Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea construcțiilor în soluție de structură spațială reticulată P112 - 81. Decizia nr. 105/11.08.1981. Buletinul Construcțiilor Vol.2. 1982.
- [20] Larionescu D. - Metode numerice. Editura Tehnică București 1989.
- [21] \* \* \* - Legea nr. 10/1995 privind calitatea în construcții.
- [22] Makowski Z.S. ș.a. -Raumliche Tragwerke aus Stahl-Dusseldorf 1963.
- [23] Marinescu I.D. ș.a. - Desfășurarea suprafețelor asistată de calculator. Editura Tehnică. București 1987.
- [24] Marinescu Gh. ș.a. - Probleme de analiză numerică. Editura Didactică și Pedagogică. București 1978.



- [25] Mateescu D ș.a. - Stabilitatea la compresiune a structurilor din oțel. Editura Academiei București 1980.
- [26] Mateescu D., Caraba I., - Construcții metalice. Calculul și proiectarea elementelor din oțel. Editura Tehnică. București 1980.
- [27] Mercea Ghe., Breb Tr., - Construcții metalice. Structuri pentru construcții cu deschideri mari și pentru clădiri multietajate, vol.3, Universitatea Politehnica. Timișoara 1996.
- [28] Pascariu I. - Elemente finite. Concept - aplicații. Editura Militară. București, 1985.
- [29] Păcuraru V. – Platforme metalice industriale. Atelierul de multiplicare a Universității din Cluj Napoca 1990
- [30] Popescu V., - Construcții metalice. Ediția a treia. Editura Tehnică București, 1975.
- [31] Prișcu R. - Construcții hidrotehnice - vol.I, II. Editura Didactică și Pedagogică. București 1974.
- [32] Rădulescu D.,ș.a. - Optimizarea flexibilă și decizia asistată de calculator. Editura Științifică . București 1992.
- [33] Sima V., Varga A., - Practica optimizării asistate de calculator. Editura Tehnică. București, 1986.
- [34] Reitman M.I., Shapiro G.S. – Metode de proiectare optimă a corpurilor deformabile Editura Tehnică București 1981
- [35] Sârbu I. - Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție a apei. Editura Academiei României. București, 1997.
- [36] \* \* \* - Sisteme de noduri tip MANESMANN
- [37] \* \* \* - Sisteme de noduri MERO
- [38] \* \* \* - Sisteme de noduri NIPON SPACE TRUSS SYSTEM
- [39] \* \* \* - Sisteme de noduri NODUS
- [40] \* \* \* - Sisteme de noduri SPACE DECK
- [41] \* \* \* - Sisteme de noduri TRIODETIC
- [42] \* \* \* - Sisteme de noduri UNIBAT
- [43] \* \* \* - Sisteme de noduri UNISTRUT
- [44] Soare M., Toader I.H., - Contribuții la studiul stării de eforturi și deformații la structuri planar patrute simple, triplu strat. Buletinul Conferinței a III-a de Construcții metalice. Timișoara 1982.
- [45] \* \* \* STAS 10101/OA - 77. - Acțiuni în construcții. Clasificarea și gruparea acțiunilor pentru construcții civile și industriale.
- [46] \* \* \* STAS 10101/20 - 90. Acțiuni în construcții. Încărcări date de vânt.
- [47] \* \* \* STAS 10101/21 - 92. Acțiuni în construcții. Încărcări date de zăpadă.
- [48] \* \* \* STAS 10108/0 - 78. Construcții civile, industriale și agrozootehnice. Calculul elementelor din oțel.
- [49] \* \* \* STAS 10108/EC 3 - 93. Calculul elementelor din oțel.
- [50] \* \* \* STAS 404/1,2 - 87. Țevi din oțel fără sudură laminate la cald.



- [51] \* \* \* STAS 424/86 - Oțel cornier cu aripi egale.
- [52] \* \* \* STAS 425/80 - Oțel cornier cu aripi neegale
- [53] \* \* \* STAS R 8542 - 79. Alegerea oțelurilor pentru construcții metalice.
- [54] Stematiu D., - Analiza statică prin metoda elementului finit. Institutul de Construcții. București, 1977.
- [55] Stematiu D., - Calculul structurilor hidrotehnice prin metoda elementelor finite. Editura Tehnică București, 1988.
- [56] \* \* \* - Surfer Version 5.00 - Mar 1 1944 Golden Soft ware Inc. 80914 th Streed Golden Colorado USA.
- [57] Șerbescu C., Mulbacher R., - Probleme speciale în construcții metalice. Editura Tehnică București, 1984.
- [58] Ștefănescu A., Zidăroiu C., - Cercetări operaționale. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1991.
- [59] Tănăsescu A., ș.a. - Grafică asistată. Programe FORTRAN pentru reprezentări geometrice , vol.1 și 2. Editura Tehnică. București, 1989.
- [60] Timoshenko S.P. ș.a. - Teoria plăcilor plane și curbe. Editura Tehnică București, 1968.
- [61] Văduva I., Popovici N., - Introducere în programarea automată. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1973.
- [62] Vraciu G., - Metode numerice cu aplicații în tehnica de calcul. Scrisul Românesc, Craiova 1982.
- [63] Zienkiewicz O.C., - La methode des elements finits. Mc.GrawHill, Paris, 1979.
- [64] Zienkiewicz O.C., - The Finit Element Method in Engineering Science Mc. Graw Hill, London, 1972.
- [65] \* \* \* X - Y Plotter Dxy Command Reference Manual Roland Digital Group.
- [66] \* \* \* X - Y Plotter Dxy, User's Manual. Roland Digital Group.
- [67] Young T.L., Van Woert - Plot 88. Software Library Reference Manual, Plotworks, Inc. 1984 - 1988.
- [68] Wilson E.L. - SOLID SAP. A general structural analysis program U.C. Berkely SESM Rep. 70 - 20, 1970.
- [69] Wilson E.L., Bathe K.J., Peterson F.E., - Manual de utilizare a programului SAP 05 - Analiză liniară, statică și dinamică a structurilor prin Metoda Elementului Finit, 1983.
- [70] Wilson E.L. Habibulah A., - SAP 90. - Manual de utilizare și o serie de programe de analiză statică și dinamică a stucturilor prin Metoda Elementului Finit, Berkeley, California, 1978 - 1988.
- [71] \* \* \* Quik BASIC - Extended - ver. 7.1. Microsoft Corp 1982 - 1990.

## CUPRINS

<b>1.</b>	<b>ASPECTE GENERALE PRIVIND ACOPERIȘURILE METALICE PENTRU CENTRALE HIDROELECTRICE</b>	<b>3</b>
1.1.	<i>GENERALITĂȚI. DEFINIREA NOȚIUNII DE CENTRALE HIDROELECTRICE. ROLUL LOR</i>	3
1.2.	<i>DIMENSIUNILE PRINCIPALE ALE CENTRALELOR HIDROELECTRICE</i>	4
1.3.	<i>TIPURI DE STRUCTURI METALICE DE REZISTENȚĂ PENTRU CENTRALE HIDROELECTRICE</i>	7
1.4.	<i>AVANTAJELE ȘI DEZAVANTAJELE SISTEMELOR DE ACOPERIȘURI METALICE ALE CENTRALELOR HIDROELECTRICE</i>	9
<b>2.</b>	<b>SISTEME DE ACOPERIȘURI CU STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE PENTRU CENTRALE HIDROELECTRICE</b>	<b>12</b>
2.1.	<i>ASPECTE GENERALE. DEFINIREA ACOPERIȘURILOR CU STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE DUBLU STRAT</i>	12
2.2.	<i>TIPURI DE STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE CU TĂLPI PARALELE</i>	13
2.2.1.	Structuri spațiale reticulate cu tălpi paralele între ele și paralele cu marginea construcției	13
2.2.2.	Structuri spațiale retriulate sistem diagonal cu una din tălpi paralelă cu marginea construcției și cealaltă rotită la 45°	19
2.2.3.	Structuri spațiale reticulate sistem oblic cu ambele tălpi rotite la 45° față de marginile construcției	22
2.2.4.	Structurile spațiale reticulate, planare sistem triunghiular	24
2.2.5.	Structuri spațiale reticulate planare, sistem hexagonal	27
2.2.6.	Structuri spațiale reticulate sistem hexagonal la talpa superioară și sistem triunghiular la talpa inferioară	30
2.2.7.	Structuri spațiale reticulate sistem hexagonal cu diagonale în planuri denivelate	31

2.3.	<i>DIMENSIUNILE UZUALE ALE STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE ÎN DUBLU STRAT DE LA ACOPERIȘURILE CENTRALELOR HIDROELECTRICE</i>	32
2.4.	<i>PARTICULARITĂȚI PRIVIND DIFERITELE MODALITĂȚI DE REZEMARE A ACOPERIȘURILOR CU STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE</i>	35
2.5.	<i>AVANTAJELE ȘI DEZAVANTAJELE DIFERITELOR TIPURI DE STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE PENTRU ACOPERIȘURILE CENTRALELOR HIDROELECTRICE</i>	37
3.	<b>SISTEME DE NODURI FOLOSITE LA STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE</b>	39
3.1.	<i>GENERALITĂȚI. NOȚIUNI DE BAZĂ DESPRE NODURILE SPAȚIALE RETICULATE. ROLUL LOR ÎN STRUCTURĂ</i>	39
3.2.	<i>CLASIFICAREA SISTEMELOR DE NODURI LA STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE</i>	40
3.3.	<i>TIPURI ȘI SISTEME DE NODURI FOLOSITE PENTRU PRINDEREA BARELOR LA STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE</i>	40
3.3.1.	<i>Sistemul MANESMANN</i>	41
3.3.2.	<i>Sistemul folosit la Catedra de Construcții Metalice și Mecanica Construcțiilor</i>	42
3.3.3.	<i>Sistemul folosit la Amfiteatrul F1(Nicolae Maior)</i>	44
3.3.4.	<i>Sistemul MERO</i>	44
3.3.5.	<i>Sistemul NIPON SPACE TRUSS SYSTEM</i>	45
3.3.6.	<i>Sistemul spațial reticulat tip ICCPDC</i>	47
3.3.7.	<i>Sistemul reticulat UNISTRUT</i>	48
3.3.8.	<i>Sistemul spațial reticulat SPACE DECK</i>	49
3.3.9.	<i>Sistemul de noduri UNIBAT</i>	50
3.3.10.	<i>Sistemul de noduri TRIODETIC</i>	51
3.3.11.	<i>Sistemul de noduri tip NODUS</i>	52
3.3.12.	<i>Nod spațial pentru structuri reticulate TIMIȘ 1</i>	53
3.3.13.	<i>Nod sferic pentru structuri spațiale reticulate TIMIȘ 2</i>	55
3.3.14.	<i>Nod sferic pentru structuri spațiale reticulate TIMIȘ 3</i>	56
3.3.15.	<i>Nod sferic pentru structuri spațiale reticulate TIMIȘ 4</i>	57
3.4.	<i>AVANTAJELE ȘI DEZAVANTAJELE DIFERITELOR TIPURI DE SISTEME DE NODURI</i>	58
3.5.	<i>PARTICULARITĂȚILE DIFERITELOR TIPURI DE SISTEME DE NODURI</i>	60

<b>4.</b>	<b>OPTIMIZAREA STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE PENTRU ACOPERIȘURILE CENTRALELOR HIDROELECTRICE</b>	<b>65</b>
4.1.	<i>NOȚIUNI GENERALE</i>	65
4.2.	<i>ETAPELE, FACTORII ȘI VARIABILELE CARE INFLUENȚEAZĂ OPTIMIZAREA STRUCTURILOR RETICULATE</i>	66
4.3.	<i>DEFINIREA TERMENILOR FOLOSIȚI ÎN OPTIMIZARE ÎN GENERAL</i>	69
4.4.	<i>OPTIMIZAREA STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE DIN PUNCT DE VEDERE AL PASULUI REȚELEI</i>	71
4.4.1.	Alegerea structurilor reticulate pentru studiu	71
4.4.2.	Stabilirea încărcărilor ce acționează pe structurile reticulate ale acoperișului	72
4.4.3.	Aspecte teoretice privind calculul cu metoda elementelor finite	74
4.4.4.	Calculul eforturilor din barele structurilor spațiale reticulate ale acoperișului centralelor hidroelectrice	76
4.4.5.	Concluzii	88
4.5.	<i>OPTIMIZAREA STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE DIN PUNCT DE VEDERE AL ÎNĂLȚIMII STRUCTURII</i>	89
4.5.1.	Considerații generale	89
4.5.2.	Calculul eforturilor din barele structurii spațiale reticulate cu diferite înălțimi	90
4.5.3.	Concluzii	98
4.6.	<i>OPTIMIZAREA STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE DIN PUNCT DE VEDERE AL MODULUI DE REZEMARE</i>	99
4.6.1.	Considerații generale	99
4.6.2.	Rezemarea structurilor spațiale reticulate în nodurile de contur ale tălpii Superioare	100
4.6.3.	Rezemarea structurilor spațiale reticulate în nodurile de contur ale tălpii inferioare	108
4.6.4.	Rezemarea structurilor spațiale reticulate în nodurile de contur și intermediar	117
4.6.5.	Concluzii	131
<b>5.</b>	<b>STUDIUL COMPORTĂRII UNUI NOD ORIGINAL FORMAT DINTR-UN CUPON DE ȚEAVĂ AVÂND GUSEE SUDATE DE CARE SE PRIND BARELE CU ȘURUBURI</b>	<b>133</b>
5.1.	<i>GENERALITĂȚI. DESCRIEREA NODULUI STUDIAT</i>	133

5.2.	<i>STABILIREA DIMENSIUNILOR NODULUI REALIZAT DIN CUPOANE DE ȚEAVĂ</i>	134
5.3.	<i>STABILIREA ÎNCĂRCĂRILOR CARE ACȚIONEAZĂ PE NOD CA EFORTURI DIN BARE</i>	136
5.4.	<i>ANALIZA CU METODA ELEMENTELOR FINITE A STĂRII DE TENSIUNI ȘI DEFORMAȚII ÎN NODURILE REALIZATE DIN CUPOANE DE ȚEAVĂ</i>	140
5.4.1.	Considerații generale	140
5.4.2.	Ecuțiile generale ale metodei elementelor finite	142
5.4.3.	Discretizarea domeniului de analiză. Date generale	145
5.4.4.	Analiza statică. Prezentarea rezultatelor	146
5.4.5.	Analiza pierderii stabilității – flambajului	174
5.5.	<i>CONCLUZII PRIVIND MODUL DE COMPORTARE A NODULUI PROPUȘ</i>	178
6.	<b>SINTEZA STUDIILOR EFECTUATE ȘI CONCLUZII</b>	181
6.1.	<i>SINTEZA STUDIILOR EFECTUATE ÎN CADRUL TEZEI REFERITOARE LA SISTEME DE STRUCTURI SPAȚIALE RETICULATE</i>	181
6.2.	<i>SINTEZA STUDIILOR ȘI REZULTATE OBȚINUTE CU PRIVIRE LA SISTEME ȘI NODURI FOLOSITE ÎN PRACTICĂ</i>	183
6.3.	<i>SINTEZA REZULTATELOR REFERITOARE LA OPTIMIZAREA STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE PENTRU ACOPERIȘUL CENTRALELOR HIDROELECTRICE</i>	185
6.4.	<i>SINTEZA REZULTATELOR OBȚINUTE PRIN STUDIILE TEORETICE ȘI ANALITICE ASUPRA UNUI NOD ORIGINAL ȘI SIMPLU DE REALIZAT DIN CUPOANE DE ȚEAVĂ</i>	187
6.5.	<i>CONCLUZII FINALE</i>	189
7.	<b>CONTRIBUȚII ORIGINALE</b>	192
7.1.	<i>CONTRIBUȚII ORIGINALE</i>	192
7.2.	<i>UTILITATEA STUDIILOR ASUPRA STRUCTURILOR SPAȚIALE RETICULATE</i>	197
	<b>BIBLIOGRAFIE</b>	199