

INSTITUTUL POLITEHNIC „TRAIAN VUIA” TIMISOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCTII
CATEDRA DE CONSTRUCTII METALICE

Ing. GHESSAN WAARI

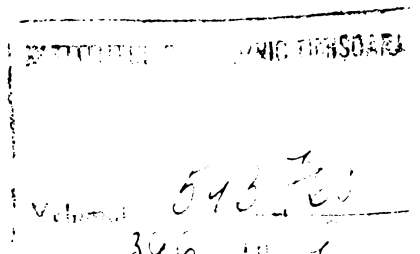
STUDII TEORETICE SI TEHNICO - ECONOMICE
PRIVIND
STRUCTURILE METALICE ALE HANGARELOR

- TEZA DE DOCTORAT -

CONDUCĂTOR ȘTIINTIFIC:
Academician Profesor DAN MATEESCU

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

TIMISOARA 1990



<u>Cuprins</u>	Pag.
1.Consideratii generale privind constructiile cu deschideri mari.....	4
1.1.Introducere.....	4
1.2.Domenii de utilizare a constructiilor cu deschideri mari.....	6
1.3.Particularitatile hangarelor cu deschideri mari..	8
1.4.Sisteme structurale pentru hangare cu deschideri mari.....	10
1.4.1.Dimensiuni ale avioanelor utilizate in prezent.....	10
1.4.2.Tipuri de structuri utilizate in constructia hangarelor.....	11
1.5.Criterii privind alegerea sistemelor structurale pentru hangarele studiate.....	14
2.Structuri in cadre cu consola.....	17
2.1.Structuri in cadre cu consola plana.....	17
2.2.Calculul structurii.....	27
2.2.1.Stabilirea incarcarii.....	27
2.2.2.Calculu eforturilor.....	30
2.3.Stabilirea solutiei optime.....	52
2.3.1.Topologia structurii optime.....	52
2.3.2.Forma si dimensionarea structurii optime....	53
2.4.Structuri in cadre cu consola spatiala.....	56
2.5.Structuri in cadre cu console pretensionate.....	61
3.Structuri suspendate.....	63
3.1.Introducere.....	63
3.2.Alcatuirea structurii suspendate.....	64
3.3.Noii solutii studiate.....	66
3.4.Calculul cadrelor suspendate.....	70
3.5.Stabilirea solutiei optime.....	74
3.6.Elemente componente ale cadrului suspendat.....	91
3.6.1.Elemente rigide.....	91
3.6.2.Cabluri.....	95
3.7.Concluzii.....	103
4.Structuri cu elemente de rezistenta dispuse perpendicular si rezemate pe un cadru paralel cu planul portii.....	104

4.1. Alcatuirea structurii.....	104
4.1.1. Structuri cu cadrul dispus la poarta hangarului.....	104
4.1.2. Structuri cu cadre amplasate in spatele portii.....	106
4.1.3. Stabilirea structurii optime.....	108
4.2. Calculul structurii.....	109
5. Structuri reticulate planare.....	120
5.1. Introducere.....	120
5.2. Alcatuirea structurii.....	121
5.3. Calculul structurii reticulate.....	134
5.4. Structuri reticulate in forma cotita.....	135
5.4.1. Console.....	138
5.4.2. Placi.....	139
5.4.3. Cadrul longitudinal.....	149
5.5. Structuri reticulate in forma dreapta.....	150
5.6. Probleme speciale privind analiza de stabilitate.....	150
5.7. Sisteme constructive.....	158
5.8. Tehnologii de executie si montaj.....	173
6. Metoda elementelor finite pentru calculul structurilor din bare.....	176
6.1. Introducere.....	176
6.2. Formularea metodei elementelor finite.....	178
6.2.1. Metode de calcul.....	178
6.2.2. Etape ale analizei cu elemente finite.....	182
6.2.3. Formularea directa a metodei elementului finit.....	184
6.3. Caracteristicile algoritmilor de calcul utilizati in metoda elementelor finite.....	189
6.3.1. Stocarea in memorie a matricei de rigiditate	189
6.3.2. Introducerea conditiilor de rezemare.....	191
6.4. Caracteristicile sistemului de calcul.....	192
6.5. Caracteristicile programelor.....	193
7. Concluzii si contributii originale.....	201
8. Bibliografie.....	205

1. CONSIDERATII GENERALE PRIVIND CONSTRUCTIILE CU DESCHIDERI MARI.

1.1. Introducere.

Dezvoltarea civilizatiei umane este strins legata de constructii. Incepind cu primele tipuri de adaposturi, realizate pe vremea cind oamenii duceau o viata nomada si pina la constructiile din zilele noastre, extrem de diverse si variate ca destinatie si alcatuire, constructiile au reflectat, pe de o parte cerintele diverselor trepte de dezvoltare a societatii umane, iar pe de alta parte nivelul tehnic de dezvoltare atins de aceasta.

Inca de la inceput, in afara constructiilor destinate locuintelor au inceput sa apara si constructii in alte scopuri.

In trecutul indepartat ele erau in directa legatura cu conceptiile religioase. Acestea au condus la realizarea unor constructii fantastice, ca de exemplu piramidele din Egipt. Piramida lui Kheops, realizata cu peste 2000 de ani inaintea erei noastre, are 147 metri inaltime si este alcatuita din peste 2 milioane de blocuri de calcar, cintarind fiecare peste 2 tone. Tot conceptiile religioase au inceput sa impuna, cu timpul, locuri de rugaciune, care sa poata adaposti oameni in timpul anumitor ritualuri. Piatra, singurul material de constructii din acea vreme, rezistent si totodata apt de a invinge timpul, a fost folosita pe scara foarte larga, atit in Orientul apropiat (celebrele temple din valea Tigrului si Eufratului), cit si in Asia (temple budiste), respectiv America (templele aztece).

In epoca de inflorire romana au fost construite, tot din piatra, teatre de mari dimensiuni, in aer liber, inasa deoarece piatra este un material greu si cu buna comportare la compresiune, dar cu rezistenta mica la intindere, nu s-a putut face si acoperirea lor. Utilizarea arcelor si a boltilor a permis totusi constructorilor, inca din antichitate, realizarea unor constructii cu performante deosebite care nu au mai fost depasite ulterior, cum ar fi: Panteonul din Roma,

construit in anul 27 i.e.n. sub forma unei cupole cu deschidere de 44 metri, biserica Sfinta Sofia din Istambul (Constantinopol), construita in jurul anului 535 e.n., cu o deschidere de 33 metri, biserica Sfintului Petru din Roma, cea mai mare biserica a lumii crestine, proiectata de Michelangelo, a carei cupola are un diametru de 42 metri, la fel ca si cupola bisericii din Florenta, construita de Brinelleschi in jurul anilor 1430.

Toate aceste constructii realizate cu cupole din caramida sau piatra nu depasesc insa deschiderea de 45 metri, ca urmare a inconvenientelor materialului de constructii folosit.

Cu toate razboaiele, care au distrus o multime de vietii omenesti si multe constructii, populatia globului, in continua crestere numerica a progresat si in domeniul economic, prin aparitia si dezvoltarea manufacturii si apoi a industriei.

Descoperirea si aplicarea fortei aburului, a electricitatii si mai recent a sistemelor de calcul automat au constituit saltul de trecere in trepte de dezvoltare economica si sociala superioara a omenirii, trepte care au impus cerinte noi si in domeniul constructiilor.

In ultimul secol arta construirii a devenit o industrie larg dezvoltata, mai ales ca urmare a descoperirii si producerii pe scara larga a materialelor de constructii artificiale (oteluri si beton).

Colectivitatile umane, tot mai numeroase, au avut nevoie, in afara constructiilor de locuit, de constructii pentru adapostirea desfasurarii activitatii industriale, de constructii pentru intruniri cu caracter economic, sportiv, culturale, politic etc. Astfel au aprut si sau dezvoltat cladirile industriale de tip hala, cu dimensiuni din ce in ce mai mari, gari acoperite, sali de expozitie, sali de sport iar mai recent sali multifunctionale numite si sali polivalente. La toate aceste tipuri de constructii se pune problema acoperirii unei suprafete construite cit mai mari, fara reazeme intermediare, care ar incomoda circulatia, vizibilitatea sau aspectul constructiei respective.

Constructiile cu deschideri mari, realizate din otel, au inceput sa apara de la mijlocul secolului trecut. La Paris sau construit pentru expozitia din 1855 o hala cu deschidere de 47 m, iar trei decenii mai tirziu, pentru expozitia universala din 1889, o hala cu deschidere de circa 110 m. In prezent exista

multe constructii metalice, cu diverse destinatii, a caror deschideri sint foarte mari, ca de exemplu: cupola superdomului Louisiana din New-Orleans, avind o deschidere de 207 m. (1975), arena Medison Square din New York, de forma circulara, cu un diametru exterior de 130 m. etc.

Constructii metalice cu deschideri mari sau realizat si in Romania ca de exemplu: cupola pavilionului central din complexul expozitional din Bucuresti, cu un diametru de 93 m., sala polivalenta din Bucuresti cu deschidere de 74 m, etc.

In domeniul betonului armat si apoi precomprimat s-au obtinut de asemenea realizari deosebite, in special sub forma structurilor spatiale. Ca exemplu se pot cita hangarele de la aeroportul din Orly, realizate de Freissynet in 1916 sub forma unor suprafete parabolice, de aproape 100 m. deschidere, alcatuite dintr-o placa cutata subtire, cupola pavilionului de expozitii a centrului national al industriei si tehnicii din Paris, realizata in 1958, care reazema doar in trei puncte si are 206 m. deschidere, fiind cea mai mare cupla de acest gen din lume, etc.

Desigur la nivelul tehnicii actuale s-ar fi putut realiza constructii cu deschideri si mai mari. Ele implica insa cheltuieli care nu sint justificate din punct de vedere functional. Pe masura perfectionarii metodelor de calcul si a imbunatatirii calitatilor materialelor de constructii, deschiderile constructiilor viitorului vor progresa in functie de cerintele functionale si aspectele economice pe care le implica.

1.2. Domenii de utilizare a constructiilor cu deschideri mari.

Toate constructiile realizate de oameni au avut scopul de a satisface anumite cerinte legate de viata sau activitatea acestora (locuinte, depozite, adaposturi pentru diverse destinatii, desfasurarea unor activitati productive etc). Forma dimensiunile si modul de alcatuire a constructiilor trebuie sa fie alese in functie de cerintele impuse de destinatia lor. Satisfacerea cerintelor impuse de destinatia unei constructii conduce la o solutie functionala.

In afara cerintelor functionale, constructiile trebuie sa fie sigure in exploatare si pe cat posibil economice si

estetice. Satisfacerea tuturor acestor conditii, in mod cit mai favorabil, necesita analiza mai multor variante de alcatuire si adoptarea celei mai avantajoase variante.

Din punctul de vedere al calculului, fiecare material de constructie folosit (otel, beton, etc) si fiecare tip de elemente (grinda, arc, placa reticulata etc), are un

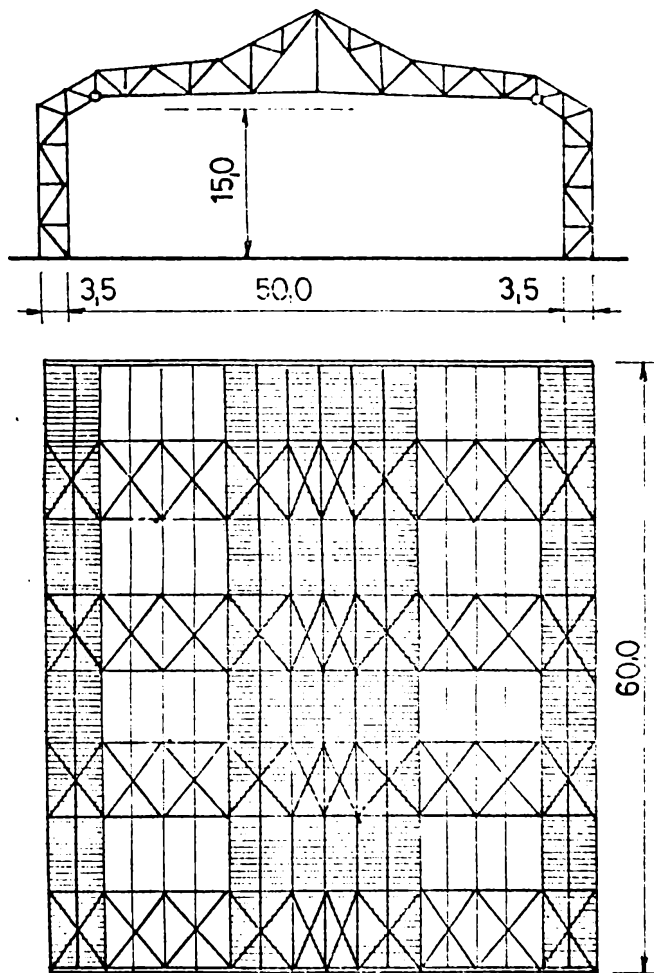
domeiu in care se comporta cel mai favorabil din punct de vedere economic. Acest domeniu, caracterizat prin siguranta deplina in exploatare, la un consum minim de materiale, sau la un cost minim, reprezinta domeniul in care trebuie folosit materialul, respectiv elementul sau structura in cauza. In practica, in anumite cazuri, cerintele functionale pot impune constructiilor dimensiuni care sa limiteze, sau chiar sa excluda posibilitatea folosirii unor materiale de constructii sau a unor elemente, respectiv structuri. Intr-o astfel de situatie se afla si constructiile cu deschideri mari, adica constructiile a caror deschidere depaseste 40 pna la 50 m. Caracteristic acestor constructii este faptul ca din considerente de exploatare toata suprafata acoperita, determinata de conturul definit de deschidere si lungimea constructiei, nu trebuie sa contina nici un element de sustinere a acoperisului (stilpi).

Din punctul de vedere al destinatiei, constructiile cu deschideri mari pot fi:

1. - Constructii pentru adapostirea unui numar foarte mare de oameni, care la rindul lor pot fi impartite in functie de scopul lor si anume:
 - a) - lacasuri de cult (catedrale, moschei etc);
 - b) - sali pentru manifestari politice, sociale sau stiintifice (congrese, mitinguri, intruniri etc);
 - c) - sali pentru spectacole cultural-artistice;
2. - Constructii pentru organizarea unor expozitii;
3. - Constructii industriale pentru uzinarea unor produse de dimensiuni foarte mari (avioane, vapoare etc);
4. - Hangare pentru adapostirea avioanelor in timpul operatiilor de fabricatie, intretinere si reparatii.

Din punctul de vedere al alcatuirii constructive, constructiile cu deschideri mari pot fi realizate ca:

1. Sisteme cu inima plina, sub forma de grinzi, cadre sau arce;
2. Sisteme cu zabrele, sub forma de grinzi, cadre sau arce;



1913, realizate sub forma unor cadre dublu articulate, cu zabrele de 50 m. deschidere si 60 m. lungime, care putea adaposti 4 avioane ce ocupau fiecare suprafata de circa 20 X 20 m. (fig. 1.1). De asemenea, in anii 1916 au fost construite la aeroportul Orly din Paris hangare din beton armat sub forma unor invelisuri parabolice din bolti alaturate, avind o deschidere de aproape 100 m. si inaltime de circa 20 m. (fig.1.2).

FIG.1.1. HANGAR LA ZEESEN CONSTR. IN 1917

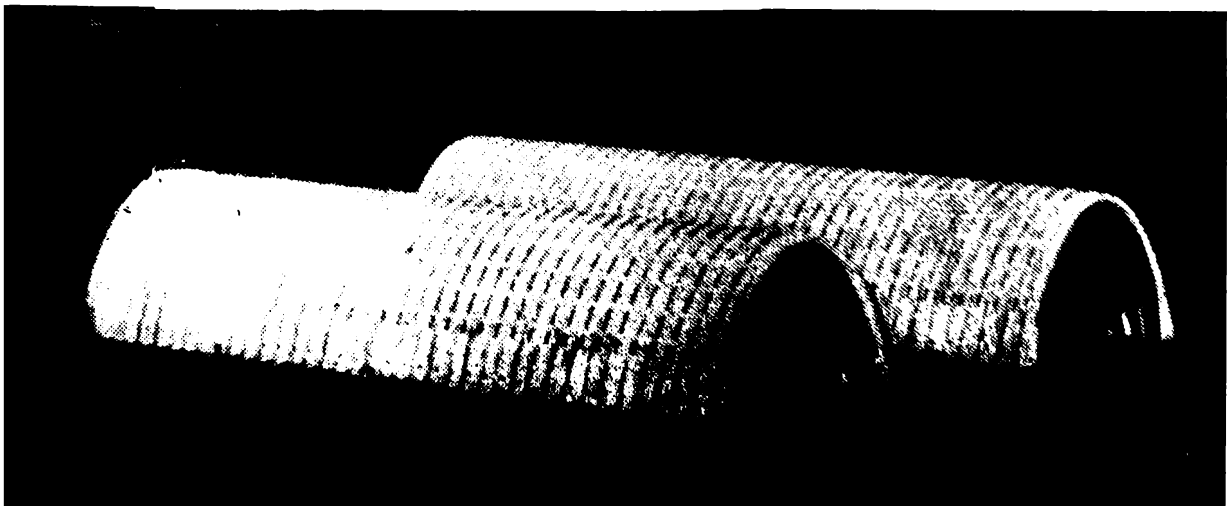


Fig. 1.2 Hangar din beton armat construit in 1916 in Franta (Orly)

3. Structuri reticulate planare sau spatiale rezemate pe stilpi sau alte elemente de sustinere;
4. Structuri suspendate realizate din cabluri.

1.3. Particularitati ale hangarelor cu deschideri mari.

Hangarele sînt constructii destinate adăpostirii avioanelor în timpul operațiilor de revizie și întreținere. Uneori, ele pot fi folosite și la adăpostirea avioanelor în timpul perioadelor de staționare, deși în prezent aceste perioade se urmărește să fie cit mai scurte. Deoarece costul avioanelor este ridicat iar dezvoltarea tehnicii aviatice foarte rapidă, se impune utilizarea la maxim a hangarelor.

Primele hangare au apărut odată cu apariția avioanelor ca mijoc de deplasare, și ele s-au dezvoltat în funcție de evoluția aparatelor de zbor.

Caracteristica esențială a evoluției în timp a avioanelor și deci a hangarelor a fost creșterea continuă a dimensiunilor acestora. Dacă la început, dimensiunile relativ reduse ale avioanelor permiteau gararea mai multor avioane în același hangar, în ultimul timp dimensiunile foarte mari ale acestora impun în general câte o deschidere separată pentru fiecare avion. Configurația avioanelor impune pentru hangare porți de tip cu totul special față de restul construcțiilor, porți care de regulă se extind pe toată lățimea construcției hangarului. Cînd lungimea sau lățimea (adîncimea) hangarelor este mare pot fi prevăzute porți la ambele capete sau pe ambele margini ale acestora pentru a se asigura un acces rapid și comod al avioanelor. Dimensiunile foarte mari ale porților impun o structură specială de rezemare a lor la partea superioară care să asigure rigiditatea suficientă pentru o bună funcționare precum și transmiterea încărcărilor din vînt.

Creșterea dimensiunilor hangarelor pînă la valori ale unor deschideri libere care depășesc uneori 100 m a impus utilizarea oțelului și a aliajelor de aluminiu în acest gen de construcții, deși pe parcurs s-au înregistrat și încercări de utilizare a betonului armat.

Literatura de specialitate amintește printre primele hangare pe cele construite în Germania la Zeesen, începînd cu anul

La ambele exemple mentionate anterior se constata o disproportie intre cerintele functionale privind inaltimea necesara si modul practic de realizare, impus de tipul structurii si materialul folosit. Ulterior, odata cu cresterea dimensiunilor avioanelor, inaltimea si deschiderea hangarelor se coreleaza cu valorile ampenajului si anvergurii acestora astfel incit volumul construit sa reprezinte un minim fata de satisfacerea cerintelor functionale.

1.4. Sisteme structurale pentru hangare cu deschideri mari.

1.4.1. Dimensiuni ale avioanelor utilizate in prezent.

Evolutia continua si spectaculoasa a aparatelor de zbor, in special in ultimele doua decenii, a condus la aparitia unor giganti, care asigura zilnic in prezent transportul pe calea aerului a milioane de oameni, precum si a unor insemnate cantitati de materiale si marfa [**72 **76]. In fig. 1.3 se prezinta dimensiunile (anvergura, lungime, ampenaj) pentru citeva din avioanele cele mai des utilizate in prezent.

Ca urmare, a aparut necesitatea construirii unor hangare de mare capacitate, pentru diferite scopuri, ca de exemplu adapostirea avioanelor in timpul operatiilor de revizie si intretinere precum si pentru construirea acestora. Cresterea dimensiunii avioanelor si a numarului din ce in ce mai mare al acestora, a facut necesara marirea dimensiunii hangarelor. Aceasta stare de fapt a impus necesitatea gasirii unor solutii constructive care sa conduca la obtinerea unor structuri statice avantajose, atat din punct de vedere constructiv, cit si mai ales economic [TY84].

Cresterea continua, dupa cel de al doilea razboi mondial a gabariturii avioanelor, a impus si cresterea corespunzatoare a dimensiunii hangarelor. Pe langa necesitatea de a asigura suprafete acoperite foarte mari, fara elemente intermediare de sprijin (stilpi), particularitatea specifica hangarelor o constituie cerinta de a avea cel putin una din laturi libera pentru a permite amplasarea portii.

1.4.2. Tipuri de structuri utilizate in constructia de hangare.

Generalitati

Ca urmare a utilizarii hangarelor de circa 7 decenii, exista in prezent o multime de solutii constructive realizate, fiecare urmărind adăpostirea unor sisteme statice avantajoase pentru structurile metalice. Ca urmare a particularitatilor hangarelor, solutiile adoptate ilustreaza de fapt si nivelul de dezvoltare al tehnicii constructiilor metalice in diferite perioade de timp. Practic, in ultima vreme, ca urmare a impartirii lumii in tari dezvoltate si tari slab dezvoltate, economicitatea constructiilor este privita in mod diferit. In tarile mai putin dezvoltate se aplica de obicei principiul construirii cu economie de consum de material (otel), pe cind in cele puternic dezvoltate, cel al construirii cu economie de costuri de executie (materiale si manopera). Acest lucru se datoreste faptului ca costul otelului a ramas aproximativ constant in timp, pe cind costul manoperei in tarile capitaliste dezvoltate a fost in continua crestere.

Economicitatea in domeniul aviatiei este influentata de hangare atat prin costul acestora ca investitie, cit si prin eficienta lor in exploatare. Pe linga un cost de investitie cit mai scazut si cheltuieli de intretinere minime, hangarele trebuie sa fie cit mai bine realizate si echipate, pentru a se reduce timpul necesar pentru intretinere, marind astfel timpul de folosire in zbor a avioanelor. Ca urmare a acestor cerinte de reducere a costului constructiilor in tarile dezvoltate se folosesc elemente din profile laminate robuste, care nu necesita manopera de fabricatie mare si care in general sint apte pentru o exploatare convenabila.

Clasificarea tipurilor de structuri pentru hangare.

In prezent exista o multime de structuri care se utilizeaza la construire hangarelor, diversitatea acestora datorindu-se situatiilor cele mai diverse care apar in practica actuala. Citeva din aceste tipuri, pe care le consideram ca fiind cele mai reprezentative sint prezentate in fig. 1.4. Ele pot fi incadrate in urmatoarele grupe:

1. Hangare cu elementele structurii de rezistente (grinzi, ferme, cadre, arce etc), dispuse paralel cu planul portii;
2. Hangare cu elementele structurii de rezistenta (grinzi, ferme, semicadre) dispuse perpendicular pe planul

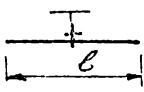
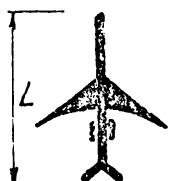
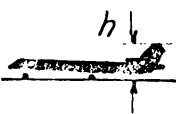
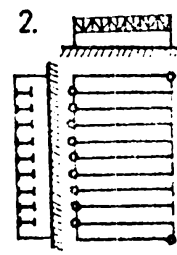
Nr. crt.	TIPUL AVIONULUI Caracteristici	Anvergura m 	Lungime m 	Ampenaj m 
1.	Trident 3 B, Anglia 1971 Transport pe distanțe scurte	29,87	39,98	8,61
2.	Caravelle 12, Franța 1971 Transport pe dist. medii și scurte	34,30	36,24	9,01
3.	Iljuschin 12, URSS 1967 Transport pe distanțe lungi	43,30	53,12	12,35
4.	DC 8 USA 1967 Transport pe distanțe lungi	45,23	57,12	12,92
5.	DC 10 USA 1974 Transport pe distanțe lungi	49,17	54,86	17,70
6.	Lockheed L 1011-1 USA 1971 Transport pe distanțe lungi	47,34	54,16	16,87
7.	Boeing 707 USA 1958 Transport pe distanțe lungi	44,42	46,61	12,94
8.	Boeing 747 USA 1970 Transport pe dist. lungi, volum mare	59,64	70,51	19,33
9.	Tupolev 144 URSS 1971 Transport pe dist. lungi, super sonic	24,70	55,00	12,00
10.	BAC - Concorde Anglia/Franța 1972 Transport pe dist.	25,60	62,10	12,15
11.	Boeing SST 2707-300 USA Transport pe dist. lungi, super sonic	43,20	85,35	15,00
IN ROMANIA				
1	Boeing 707-100	53,64	70,51	19,33
2	Iljuschin 12-62	43,3	53,12	12,35
3	AN 24	28,7	25,2	6,5
4	IL - 76	50,5	46,5	15
5	IL - 18	36,0	35,0	7,5
6	BAC 1-11	28,5	28,8	7,46
7	TU 154	37,5	47,9	10,0
8	DC 10-30	49,17	54,86	17,7

FIG. 1-3. CITEVA TIPURI DE AVIOANE DES FOLOSITE

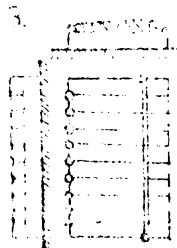
1. Structuri cu elemente de rezistență paralele cu planul porții.



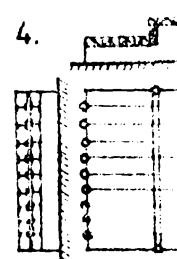
2. Structuri cu elemente de rezistență perpendiculare pe planul porții, menținut pe grinda de post.



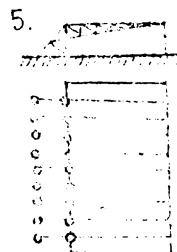
3. Structuri cu elemente de rezistență perpendiculare pe planul porții, menținut pe o grindă rotundă.



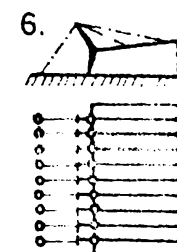
4. Structuri formate din plăci reticulate.



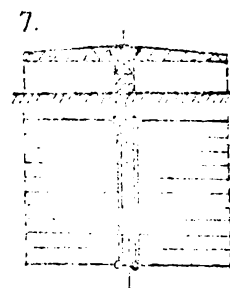
5. Structuri portante din grinzi în consola perpendiculară pe planul porții și susținute în cabluri.



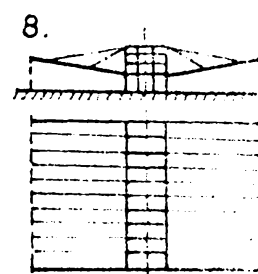
6. Structuri cu console perpendiculare pe planul porții și susținute cu cabluri.



7. Structuri cu console bilaterale perpendiculare pe planul porții.



8. Structuri cu console bilaterale perpendiculare pe planul porții și susținute cu cabluri.



9. Structuri realizate din cabluri pretensionate.

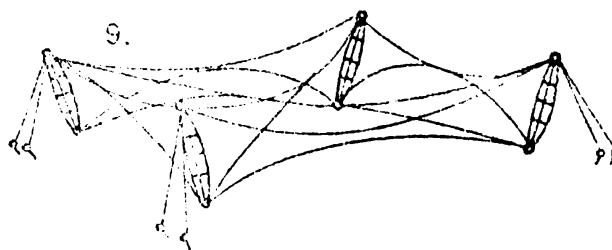


FIG. 14 TIPURI DE SISTEME CONSTRUCTIVE DE HANGARE

- portii si rezemate in dreptul acesteia pe un element de rezistenta paralel cu planul portii (grinda, cadru);
3. Hangare cu elementele structurii de rezistenta (grinzi, ferme, semicadre) dispuse perpendicular pe planul portii si rezemind in consola pe un element de rezistenta retras, paralel cu planul portii (grinda sau cadru);
 4. Hangare cu structura acoperisului formata din placi reticulate spatiale;
 5. Hangare cu structura formata din grinzi sau ferme in consola, dispuse perpendicular pe planul portii;
 6. Hangare cu structura formata din grinzi sau ferme in consola, dispuse perpendicular pe planul portii si sustinute cu cabluri;
 7. Hangare formate dintr-o structura de rezistenta centrala, verticala, rigida la torsiune si prevazuta cu console perpendiculare pe planul portii in ambele parti;
 8. Hangare formate dintr-o structura de rezistenta centrala (mediana) masiva si console bilaterale, perpendiculare pe planul portilor, sustinute de cabluri;
 9. Hangare cu structura de rezistenta realizate din cabluri pretensionate.

1.5. Criterii privind alegerea sistemelor structurale pentru hangarele studiate.

Cerintele care trebuie satisfacute, atunci cind se alege solutia optima la constructia hangarelor, sint urmatoarele:

- Realizarea unei suprafete acoperite cit mai mari, fara reazeme intermediare. Dimensiunile acestei suprafete sint determinate atit de gabaritele avioanelor utilizate, cit si de numarul acestora.

- Asigurarea unei bune functionalitati a hangarului, caracterizata printr-un mod de exploatare avantajos, in functie de natura si volumul traficului.

- Adoptarea unor solutii structurale care sa conduca la un consum cit mai mic de metal (otel sau aliaje de aluminiu).

- Alegerea unor variante structurale constructive care sa necesite un consum minim de manopera, atit la executie cit si la montaj.

- Stabilirea unor tehnologii de montaj simple, care, pe cit posibil, sa nu necesite utilaje deosebite.

- Asigurarea posibilitatii de extindere ulterioara a hangarului, a eventualelor modificari sau a demontarii.

- Asigurarea posibilitatilor de realizare simpla a operatiilor de intretinere si reparatii, prin prevederea tuturor echipamentelor si facilitatilor necesare acestui scop (platforme de acces, grinzi rulante suspendate etc.).

- Corelarea amplasarii hangarelor in raport cu inaltimea lor, in cazul cind sint amplasate in prelungirea pistelor de decolare si aterizare pentru a asigura cerintele impuse de zborul aeronavelor.

- Alegerea solutiei care asigura o iluminarea naturala corespunzatoare in interiorul hangarelor (prin luminatoare amplasate in planul acoperisului sau prin ferestre prevazute in peretii laterali si porti). - Asigurarea unei constructii in ansamblu.

Economicitatea rezultata atit dintr-un consum de material redus, cit si dintr-un cost al manoperiei de asemenea redus.

- Alegerea unei solutii care sa asigure siguranta in exploatare cerinta care se realizeaza prin concordanta dintre calcul si comportarea efectiva a materialului.

- Adoptarea unor solutii care sa permita posibilitatea de realizare pe cale industriala a elementelor structurale. Acest lucru permite obtinerea de elemente cu caracteristici omogene si face sa devina posibila si tipizarea operatiilor de montaj.

Indeplinirea simultana a tuturor cerintelor enumerate mai sus, este imposibil de realizat, de unde rezulta un numar mare de solutii constructive adoptate. Tot din aceasta cauza, literatura de specialitate descrie de obicei solutiile adoptate pina in prezent si avantajele lor, dar nu prezinta studii comparative referitoare la eficienta unor tipuri de structuri in raport cu altele. In cadrul tezei, se vor studia tipurile de structuri prezentate in fig. 1.5. Dintre acestea, in urma calculelor care se vor efectua, se va alegea aceea care corespunde solutiei optime.

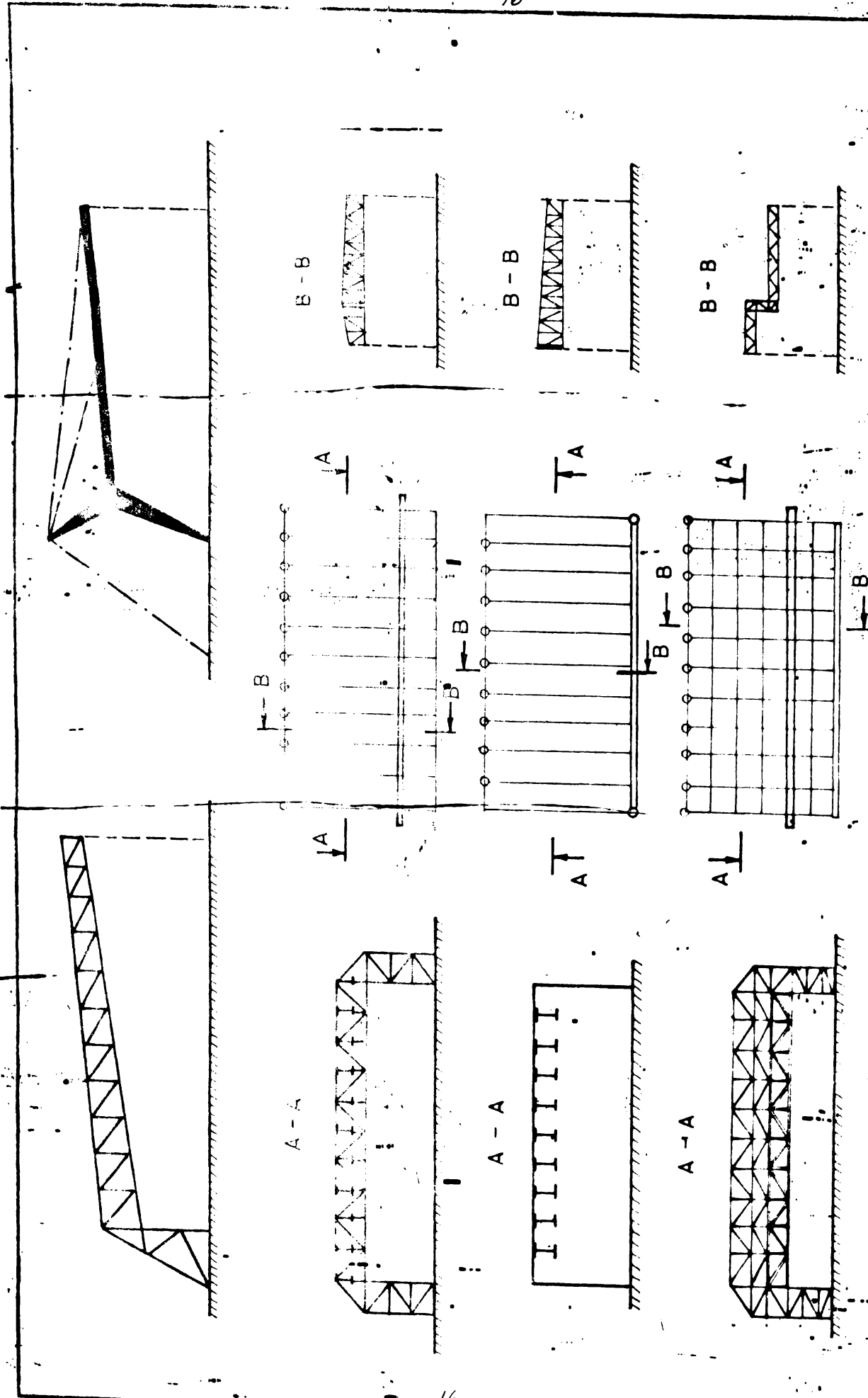


FIG 15. SCHEMATIZAREA STRUCTURILOR STUDIATE

2. STRUCTURI IN CADRE CU CONSOLA PENTRU HANGARE.

Acest sistem constructiv prezinta avantajul ca nu necesita reazeme in planul portii, indiferent de dimensiunea acestora si nici in cazul unor extinderi ulterioare. De asemenea grinda de ghidare a portii rezulta cu inaltimea mica, ceea ce constituie un avantaj din punct de vedere estetic.

Domeniul de utilizare a acestor structuri, in cadre cu zabrele in consola este vast, datorita, in primul rind, consumului mai redus de material pe care il necesita in comparatie cu cele cu solutia cu inima plina (in special in cazul constructiilor cu deschideri foarte mari, cum este cazul hangarelor).

De asemenea pentru structurile in cadre cu zabrele amplasate in aer liber incarcarilor provenite din actiunea vintului au sensibilitate mai redusa decit in cazul structurilor cu inima plina. In plus, din punct de vedere estetic, in multe cazuri, structurile cu zabrele sint de preferat fata de cele cu inima plina.

2.1 Structuri in cadre cu consola plana.

Acest tip de structura s-a utilizat, de exemplu pentru construirea mai multor hangare la diverse aeroporturi, dintre care amintim: hangarele [**73] de pe aeroportul din ORLY (Franta, fig. 2.1); Fiumicino (Italia, fig. 2.2). Acelasi tip de consola mai poate apare si sub alte forme noi care s-au propus in cadrul prezentei teze de doctorat, (forme care sint aratate in fig. 2.3 a,b,c [Br88]. Cele trei tipuri de cadre in consola propuse in teza difera prin modul de impartire interioara. Forma acestora a fost aleasa urmarind asigurarea unei scurgeri cit mai directe a eforturilor la fundatii, o sageata cit mai redusa in dreptul portii si lungimi de bare comprimate cit mai reduse.)

Un alt tip de cadre in consola sint cele si in varianta cu inima plina, dupa cum se poate observa la hangarul din Luton (Anglia, fig. 2.4).

54 3768
346 G

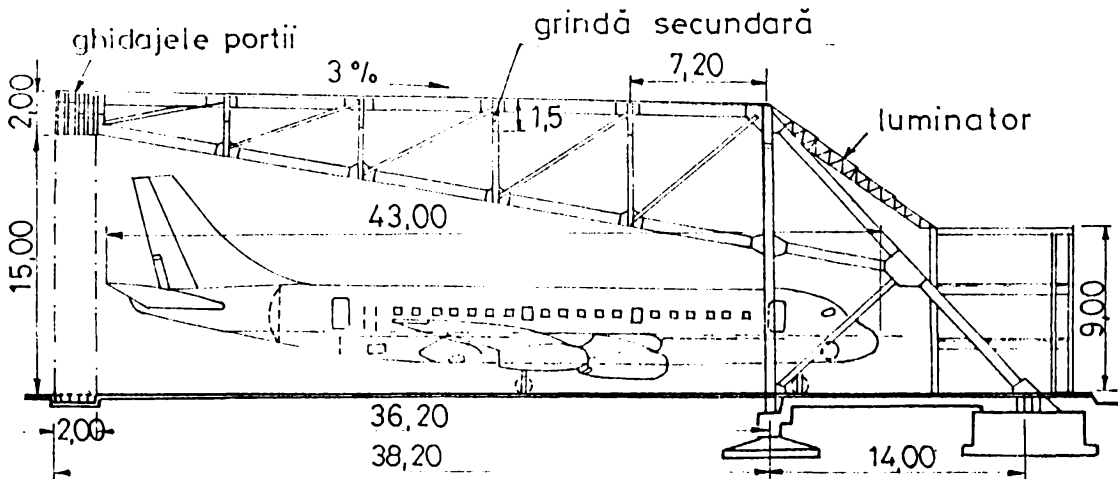


FIG. 277 HANGAR LA AEROPORTUL ORLY-PARIS

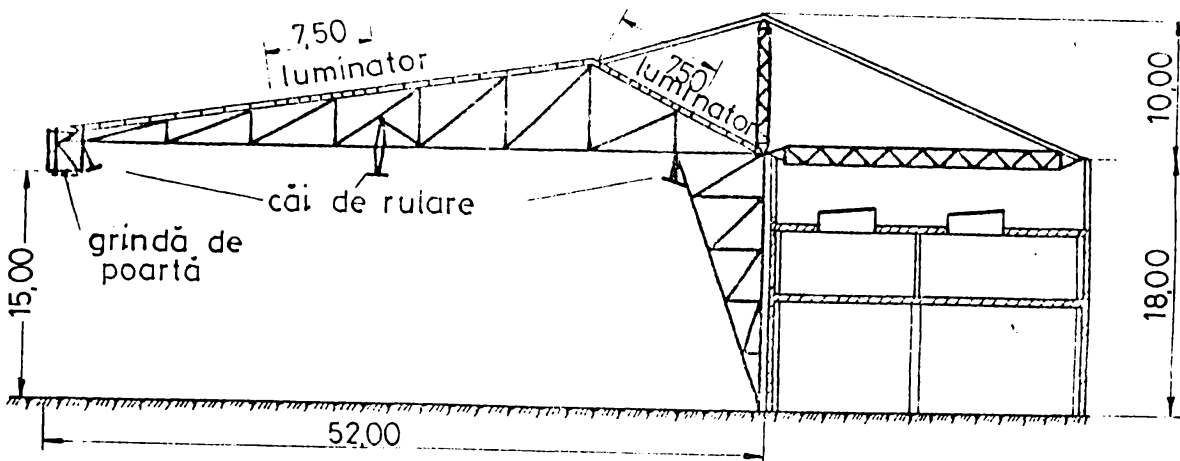


FIG. 278 HANGAR LA AEROPORTUL FIUMICINO - ROMA

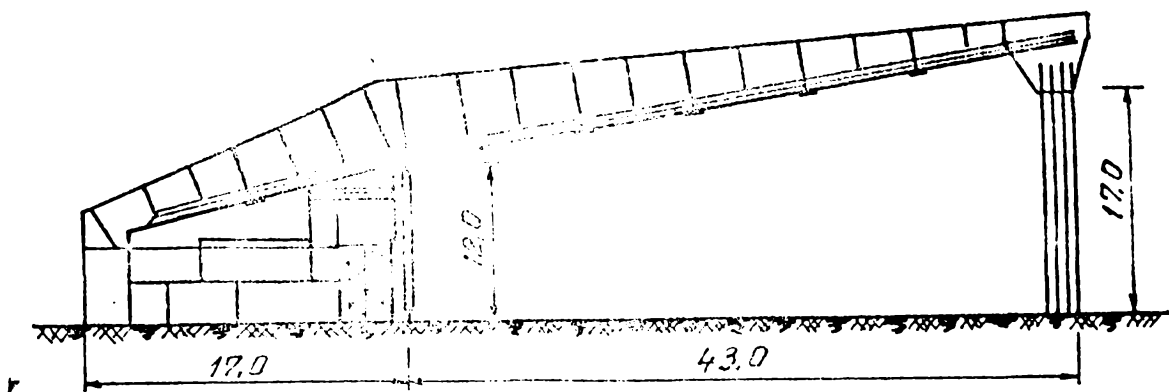
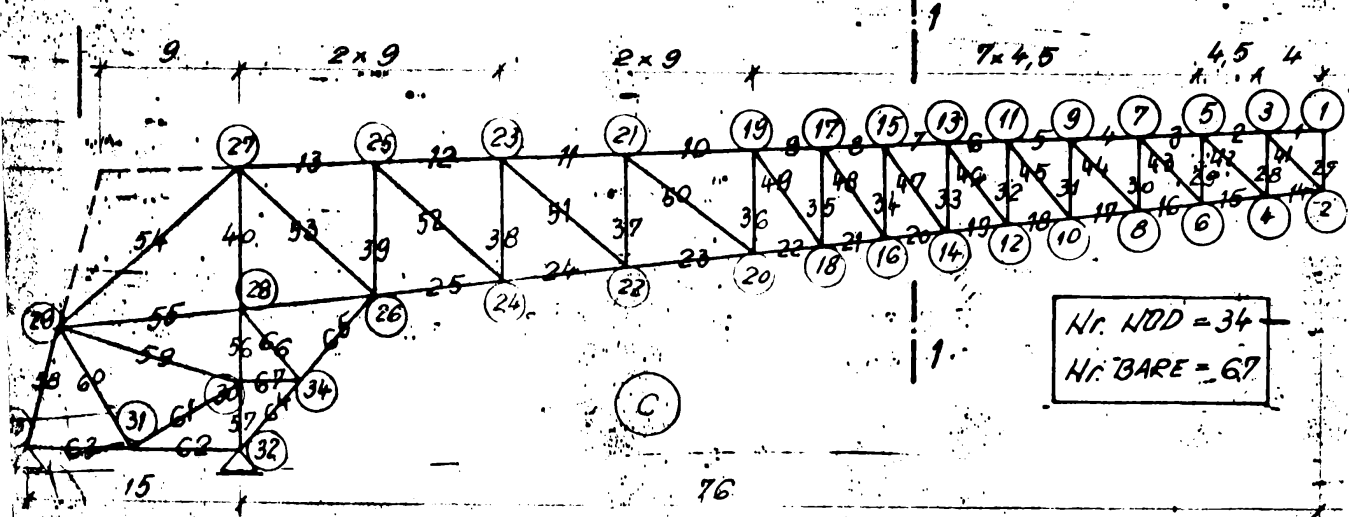
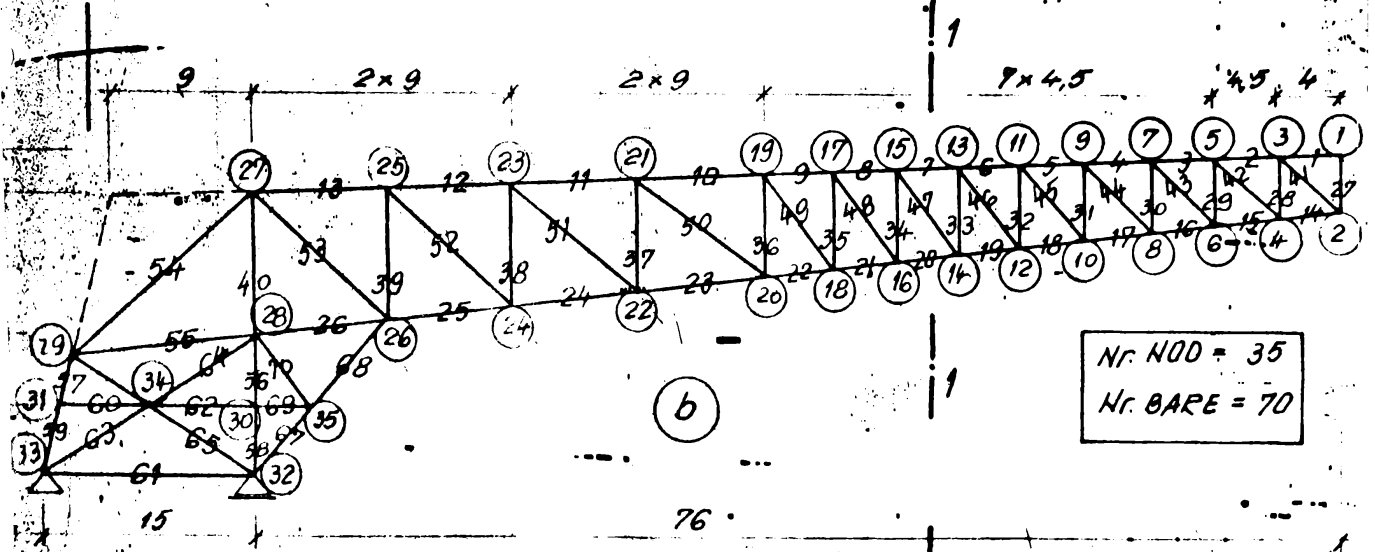
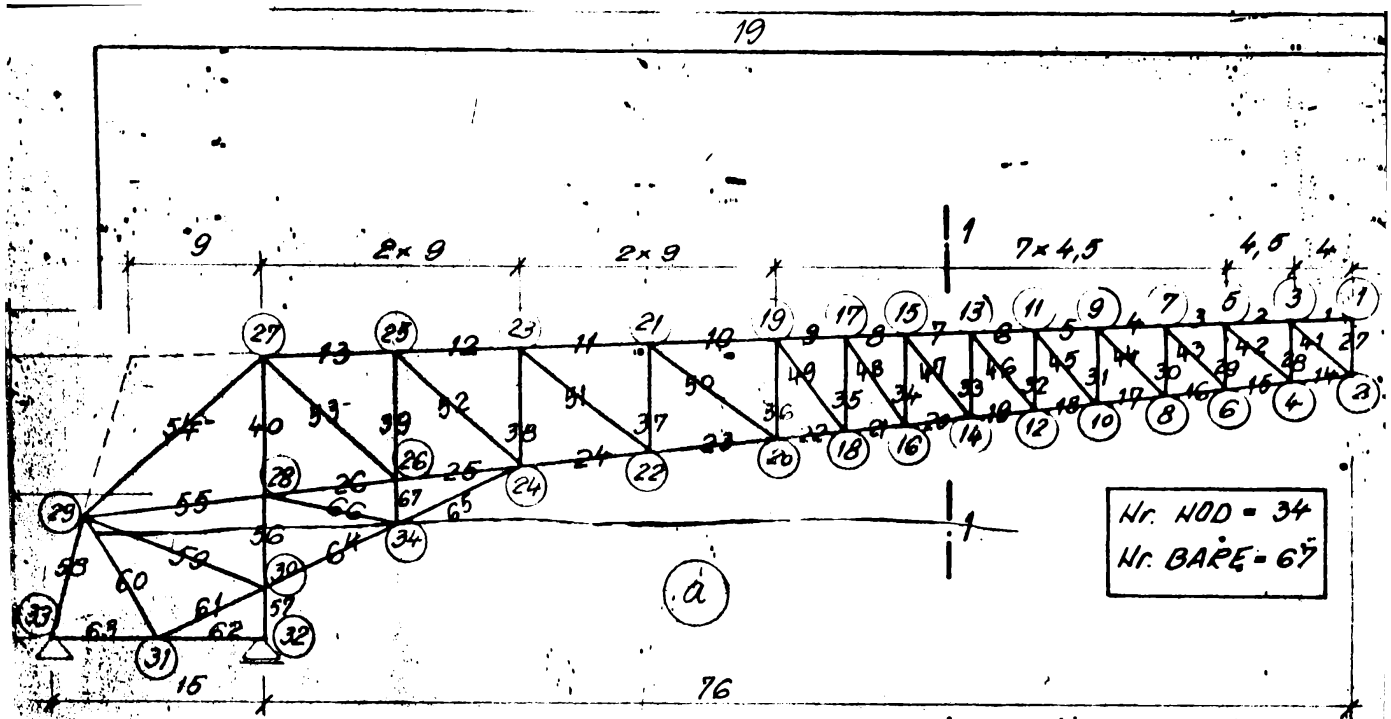


FIG. HANGAR LA LUTON - ANGLIA

Ca o prima observatie, se poate afirma ca, in privinta greutatii, cadrele in consola cu zabrele sint mai avantajoase



SECTIUNEA 1-1



scara 1:500

FIG. 2.3. CADRE PLANE IN CONSOLA CU SĂBRELE

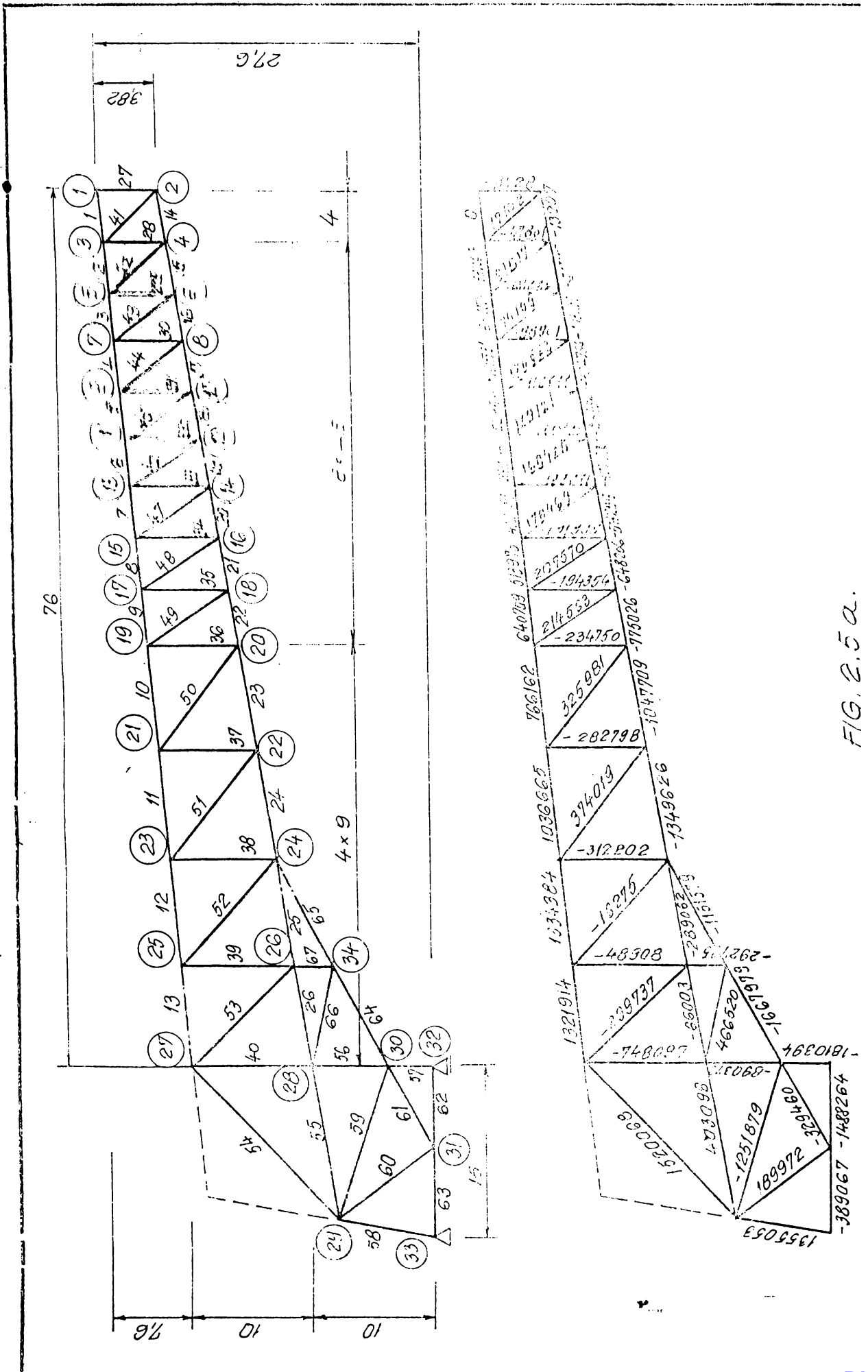


FIG. 2.5 a.

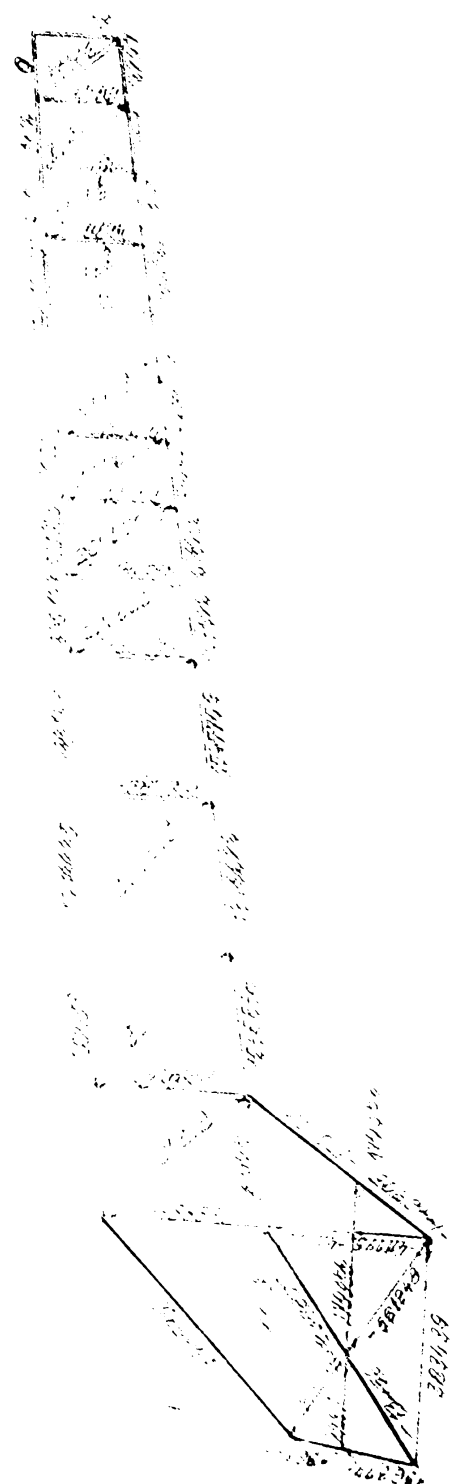
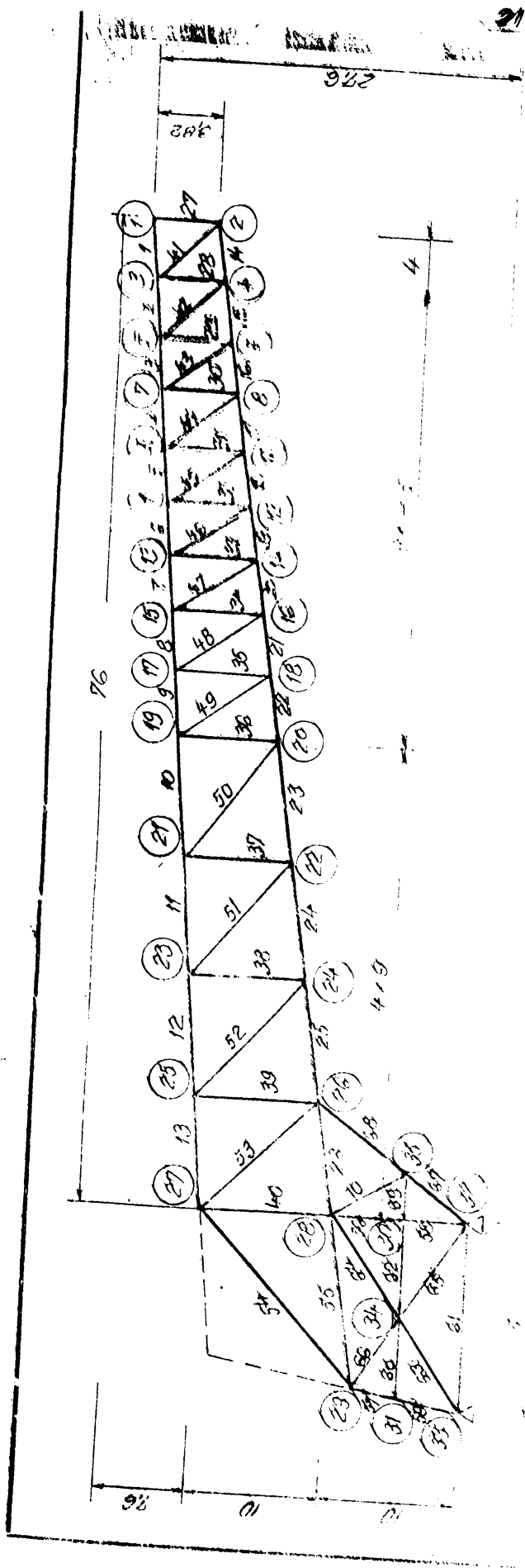


FIG. 2. 5. 6.

TABEL CU EFORTURI AXIALE SI PRODUSUL N X 1
LA CADRUL IN CONSOLA DIN FIG. 2.5 a.

IBARAI	N	I	I	I	N#1	IBARAI	N	I	I	I	N#1	I
I	I	[daN]	I	[m]	I	I	I	[daN]	I	[m]	I	I
I 1 I	0	I 4.02I			0	II 2 I	13064	I 4.52I			59049	I
I 3 I	61104	I 4.52I			276190	II 4 I	116531	I 4.52I			526720	I
I 5 I	202561	I 4.52I			915576	II 6 I	291144	I 4.52I			13159709	I
I 7 I	402153	I 4.52I			1817732	II 8 I	513970	I 4.52I			2323144	I
I 9 I	640710	I 4.52I			2896009	II 10 I	766163	19.045I			6929944	I
I 11 I	1036665	19.045I			9376635	II 12 I	11334384	19.045I			12069503	I
I 13 I	1321914	19.045I			11956712	II 14 I	-13208	I 4.06I			53624	I
I 15 I	-61778	I 4.57I			282325	II 16 I	-118051	I 4.57I			539493	I
I 17 I	-204795	I 4.57I			935913	II 18 I	-294355	I 4.57I			1345202	I
I 19 I	-406588	I 4.57I			1858107	II 20 I	-519300	I 4.57I			2373201	I
I 21 I	-648207	I 4.57I			2962306	II 22 I	-775027	I 4.57I			3541873	I
I 23 I	-1047709	19.147I			9583394	II 24 I	-1349626	19.147I			12345029	I
I 25 I	-289063	19.147I			2644059	II 26 I	-66003	19.147I			603729	I
I 27 I	-11729	I 3.82I			44805	II 28 I	-47802	I 4.14I			197900	I
I 29 I	-60853	I 4.5			273839	II 30 I	-98962	I 4.91I			485903	I
I 31 I	-110277	I 5.27I			581160	II 32 I	-147033	I 5.63I			827796	I
I 33 I	-155071	I 5.99I			928875	II 34 I	-191909	I 6.33I			1214784	I
I 35 I	-194355	I 6.71I			1304122	II 36 I	-234751	I 7.07I			1659689	I
I 37 I	-282799	I 7.85I			2219972	II 38 I	-312202	I 8.54I			2666205	I
I 39 I	-48908	I 9.27I			453377	II 40 I	-748097	I 10.			7480970	I
I 41 I	17103	I 5.26I			89962	II 42 I	61818	I 5.82I			359781	I
I 43 I	74199	I 6.05I			448904	II 44 I	120524	I 6.33I			762917	I
I 45 I	129162	I 6.59I			851178	II 46 I	168429	I 6.86I			1155423	I
I 47 I	176470	I 7.16I			1259996	II 48 I	207571	I 7.40I			1536025	I
I 49 I	214563	I 7.71I			1654281	II 50 I	325981	110.94I			3566232	I
I 51 I	374019	111.34I			4241376	II 52 I	-16276	111.81I			192219	I
I 53 I	-299737	112.29I			3683768	II 54 I	11520068	117.54I			26661993	I
I 55 I	403097	112.83I			5171735	II 56 I	-890373	I 5.70I			5075126	I
I 57 I	-1810384	I 4.30I			7785984	II 58 I	11355053	I 8.18I			11084334	I
I 59 I	-1251879	113.14I			16448690	II 60 I	189972	I 9.27I			1761040	I
I 61 I	-329460	I 8.81I			2902542	II 62 I	-0.001	I 7.7			0	I
I 63 I	-389068	I 7.3			2840196	II 64 I	-1667979	110.05I			16763189	I
I 65 I	-1151579	110.05I			11573369	II 66 I	466520	I 9.08I			4236002	I
I 67 I	-292785	I 2.85I			834437	II	I	I			I	I
I		SUMA			N ₁ #1 ₁ = 2.55115E8							
I		SAGEATA			f max = 111 cm.							I

Tabel 2.1 a

TABEL CU EFORTURI AXIALE SI PRODUSUL N X 1
LA CADRUL IN CONSOLA DIN FIG. 2.5 b.

IBARAI	N	I	I	I	N*1	IBARAI	N	I	I	I	N*1	I
I	I	[daN]	I	[m]	I	I	I	[daN]	I	[m]	I	I
I 1 I	0	I 4.02I			0	I 2 I	13064	I 4.52I			59049	I
I 3 I	61104	I 4.52I			276190	I 4 I	116531	I 4.52I			526720	I
I 5 I	202561	I 4.52I			915576	I 6 I	291144	I 4.52I			13159709	I
I 7 I	402153	I 4.52I			1817732	I 8 I	513970	I 4.52I			2323144	I
I 9 I	640710	I 4.52I			2896009	I 10 I	766163	I 9.045I			6929944	I
I 11 I	1036665	I 9.045I			9376635	I 12 I	1334384	I 9.045I			12069503	I
I 13 I	1640444	I 9.045I			14837816	I 14 I	-13208	I 4.06I			53624	I
I 15 I	-61778	I 4.57I			282325	I 16 I	-118051	I 4.57I			539493	I
I 17 I	-204795	I 4.57I			935913	I 18 I	-294355	I 4.57I			1345202	I
I 19 I	-406588	I 4.57I			1858107	I 20 I	-519300	I 4.57I			2373201	I
I 21 I	-648207	I 4.57I			2962306	I 22 I	-775027	I 4.57I			3541873	I
I 23 I	-1047709	I 9.147I			9583394	I 24 I	-1349626	I 9.147I			12345029	I
I 25 I	-1658858	I 9.147I			15173574	I 26 I	8908	I 9.147I			81481	I
I 27 I	-11729	I 3.82I			44805	I 28 I	-47802	I 4.14I			197900	I
I 29 I	-60853	I 4.5 I			273839	I 30 I	-98962	I 4.91I			485903	I
I 31 I	-110277	I 5.27I			581160	I 32 I	-147033	I 5.63I			827796	I
I 33 I	-155071	I 5.99I			928875	I 34 I	-191909	I 6.33I			1214784	I
I 35 I	-194355	I 6.71I			1304122	I 36 I	-234751	I 7.07I			1659689	I
I 37 I	-282799	I 7.85I			2219972	I 38 I	-312202	I 8.54I			2666205	I
I 39 I	-349658	I 9.27I			3241329	I 40 I	-183962	I 10. I			1833620	I
I 41 I	17103	I 5.26I			89962	I 42 I	61818	I 5.82I			359781	I
I 43 I	74199	I 6.05I			448904	I 44 I	120524	I 6.33I			762917	I
I 45 I	129162	I 6.59I			851178	I 46 I	168429	I 6.86I			1155423	I
I 47 I	176470	I 7.16I			1259996	I 48 I	207571	I 7.40I			1536025	I
I 49 I	214563	I 7.71I			1654281	I 50 I	325981	I 9.94I			3566232	I
I 51 I	374019	I 11.34I			4241376	I 52 I	399473	I 11.81I			4717776	I
I 53 I	-904619	I 12.29I			11177768	I 54 I	1345310	I 17.54I			23596737	I
I 55 I	-122791	I 12.83I			1575409	I 56 I	-411776	I 5.7 I			2347123	I
I 57 I	1361635	I 3.69I			5024433	I 58 I	-411776	I 4.3 I			1770639	I
I 59 I	1363775	I 4.49I			6123349	I 60 I	7461	I 5.2 I			38797	I
I 61 I	-383439	I 5.0 I			5751585	I 62 I	-170386	I 8.5 I			1448281	I
I 63 I	-13456	I 7.79I			104822	I 64 I	238807	I 10.23I			2442996	I
I 65 I	-561249	I 9.53I			5348703	I 66 I	-606771	I 5.45I			3306902	I
I 67 I	-1446905	I 5.43I			7856694	I 68 I	-1597728	I 9.27I			14810939	I
I 69 I	-170386	I 3.32I			565681	I 70 I	136169	I 6.59I			136169	I
I		SUMA			N _i *1 _i = 2.49678E8							I
I		SAGEATA f max			= 108.5 cm							I

Tabel 2.1 b

TABEL CU EFORTURI AXIALE SI PRODUSUL N X I
LA CADRUL IN CONSOLA DIN FIG. 2.5 c.

IBARAI	N	I	I	I	N*1	IBARAI	N	I	I	I	N*1
I	I	[daN]	I	[m]	I	I	I	[daN]	I	[m]	I
I 1 I	0	I 4.02I	0	II 2 I	13064	I 4.52I	59049	I			
I 3 I	61104	I 4.52I	276190	II 4 I	116531	I 4.52I	526720	I			
I 5 I	202561	I 4.52I	915576	II 6 I	291144	I 4.52I	13159709	I			
I 7 I	402153	I 4.52I	1817732	II 8 I	513970	I 4.52I	2323144	I			
I 9 I	640710	I 4.52I	2896009	II 10 I	766163	19.045I	6929944	I			
I 11 I	1036665	19.045I	9376635	II 12 I	11334384	19.045I	12069503	I			
I 13 I	1640444	19.045I	14837816	II 14 I	-13208	I 4.06I	53624	I			
I 15 I	-61778	I 4.57I	282325	II 16 I	-118051	I 4.57I	539493	I			
I 17 I	-204795	I 4.57I	935913	II 18 I	-294355	I 4.57I	1345202	I			
I 19 I	-406588	I 4.57I	1858107	II 20 I	-519300	I 4.57I	2373201	I			
I 21 I	-648207	I 4.57I	2962306	II 22 I	-775027	I 4.57I	3541873	I			
I 23 I	-1047709	19.147I	9583394	II 24 I	-1349626	19.147I	12345029	I			
I 25 I	-289063	19.147I	2644059	II 26 I	-66003	19.147I	603729	I			
I 27 I	-11729	I 3.82I	44805	II 28 I	-47802	I 4.14I	197900	I			
I 29 I	-60853	I 4.5 I	273839	II 30 I	-98962	I 4.91I	485903	I			
I 31 I	-110277	I 5.27I	581160	II 32 I	-147033	I 5.63I	827796	I			
I 33 I	-155071	I 5.99I	928875	II 34 I	-191909	I 6.33I	1214784	I			
I 35 I	-194355	I 6.71I	1304122	II 36 I	-234751	I 7.07I	1659689	I			
I 37 I	-282799	I 7.85I	2219972	II 38 I	-312202	I 8.54I	2666205	I			
I 39 I	-349658	I 9.27I	3241329	II 40 I	-142344	I 10. I	1423440	I			
I 41 I	17103	I 5.26I	89962	II 42 I	61818	I 5.82I	359781	I			
I 43 I	74199	I 6.05I	448904	II 44 I	120524	I 6.33I	762917	I			
I 45 I	129162	I 6.59I	851178	II 46 I	168429	I 6.86I	1155423	I			
I 47 I	176470	I 7.16I	1259996	II 48 I	207571	I 7.40I	1536025	I			
I 49 I	214563	I 7.71I	1654281	II 50 I	325981	110.94I	3566232	I			
I 51 I	374019	111.34I	4241376	II 52 I	399473	111.81I	4720965	I			
I 53 I	-934236	112.29I	11481760	II 54 I	11315226	117.74I	123069064	I			
I 55 I	101025	112.83I	1296151	II 56 I	-231291	I 5.4 I	1318359	I			
I 57 I	-600824	I 4.3 I	12583543	II 58 I	11355053	I 8.18I	11084334	I			
I 59 I	-536529	113.14I	7049991	II 60 I	-266028	I 9.27I	2466079	I			
I 61 I	461360	I 8.82I	4069204	II 62 I	-933900	I 7.7 I	7191030	I			
I 63 I	-389068	I 7.3 I	2840196	II 64 I	-1528145	I 5.43I	8297827	I			
I 65 I	-1633191	112.94I	121133492	II 66 I	94193	I 6.59I	620732	I			
I 67 I	-113872	I 3.32I	378055	II I	I	I	I	I			
I		SUMA	N _i *1 _i = 1.45436E8								
I		SAGEATA	f max = 103 cm.					I			

Tabel 2.1 c

decit cadrele in consola cu inima plina, din cauza faptului ca momentul de inertie la prima varianta este mai mare, ceea ce implica o reducere a consumului de material.

(Pentru a stabili forma optima care va fi utilizata mai departe pentru un calcul mai detaliat s-a facut un calcul simplu asupra structurilor propuse, ale carui rezultate sint prezentate in fig. 2.5a, b, c si in tabelele 2.1a, b, c respectiv in tabelul 2.2. Calculul se bazeaza pe observatia ca greutatea barelor grinzilor cu zabrele este proportionala cu produsul dintre efortul din bare si lungimea lor [GR89]. Greutatea totala, ca suma a greutatilor barelor componente va fi de asemenea proportionala cu suma produselor $A_i \times l_i$. Aceasta proprietate poate fi folosita deci ca un criteriu de selectare a unui tip de grinda cu zabrele atunci cind se urmareste realizarea consumului minim de material. Ea are avantajul ca nu mai necesita dimensionarea, desenarea si intocmirea extraselor de materiale pentru toate variantele luate in considerare in cadrul studiului privind solutia cu consum minim de material.

```

=====
tip \ tip  I
caracte-\ str.I      a          b          c
ristica \      I
=====
suma N#1      I  2.55115E8   2.49678E8   1.45436E8
-----
sageata f [cm] I    111         108.5       103
-----

```

Tabel 2.2

Din analiza tabelelor 2.1a,b,c si 2.2 rezulta concluzia ca tipul cel mai avantajos este cel corespunzator figurii 2.3c. Aceasta concluzie a rezultat din urmatoarele doua motive:

- 1 - tipul in discutie conduce la cel mai scazut consum de material;
- 2 - structura prezinta o deformatie minima in comparatie cu cealalte structuri;

Tinind cont ca conditia hotaritoare in alegerea unei structuri este data de criteriul "sageata minima", in conditia

unui consum minim de material rezulta deci evident ca varianta tip C este cea mai avantajoasa.

Toate cele trei tipuri de cadre in consola prezentate in fig. 2.3 au fost calculate la aceiasi combinatie de incarcare.

2.2 Calculul structurii.

Calculul solicitariilor in barele consolelor s-a facut in ipoteza ca acestea sint prinse in noduri prin articulatii ideale. Incarcarile consolelor se considera concentrate in noduri, si ca urmare produce in bare numai eforturi axiale. Calculul a fost efectuat in metoda starilor limita, pe baza incarcarilor normate, multiplicata cu coeficientii incarcarilor, luind in considerare incarcarile permanente si cele variabile.

2.2.1 Stabilirea incarcarilor.

In cadrul calculului au fost luate in considerare urmatoarele incarcari de calcul:

1 - incarcari permanente provenite din:

a) tabla invelitorii, care s-a determinat cu relatia:

$$g^c = g^n \times n \quad (2.1)$$

unde:

g^c este greutatea de calcul [daN/m²];

g^n este greutatea normata [daN/m²];

n coeficientul incarcarii din metoda starilor limita;

obtinindu-se

$$g^c = 30 \times 1.1 = 33 \text{ daN/m}^2$$

b) izolatia termica usoara, pentru care s-a utilizat relatia (2.1) obtinindu-se

$$g^c = 15 \times 1.1 = 16.5 \text{ daN/m}^2$$

c) pane care au fost calculate ca grinzi cu zabrele plane, simplu rezemate, cu deschidere de 15 m. si travea de 9 m. Incarcarile luate in considerare au fost sarcina uniform distribuita data de greutatea proprie a invelitorii, zapada si greutatea proprie a panii. De remarcat ca paneele au fost alcatuite cu contrafise pentru a reduce cu ajutorul acestora lungimea de flambaj la talpa in-

ferioa a consolei. S-a utilizat relatia (2.1) rezultind:

$$g^c = 6.08 \times 1.1 = 7 \text{ daN/m}^2$$

- d) grinda de ghidare a portii, care a fost calculata ca si o grinda simplu rezemata de 15 m. deschidere, supusa la actiunea vintului pe poarta si la forta de serpuire, data de excentricitatile rozelor portii. Forta de serpuire rezultind mult mai mica decit cea a vintului a fost neglijata. Calculul s-a facut utilizind relatia (2.1) obtinindu-se urmatoarele valori

$$g^c = 104 \times 1.1 = 115 \text{ daN/m}$$

- e) greutatea proprie a consolei; datorita faptului ca consola are deschiderea (adincimea) mare, rezulta un moment foarte mare la incastrare in stilp, si in acelasi timp o sageata mare la nivelul portii, ceea ce conduce la dimensiuni mari ale consolei.

Greutatea proprie a consolei cu zabrele se apreciaza initial pe baza de dimensionare aproximativa sau pe baza asimilarii cu alte console deja executate.

In cazul de fata se apreciaza dupa o predimensionare Pentru calcul s-a utilizat relatia 2.1 obtinindu-se:

$$g^c = 120 \times 1.1 = 132 \text{ daN/m}^2$$

2) Incarcari temporare

- a) actiunea zapezii; incarcarea provenita din actiunea zapezii a fost stabilita cu relatia:

$$P_z = C_z \times C_p \times g_z \times n \quad (2.2)$$

unde:

P_z - intensitatea normala a incarcarii date de zapada [daN/m²];

C_z - coeficientul de aglomerare a zapezii;

C_p - coeficientul de sensibilitate;

g_z - greutatea specifica a zapezii [daN/m²];

n - coeficientul de incarcare;

Aplicind relatia de mai sus s-a obtinut

$$P_z = 1 \times 1 \times 1 \times 100 \times 1.4 = 140 \text{ daN/m}^2$$

- b) actiunea vintului; efectul actiunii vintului a fost luat in considerare in 4 variante:

poarta inchisa

- 1) vint stinga
 \
 poarta deschisa
 poarta inchisa
 /
- 2) vint dreapta
 \
 poarta deschisa

Din analiza detaliata a actiunii vintului in cele 4 variante au fost retinute ipotezele cele mai defavorabile si anume:

- vint stinga (poarta deschisa fig. 2.6) pentru care s-a utilizat relatia:

$$P_v = (B \times g_v \times n) \times c_n \quad (2.3)$$

unde

P_v - presiunea de calcul a vintului [daN/m²];

B - coeficientul dinamic;

g_v - presiunea dinamica [daN/m²];

n - coeficientul de incarcare;

c_n - coeficientul componenteii normale a actiunii vintului;

Aplicind relatia de mai sus s-a obtinut tabelul 2.3:

n	c _n	B	g _v	G _v
1.2	0.8	1	70	67.2
1.2	0.27	1	70	22.68
1.2	0.5	1	70	42

Tabel 2.3

- vint dreapta (poarta deschisa) pentru care s-a utilizat relatia (2.3). Aplicind relatia s-a obtinut tabelul 2.4:

=====

n	c _n	B	g _v	G _v
1.2	0.8	1	70	67.2
1.2	0.4	1	70	33.6
1.2	0.5	1	70	42

Tabel 2.4

Din cele doua ipoteze retinute s-a lucrat cu ipoteza varinta "vint dreapta (poarta deschisa)" deoarece este cea mai defavorabila.

2.2.2 Calculul eforturilor.

Pe baza incarcarilor anterior stabilite au fost calculate fortele concentrate din nodurile consolei, cu care s-a facut calculul eforturilor din bare. Avind in vedere faptul ca consolele au dimensiuni foarte mari, pentru a reduce volumul de calcul analitic, s-a recurs la un calcul automat in cadrul caruia algoritmul de calcul s-a implementat pe un sistem de calcul. Programul de calcul este prezentat in cap. 6.

Plecind de la structura prezentata anterior, s-a analizat numai consola la nivelul de incastrare cu stilpul pentru diferite inaltimi cu scopul de a stabili inaltimea optima a consolei. Inaltimele studiate au fost de:

$$h = 10m., 12m., 14m., 16m.$$

Calculind consolele cu aceste inaltimi, la aceiasi ipoteza de incarcari, barele au fost dimensionate din conditii de rezistenta, stabilitate si rigiditate. Ulterior s-a calculat consumul de material si s-au intocmit graficele (fig. 2.8, 2.9) de variatie a consumului de otel functie de inaltimea la incastrare H.

Analizind rezultatele din tabelul din fig. 2.8 care se refera la variatia eforturilor in elementele componente ale consolei incastrate rigid, se observa ca aceasta variatie a eforturilor este descrescatoare, din punctele de rezemare spre capatul liber, atat in talpi cit si in diagonale, respectiv montanti. De aceea s-a impartit consola in 4 tronsoane, fiecare tronson fiind dimensionat la efortul maxim, corespunzator fiecarui tip de element component al tronsonului respectiv. De remarcat faptul ca toate barele componente ale talpii superioare sint intinse, iar la cea inferioara toate barele

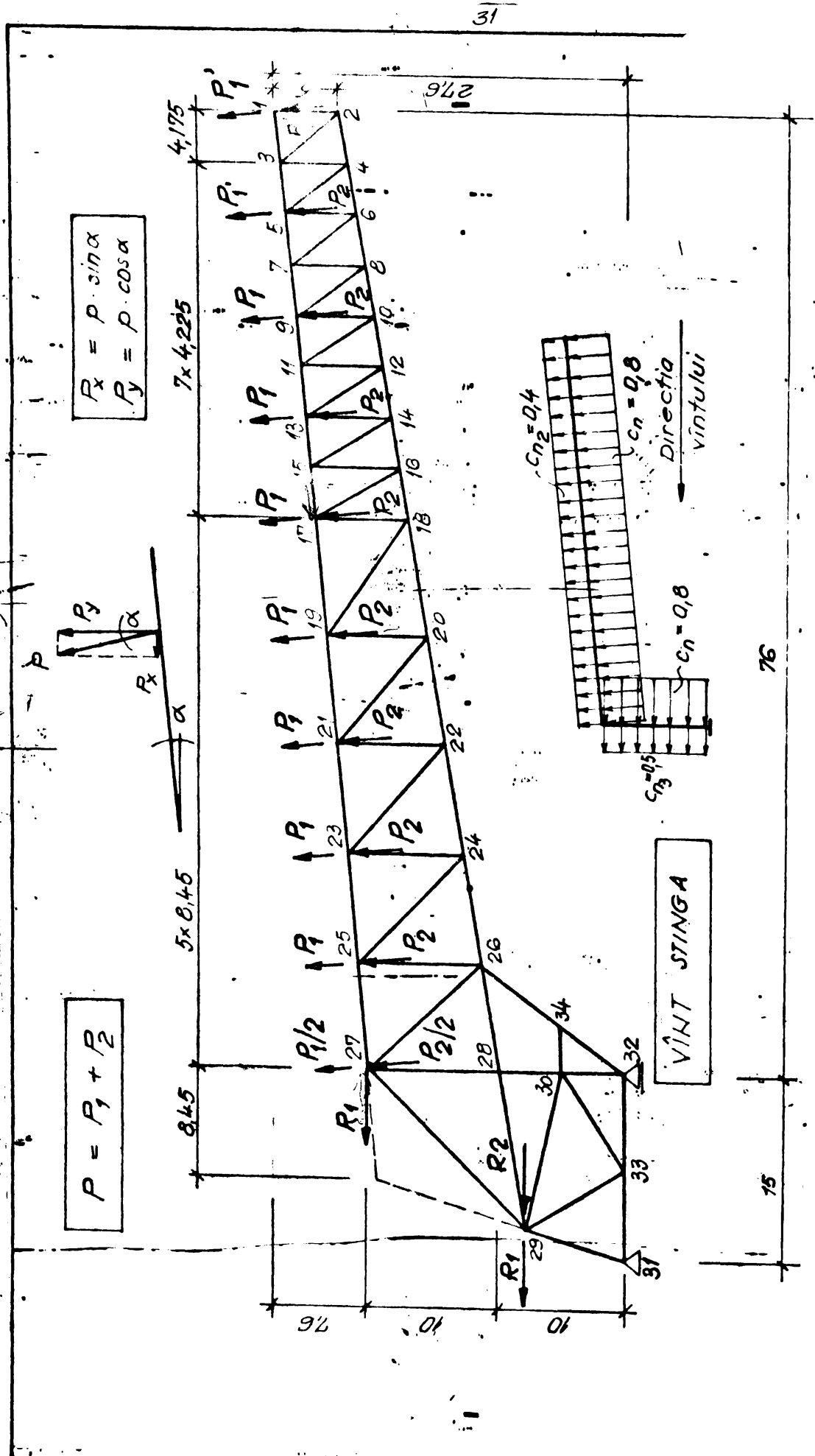


FIG. 2.6. SCHEMA DE CALCUL PTR. VINT STINGA

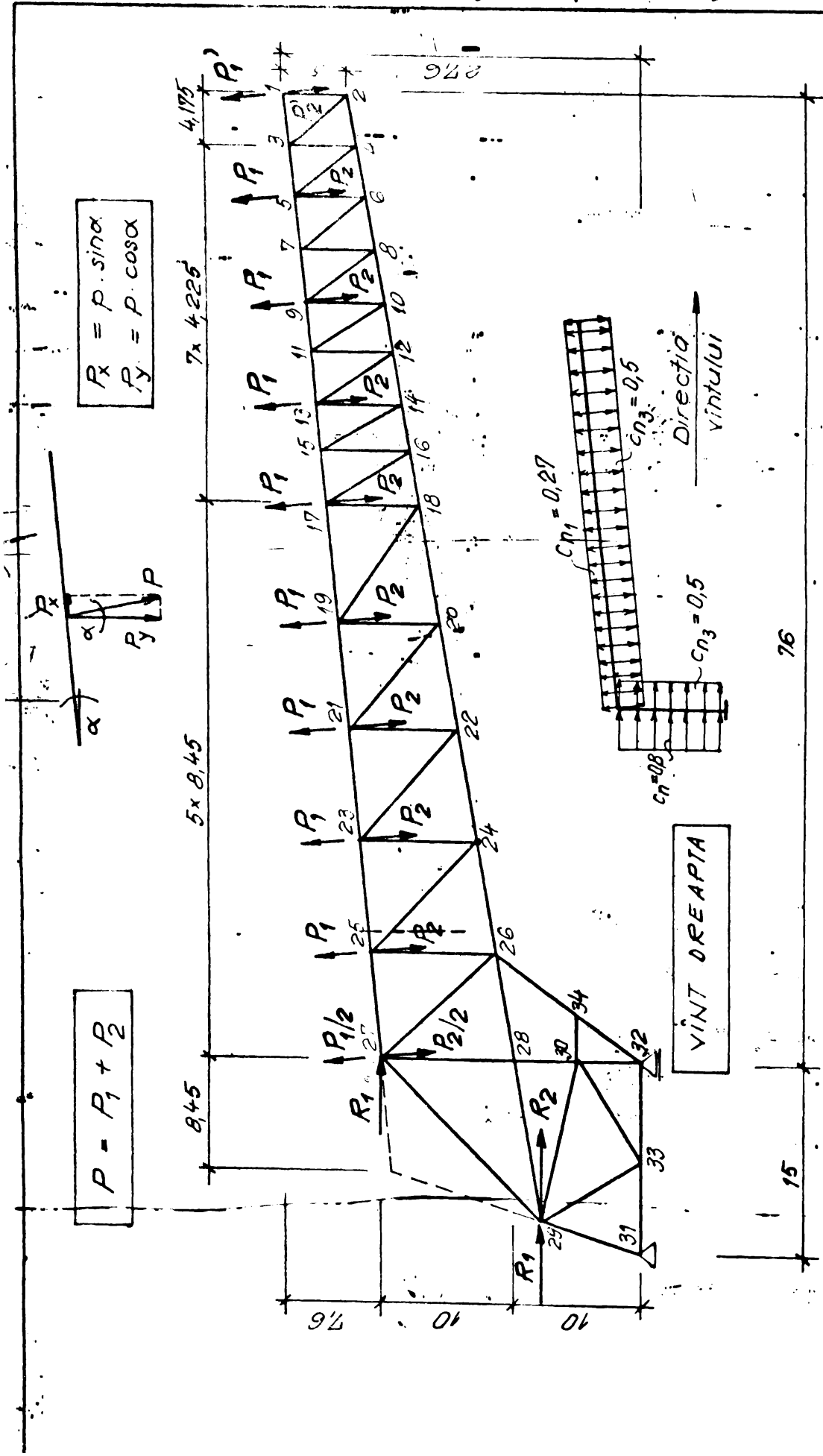


FIG. 2.7. SCHEMA DE CALCUL P.T.R. VINT DREAPTA

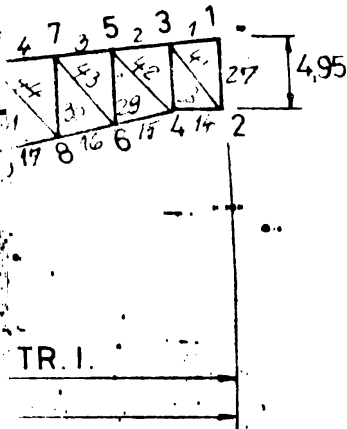


FIG. 2.8.
SCHEMA DE CALCUL SI TABEL
CENTRALIZATOR PTR. DIMENSIONAREA
CONSOLA PLANĂ

-CONDITII DE REZISTENȚĂ -

TRONSON II				TRONSON I						TOTAL CONSOLĂ		f _{max} (cm)
A (cm ²)	Σ I (cm)	G (Kg)	TOTAL G (Kg)	BARA	N _{max} (daN)	A (cm ²)	Σ I (cm)	G (Kg)	TOTAL G (Kg)	G (Kg)	g (Kg/m ²)	
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
15	178	1546	7106	6	150612	86	2543	1146	7913	39666	34,8	88 51
171	175	2303		19	-199361	105	2562	2111				
65	248	1269		46	76654	45	3818	1349				
22	206	1988		33	-93296	113	3728	3307				
36	138	1279	6781	6	138473	86	2543	1146	8294	37283	32,7	79 46
151	1725	2045		19	-12142	105	2573	2120				
56	2646	1163		46	69767	45	3910	1381				
125	2338	2294		33	-89138	119	3904	3647				
87	1698	1160	6684	6	128430	86	2543	1146	8569	36665	32,1	70 41
132	1735	1798		19	-167202	105	2586	2132				
48	2809	1058		46	64560	45	4005	1415				
131	2595	2668		33	-85234	121	4081	3876				
81	1638	1080	7070	6	125242	86	2543	1146	8913	38663	33,9	65 36
128	1746	1754		19	-162695	105	2600	2143				
45	2977	1052		46	63590	45	4101	1449				
142	2856	3184		33	-86377	125	4255	4175				

sint comprimate, diagonalele sint intinse iar montantii sint comprimati.

La prima etapa de dimensionare, toate barele consolei au fost dimensionate din conditii de rezistenta si stabilitate. Pentru consola cu $H = 10$ m. se observa din tabelul 2.6, ca variatia eforturilor este legata de variatia inaltimei consolei, eforturile scazind odata cu cresterea inaltimei.

Ca urmare, greutatea talpii superioare a primului tronson reprezinta 27% din greutatea talpii superioare a ultimului tronson. De aceea a fost necesara in afara de conditia de functionalitate si conditia de a mari momentul de inertie, ceea ce conduce in final la un consum de material mai mic. Tinind seama ca zveltetea barelor intinse este 400, iar la talpa superioara lungimea de flambaj este egala cu distanta intre nodurile de asezare a panelor, nu apar probleme privind conditia de sveltete. La talpa inferioara insa, unde barele sint comprimate, coeficientul de zveltete fiind mai mic si egal cu 120, lungimea de flambaj are o importanta deosebita, fapt ce a impus proiectarea unor pane cu contrafise, pentru a reduce lungimea de flambaj a talpii inferioare. Cu aceste contrafise consumul de material a fost substantial redus. De exemplu, greutatea talpii inferioare a primului tronson este mai mica cu aproximativ 61% decit greutatea talpii inferioare a ultimului tronson.

La aceste eforturi foarte mari, aratate in tabelul 2.6, a fost necesara realizarea unor sectiuni chesonate, la care s-au pastrat aproximativ aceleasi dimensiuni ($b \times h$), dar s-au modificat grosimile peretilor sectiunii. Diagonalele si montanti nu prezinta o importanta deosebita datorita faptului ca eforturile lor sint mai mici cu 80% decit eforturile din talpi. De aceea s-au impus sectiuni dublu T sudata care au aceasi latime cu a talpilor.

In fig. 2.9a se arata consumul de material pentru fiecare tip de element component al consolei. Astfel, consumul de material pentru talpa inferioara reprezinta circa 34% din consumul total, pentru montanti aproximativ 26%, pentru talpa superioara in jur de 25%, iar pentru diagonalele circa 15% din consumul total.

Desigur eforturile din montanti sint mult mai mici decit cele din talpa superioara, dar consumurile pentru talpa superioara si montanti sint egale, deoarece eforturile din

montanti sînt de compresiune fata de cele din talpa superioara care sînt de intindere.

Desigur, problema consumului de material este legata si de valoarea eforturilor care apar in talpile consolei. Astfel cu cit creste inaltimea consolei, cu atit scad eforturile in talpi, ceea ce conduce la scaderea sectiunii transversale a acestora pentru aceleasi lungimi de flambaj. Acest efect se observa la inaltimea $H = 12$ metri a consolei, unde eforturile in talpi au scazut fata de eforturile din elementele consolei cu inaltimea $H = 10$ m. De exemplu, in talpa superioara si inferioara, la trosonul 4, efortul a scazut pentru $H = 12$ m. cu aproximativ 16% fata de $H = 10$ m. La diagonale scaderea a fost aproximativ egala cu 13%. In schimb, la montanti, cresterea lungimii de flambaj care conduce la cresterea consumului de material pentru acestia. Referitor la consumul de material corespunzator celor doua inaltimei H ale consolei, rezulta ca in talpa superioara consumul de material a scazut pentru $H = 12$ m. fata de $H = 10$ m. cu aproximativ 15%. La talpa inferioara procentul de scadere a fost ceva mai mic, si anume de 13%. La diagonale, diferenta a fost de 8%, in schimb consumul de material pentru montanti a crescut cu 13%.

In total, pentru consola cu $H = 12$ m. consumul de otel a scazut cu aproximativ 6%. Din acest rezultat se observa ca pentru o crestere a inaltimei consolei am obtinut o reducere a consumului de material, fapt care a sugerat cresterea inaltimei consolei la $H = 14$ m.

Pentru $H = 14$ m. valoarea eforturilor in elementele componente ale consolei a scazut cu procente mai mari fata de $H = 10$ m., si cu procente ceva mai mici fata de $H = 12$ m. De exemplu, la talpile superioara si inferioara, scaderea a fost aproximativ 28% pentru $H = 14$ m. fata de $H = 10$ m. Este un procent destul de mare care conduce la scaderea consumului de material in talpi, dar in acelasi timp conduce la cresterea lungimii diagonalelor si a montantilor.

Consumul de material in talpi a scazut pentru $H = 14$ m. fata de $H = 10$ m. cu aproximativ 25% si in diagonale cu aproximativ 12%, dar alaturi de aceste scaderi a crescut consumul de material in montanti cu aproximativ 25%. In ansamblu, procentul de scadere a consumului de material pentru $H = 14$ m. fata de $H = 10$ m. este aproximativ de 8%. Aceasta

diferenta scade pentru inaltimea consolei $H = 12m$. la aproximativ 2%. Aceasta diferenta este mica, dar totusi este o scadere in consumul total de material.

In continuare am crescut inaltimea consolei ca sa stabilesc inaltimea la care consumul de material incepe sa creasca. La aceasta inaltime a consolei ($H = 16m$.) eforturile corespunzatoare in talpi ($N = M/H$), continua sa scada, respectiv in diagonale, dar cresterea lungimii de flambaj a montantilor are un efect defavorabil asupra consumului de material total. Urmarind variatia de consumuri din fig. 2.7a pentru elementele componente ale structurii, se observa ca pentru talpi si diagonale procentul de scadere a consumului de material atinge valoarea minima (4%) intre cele doua inaltime ale consolei (14 - 16m.). In schimb procentul de crestere al consumului de material pentru montanti, la aceiasi diferenta de inaltime, atinge valoarea maxima de 14%. Totalul de consum pentru $H = 16m$.

arata o crestere a consumului fata de inaltimele prezentate anterior, ceea ce conduce la concluzia ca curba consumului de otel, pentru acest tip de consola, are minimul intre inaltimele de 14 si 16m.

Rezulta, ca pentru acest tip de consola, din conditii de rezistenta si stabilitate, solutia optima este cea cu $H = 14m$., dupa cum se observa din graficul din fig. 2.9b (unde este reprezentata curba de variatie a consumului de material, in Kg/m^2 , in functie de inaltimea consolei H . In acelasi tabel se reprezinta si variatia deformatiilor date de gruparea tuturor incarcarilor care actioneaza asupra structurii (reprezentata printr-o linie continua). Prin curba cu linie punctata este reprezentata variatia deformatiilor rezultate din incarcarea data de zapada plus vint.

Si din aceasta variatie a deformatiilor se observa ca relatia intre inaltime si deformatii este invers proportionala, deoarece cresterea continua a inaltimei consolei conduce la o descrestere a deformatiilor.

In tabelul 2.5 se prezinta rezumativ si variatia consumului total si specific de material si variatiile deformatiilor functie de inaltimele structurii.

=====

I \ parametri	I	Consum	I	f	I
---------------	---	--------	---	---	---

I	\	I total	I specific	I fZ+V	I ftotal	I
I	H[m]	I [Kg]	I [Kg/m ²]	I [cm]	I [cm]	I
I	10	I 39666	I 34.8	I 51	I 88	I
I	12	I 37283	I 32.7	I 46	I 79	I
I	14	I 36665	I 32.1	I 41	I 70	I
I	16	I 38663	I 32.9	I 36	I 65	I

Tabel 2.5 Consola incastrata - caracteristici
in functie de H.

Tinind seama de faptul ca asigurarea functionalitatii hangarului impune respectarea unei **sageti admise** (f) conform cu [MC80]

$$f_{max} \leq f_a = L/200 \quad (2.4)$$

rezultata hotaritoare este combinatia de incarcari date de zapada plus vint, deoarece sagetile date de incarcari permanente sint consumate in timpul montajului. De aceea, a fost necesar o consola, cu aceleasi inaltimi impuse, pentru a selecta in final solutia optima din punctul de vedere al consumului de material si functionalitatii (sageti) corespunzatoare.

Calculul si dimensionarea structurii s-a efectuat pe baza acelorasi principii utilizate in calculele care s-au efectuat anterior. Din rezultatele calculului, rezulta aceleasi concluzii referitoare la variatia eforturilor ca in cazul anterior studiat. De aceea se pastreaza aceiasi impartire in tronsoane a grinzii in consola.

Calculul exact al sagetilor pentru acest tip de consola cu zabrele, a carei inaltime este variabila, se poate face cu ajutorul metodei deformatiilor (de exemplu metoda Mohr - Maxwell), dupa care, deformatia maxima la capatul consolei se determina cu relatia (2.5), efectuind integrarea separat pentru portiunile cu momente de inertie constante:

$$f = \int_0^a \frac{M_m}{EI_1} dx + \int_0^{l-c} \frac{M_m}{EI_2} dx + \int_{l-c}^l \frac{M_m}{EI_3} dx \quad (2.5)$$

unde:

- M - este momentul incovoietor produs de incarcarea normata de pe consola;
- m - este momentul incovoietor produs de o incarcare unitara fictiva ($P = 1$), aplicata in punctul in care se calculeaza sageata si dupa directia acesteia.

Simplist sageata se poate calcula si cu formula (2.6), considerind sectiunea cu moment de inertie constant:

$$f = \frac{P \times l^4}{8EI} \quad (2.6)$$

si incarcarea uniform distribuita cu valoarea p .

Tinind seama de volumul mare de calcule care sunt necesare de efectuat, s-a procedat doar la calculul sagetilor din combinatiile de incarcari propuse, folosind programul de calcul utilizat anterior.

Din relatiile de calcul a sagetii prezentate mai sus, se observa ca sagetile sunt legate direct proportional de valoarea momentului incovoietor si invers proportional cu valoarea momentului de inertie. De aceea, pentru scaderea lor este necesara cresterea inaltimi consolei, care conduce la descresterea eforturilor in talpi si la cresterea momentului de inertie. Desigur aceasta inertie este legata, si de sectiunea aleasa pentru fiecare bara componenta a consolei. Analizind rezultatele cumulate in tabelul din fig. 2.10, rezulta ca prin cresterea inaltimii consolei care conduce la micșorarea sectiunii transversale a barelor, au scazut sagetile la valorile impuse. In acelasi timp, a crescut inasa si consumul de material, dupa cum se arata in fig. 2.11a, b. In acelasi tabel se observa ca pentru structura la care $H = 16$ m. sageata este asigurata de dimensionarea din conditii de rezistenta. Rezulta ca structura cu:

$$H = 14\text{m.}$$

este cea mai optima deoarece indeplineste simultan conditiile de rezistenta, stabilitate si rigiditate.

O reprezentare mai restrinsa este aratata in tabelul 2.6 unde sunt prezentate: consumul de material si deformatiile, in functie de inaltimea variabila a structurii.

=====

I \ parametri	I Consum		I f	
	I total	I specific	I fZ+V	I ftotal
I H[cm]	I [Kg]	I [Kg/m ²]	I [cm]	I [cm]
I 10	I 51843	I 45.5	I 36.3	I 63.1
I 12	I 45218	I 39.7	I 36.5	I 62.1
I 14	I 38532	I 33.8	I 37.2	I 61.8
I 16	I 38663	I 33.9	I 36	I 65

Tabel 2.6 Consola incastrata - conditii de sageata

Concluziile stabilite pe baza analizei eforturilor si a sagetilor prezentate anterior nu sint pe deplin concludente datorita faptului ca ele nu tin seama de conditiile reale de rezemare. Prinderea reala a consolei facindu-se intr-un stilp, in realitate, elasticitatea acestuia permite deplasari si rotiri ale reazemului, ceea ce face ca sagetile la capatul consolei sa creasca simtitor. In plus structura metalica a stilpului necesita un consum suplimentar de material, care influenteaza sensibil consumul total de otel. Din aceste considerente, s-a trecut la analiza structurii complete (con , urmarindu-se alegerea variantei de alcatuire care sa conduca pe de o parte la un consum de material redus iar pe de alta parte la o sageata acceptabila la nivelul portii. Calculul eforturilor si dimensionarea barelor s-a facut pentru fiecare din cele 4 inaltimi ale consolei in zona de incastrare pe stilp.

Dupa o analiza detaliata a consolei incastrate rigid putem efectua comparatiile cu o consola incastrata elasic. Deosebirea intre cele doua console din fig. 2.8 si 2.12 consta in faptul ca la a doua se mai introduc contrafise care reduc deschiderea consolei din punctul de vedere al rezemarii. Ca urmare are loc o reducere a eforturilor in barele talpii inferioare si in special in zona de incastrare cu stilpul, precum si o crestere a rigiditatii structurii.

La acest cadru in consola, stilpul reprezinta elementul rigid in care se incastreaza consola. De aceea la alcatuirea stilpului trebuie tinut seama de necesitatea asigurarii stabilitatii si sigurantei in exploatare.

Pentru o reprezentare mai detaliata a rezultatelor obtinute in urma calculelor s-a impartit structura cadrului in doua

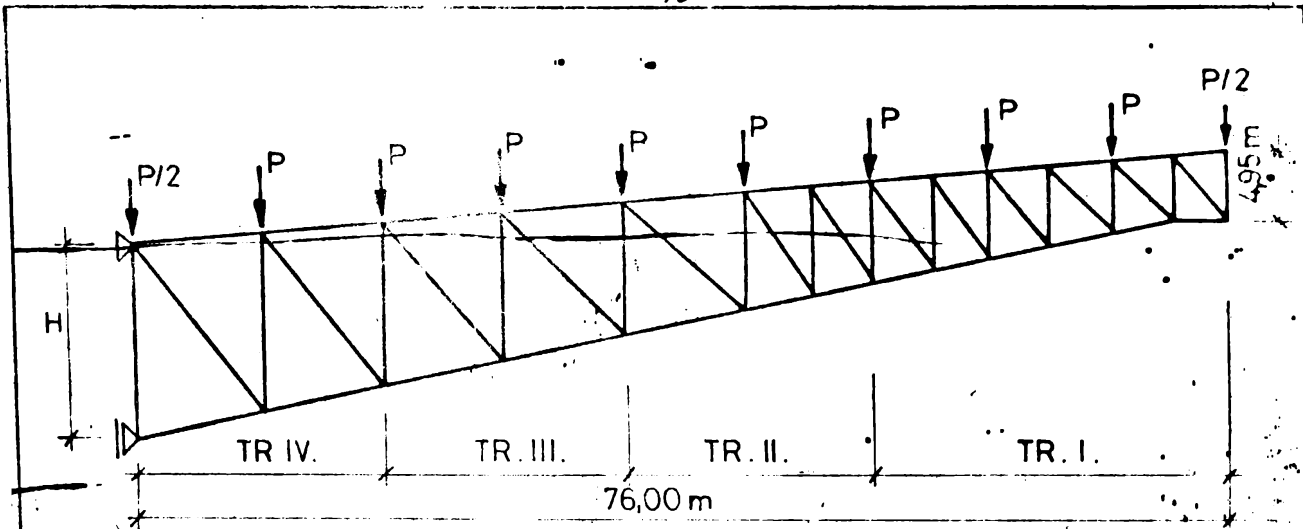


FIG. 2.9. SCHEMA DE CALCUL - CONDITII DE REZISTENȚĂ

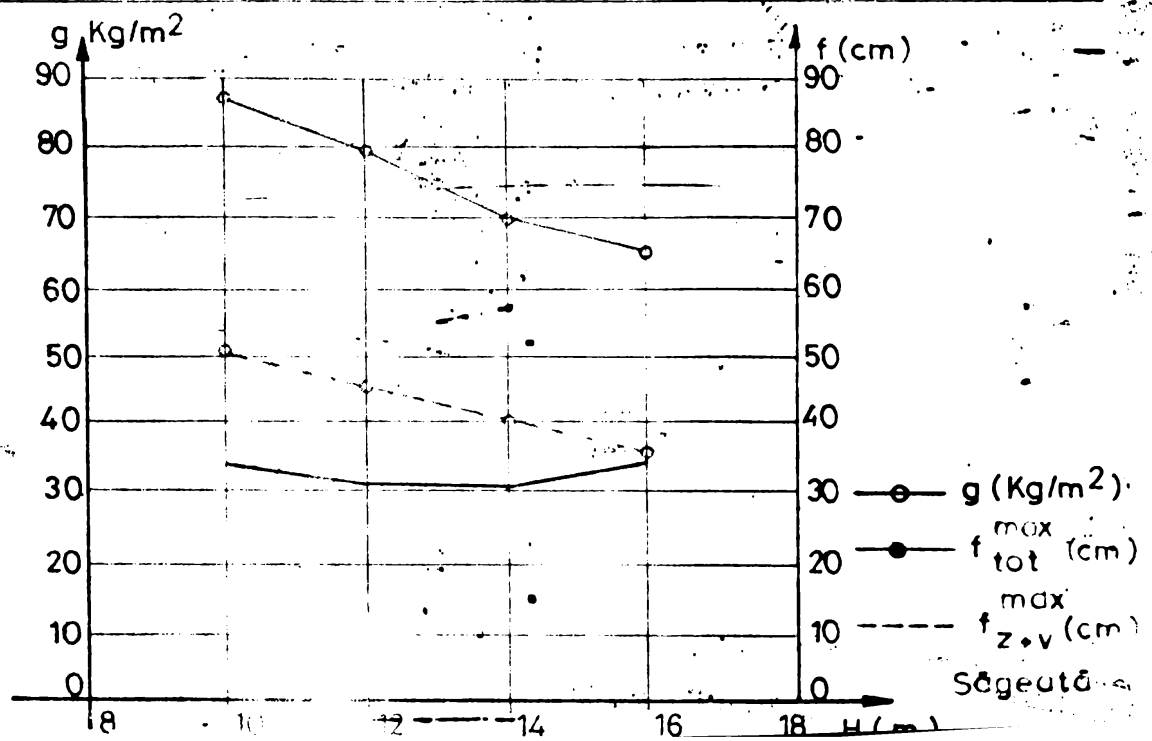
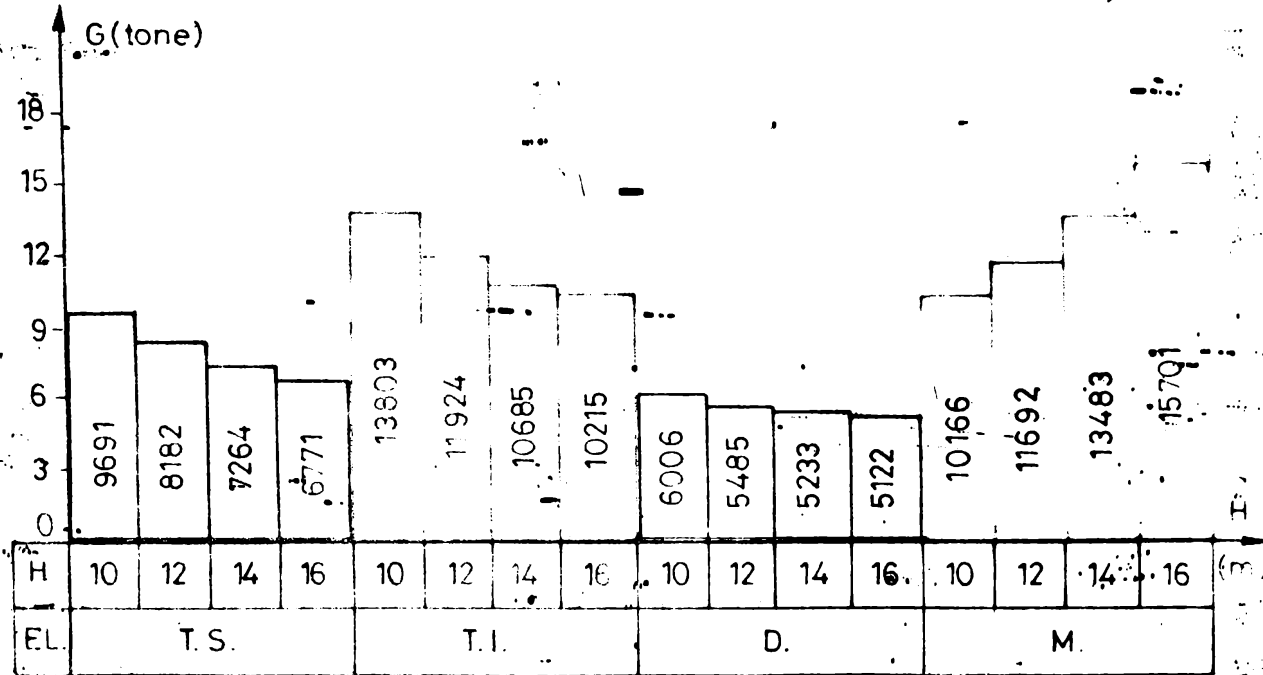
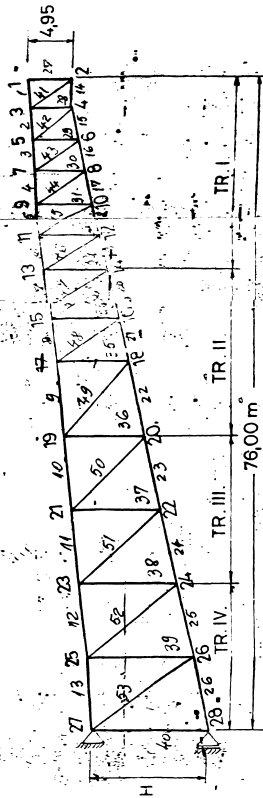


FIG. 2.16
SCHEMA DE CALCUL SI TABEL
CENTRALIZATOR PTR. DIMENSIONAREA
CONSOLA PLANA
-CONDITII DE SAGEATA-



H (m)	ELEMENT	TRONSON IV						TRONSON III						TRONSON II						TRONSON I						TOTAL CONSOLA														
		BARA	N _{max} (dN)	A (cm ²)	Z (cm)	G (kg)	TOTAL (kg)	BARA	N _{max} (dN)	A (cm ²)	Z (cm)	G (kg)	TOTAL (kg)	BARA	N _{max} (dN)	A (cm ²)	Z (cm)	G (kg)	TOTAL (kg)	BARA	N _{max} (dN)	A (cm ²)	Z (cm)	G (kg)	TOTAL (kg)	G (kg)	TOTAL (kg)	f _{max} (cm)	f _{24V} (cm)											
1	2	3																																						
10	FS	13	912303	400	2508	2008		11	505054	350	1698	4265		9	151867	100	244	2994		6	151867	100	244	2994																
	TI	25	343712	570	1916	2409	13309	24	179267	400	1716	5388		22	2231916	3031	8498		19	201618	175	3520																		
	D	53	237417	89			1320	51	202897	77	285	1320		49	652488	1269			46	17280	46	3811	1349													631				
	M	39	-197000	183	1022	935		38	-178314	138	1882	1936		36	112207	1988			33	119271	110	3307																		
12	TS	13	7538033	300	1637	1919		11	505055	290	1698	3332		9	1701638	2333			6	103718	150	2994																		
	TI	25	743446	870	1720	1720	11051	24	-638833	325	1725	4401		22	2101725	708		19	175017	175	2573	3535																		
	D	53	202911	87	203	110		51	172023	62	2344	1141		49	562643	1163		46	19361	45	3910	1381																		
	M	39	-182873	195	1039	1014		38	-164490	141	1967	2177		36	125238	2294		33	83700	119	3904	3647																		
14	TS	13	635364	245	163	199		11	434465	175	1698	2333		9	242832	100	1698	1333		6	125376	86	2543	1146																
	TI	25	647447	335	1737	1470	13331	24	-543284	230	1735	3405		22	2333551	1043		19	103050	105	2586	2131																		
	D	53	179436	75	163	101		51	150828	55	2638	1139		49	482809	1058		46	9737	45	4008	1415																		
	M	39	-170688	203	1039	1028		38	-154410	150	2254	2654		36	191055	131	395	2668		33	-83221	121	4081	3876																
16	TS	13	599266	201	1650	1732		11	414748	140	1698	1866		9	139046	81	1698	1080		6	115242	86	2543	1146																
	TI	25	614108	265	1737	1470	13845	24	-518429	196	1746	2636		22	133381	128	1746	1754		19	-162635	105	2600	2143																
	D	53	180014	87	163	101		51	149759	51	2630	1077		49	120043	44	2977	1052		45	63390	45	4101	1449																
	M	39	-177103	191	1039	1014		38	-160685	162	2529	3216		36	155070	142	386	3184		3	-86377	125	4236	4175																

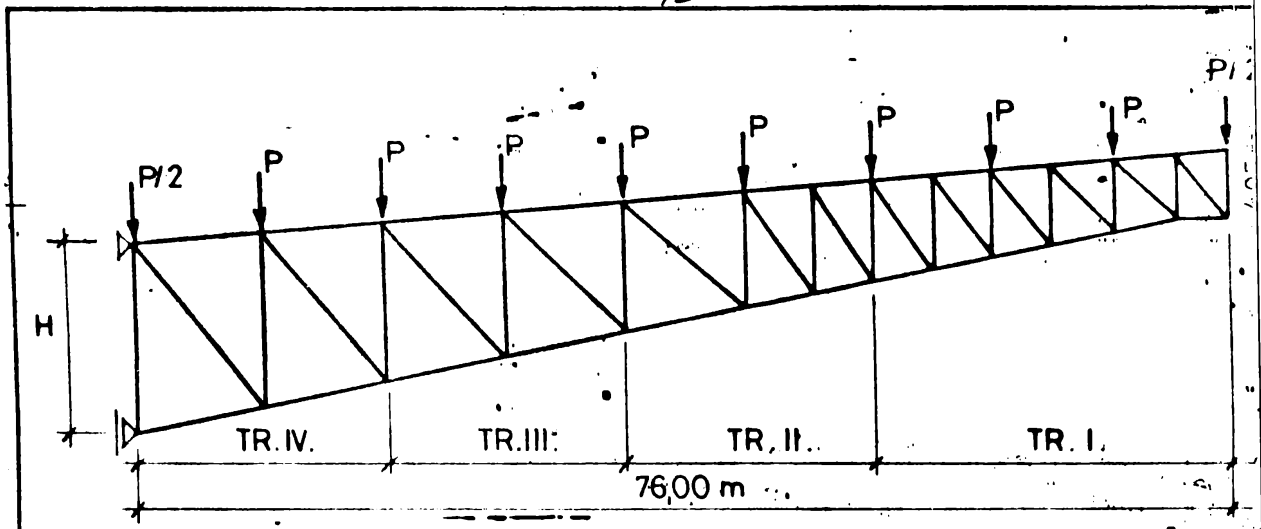
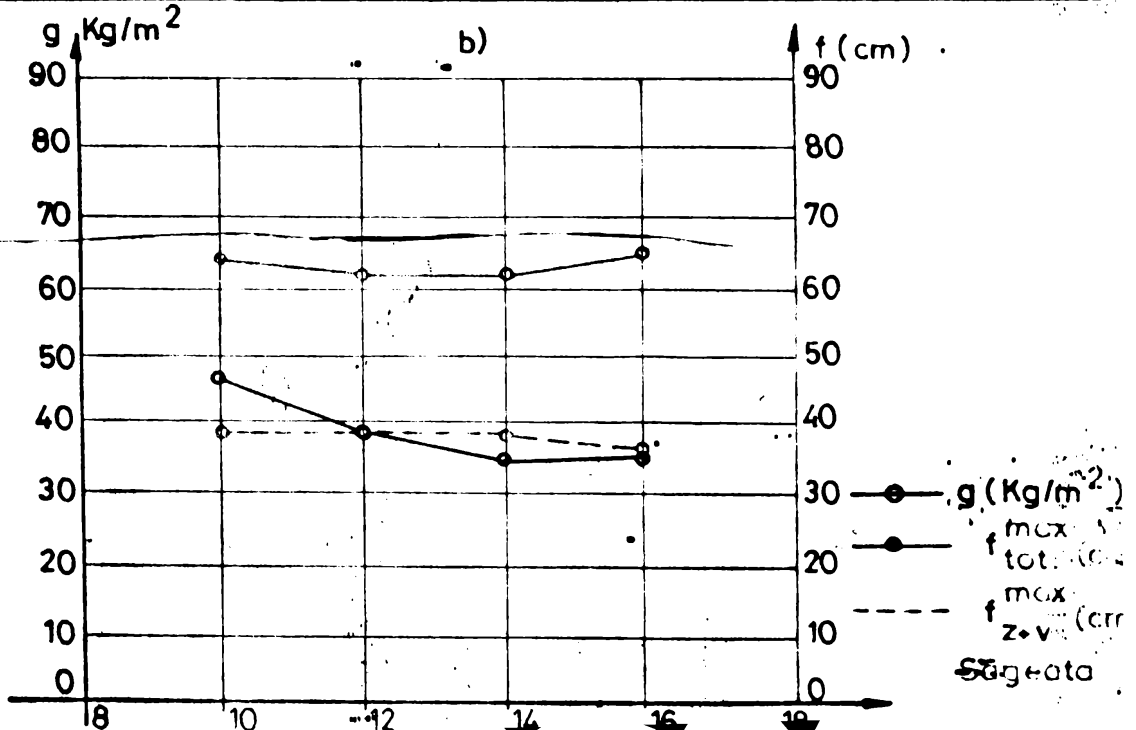
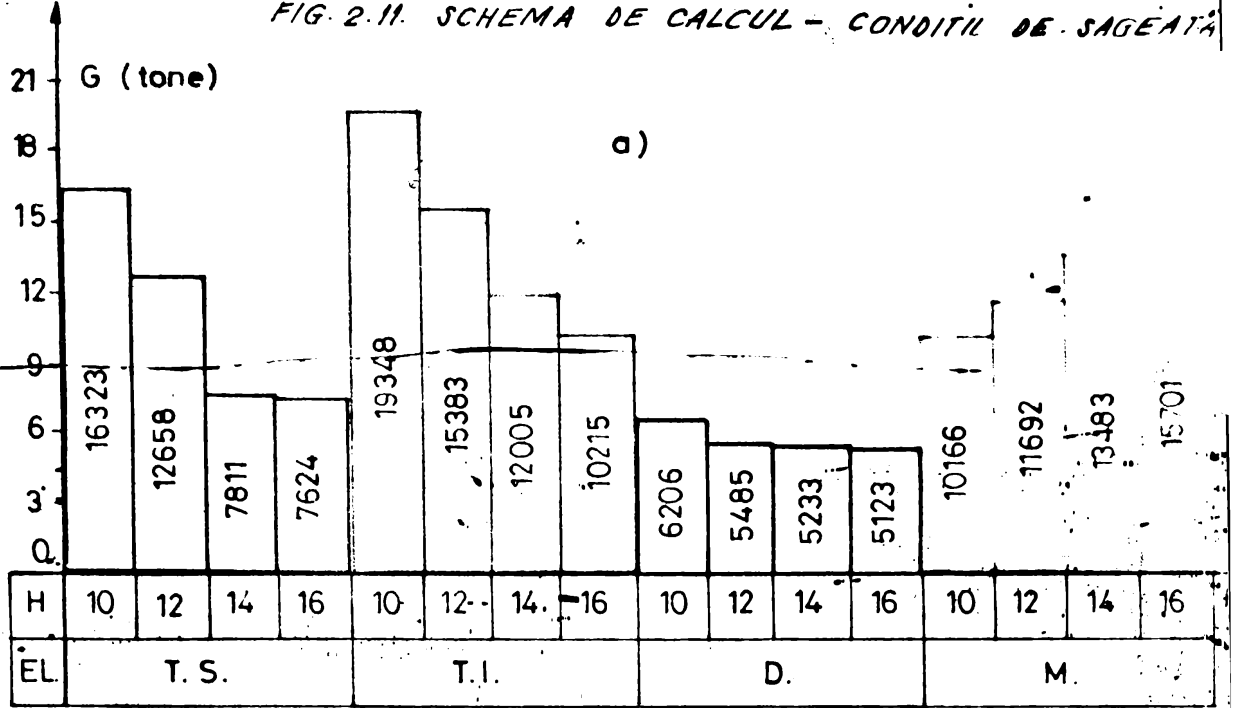


FIG. 2.11. SCHEMA DE CALCUL - CONDITII DE SAGEATA



substructuri si anume:

- in fig.2.12 se rezuma rezultatele pentru consola care a fost impartita in 4 tronsoane similare cu consola incastata rigid, pentru a putea efectua o comparatie intre cele doua modalitati de incastrare;
- in tabelul 2.7 sint rezumate rezultatele calculului pentru stilpi si contrafise tabelul cuprinzind toate barele care intra in alcatuirea stilpului. Barele au fost dimensionate fiecare separat.

Analizind rezultatele din fig.2.12 se observa ca procentul de scadere a greutatii consolei in cele doua modalitati de prindere este variabil in functie de inaltimea structurii. Astfel, pentru consola cu $H = 10m$. si incastrare rigida, greutatea consolei scade cu 19% fata de cazul incastrari elastice. Acest procent creste pina la 32% pentru $H = 16m$. in cazul incastrarii rigide.

Cresterea in greutate a consolei se datoreste atat elasticitati de prindere cit si inclusiv presiuni vintului care actioneaza asupra stilpului. Se remarca ca datorita elasticitati de prindere, cresc sagetile fata de cazul prinderi rigide cu aproximativ 22% pentru $H = 10m$.

In fig. 2.13 se arata variatia greutatii pentru elementele componente ale consolei cu rezemare elastica in stilp in functie de inaltime, in doua cazuri de dimensionare (conditii de rezistenta si conditii de sageata).

Pentru asigurarea conditiilor de sageata corespunzatoare, structurile prezentate anterior au fost recalulate si dimensionate dupa care s-a intocmit tabelul din fig. 2.14. Acesta se refera numai la consola, iar tabelul 2.18 se refera numai la stilpul cu contrafisa. In fig. 2.15 sint reprezentate valorile eforturilor maxime dupa cresterea rigiditatilor fiecarui tip de element component al tronsonului. Tinind seama de dificultatea de tronsonare a stilpului (adica fiecare bara este solicitata diferit) nu este posibila impartirea stilpului pe tronsoane, motiv pentru care sintem nevoiti de a lua in considerare fiecare bara componenta in parte. In tabelul 2.8 se prezinta toate aceste bare cu valorile eforturilor corespunzatoare, inclusiv ariile sectiunilor transversale si lungimea barelor.

Variatia greutatii celor doua elemente componente ale

cadrului (stîlp si consola) este reprezentata separat, fig. 2.15 pentru cele doua conditii (rezistenta si sageata). In graficele a si b se prezintă variatia greutatilor specifice ale acestor elemente componente ale cadrului, in functie de inaltimea structurii.

Solutia optima a cadrului in consola rezulta din fig. 2.16 unde se prezinta consumurile specifice ale structurii. Analizind acest grafic, rezulta ca structura optima din punctul de vedere al rezistentei si stabilitatii este data de structura cu inaltimea consolei $H = 14m$. Dar structura optima din conditia de sageata se obtine pentru o inaltime a consolei de $16m$.

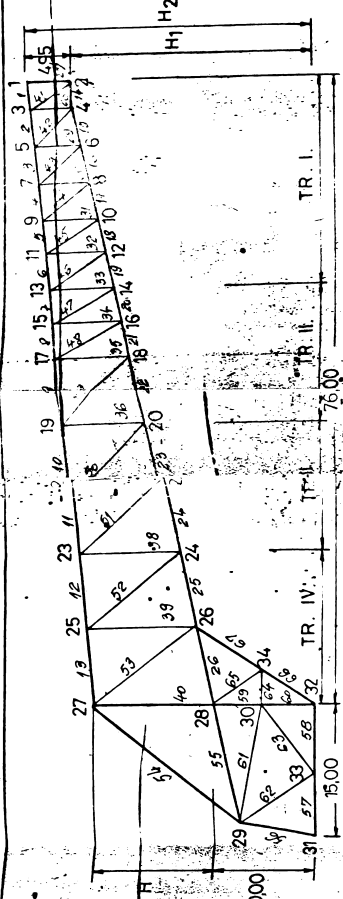
O comparatie intre cele doua conditii de dimensionare a structurii este prezentata in tabelul 2.9 si 2.10, in care se prezinta separat cele doua elemente componente ale cadrului. Comparatiile sint efectuate pentru un numar de 4 variante de inaltime propuse pentru structura, fiind luate in discutie greutatile totale, greutatile specifice si deformatiile.

Referitor la consumul de material pentru varianta din conditii de rezistenta se observa o scadere in greutate odata cu cresterea inaltimii structurii pina la inaltimea de $14m$. Pentru varianta din conditia de sageata se observa o scadere continua pina la $H = 16m$. Este adevarat ca diferenta de scadere este foarte mica intre cele doua inaltime ($14m$. si $16m$.), motiv pentru care s-a ales structura a carei inaltime este de $H = 14m$., luindu-se in considererare si faptul ca o data cu cresterea inaltimii cresc consumurile auxiliare (iluminare, intretinere, spatiu incalzit etc.).

=====									
I\parI	CONSOLA		I STILP		I Consum		I f		
I \ I	I-----	I-----	I-----	I-----	I	I	I	I	I
I H\ I	total	spec.	total	spec.	total	spec.	Z+V	total	I
=====									
I 10	I 49500	I 43.42	I 19750	I 17.52	I 69250	I 61	I 63	I 114	I
I 12	I 48514	I 42.55	I 19337	I 15.95	I 67851	I 58.5	I 58	I 105	I
I 14	I 47581	I 41.74	I 18108	I 15.88	I 65689	I 57.62	I 55	I 99	I
I 16	I 57630	I 50.55	I 18621	I 16.33	I 76251	I 66.88	I 50	I 83	I
=====									

FIG. 2.12.

SCHEMA DE CALCUL SI
TABEL CENTRALIZATOR
PTR. DIMENSIONAREA CAD-
RULUI PLAN
- CONDITII DE REZISTENTA -



ELEMNT (M)	TRONSON IV.				TRONSON III.				TRONSON II.				TRONSON I.				TOTAL CONSOLA																	
	BARA	N _{max} (DON)	A (cm ²)	Z (cm)	G (kg)	BARA	N _{max} (DON)	A (cm ²)	Z (cm)	G (kg)	BARA	N _{max} (DON)	A (cm ²)	Z (cm)	G (kg)	BARA	N _{max} (DON)	A (cm ²)	Z (cm)	G (kg)	TOTAL	f _{max} (cm)												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29						
10	TS	13	963846	202	1799	7326	...	11	630691	286	1639	3814	...	9	235227	127	1638	1621	...	6	159784	86	2443	1772	...									
	TI	25	972093	430	1716	5792	21364	24	800200	332	1716	4472	11711	22	481710	480	1710	2692	7723	19	271694	105	2362	2109	8642	49500	1442	114	63					
	D	53	463640	211	1600	7386		51	213433	95	2185	1629		27	193307	120	2481	1367		46	81903	45	3818	1338										
	M	40	206871	111	1317	3302		38	817976	136	1622	1796		33	146224	129	2078	2103		33	98737	119	3728	3483										
	IS	13	806074	265	1679	3972		11	599854	217	1630	2892		9	297522	107	1638	1426		6	145729	86	2649	1718										
	TI	25	816469	344	1726	4522	19645	24	678825	289	1725	3913	11698	22	418261	194	1729	2627	7822	19	192735	105	2573	2121	9357	48514	4235	105	58					
	D	53	469117	338	1637	1622		51	184085	75	2344	1380		49	145551	86	2646	1163		46	74671	45	3910	1381										
	M	40	205287	152	2135	3519		38	177104	187	1967	3505		36	103789	142	2338	2606		33	94425	135	3904	4137										
	TS	13	698318	273	1681	3105		11	476916	159	1698	2119		9	214289	96	1628	1280		6	136302	86	2543	1718										
	TI	25	711248	285	1735	3936	29008	24	596700	241	1735	3282	10066	22	374468	182	1735	1634	7615	19	198720	112	2586	2274	9892	47581	4174	99	59					
	D	53	347432	344	1724	1422		51	165851	80	2638	1657		49	133743	70	2809	1544		16	69615	45	4005	1415										
	M	40	308828	282	2109	5630		38	169804	170	2294	3008		36	133097	155	2595	3157		33	90816	140	4081	4485										
	TS	13	626305	219	1698	2919		11	433362	146	1698	1946		9	250289	92	1698	1226		6	130540	86	2543	1718										
	TI	25	641303	219	1716	3961	24807	24	541845	229	1746	3303	12220	22	548330	139	1746	1705	9784	19	169872	120	2600	2449	10819	37630	5035	93	50					
	D	53	338489	406	1716	1060		51	156612	81	2630	1740		49	125531	64	2977	1496		46	66730	52	4101	1674										
	M	40	322182	331	1791	1717		38	168041	265	2329	5261		36	131209	230	2836	5157		33	90002	149	4255	1978										

H _i (m)	1000					1200					1400					1600				
	EF AXIAL (daN)	A (cm ²)	I (cm)	G (Kg)		EF AXIAL (daN)	A (cm ²)	I (cm)	G (Kg)		EF AXIAL (daN)	A (cm ²)	I (cm)	G (Kg)		EF AXIAL (daN)	A (cm ²)	I (cm)	G (Kg)	
54	886392	316	1780	4366		823979	298	1957	4578		818106	283	2161	4801		797918	273	2377	5081	
55	-61404	105	1286	1060		-13981	105	1575	1092		-14626	45	1361	477		19000	46	1398	504	
56	800471	308	813	1966		790162	276	763	1653		790346	268	715	1504		804489	308	868	1615	
57	-213731	194	750	1142		-191976	183	750	1077		-174460	171	750	1006		-161075	169	759	995	
58	435793	212	750	1248		-430873	212	750	1250		-396469	191	750	1124		-415436	212	750	1250	
59	308925	212	500	832		-310950	212	500	832		-376066	212	500	832		-361394	212	500	832	
60	-474776	212	500	832		-463546	212	500	832		-504151	212	500	832		-489188	212	500	832	
61	-295015	287	1297	2922		-258607	267	1320	2767		-228069	238	1340	2503		-206639	223	1358	2381	
62	-123178	105	933	775		-132902	105	918	756		-123836	105	901	742		-142860	110	885	765	
63	184983	68	902	481		191760	78	901	552		171687	61	901	431		189245	69	901	488	
64	-134242	112	368	324		-94888	88	361	221		-82839	76	354	211		-47913	67	340	182	
65	112282	46	620	224		81439	46	616	222		70787	46	612	221		40439	46	608	219	
66	-735194	265	620	1290		-736066	265	616	1281		-689422	265	612	1273		-730066	265	608	1265	
67	-848146	362	808	2288		-817239	342	827	2221		-758894	322	851	2151		-771582	322	875	2242	
TOTAL	5 STILP (Kg) 19750					19354					2408					18521				
GRADUATE	17,32					13,35					15,68					17,32				

TAB. 2.7. TABELE DE DIMENSIONAREA SI LIPULUI
CONDITII DE REZISTENTA-

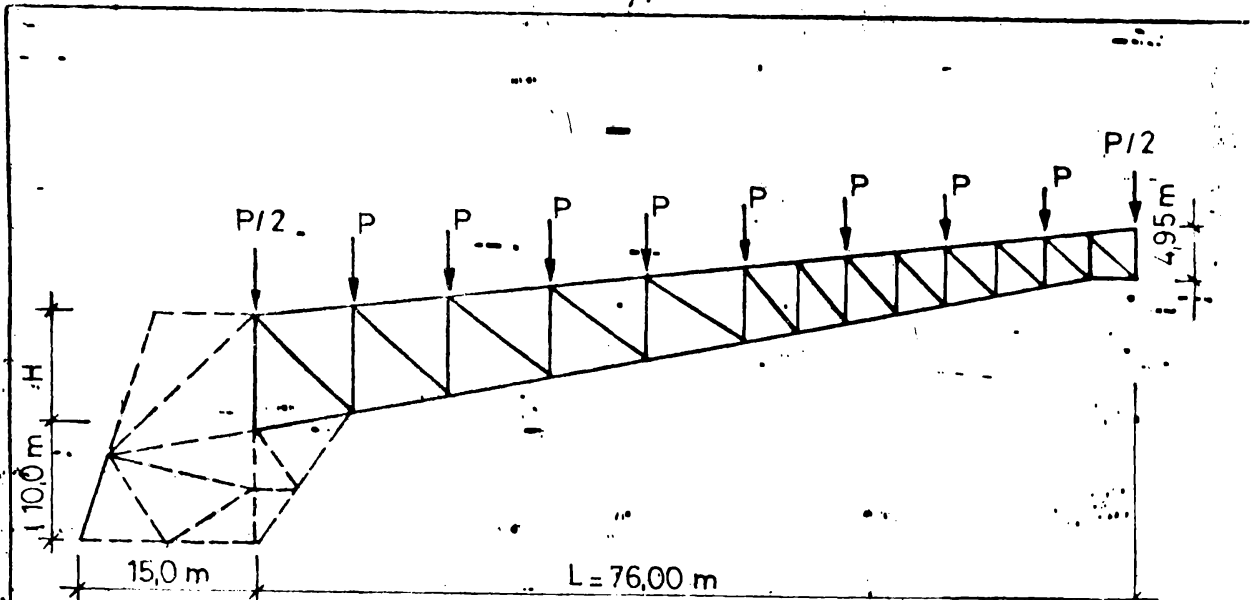
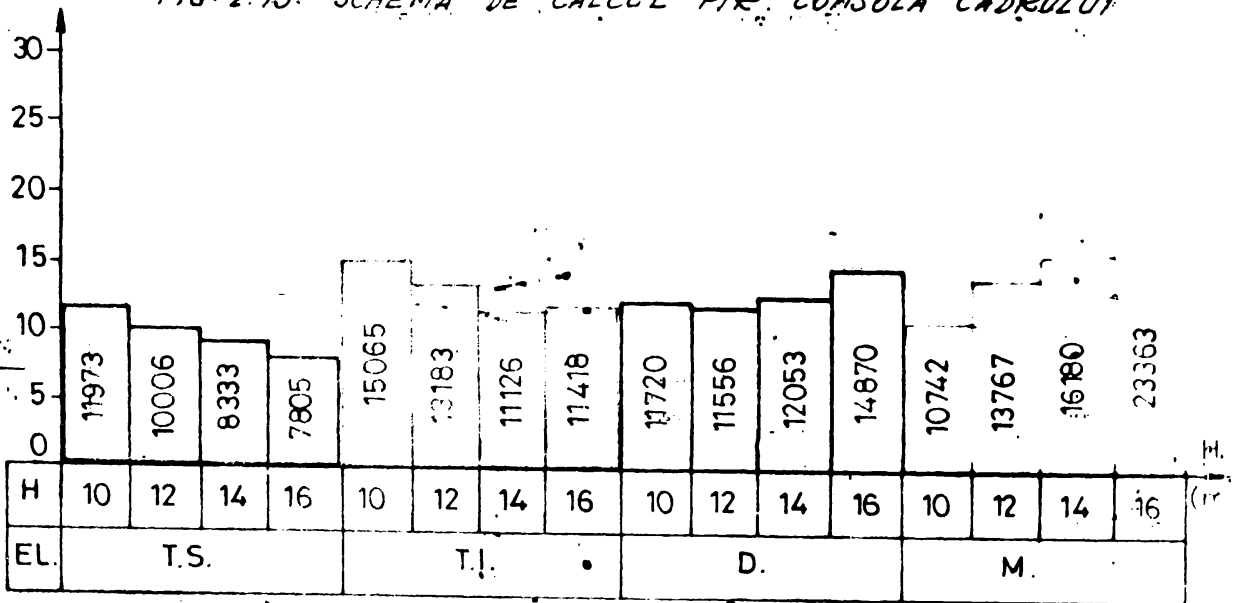
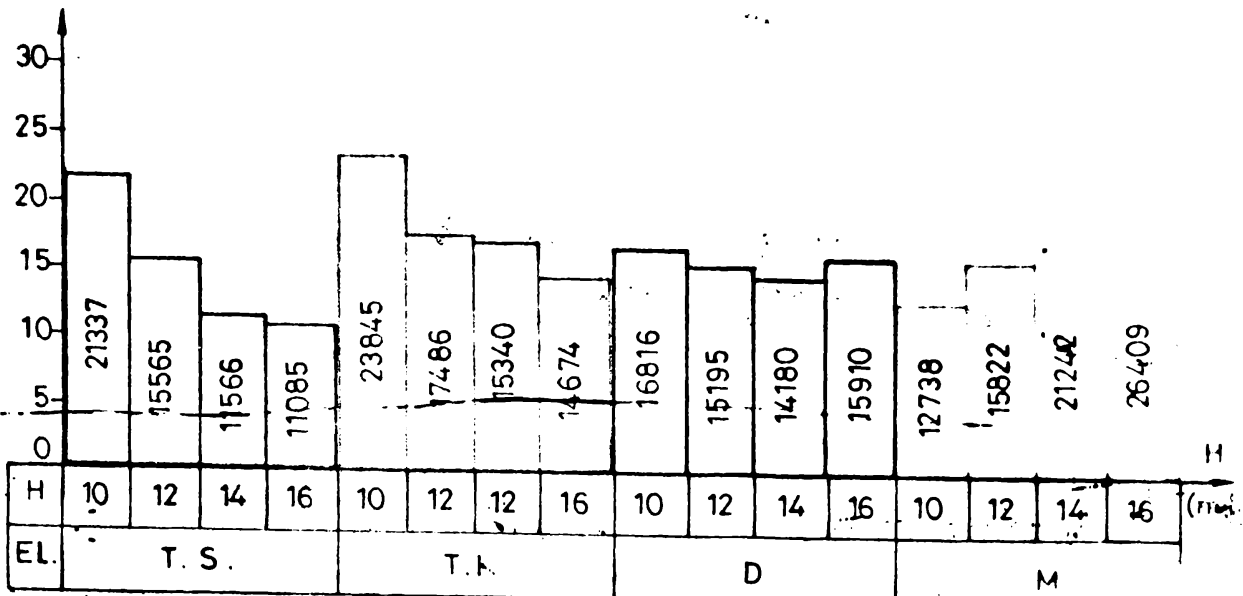


FIG. 2.13. SCHEMA DE CALCUL PTE CONSOLA CADRULUI



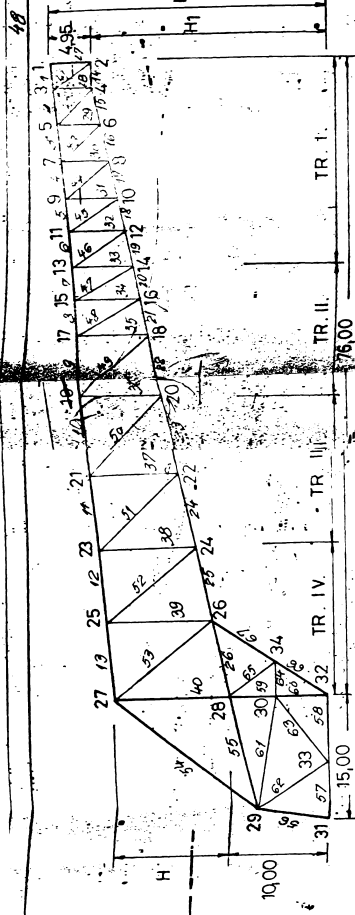
a) CONDITII DE REZISTENȚĂ



b) CONDITII DE SĂGEATĂ

FIG. 2.14.

SCHEMA DE CALCUL SI
TABEL CENTRALIZATOR PTR.
H2 DIMENSIONAREA CADRULUI
PLAN
- CONDITII DE SAGEATA -



H (m)	ELEMNT	TRONSON IV.						TRONSON III.						TRONSON II.						TRONSON I.						TOTAL CONSOLA					
		BARA	N _{max} (dON)	A (cm ²)	M (cm)	G (kg)	TOTAL G (kg)	BARA	N _{max} (dON)	A (cm ²)	M (cm)	G (kg)	TOTAL G (kg)	BARA	N _{max} (dON)	A (cm ²)	M (cm)	G (kg)	TOTAL G (kg)	BARA	N _{max} (dON)	A (cm ²)	M (cm)	G (kg)	TOTAL G (kg)	G (kg)	TOTAL G (kg)	z _{xy} (cm)	z _{yx} (cm)		
10	I.S.	13	1042009	100	1030	0.001		11	681001	600	1634	1999		9	36120	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
10	T.P.	25	1051100	621	116	0.100	33282	24	80512	478	1716	6439	18887	22	57502	28	1716	6045	12757	19	228401	140	262	2996	9778	74804	655	75	38		
10	D.	53	51630	300	1200	10.00		51	230025	114	2185	1956		49	180038	37	2438	1894		46	89142	45	3818	1348							
10	M.	40	145832	307	111	0.00		38	203289	189	1882	2496		36	157031	180	2076	2536		33	106247	127	3728	3748							
12	I.S.	13	1042009	600	1030	0.001		11	681001	290	1639	3865		9	320746	162	1638	1986		6	157655	86	2543	1716							
12	T.P.	25	1051100	621	116	0.100	29000	24	80512	385	1725	5273	14783	22	422002	242	1725	3276	10228	19	202878	425	2573	2524	10067	64663	587	74	38		
12	D.	53	438558	500	2037	10.000		51	138825	100	2344	1840		49	161835	10	2676	1623		46	81160	45	3910	1382							
12	M.	40	140069	261	1235	4.894		38	191256	249	1967	3295		36	149238	180	2388	3003		33	101422	145	3904	4445							
14	I.S.	13	1042009	361	1493	4.812		11	512256	239	1628	3185		9	200055	180	1688	1853		6	146495	86	2543	1716							
14	T.P.	25	1051100	385	1115	0.244	29354	24	641172	337	1736	4589	14360	22	403363	249	1730	2069	10193	19	191763	125	2536	2538	10419	62320	5468	73	38		
14	D.	53	322759	376	2801	9.057		51	178360	90	2638	1860		49	143729	10	2880	1643		46	88243	45	4005	1416							
14	M.	40	1322759	376	2801	9.057		38	182222	267	2264	4726		36	143117	188	2539	3830		33	97199	148	4081	4749							
16	I.S.	13	679988	338	1698	4.505		11	470337	241	1639	3213		9	207950	184	1690	1655		6	141079	86	2543	1716							
16	T.P.	25	697099	362	1746	4.842	30228	24	588344	337	1746	4619	16086	22	328030	393	1746	2644	10950	19	184147	120	2600	2449	10808	68082	597	76	38		
16	D.	53	363663	448	3125	10.110		51	170213	83	2826	1752		49	136404	144	2977	1485		46	73123	52	4101	1673							
16	M.	40	354569	406	3062	9.000		39	182045	320	2580	6512		36	142682	210	2856	5156		33	97213	149	3055	4970							

H _i (m)	1000			1200			1400			1600		
	EF. AXIAL (daN)	A (cm ²)	I (cm)	G (Kg)	EF. AXIAL (daN)	A (cm ²)	I (cm)	G (Kg)	EF. AXIAL (daN)	A (cm ²)	I (cm)	G (Kg)
BARA												
54	947521	700	1760	9671	893155	600	1957	9217	873167	550	2161	9330
55	-71553	400	1286	4038	-33905	152	1325	1581	-92686	45	1361	480
56	864709	700	813	4467	851871	600	763	3593	848388	550	715	3087
57	-232182	200	750	1178	-208233	200	750	1178	-188595	192	750	1130
58	-498353	307	750	1808	-472911	307	750	1808	-435112	307	750	1808
59	-288897	307	500	1204	-323918	307	500	1204	-387465	307	500	1204
60	-475571	307	500	1204	-488277	307	500	1204	-527925	307	500	1204
61	-297072	500	1297	5090	-260198	391	1320	4051	-240997	391	1340	4112
62	-147645	400	933	2930	-147022	152	918	1095	-137507	152	901	1074
63	221726	400	902	2832	212454	92	901	650	190640	97	901	685
64	-105679	300	368	860	-79235	99	361	280	-79862	92	354	255
65	88098	200	620	973	68097	54	616	261	68120	53	612	254
66	-840734	600	620	2920	-807882	600	616	2901	-754425	384	612	1545
67	-929566	600	805	3792	-875693	600	827	3492	-823287	478	851	3193
TOTAL: G STILP (Kg)			42971	42971				29221				29221
GREUTATE SPECIFICA (Kg/m ³)			8769	8769				260				260
												23836
												20191

TAB. 2.8. TABELUL CENTRALIZATOR PTR. DIMENSIONAREA STILPULUI
- CONDITII DE SAGEATA -

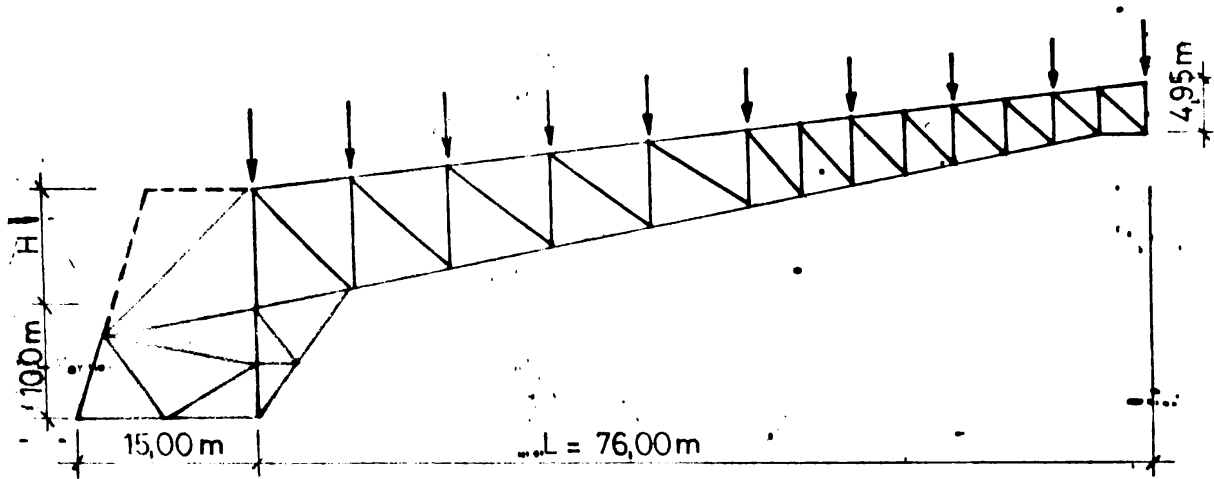
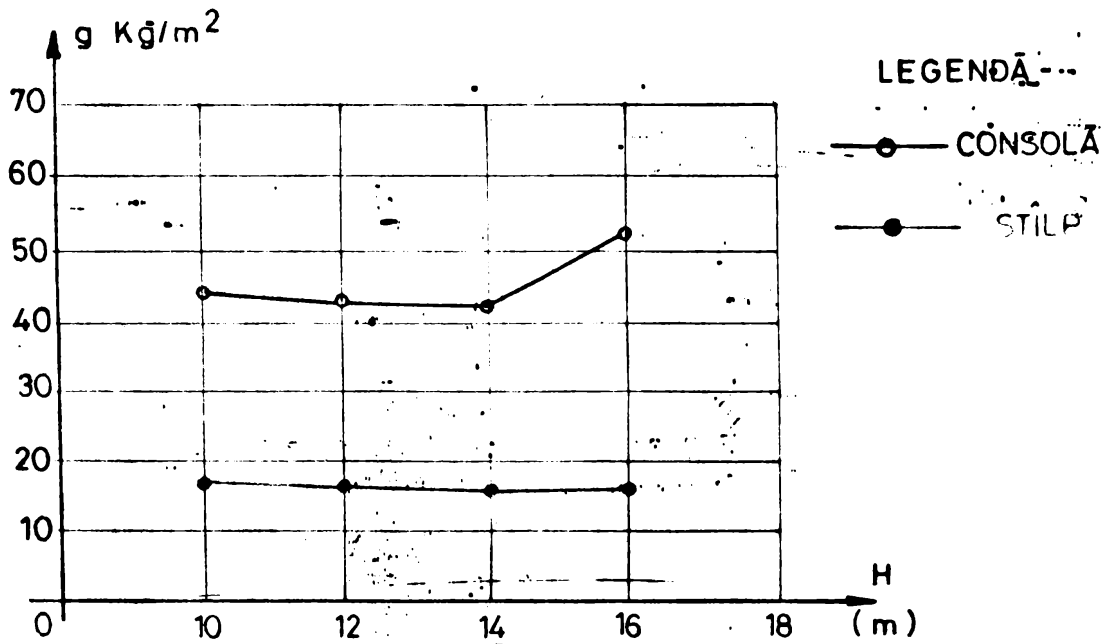
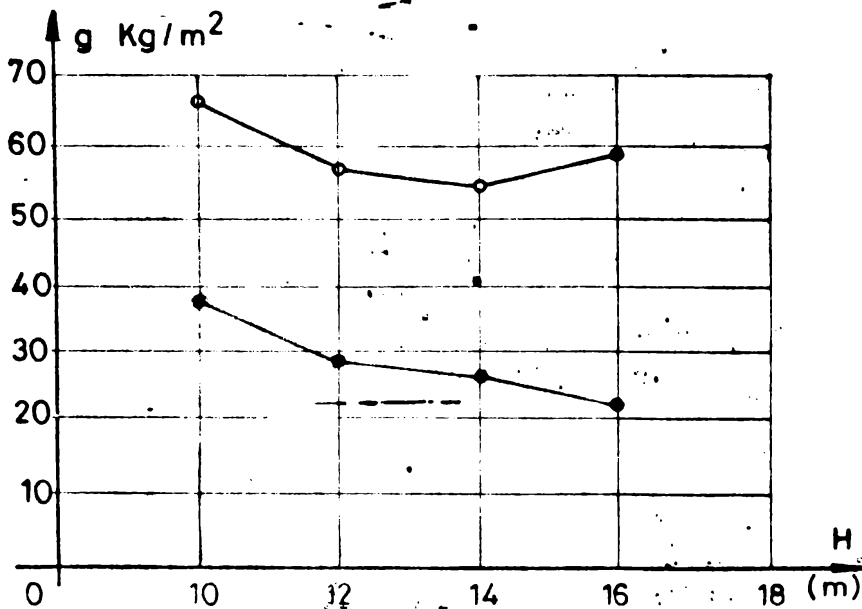


FIG. 2.15 SCHEMA DE CALCUL PENTRU CADRU



a) CONDITII DE REZISTENȚĂ



b) CONDITII DE SĂGEATĂ

CADRU IN CONSOLĂ PLANĂ

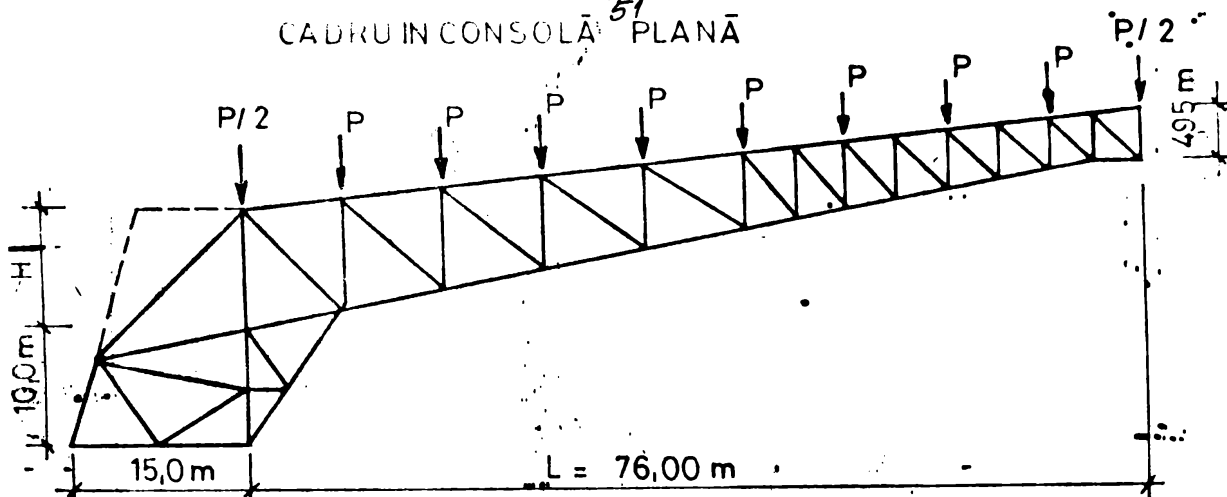
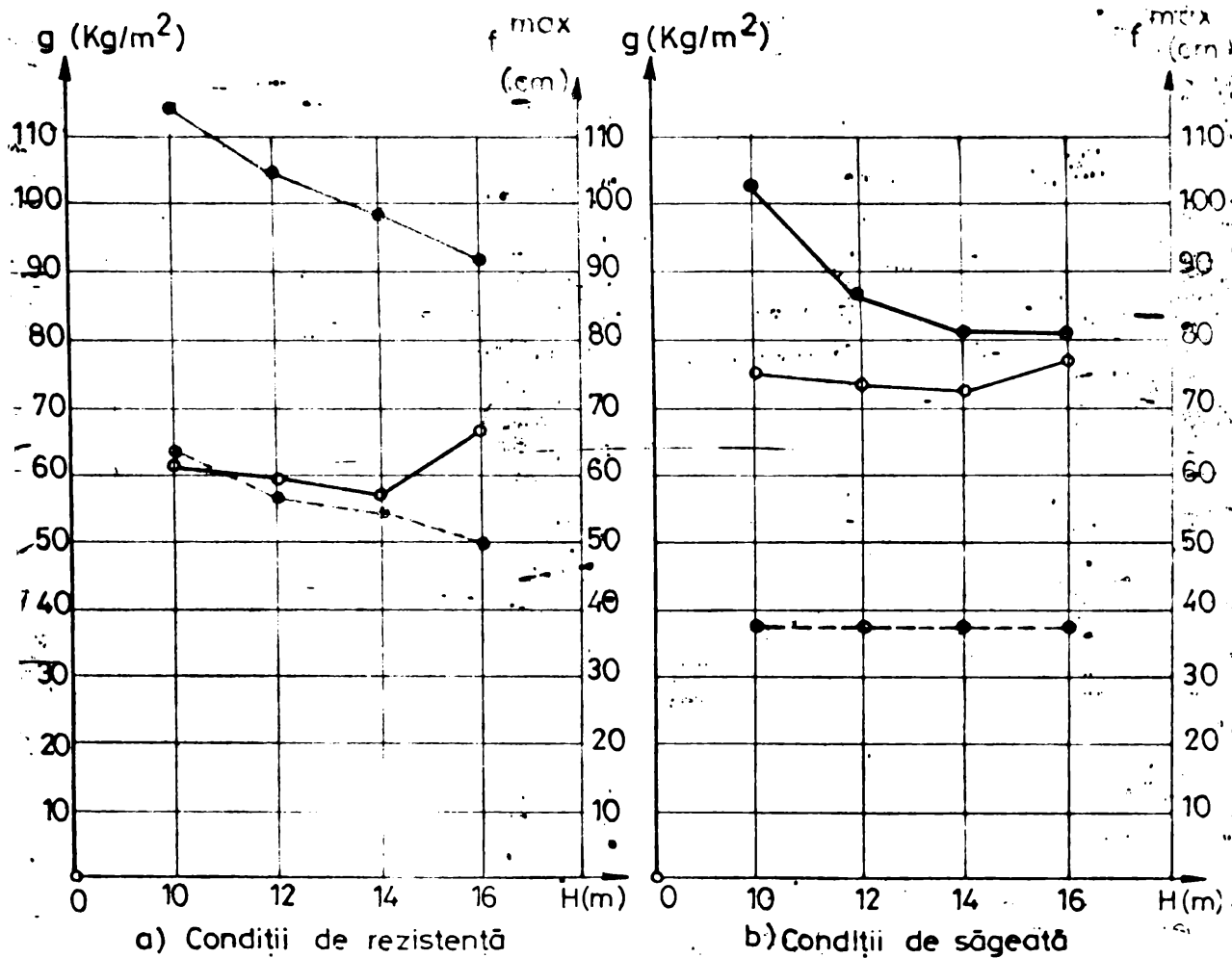


FIG. 2.16. SCHEMA DE CALCUL PT. CADRUL PLAN



$R_c = 3000 \text{ daN/cm}$

- Greutatea daN/m²
- Săgeata $f_{\text{tot}}^{\text{max}}$ (cm)
- f_{z+v}^{max} (cm)

Tabel 2.9 Cadru in consola plana - conditii de rezistenta

I \ par	CONSOLA		STILP		Consum		f	I
	I total	spec.	I total	spec.	I total	spec.		
I 10	74904	65.5	42971	37.69	117675	103.19	37.4	75
I 12	64663	58.7	32921	28.9	97987	87.6	37.8	74
I 14	62320	54.6	29667	26.	91987	80.65	37.6	73
I 16	680882	59.7	23836	20.91	91918	80.61	38.	76

Tabel 2.10 Cadru in consola plana - conditii de sageata

2.3 Stabilirea solutiei optime.

2.3.1 Topologia structurii optime.

Structurile analizate s-a considerat ca fiind alcatuite dintr-un cadru cu zabrele plan, in consola, cu lungimea consolei (adincimea) de 76m., si inaltimea libera la nivelul portii de 23m. Consola are inaltimea variabila, cu valoarea de 5m. la extremitatea din dreptul portii si H variabil intre 10 si 16m. in dreptul incastrarii cu stilpul. Stilpul este alcatuit de asemenea ca o structura plana cu zabrele, avind baza de 15m. Solutia optima este data de structura cu inaltimea nivelului de incastrare cu stilpul cu $H = 14m.$

2.3.2 Forma si dimensionarea structurii in consola cu zabrele optime.

1 - **Alegerea sistemelor cu zabrele** s-a facut tinind seama de urmatoarele cerinte [MC80]:

- forma consolei s-a ales astfel incit sa satisfaca cit mai bine scopul functional si sa fie in concordanta cu variatia digramei de moment. De asemenea, la stabilirea formei sistemului cu zabrele, s-a tinut seama de posibilitatile de simplificare a executiei si montajului.
- sistemul zabrelelor s-a urmarit sa respecte urma-

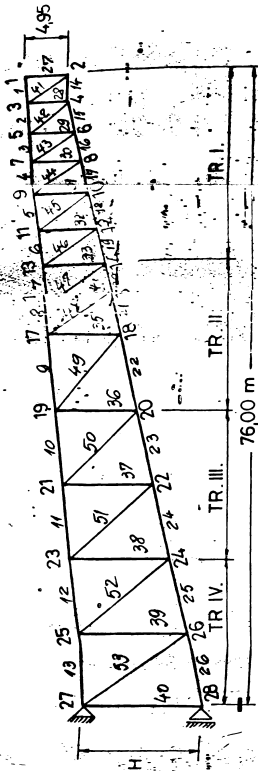


FIG. 2.8.
SCHEMA DE CALCUL SI TABEL
CENTRALIZATOR PTR. DIMENSIONAREA
CONSOLA PLANĂ
-CONDITII DE REZISTENȚĂ-

H (m)	ELEMENT	TRONSON IV				TRONSON III				TRONSON II				TRONSON I				TOTAL CONSOLA						
		BARA	N _{max} (daN)	A (cm ²)	Z (cm)	G (Kg)	BARA	N _{max} (daN)	A (cm ²)	Z (cm)	G (Kg)	BARA	N _{max} (daN)	A (cm ²)	Z (cm)	G (Kg)	BARA	N _{max} (daN)	A (cm ²)	Z (cm)	G (Kg)	TOTAL (Kg)	f _{max} (cm)	
1																								
10	TS	13	817.189	116	1.237	4199	11	583.772	210	1698	2800	5	316.2	116	1698	1546	6	150.612	86	2543	1146			
	TI	25	914.840	401	1.116	5482	24	753.149	286	1716	3987	22	422	171	1716	2303	19	198.361	105	2862	2111	7913	39666	348
	D	53	245.255	111	1.1	2068	51	204.774	77	2185	1320	49	78.822	65	2888	1269	46	766.54	45	3818	1349			
	M	39	109.200	183	1.17	2935	38	176.726	131	1882	1936	36	127.302	122	2076	1988	33	932.966	113	3728	3307			
12	TS	13	757.831	39	1.038	3788	11	502.710	173	1638	2905	9	280.006	96	1688	1279	6	1384.73	86	2543	1146			
	TI	25	767.504	313	1.15	4509	24	638.201	241	1725	3250	22	394.900	151	1729	2045	19	1344.2	105	2373	2120	8294	37239	327
	D	53	204.002	177	1.07	1802	51	192.947	62	2344	1141	49	140.317	106	2646	1163	46	697.67	45	3910	1381			
	M	39	183.856	195	1.35	3574	38	166.380	141	1957	2174	36	129.840	125	2338	2294	33	891.38	119	3904	3647			
14	TS	13	652.397	221	1.08	2945	11	445.712	151	1638	2013	9	253.182	87	1688	1160	6	128.430	86	2543	1146			
	TI	25	664.352	288	1.13	3922	24	557.437	208	1738	2833	22	388.245	132	1735	1798	19	167.202	105	2380	2132	8569	36663	321
	D	53	184.170	176	1.04	1621	51	154.808	55	2638	1139	48	243.765	48	2809	1058	46	64.560	45	4008	1415			
	M	39	175.200	213	1.08	4285	38	168.489	150	2284	2654	36	124.243	131	2888	2668	33	892.34	121	4081	3876			
16	TS	13	539.506	201	1.09	2759	11	414.748	140	1688	1866	9	239.046	81	1638	1080	6	125.242	86	2543	1146			
	TI	25	614.108	265	1.140	4632	24	518.429	186	1746	2686	22	333.381	128	1746	1754	19	162.695	105	2600	2143	8913	38663	339
	D	53	180.014	173	1.05	1545	51	149.789	51	2680	1077	49	120.073	45	2977	1052	46	63.590	45	4101	1449			
	M	39	177.105	191	1.11	3126	38	160.685	162	2529	3216	36	124.470	142	2888	3184	33	86.377	125	4255	4175			

o sageata cit mai mica. S-a urmarit de altfel sa se asigure si posibilitatea ulterioara de intretinere si vopsire cit mai simpla;

- s-a tinut seama de prinderea barelor in noduri astfel ca ele sa fie cit se poate de robuste si simple pentru eventualele demontari;
- tinind seama de deschiderea foarte mare a consolei si de faptul ca inaltimea este de asemenea foarte mare, consolele nu se pot asambla in uzina. De aceea ele s-au conceput din bare independente care se pot imbina pe santier.

3 - Alegerea elementelor componente ale sectiunii

Dupa alegerea formei sectiunii transversale au fost stabilite dimensiunile principale ale sectiunilor transversale ale barelor, ca si ariile necesare, in functie de solicitarile axiale maxime, si lungimile de flambaj. La alegerea sectiunii barelor consolei cu zabrele s-a tinut seama de urmatoorii factori:

- avind in vedere variatia eforturilor, forma consolei ca si deschiderea foarte mare (de 76m.), talpile au fost alcatuite cu sectiune variabila. Consola s-a impartit prin urmare in 5 tronsoane, care s-au dimensionat la eforturile maxime corespunzatoare fiecarui tronson;
- pentru talpile consolei s-a adoptat o sectiune de baza, a carui dimensiune exterioara s-a pastrat pe toata lungimea de 76 metri. Adaptarea la cresterea eforturilor axiale s-a facut prin ingrosarea de la un tronson la altul a grosimii platbandelor componente;
- stilpul s-a alcatuit in principiu din acelasi sectiuni ca si si barele consolei. In cazul barelor cu eforturi foarte mari s-au folosit sectiuni chesonate, iar in cazul celor cu eforturi mai mici s-au utilizat sectiuni dublu T sudate, ca sa nu se sporeasca gama tipurilor de sectiuni.

2.4 Structuri in cadre cu consola spatiaala.

Pe acelasi principiu (fig. 2.17) pot fi alcatuite console spatiale, compuse din trei sau patru grinzi cu zabrele plane,

I Inaltimea consolei = 10 m. I								
Tr	EI	Bara	Nmax	Aria	L.	G	G total	g
			[daN]	[cm ²]	[cm]	[Kg]	tronso	[Kg/m ²]
							[Kg]	
	TS	96	179201	105	2543	2096		
	TI	83	-117889	83	5130	3342		
I	MV	178	-40411	60	5946	2800		
	DV	204	44523	25	7466	1465	12255	10.75
	MO	124	6.9	38	2650	791		
	DO	150	1.1	38	5904	1761		
	TS	93	364797	142	1698	1893		
	TI	80	-257655	134	3440	3619		
II	MV	175	-53469	70	4042	2221		
	DV	201	90501	38	5108	1524	11789	10.34
	MO	121	-6448	55	1812	782		
	DO	147	1.6	55	4052	1750		
	TS	91	664321	228	1698	3040		
	TI	78	-417625	228	3440	6157		
III	MV	173	-76964	135	3344	3544		
	DV	199	110924	55	4550	1965	17486	15.33
	MO	119	-6327	65	1640	837		
	DO	145	1.5	65	3808	1953		
	TS	90	826062	312	1698	4159		
	TI	77	-502082	260	3440	7021		
IV	MV	170	204070	98	3994	3070		
	DV	184	-257296	253	5000	9930	27636	24.24
	MU	103	136052	75	1928	135		
	DO	130	-589	75	3942	2321		
TOTAL consum de material pentru consola							69165	60.67
TOTAL consum de material pentru stlp							44762	39.27
TOTAL consum de material pentru cadru							113929	99.94
SAGEATA maxima nod 73 = 115 cm								

Tabel 2.11 Rezultatele dimensionarii cadrului in consola spatiala.

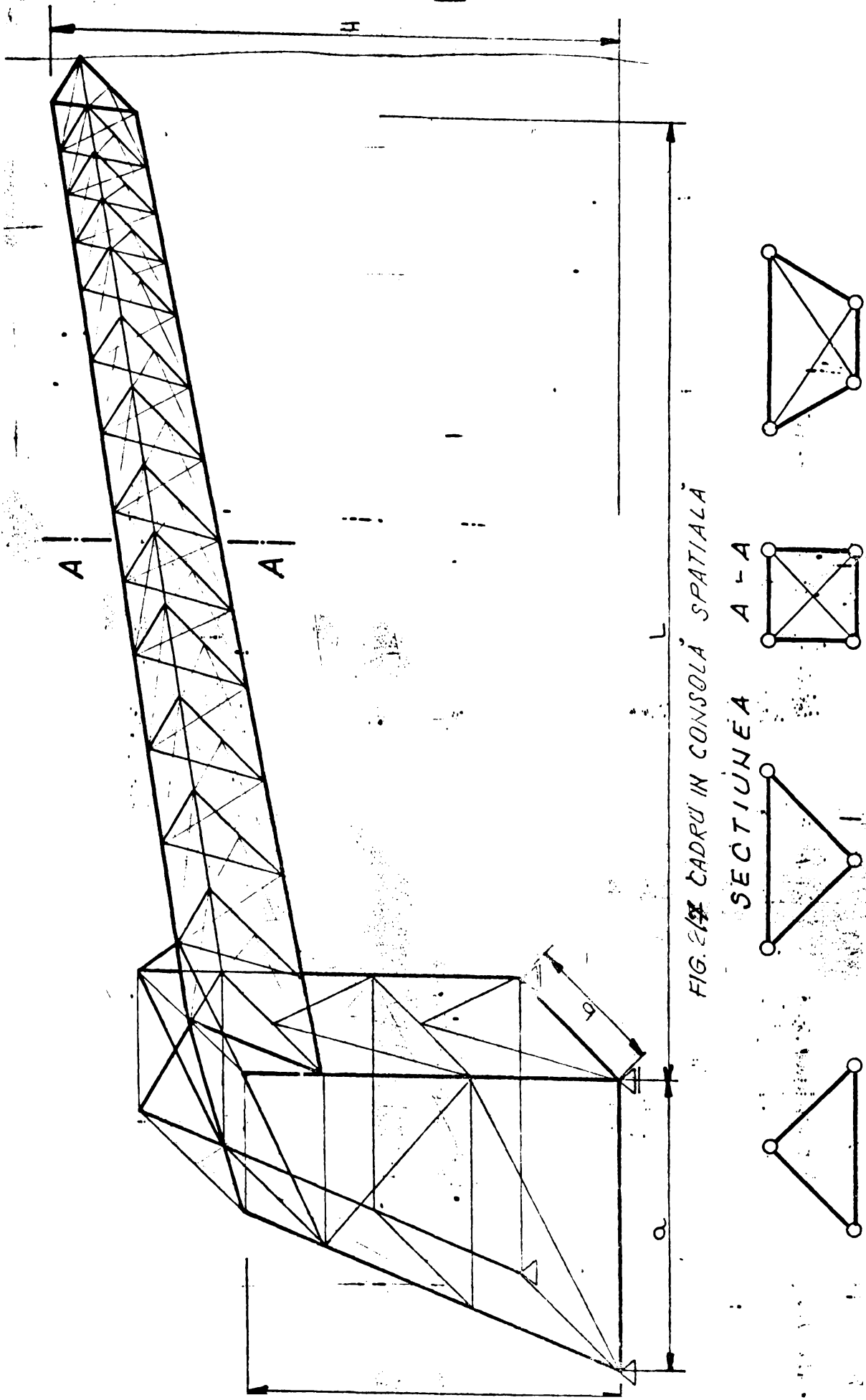


FIG. 2/97 CADRU IN CONSOLA SPATIALA

FIG. 5 10

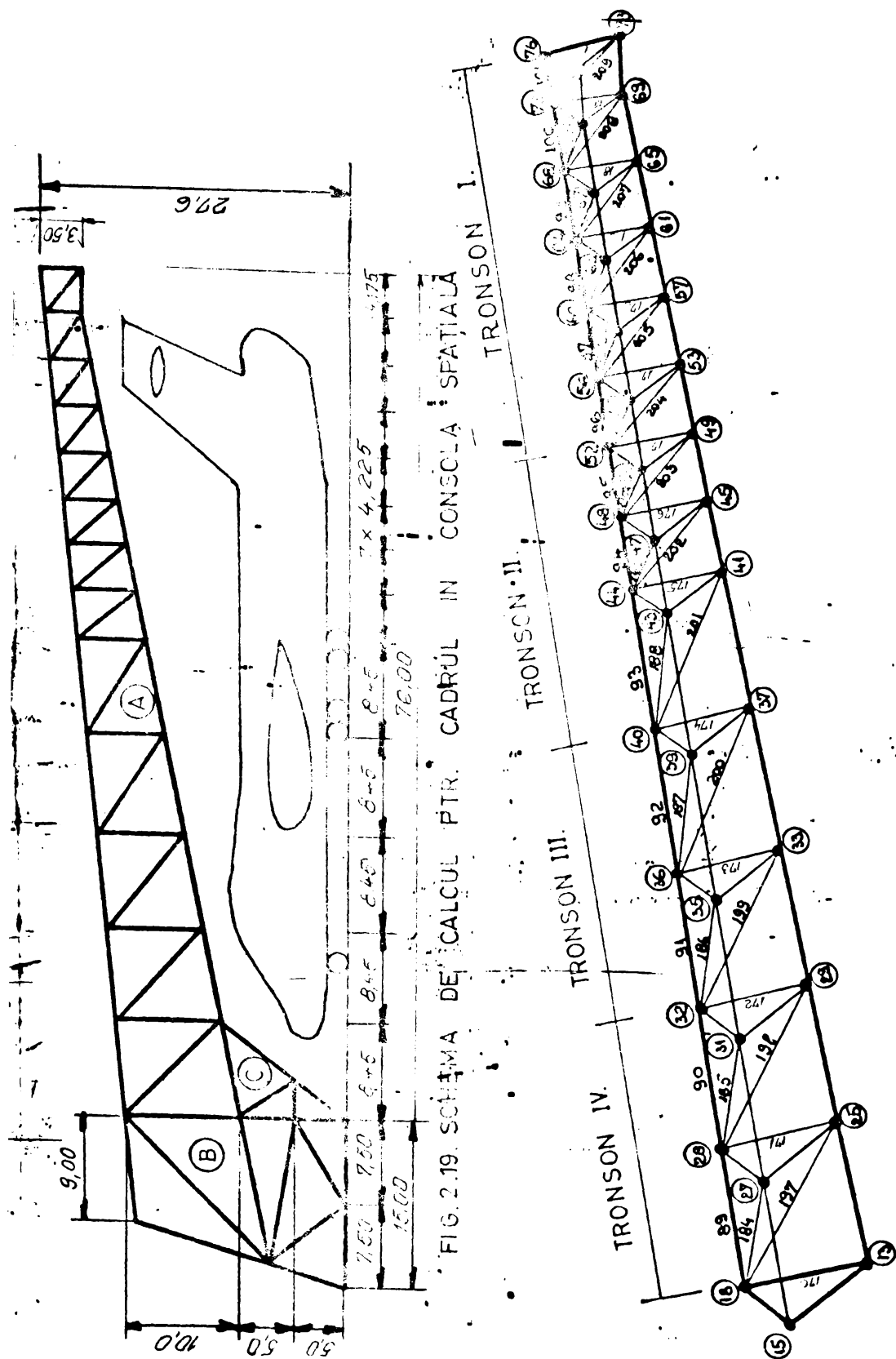
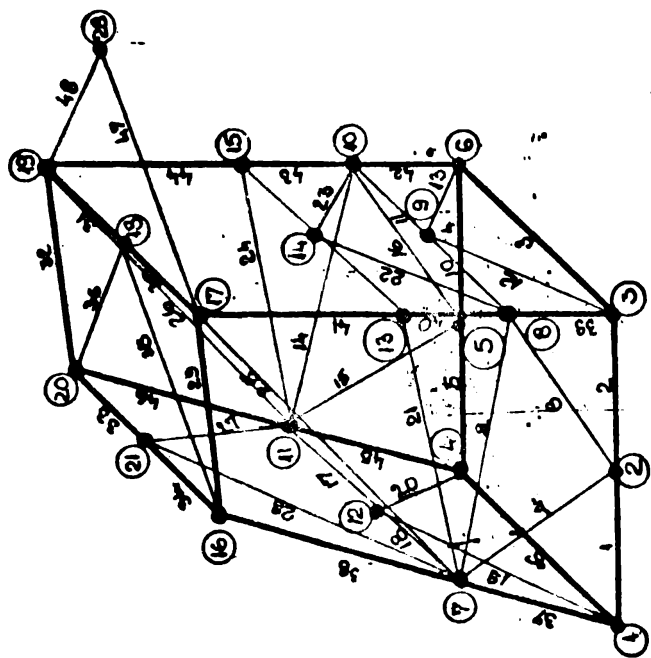
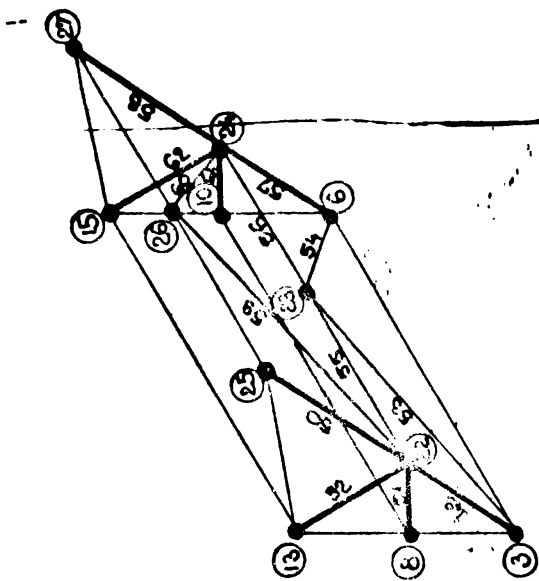


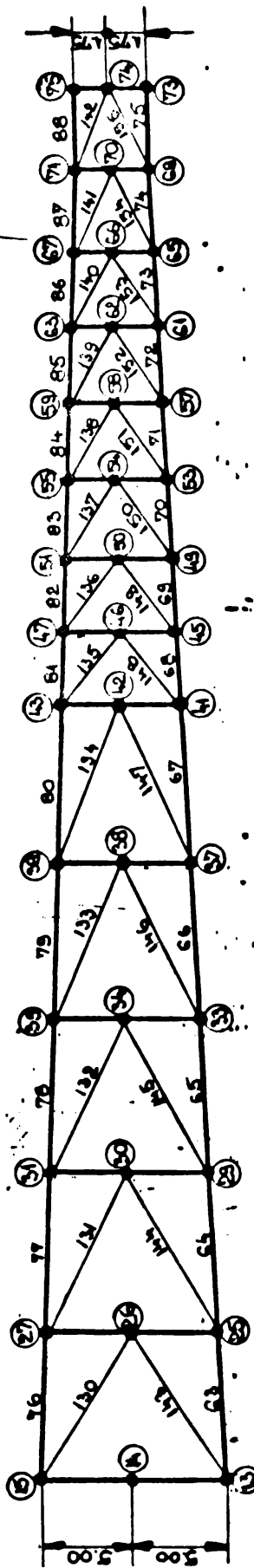
FIG. 2.19. SCHEMA DE CALCUL PTR. CADRUL IN CONSOLA SPAȚIALĂ

CONSOLA SPAȚIALĂ „A”



CONTRAFIȘE "C"

STILPUL CADRULUI SPATIAL "B"



TAIPA INFERIOARA: A, CONSOLA SPATIALA "A"

avind cîte o talpa comuna si putind fi realizate cu sectiuni transversale triunghiulare, dreptunghiulare sau trapezoidale (fig. 2.18).

Consolele spatiale au avantaj fata de cele plane prin faptul ca conduc la micșorarea înalțimii consolei, respectiv micșoreaza lungimea de flambaj a talpilor inferioare comprimate. Deasemenea prezinta avantajul unui volum construit mai redus, deci conduc la cheltueli mai mici de incalzire in contextul unei iluminari naturale corespunzatoare. Soluția prezinta inșă dezavantajul aglomerării zapezii, datorita faptului ca rezemarea panelor se face la talpa inferioara a consolei.

Consola spatiaala aleasa pentru un studiu mai detaliat s-a obtinut din concluziile rezultate in urma discutarii rezultatelor obtinute din calculele de dimensionare a cadrelor plane. Astfel înalțimea consolei spatiale s-a ales cu valoarea de 0.7 din înalțime consolei optime.

In continuare, dupa stabilirea înalțimii la nivelul de incastrare cu stîlpul s-a procedat la concentrarea fortelor date din invelitoare si pane in nodurile talpi inferioare a consolei, iar incarcările date de greutățile proprii s-au concentrat in nodurile talpi superioare. S-a procedat astfel, in scopul asigurării unei incarcări uniforme pe întreaga structura.

Rezolvarea structurii in scopul determinării eforturilor in barele componente ale cadrului spatial si a sagetilor in nodurile aceluiași cadru, s-a efectuat cu ajutorul unui program de calcul a structurilor spatiale care este prezentat in cap. 5. Pentru simplificarea urmăririi rezultatelor obtinute, cadrul cu consola spatiaala este reprezentat pe subansambluri in fig 2.19A, B, C (unde: A - reprezinta consola cadrului, B - reprezinta stîlpul cadrului iar C - reprezinta contrafisa). In urma analizei rezultatelor calculelor care sînt prezentate in tabelul 2.12, se observa o repartitie similara a eforturilor cu cea prezenta in cadrele in consola plana.

Bara	Efort	Aria	L.	G.	Bara	Efort	Aria	L.	G.
	[daN]	[cm ²]	[cm]	[Kg]		[daN]	[cm ²]	[cm]	[Kg]
1(5)	-155726	158	1500	1861	2(4)	-226412	211	1500	2484

3	0	65	1000	510	6	0	65	1000	510
7(15)	-39337	65	1756	1141	8(16)	61980	65	1802	919
9(14)	-113086	167	2400	3146	10(11)	-414	65	1000	510
12(13)	-586	65	1414	721	17(18)	-124	65	1000	510
19(20)	-241	65	1940	990	21(24)	40047	175	2400	3297
22(23)	-586	65	1414	721	25(26)	476684	175	3400	4671
27(28)	-324	65	2616	1335	29(32)	-58467	65	1620	827
30(31)	-160348	148	1000	1162	33(34)	-33243	65	1000	510
35(36)	63511	65	2760	1408	37(45)	420992	148	1666	1936
38(46)	-7093	112	2418	2125	39(42)	-246758	175	1000	1374
40(43)	-187685	165	1000	1295	41(44)	-316204	211	2000	3313
47(48)	316039	125	1970	1933	49(57)	-380918	175	1240	1703
50(58)	-431879	211	1620	2683	51(61)	-58424	65	740	378
52(62)	51888	65	1240	633	53(54)	-462	65	1593	813
55(56)	19439	65	1000	510	59(60)	-554	65	1380	704

 | TOTAL greutate stilp G [Kg] = 44764

| GREUTATE specifica g [Kg/m²]= 39.27
 =====

Tabel 2.12 Rezultatele dimensionari stilpului
 cadrului spatial.

In acelasi timp se observa existenta unei deosebiri in ceea ce priveste repartitia eforturilor in talpa inferioara a grinzi spatiale. Astfel, repartitia eforturilor in diagonalele, respectiv in montantii din aceasta talpa au valori foarte mici, ceea ce a condus la o dimensionare din conditii de stabilitate care a impus o crestere a consumului de material ce reprezinta in acest caz aproximativ 17% din consumul total al consolei. Similar, in stilp si contrafisa exista aproximativ 16% bare care nu sint incarcate fapt care a impus efectuarea unei dimensionari numai din conditii de stabilitate.

Consumul total la aceasta structura dimensionata din conditii de rezistenta si stabilitate a rezultat destul de mare, reprezentind cu 43% mai mult decit consumul din cazul cadrelor in consola plane. Dimensionarea acestui cadru in consola spatiaa s-a efectuat similar ca si in cazul cadrelor plane (etapele de dimensionare s-au discutat anterior).

2.5 Structuri in cadre cu console pretensionate.

Un criteriu de reducere a consumului de material, a greutatii proprii si in special a sagetii pentru cadre in cosole, consta in folosirea pretensionarii [MN89]. Literatura de specialitate prezinta exemple de acest tip [Ro60], ca cel utilizat de exemplu la acoperirea hangarului din O'Hare - Chicago fig. 2.20. Acesta este realizat cu ferme cu zabrele, consola avind 42 metri. Pretensionarea talpii superioare este executata cu 3 X 2 tiranti, cu diametrul de 28.6 mm. Efortul initial de intindere este de 27215 Kg., iar dupa actiunea incarcarii, efortul de intindere creste la 36287 Kg. Prin pretensionare, se obtine o reducere importanta a eforturilor in grinda in consola cu zabrele., astfel de exemplu efortul axial din talpa superioara ($U_1 - U_2$) se reduce de la 475360 Kg cu 6 X 32290 Kg, adica devine 257640 Kg.

In continuare, pentru structura in cadru plan optim, cu inaltimea consolei stabilite anterior ($H=14$ m) la nivelul de incastrare cu stilpul s-a efectuat un studiu si in varianta pretensionata. Pretensionarea s-a efectuat in trei etape (vezi fig.2.21):

- in prima, tirantul s-a introdus intre nodurile 7 si 31 cu valoarea 137000 daN;
- in a doua, tirantul s-a introdus intre nodurile 13 si 31 cu valoarea 110000 daN;
- in a treia, tirantul s-a introdus intre nodurile 13 si 31 cu valoarea 110000 daN.

Din analiza rezultatelor in urma calculelor prezentate in fig.2.21, s-a obtinut o reducere a eforturilor si a consumului de material de peste 50 % fata de cazul cadrelor plane nepretensionate. De exemplu, eforturile in talpa superioara cuprinse intre nodurile 9 si 22 s-au redus cu 53 % in comparatie cu varianta nepretensionata din fig.2.14 (inaltimea consolei la incastrare cu stilpul este de 14 m). Consumul de otel este de $34,3 \text{ kg/m}^2$ fata de $80,65 \text{ kg/m}^2$ dupa cum se poate vedea in tabelul 2.10. Trebuie de remarcat ca cablurile de pretensionare sint de tip BBRV. Detaliile tehnologice de executie si montaj sint prezentate in MJ 89 .

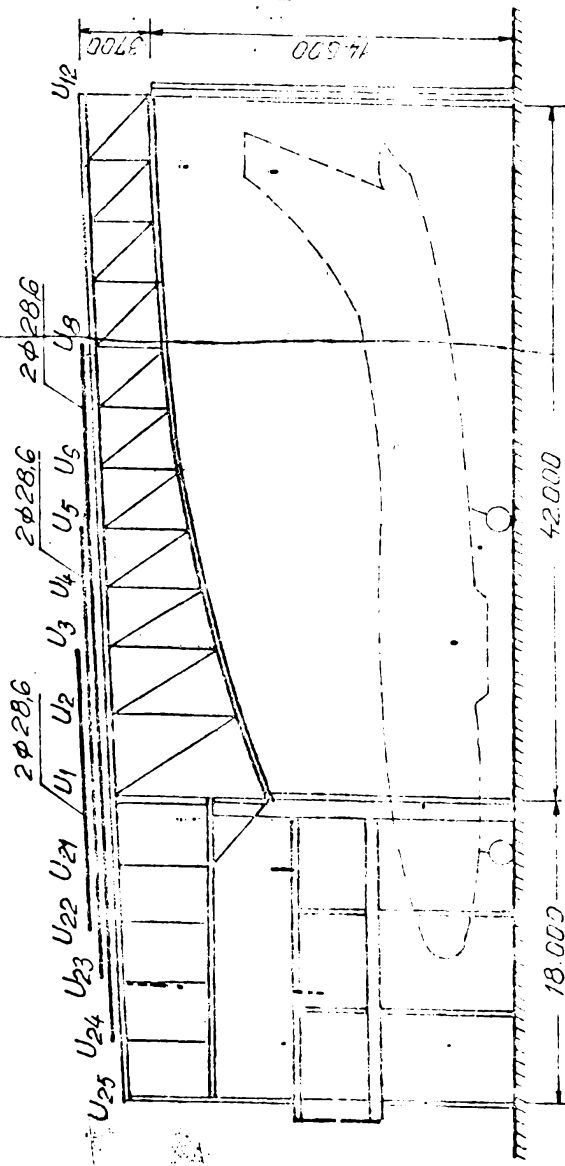


FIG. 2. 20 HANGAR CHICAGO (U.S.A.)

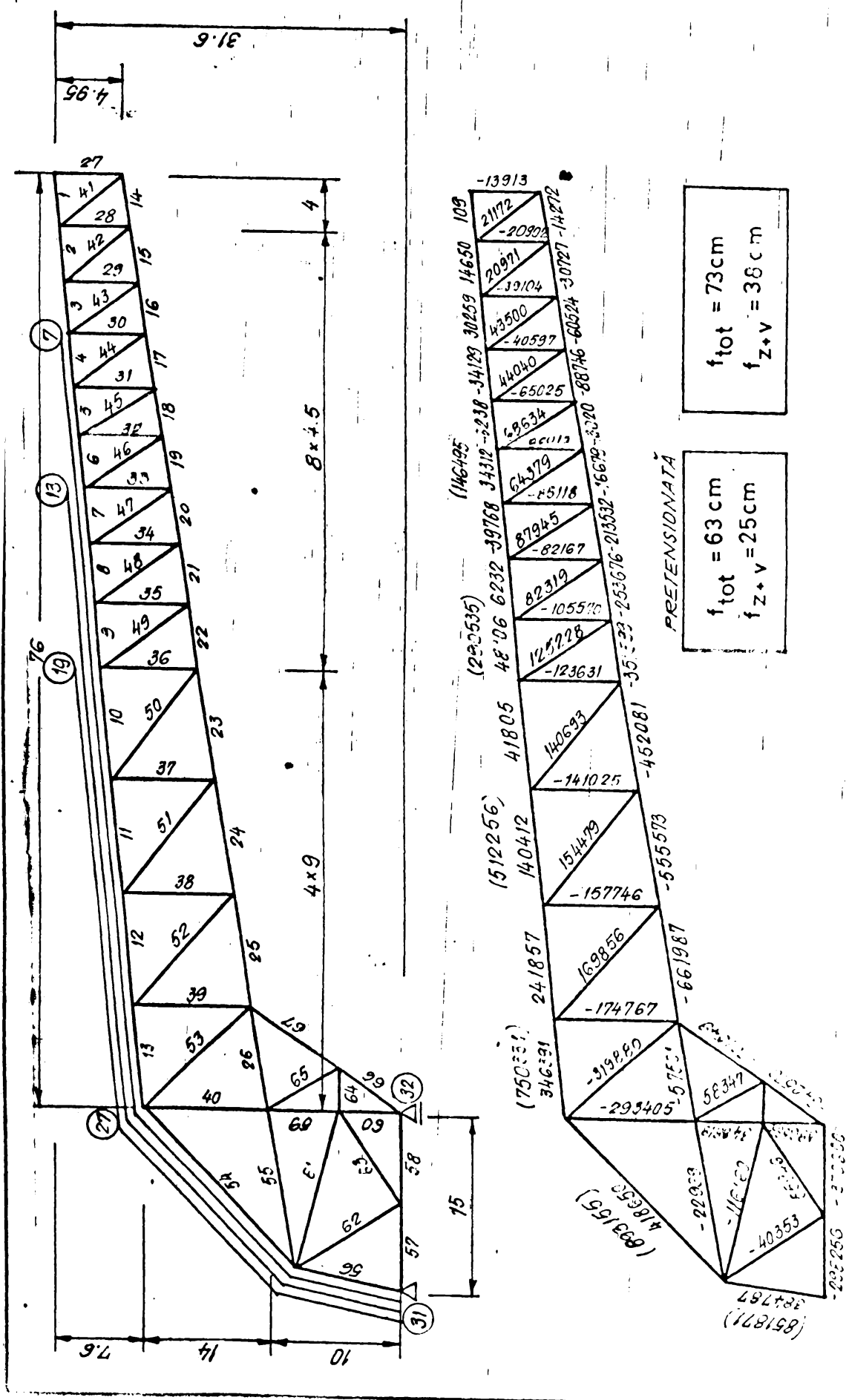


FIG. 2.21. CADRU PLAN N CONSOLA CU ZĂBRELE PRETENSIONAT

3. STRUCTURI SUSPENDATE

3.1 Introducere.

Cresterea dimensiunilor hangarelor a impus gasirea unor solutii constructive cit mai economice, solutii din care fac parte si structurile suspendate cu cabluri. Aceste structuri de diferite forme, prezinta unele avantaje fata de restul structurilor, avantaje evidentiate in [SM84]:

1 - elementele portante de baza, care acopera deschiderea hangarului, sint solicitate la intindere [Ja62], ceea ce conduce la folosirea completa a capacitatii portante a materialului. De asemenea, cablurile utilizate in constructiile suspendate au rezistente de doua pina la trei ori mai mari decit rezistentele otelului obisnuit de constructii [Mi83].

2 - usurinta si rapiditatea montajului sint marile avantaje ale acoperisurilor suspendate. La montajul lor, de cele mai multe ori nu sint necesare schele, iar viteza montajului este asigurata de usurinta asamblarii lor.

3 - elementele constructive ale acoperisurilor si anume: elementele de inchidere (invelitoarea), respectiv elementele portante (cablurile), nu prezinta greutatea la transport, fiind usor de manipulat.

4 - posibilitati mai mari de alcatuire a diferitelor forme de structuri pentru hangare.

5 - faptul ca grinda se suspenda in unul sau mai multe locuri conduce la reducerea simtitoare a momentelor inconvoietoare pe grinda, inasa are ca urmare o crestere semnificativa a deplasariilor.

6 - la deschideri mai mari de 70 m., indicele de consum redus al structurilor suspendate face ca acestea sa fie mai avantajoase decit structurile din arce [DJ88].

Alaturi de aceste avantaje ale acoperisurilor suspendate pe cabluri exista si o serie de dezavantaje si anume :

1 - deformabilitatea mare, datorita variatiilor de temperatura, ceea ce impune la proiectare un calcul de ordinul doi, tinind cont de forma deformata a structurii pe care se face calculul eforturilor. Pentru a elimina sau micsora deformatiile acestor sisteme, sint necesare masuri de

introducere în structura a unor eforturi initiale, de pretensionare, care să depășească valorile de destindere.

2 - necesitatea preluării forțelor transmise de acoperisul suspendat, care duce la amenajarea unor ancoraje de reazem speciale.

3 - necesitatea unor măsuri care să împiedece eventuala apariție a unor eforturi de compresiune care nu pot fi preluate de cabluri. Soluția care se utilizează în acest caz este de a încărca acoperisul cu încărcări permanente mari, astfel ca încărcările nesimetrice, respectiv dinamice, să nu aibă o influență prea mare asupra structurii și să nu producă destinderea cablurilor. Această măsură nu este însă recomandabilă nefiind economică prin faptul că duce la creșterea secțiunii cablurilor.

4 - deformabilitatea pronunțată impune realizarea învelitorii din materiale care să își păstreze elasticitatea în cazul apariției deplasărilor mari.

5 - dificultatea de evacuare a apelor meteorice la unele sisteme suspendate.

De remarcat faptul că experiența adusă de primele construcții suspendate a condus la apariția soluției pretensionate.

3.2 Alcatuirea structurii suspendate.

Variantele de alcatuire a sistemului static la structurile suspendate sînt deosebit de diverse, de aceea nu există un principiu unitar de stabilire a alcatuirii constructive a acestora. În literatura de specialitate se prezintă multe structuri de acest tip, ca de exemplu: hangarul de la Philadelphia (USA, fig. 3.1), în care consolele prezintă o ușoară formă de arc, pentru a lucra cît mai favorabil la efectul forței axiale și al momentelor înconvoietoare. Deoarece acest mod de realizare conduce la săgeți mari ca urmare a lungirii ancorelor, pentru a se asigura o bună funcționalitate a porților fără a le încărca suplimentar, între ele și ghidajul porții s-a interpus un element articulată prin care se obține o sporire a adîncimii hangarului.

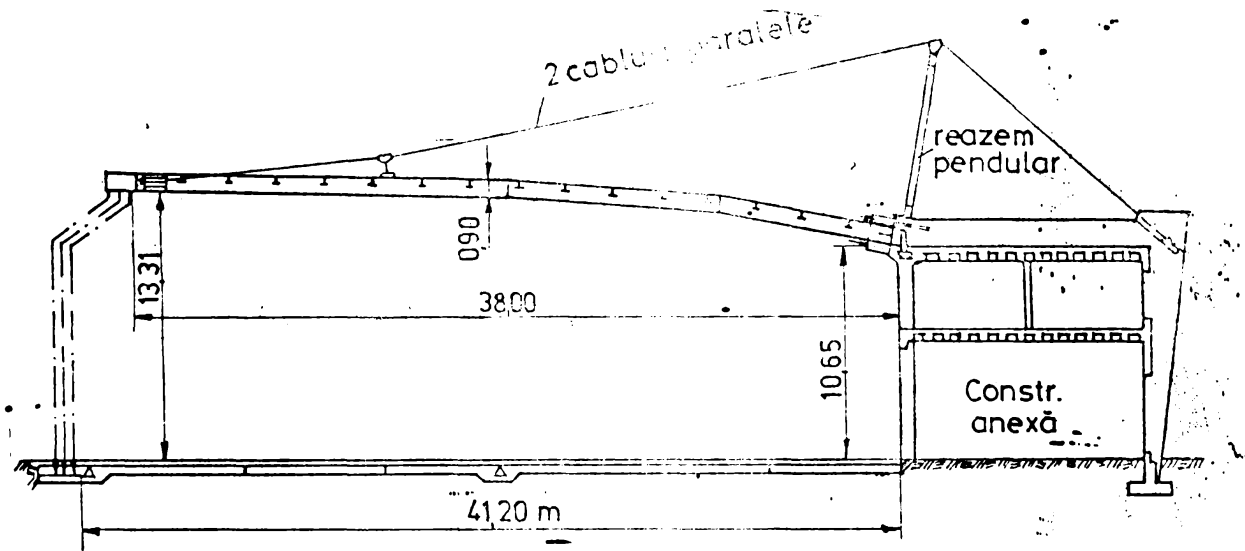


FIG. 3.1. HANGAR LA AEROPORTUL FILADELFIA S.U.A.

Un alt exemplu care s-a conceput astfel incit sa se asigure posibilitatea extinderii dupa toate cele trei directii este prezentat in fig. 3.2. Extinderea in lungul portii se poate face fara probleme prin adaugarea altor cadre la traveele existente, iar in adincime apare posibilitatea folosirii spatiilor din zonele constructiilor anexe. Aceasta solutie constructiva s-a utilizat la hangarele aeroportului din Openhaga.

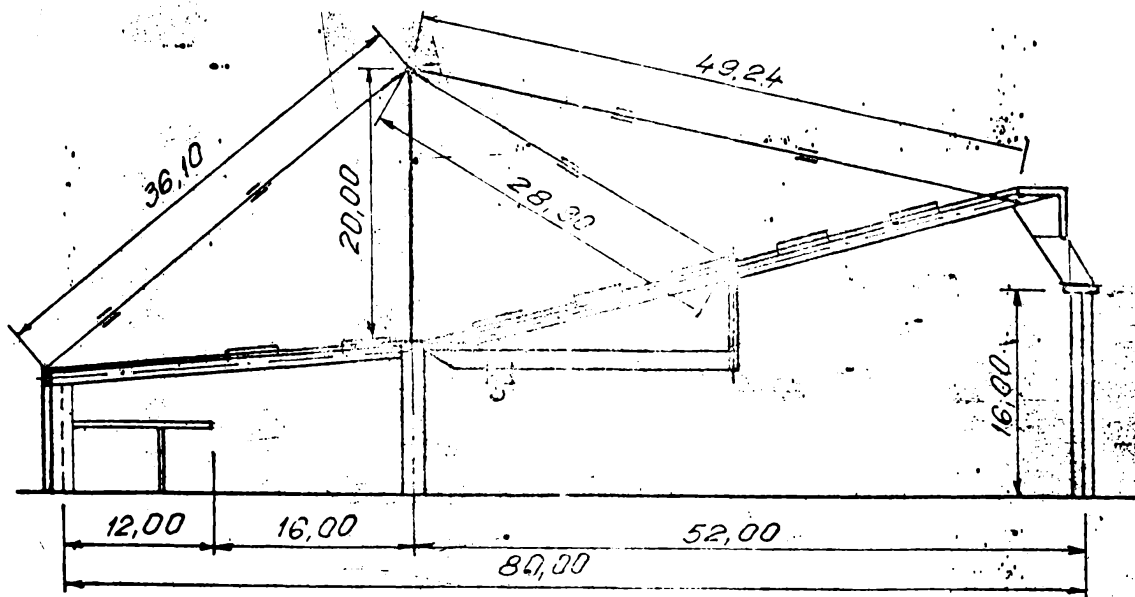


FIG. 3.2. HANGAR LA AEROPORTUL DIN KOPEŢHAGA

3.3 Noi solutii studiate.

O alta varianta structurala este reprezentata de solutia adoptata de prof. Kloppel la construirea hangarelor aeroportului din Munchen - RFG, fig. 3.3, care are grinda de sustinere a acoperisului incastrata in stilp.

Pe acelasi principiu am propus solutia prezentata in fig.3.4 a de cea utilizata de prof. Kloppel prin faptul

ca grinda este prinsa articulata in stilp, si stilpul, care este drept, este amplasat inclinat. O solutie mai interesanta in cadrul aceleiasi variante constructive este cea propusa de mine si prezentata in fig. 3.5, deoarece permite un acces mai simplu in hangar, deci se asigura o functionalitate pe contur mult mai ridicata decit in cazul unei incinte dreptunghiulare.

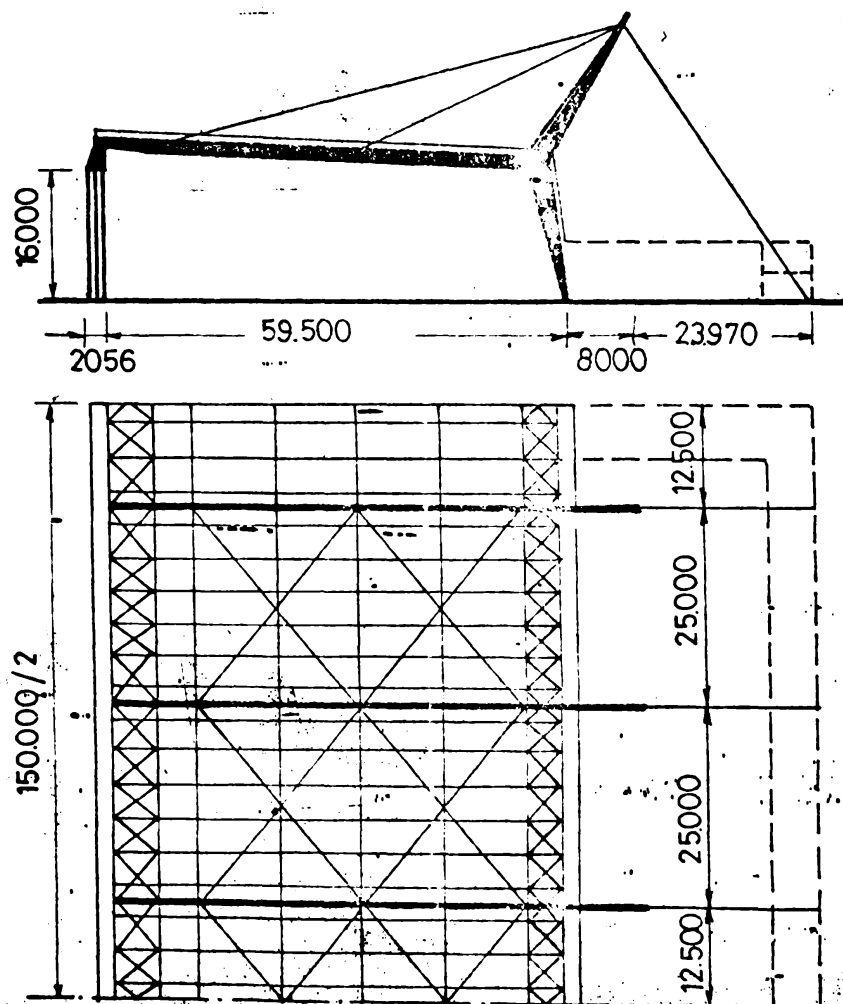


FIG. 3.3. HANGAR LA AEROPORTUL MÜNCHEN R.F.G.

Din variantele de alcătuire prezentate anterior, s-au ales pentru analiza soluțiile din fig.3.4 și fig.3.6 pentru

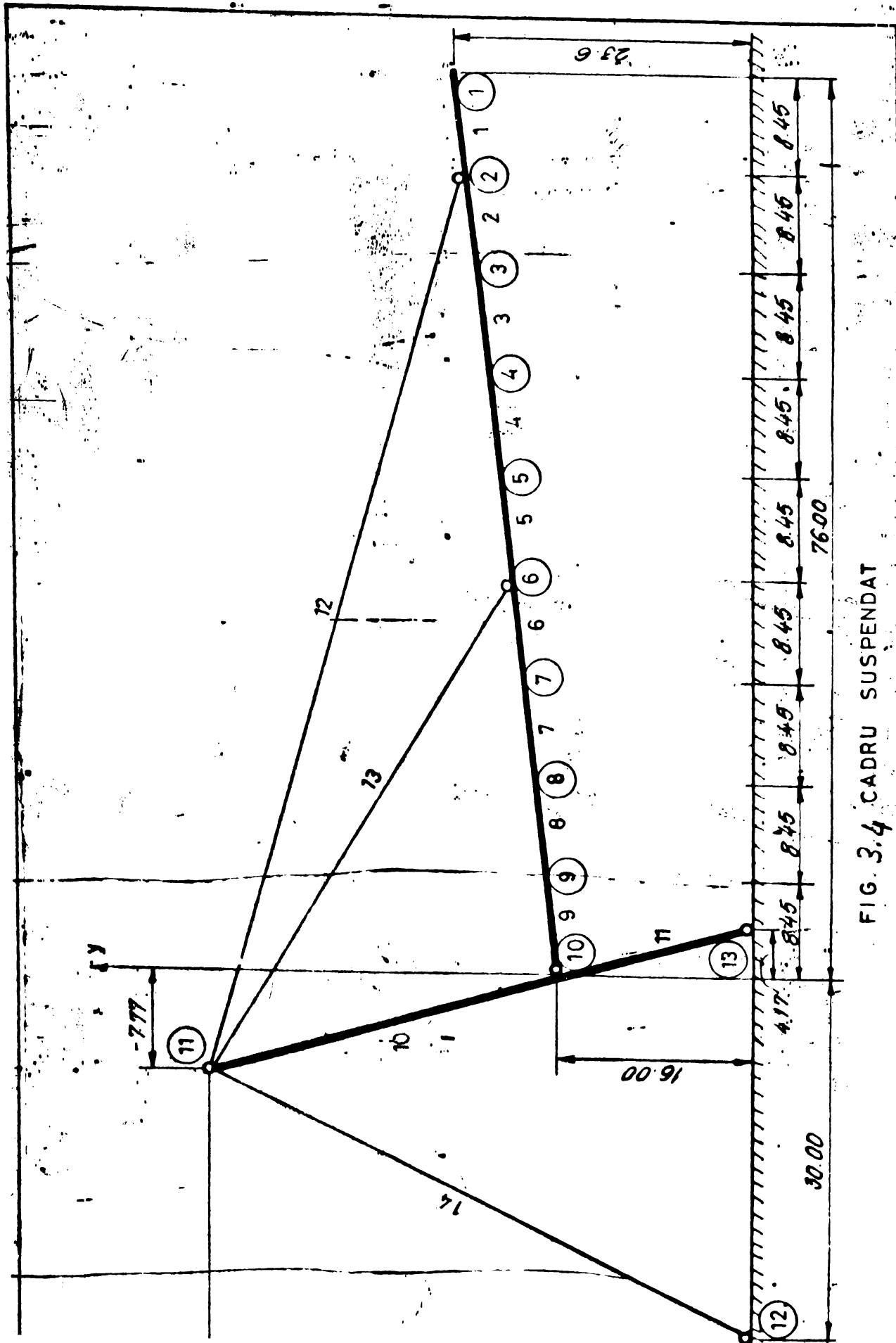
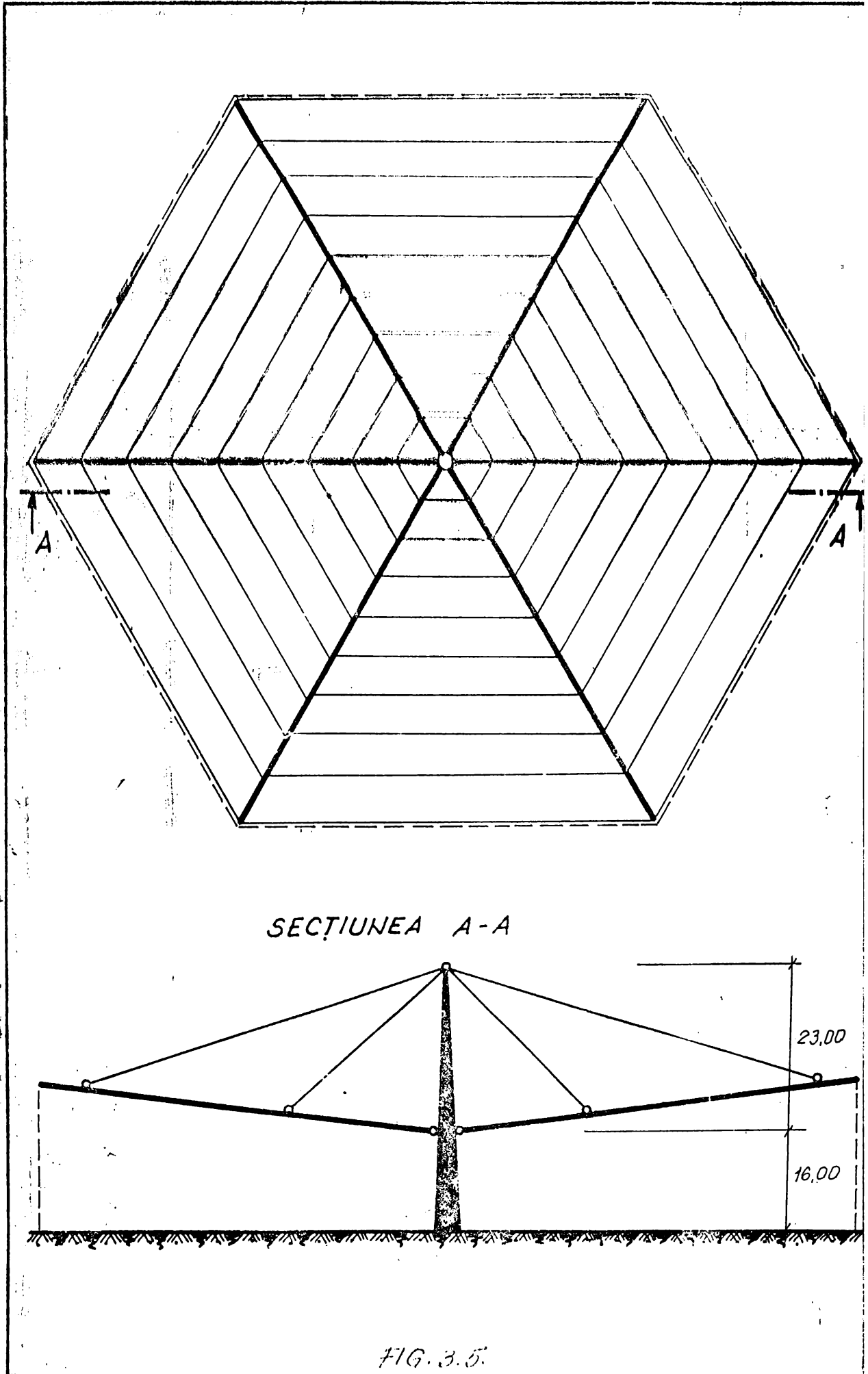


FIG. 3.4 CADRU SUSPENDAT



SECȚIUNEA A-A

FIG. 3.5.

urmatoarele motive:

- a) posibilitatea simpla de extindere ulterioara;
- b) asigurarea unei functionalitati mai simple;
- c) simplitatea de rezolvare a problemei portii;
- d) posibilitatea adapostirii unor avioane cu lungimi mai mari (prin intrarea nasului avionului intre stilpi);

Solutia din fig. 3.6 corespunde variantei din fig. 3.3, la care dimensiunile au fost amplificate la cele corespunzatoare variantei propuse in teza si reprezentata in fig. 3.4.

In continuare cele doua solutii din fig. 3.4 si 3.6 s-au studiat printr-un calcul simplu, ale carui rezultate sint prezentate in fig. 3.7 si 3.8. Din analiza lor s-a optat pentru solutia din fig. 3.4 pentru faptul ca repartitia eforturilor pe structura este mai avantajoasa.

Structura aleasa este alcatuita dintr-o grinda principala cu lungime de 76m. care este prinsa articulata de stilp, respectiv sustinuta cu cabluri in doua puncte. Stilpul este sustinut in partea opusa cu cabluri care sint prinse direct in teren (fig. 3.9).

La alegerea sistemului de baza al cadrului in consola suspendata s-a tinut seama de:

- Prinderea grinzii principale de stilp sa nu produca incovoiere in stilp. S-a realizat aceasta printr-un calcul comparativ, simplu, care a avut ca si rezultat adoptarea structurii din fig. 3.3, cu acelasi raport dimensional ca si cea din fig. 3.4. Ca urmare a rezultat structura din fig. 3.6. Cele doua variante de alcatuire (cea din fig. 3.4 si 3.6) au fost calculate in doua variante de prindere a riglei cadrului in stilp:

- 1) o prindere articulata;
- 2) o prindere rigida (incastrata).

Urmarind rezultatele obtinute, care sint prezentate in fig. 3.7 si 3.8, s-a ales solutia din fig. 3.4 cu prindere articulata, pentru faptul ca repartitia eforturilor pe structura este mai avantajoasa.

- S-a urmarit ca stilpul sa fie solicitat numai la compresiune. In acest scop s-a ales un unghi de inclinatia astfel ca acest unghi sa conduca la o rezultanta a eforturilor date de tiranti dirijata dupa axul stilpului.

- La stabilirea inaltimii stilpului s-a tinut seama de inclinatia tirantilor astfel incit efectul suspendarii sa fie

cit mai mare.

- La alegerea pozitiei de sustinere a tirantilor s-a urmarit ca solicitarile din dreptul reazemelor sa fie pe cit posibil egale cu cele din mijlocul distantei dintre reazeme.

- Datorita faptului ca alungirile cablurilor sint mari, ceea ce conduce implicit la o sageata mare, pentru a nu incarca poarta cu greutate suplimentare date de acoperis, s-a realizat o grinda de ghidare ca un element articulata cum este aratat in fig. 3.1.

3.4 Calculul cadrelor suspendate.

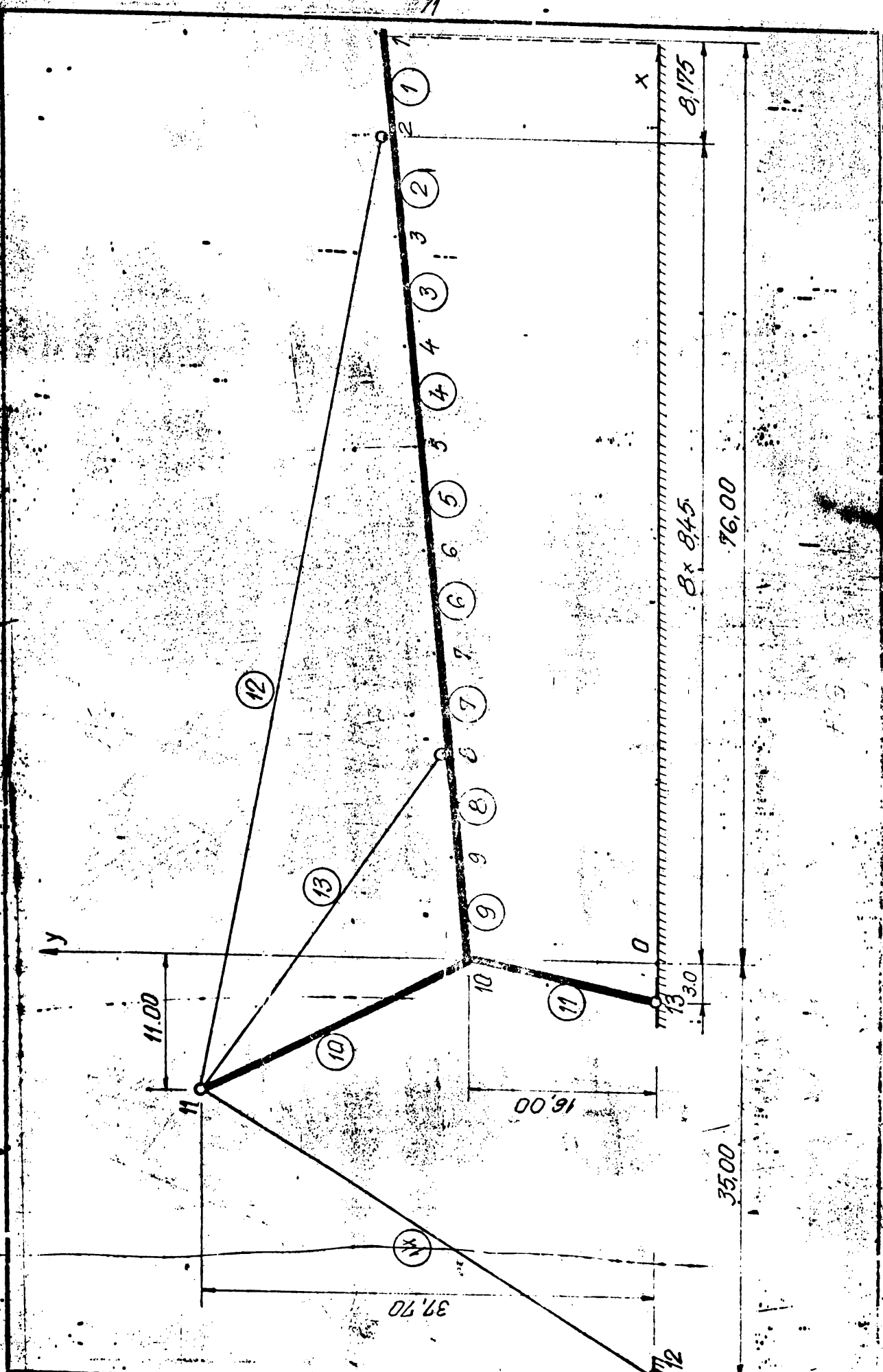
Dezvoltarea domeniului structurilor suspendate in ultimele doua decenii a dus la acumularea unui material relativ vast privind calculul unor structuri suspendate concrete. Odata cu aceasta au aparut si incercari de elaborare a unor metode de calcul generalizate, aplicabile la un grup mai mare sau mai mic de acoperisuri suspendate pe cabluri asemanator ca structura. Diversitatea ipotezelor si metodelor de calcul folosite in prezent face destul de dificila o trecere in revista a acestora pe baza unor criterii unitare [SM84]. La aceste tipuri de structuri alaturi de problemele legate de stabilirea formei initiale si de determinare a starii de eforturi si deplasari la incarcari statice si dinamice se impune studierea problemelor legate de verificarea sigurantei in functionare a structurii.

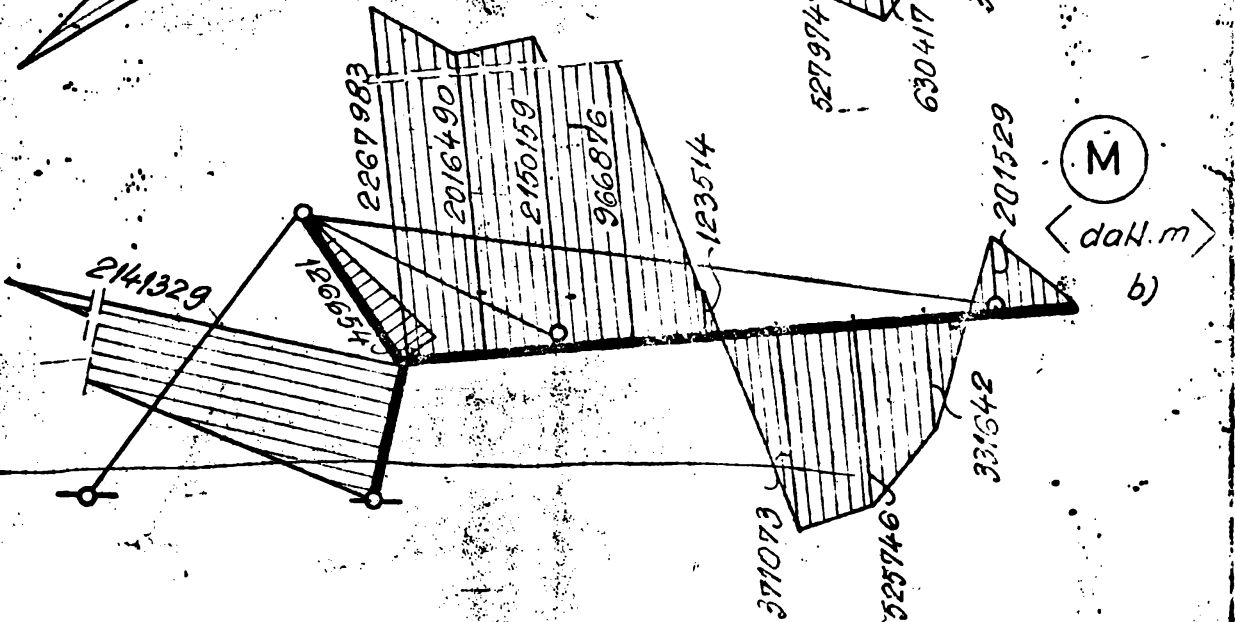
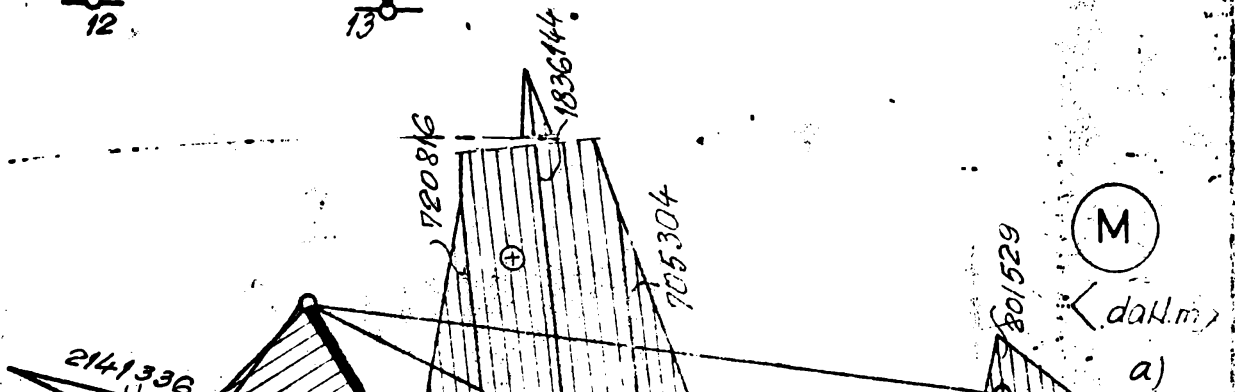
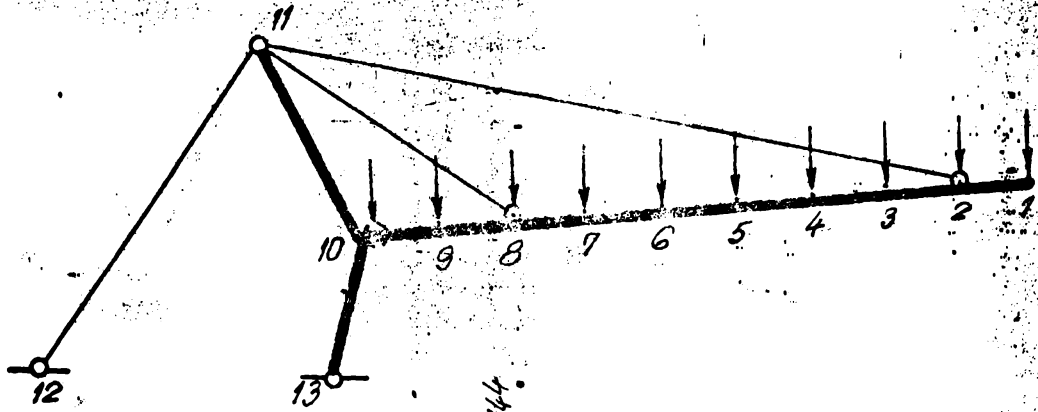
In general deplasari mari ale sistemelor suspendate impune calcul de ordinul doi [SM84], pe schema deformata a structurii, astfel ca relatia intre eforturi si deplasari este neliniara. Insa, spre deosebire de structurile cu arce sau cupole, la care neglijarea efectelor de ordinul doi este in defavoarea sigurantei sistemului, la structurile suspendate neglijarea neliniaritatii geometrice este acoperitoare.

Calculul de ordinul doi este necesar pentru a putea realiza elementele ce compun structura cu sectiuni mai reduse, corespunzatoare eforturilor reale, obtinute in urma calculului neliniar si pentru a verifica daca deplasari sint acceptabile pentru exploatare.

Metodele analitice nu se pot utiliza decit pentru sisteme suspendate simple: fir izolat, ferme din fire, unele retele ortogonale simple, etc.

Metodele numerice permit calculul automat al structurilor





F'3.3.1.

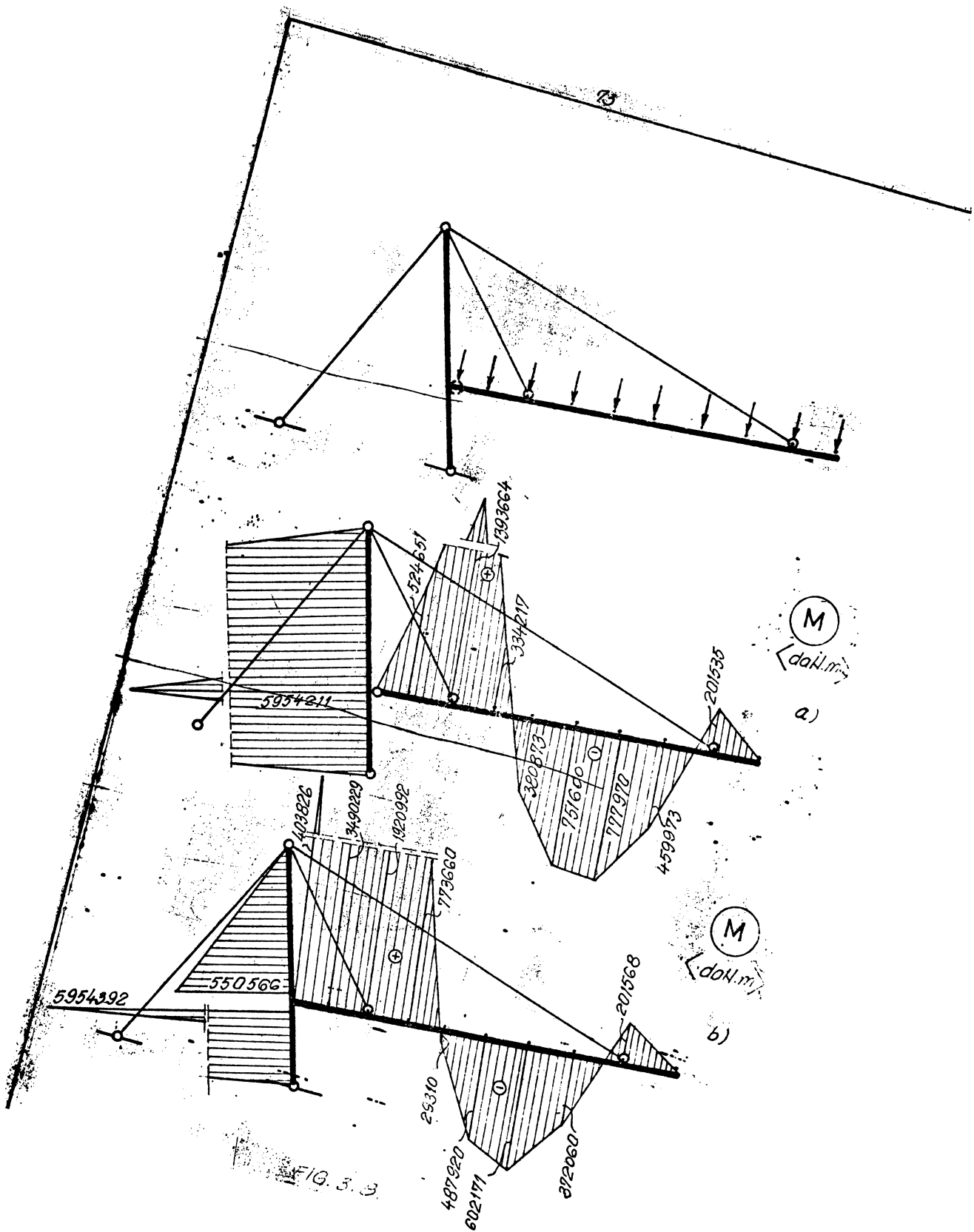


FIG. 3. 3

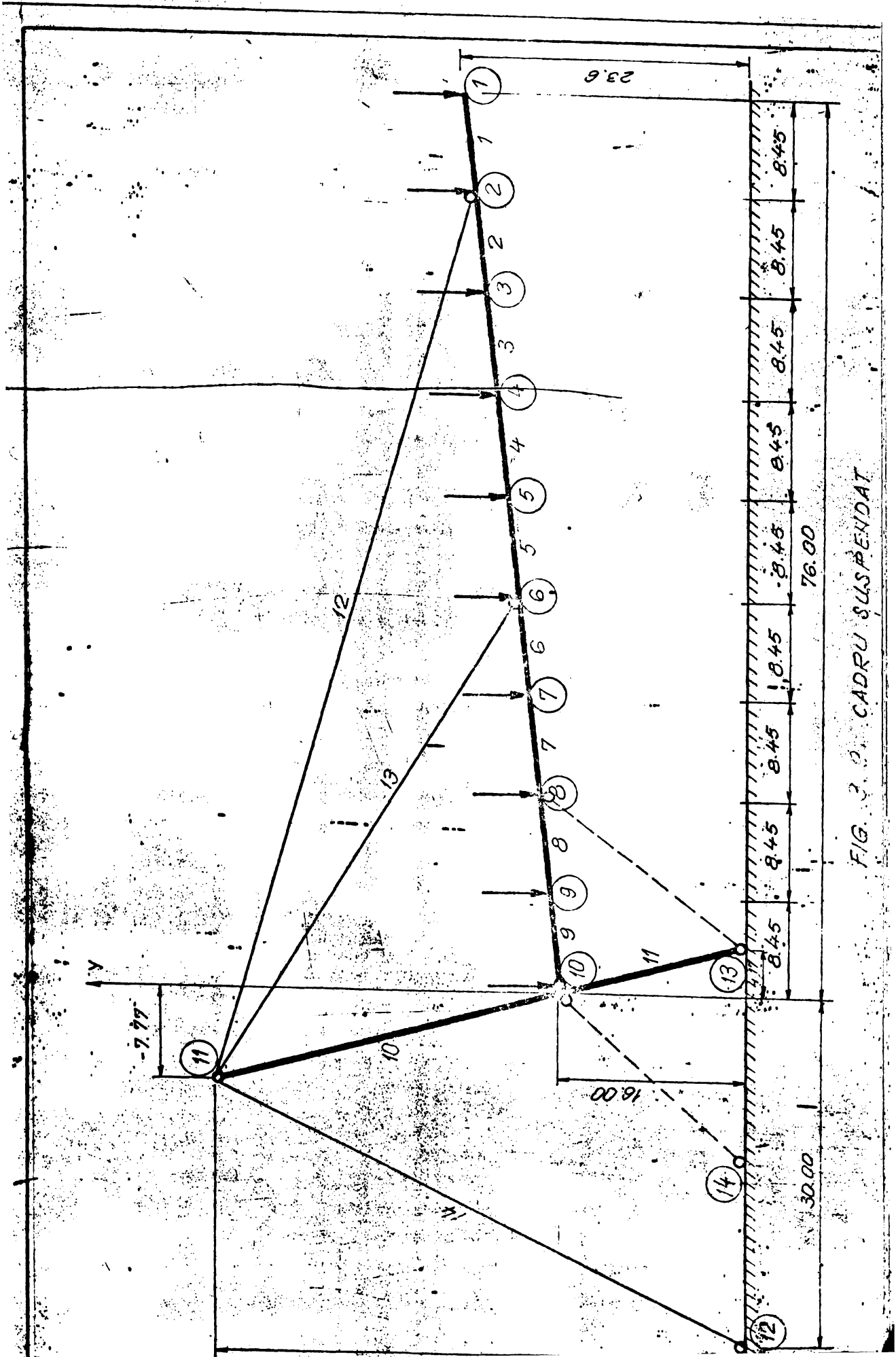


FIG. 3.9. CADRU SUSPENDAT

de orice configuratie geometrica a structurii cu ajutorul calculatoarelor.

Referitor la structurile care au fost tratate in cadrul acestui capitol s-a procedat la determinarea sagetilor respectiv a eforturilor in sistem sub actiunea diverselor incarcari statice cu ajutorul unui program de calcul care nu tine cont de deformarea structurii (calcul de ordinul intii). Programul este descris in capitolul 7. De remarcat ca toate variantele studiate au fost testate la aceleasi combinatii si ipoteze de incarcari.

Ipoteze: 1 - permanenta;

- a) actiunea din greutatea proprie, a fost apreciata printr-un calcul de predimensionare;
- b) incarcarea din invelitoare, s-a pastrat aceiasi, atat printru invelitoare, cit si pentru pane ca si cea prezentate in capitolul 2;

2 - utila;

- a) actiunea zapezii, s-a considerat ca si incarcare statica, concentrata in nodurile de rezemare a panelor;
- b) actiunea vintului, pentru care s-au utilizat cele doua variante de actiune a vintului prezentate in capitolul 2.

Dupa stabilirea structurii de echilibru a cadrului suspendat s-au ales pe grinda mai multe puncte, corespunzatoare punctelor de rezemare a panelor pentru a determina cit mai exact repartitia eforturilor, in lungul grinzii punctele sint asezate la o distanta de 8.45 m. una fata de alta, asa cum este aratat in fig. 3.9.

3.5 Stabilirea solutiei optime.

In continuare pentru a stabili solutia optima a cadrului suspendat, acesta s-a studiat in mai multe etape, care s-au referit la analiza pozitiei cablului, a contrafisei si a inaltimi stilpului; *pentru toate etapele de optimizare ce se vor urma vor introduce aceleasi caract. resist. geometrice (A, I) fictive. Deplas. punctelor sint fictive si au rol de comparatie. Deplasante scale 40/100*
pozitia cablului si a contrafisei

- in acest scop s-a studiat structura cu doua cabluri in mai multe pozitii de fixare pe grinda, cum se arata in fig. 3.10, 3.11, 3.12 si 3.13. Dintr-o prima analiza a

in fig. pe structurile din succesorate / in talocile 3.1 si 3.2

- celor 4 tipuri de structuri studiate, rezulta ca cea mai avantajoasa este cea corespunzatoare lui figurii 3.11.
- s-au introdus contrafise in interiorul cadrului si in acelasi timp s-a schimbat si pozitia cablurilor dupa cum se arata in fig.3.14 cu pozitia cablurilor in punctul 2 si in punctul 6), respectiv contrafise intre punctele 9 si 13. Se remarca ca contrafisele sint prinse articulat in noduri. In fig 3.15 cablurile sint prinse in punctele 2 si 6, iar contrafisele sint prinse intre nodurile 8 si 13. Pe acelasi principiu s-a tratat cadrul din fig. 3.16 unde cablurile sint prinse in nodurile din punctul 2 si
 - de remarcat faptul ca prin introducerea acestor contrafise spre interiorul cadrului s-a obtinut o reducere a momentului incovoietor, a fortei taietoare, si a efortului axial in stilp (respectiv a efortului axial in tirantii care suspenda grinda articulata de stilp). In acelasi timp creste momentul incovoietor si forta taietoare in grinda in punctul unde reazema contrafisa.
 - s-a mutat contrafisa la exteriorul cadrului si s-a studiat structura in doua variante de prindere a cablurilor de grinda, asa cum se arata in fig. 3.17 si 3.18. Prin introducerea contrafisei la exteriorul cadrului s-a obtinut un efect favorabil asupra repartitiei eforturilor in stilp, respectiv in grinda, comparativ cu asezarea contrafisei spre interiorul cadrului, asa cum s-a aratat mai inainte.
 - o varianta de asezare cu doua contrafise se prezinta in fig. 3.19. In urma studierii acestei variante s-a ajuns la concluzia ca aceasta nu prezinta un interes deosebit comparativ cu cea prezentata in fig. 3.18, deoarece conduce la un consum de material mai mare.
 - s-a studiat structura cu un numar de 3 cabluri de suspendare a grinzii in doua variante de asezare a cablurilor, dupa cum se arata in fig. 3.20, 3.21 utilizind concluziile obtinute in urma studierii asezarii contrafiselor spre exterior.

In continuare toate rezultatele obtinute s-au rezumat in tabelul din fig. 3.22 in care sint cuprinse valorile maxime ale eforturilor in elementele componente ale cadrului, respectiv valorile deformatiilor maxime din cadru.

FIG. 3.10. CS₁

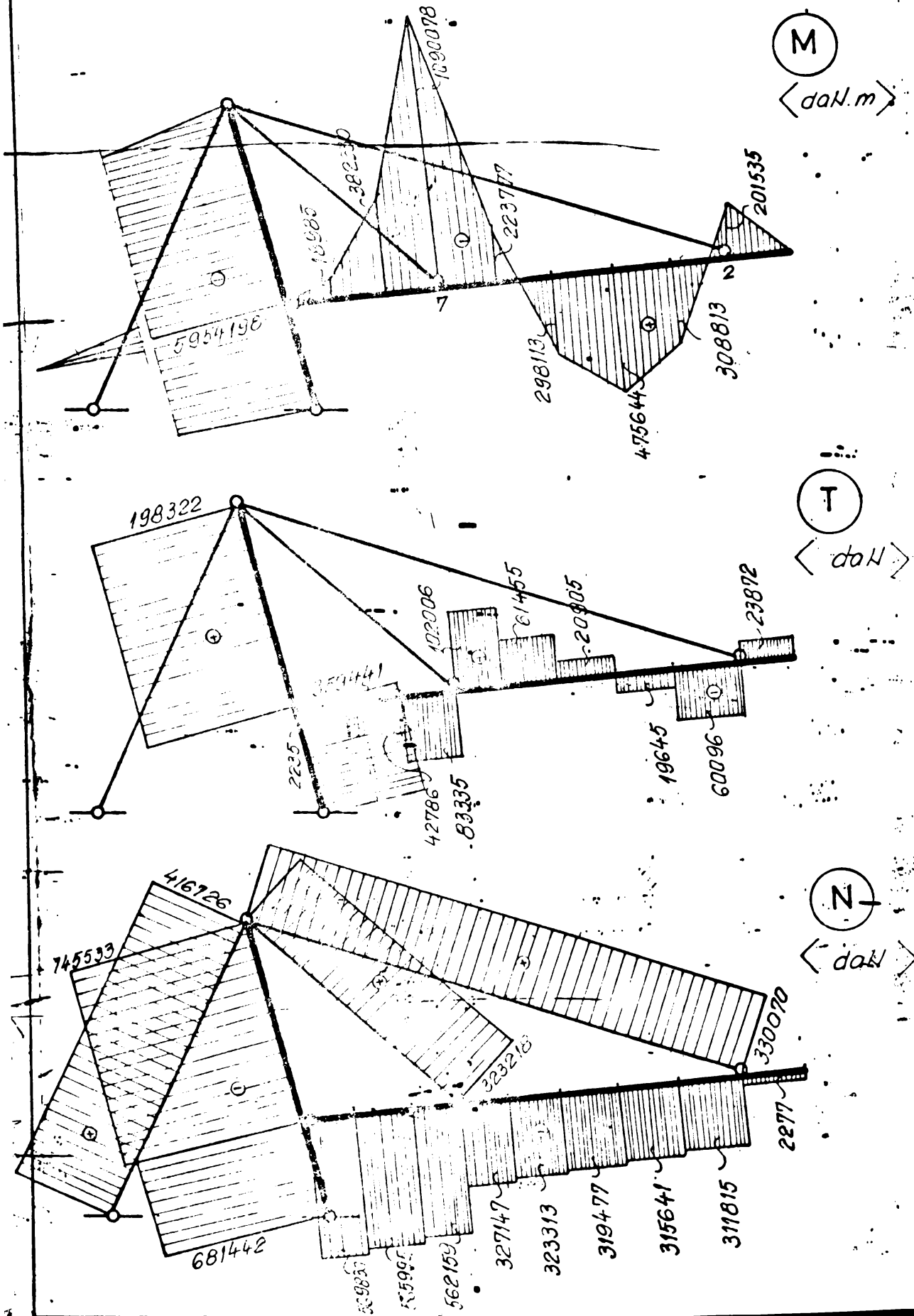


FIG. 3.11 CS-2

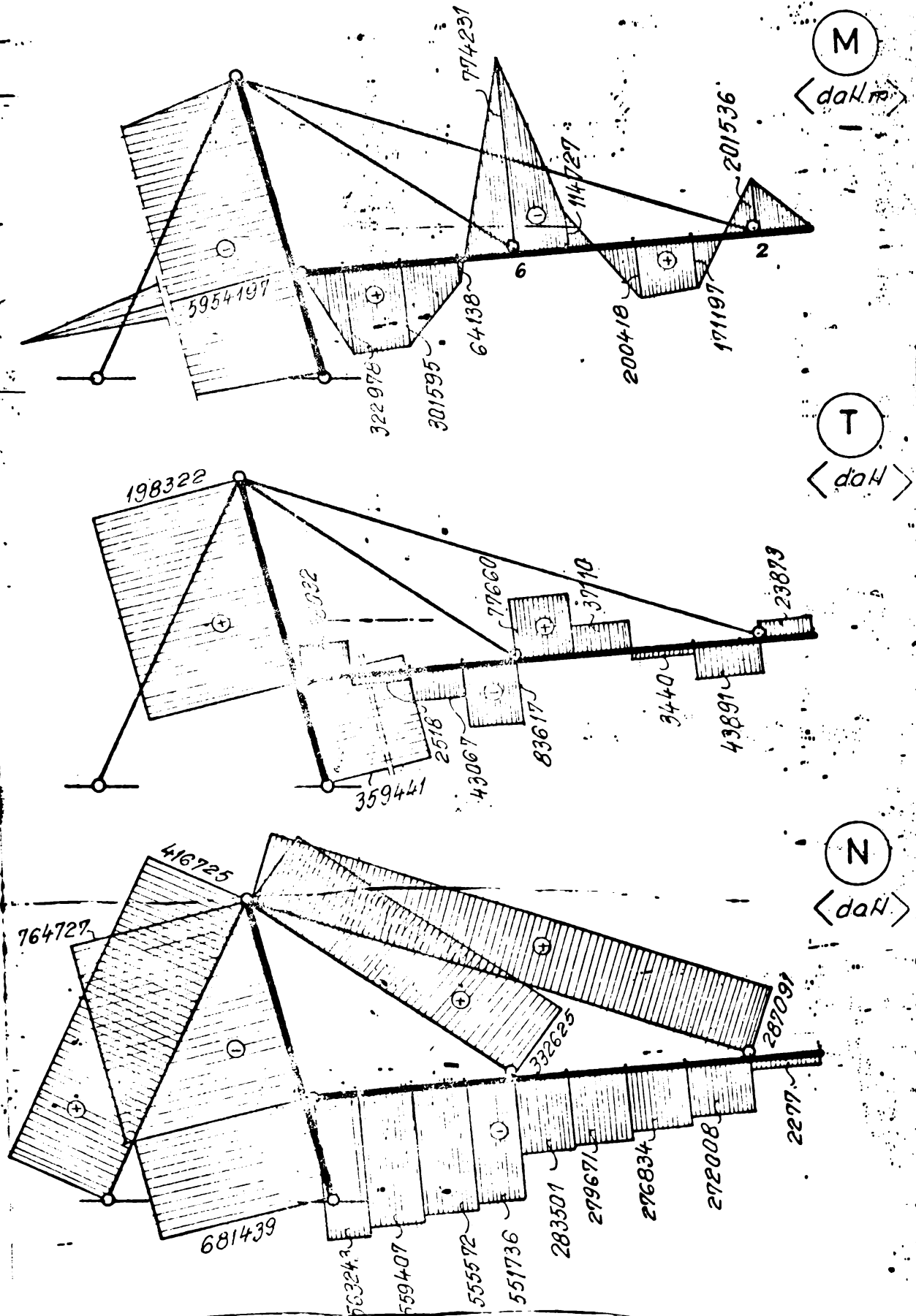


FIG. 3.12 CS₃

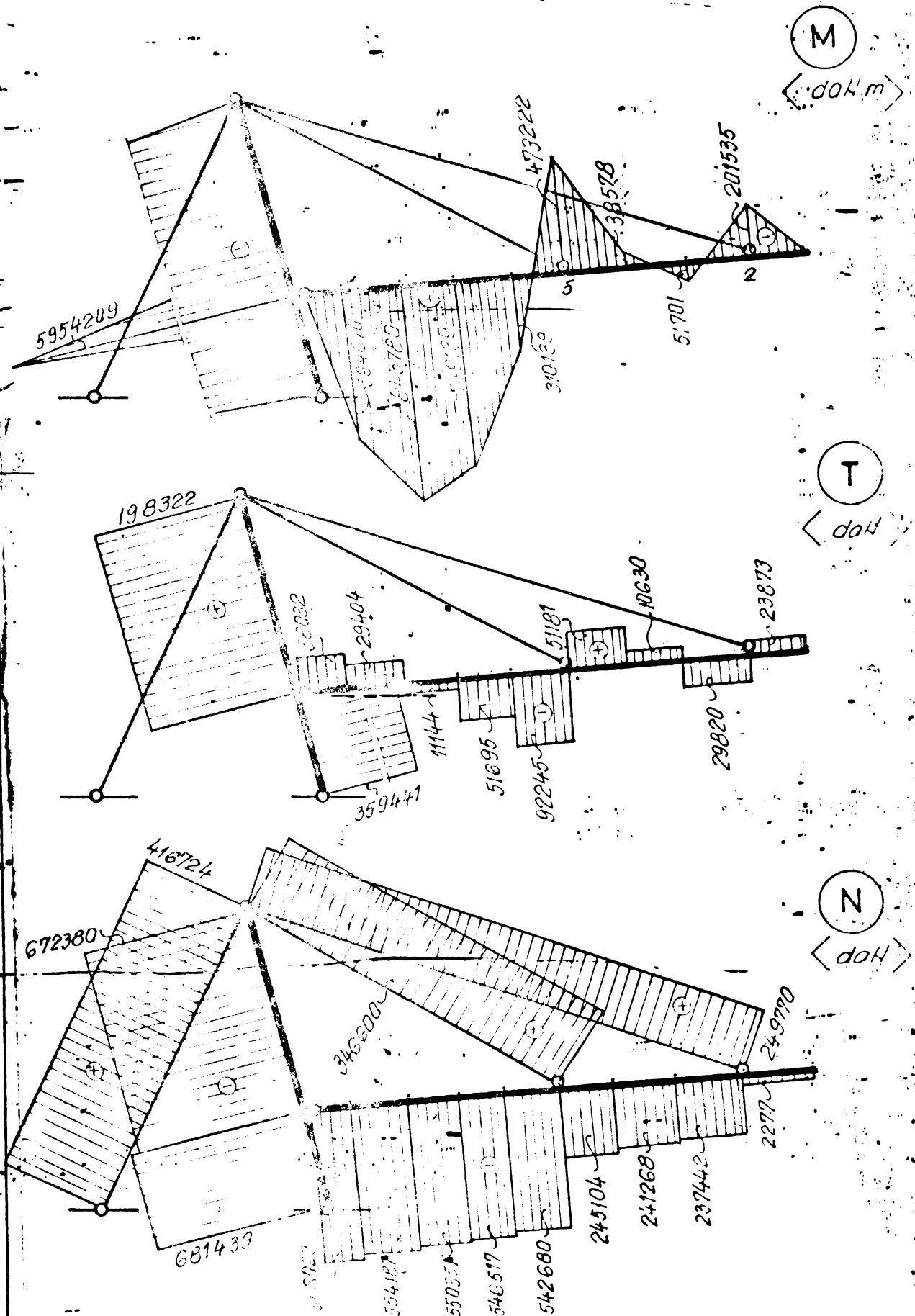


FIG. 3.13. CS₄

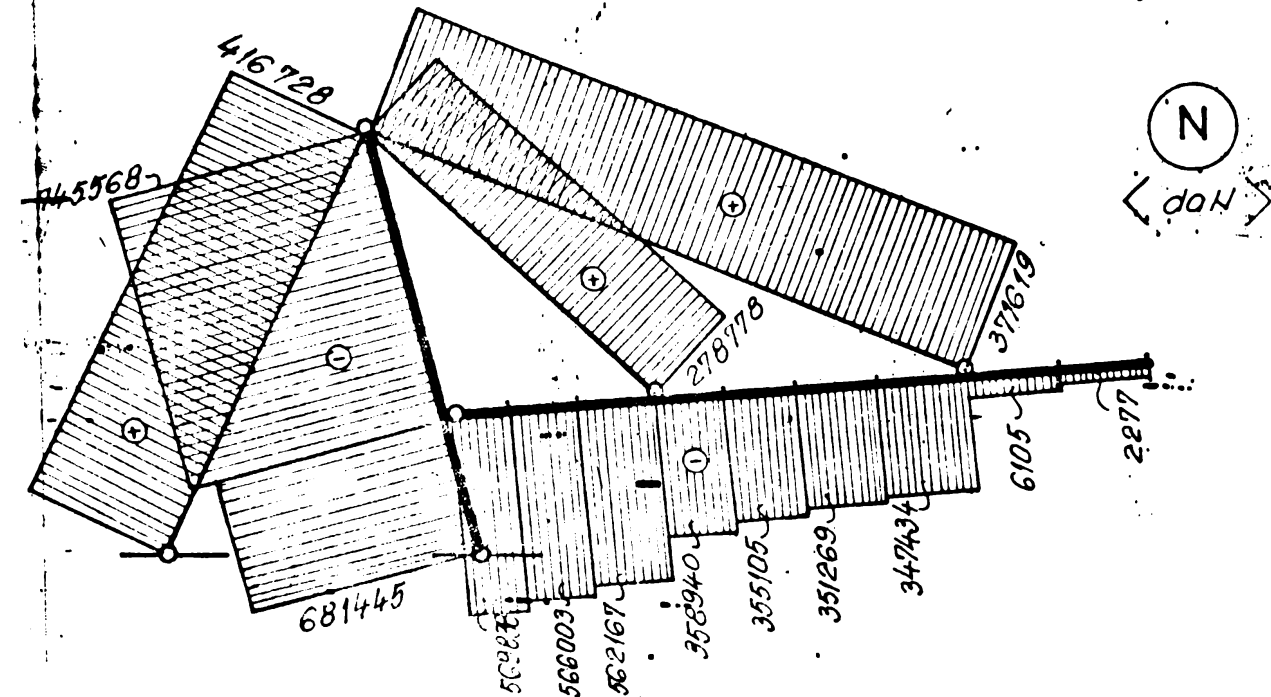
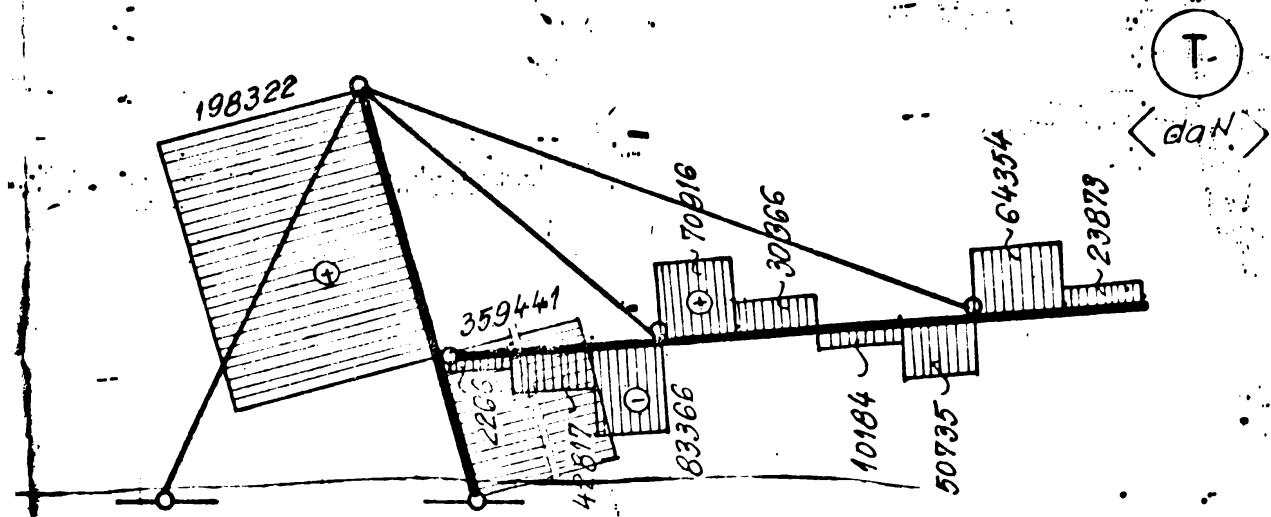
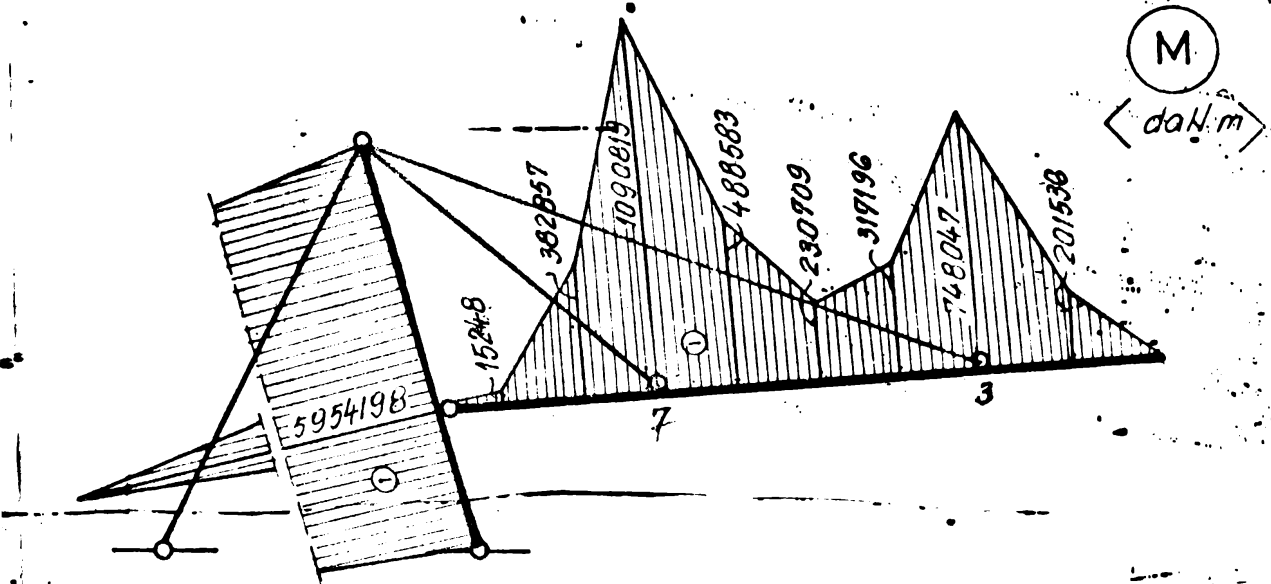


FIG. 3.14 CS5

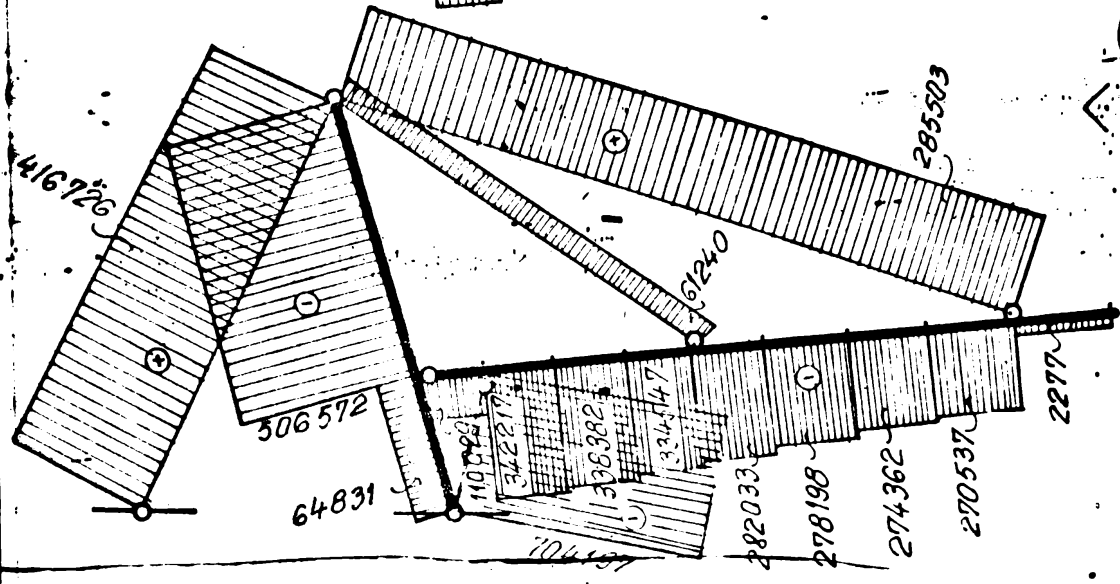
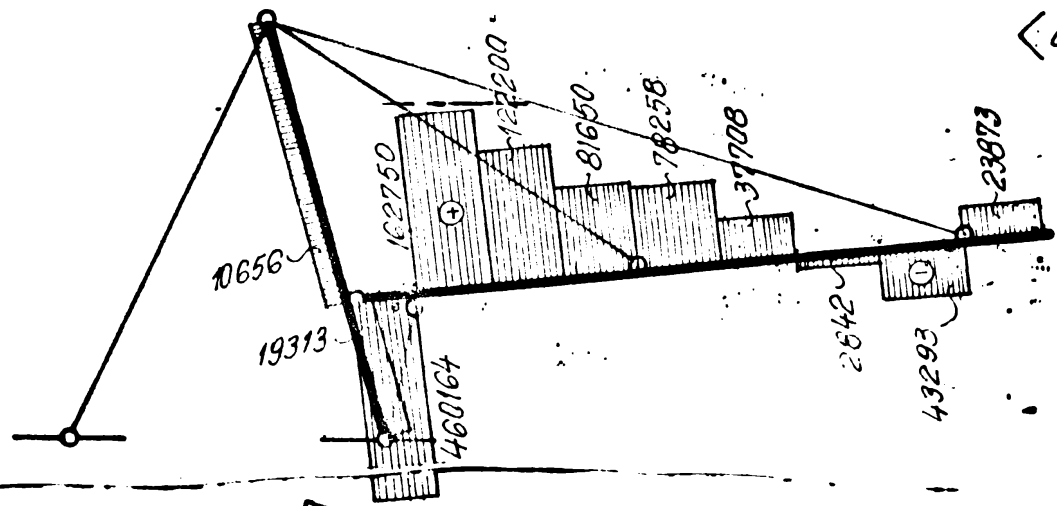
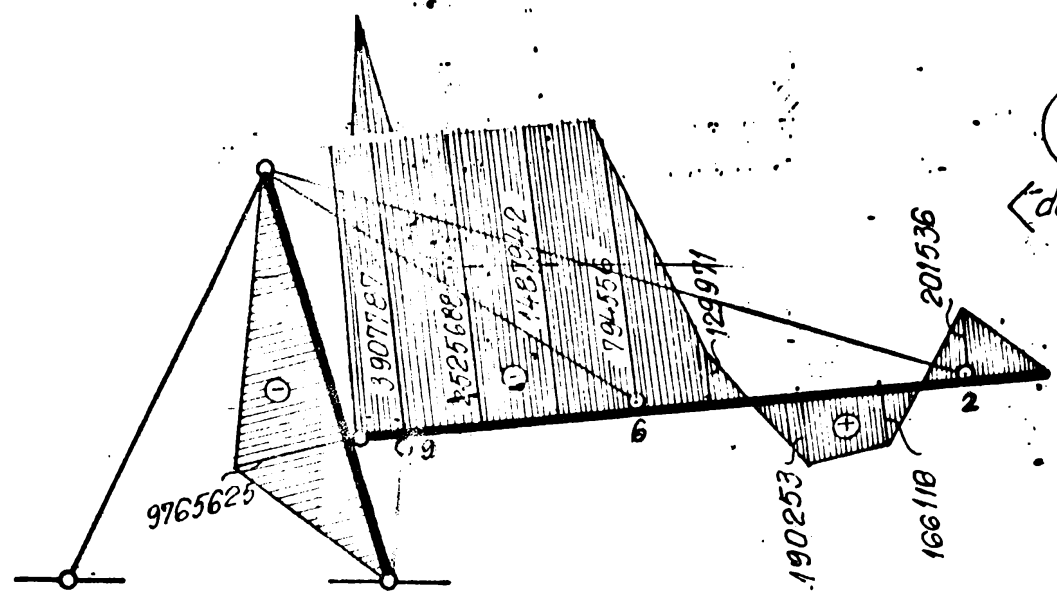


FIG. 3.15. CS6

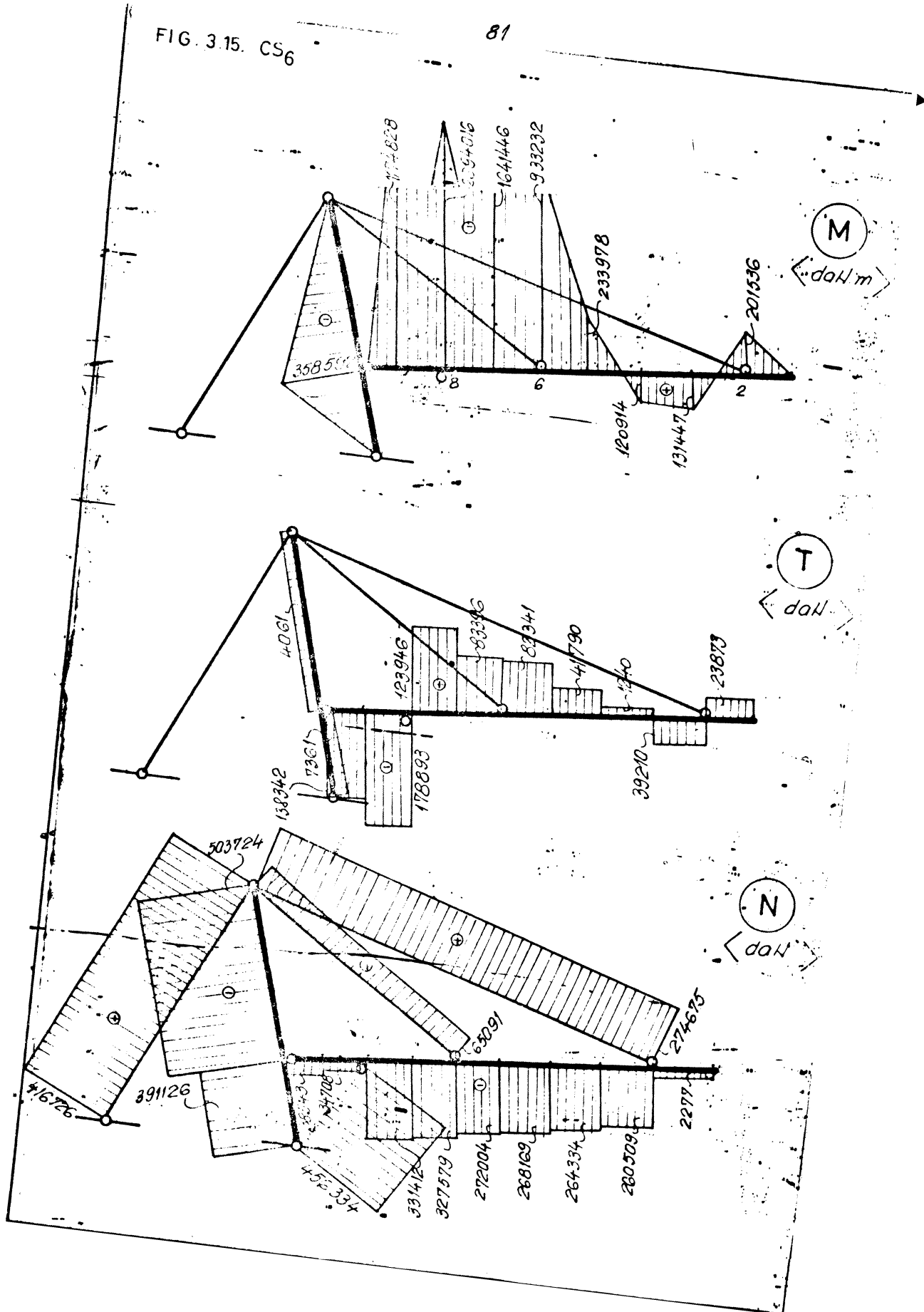


FIG. 3.16. CS7

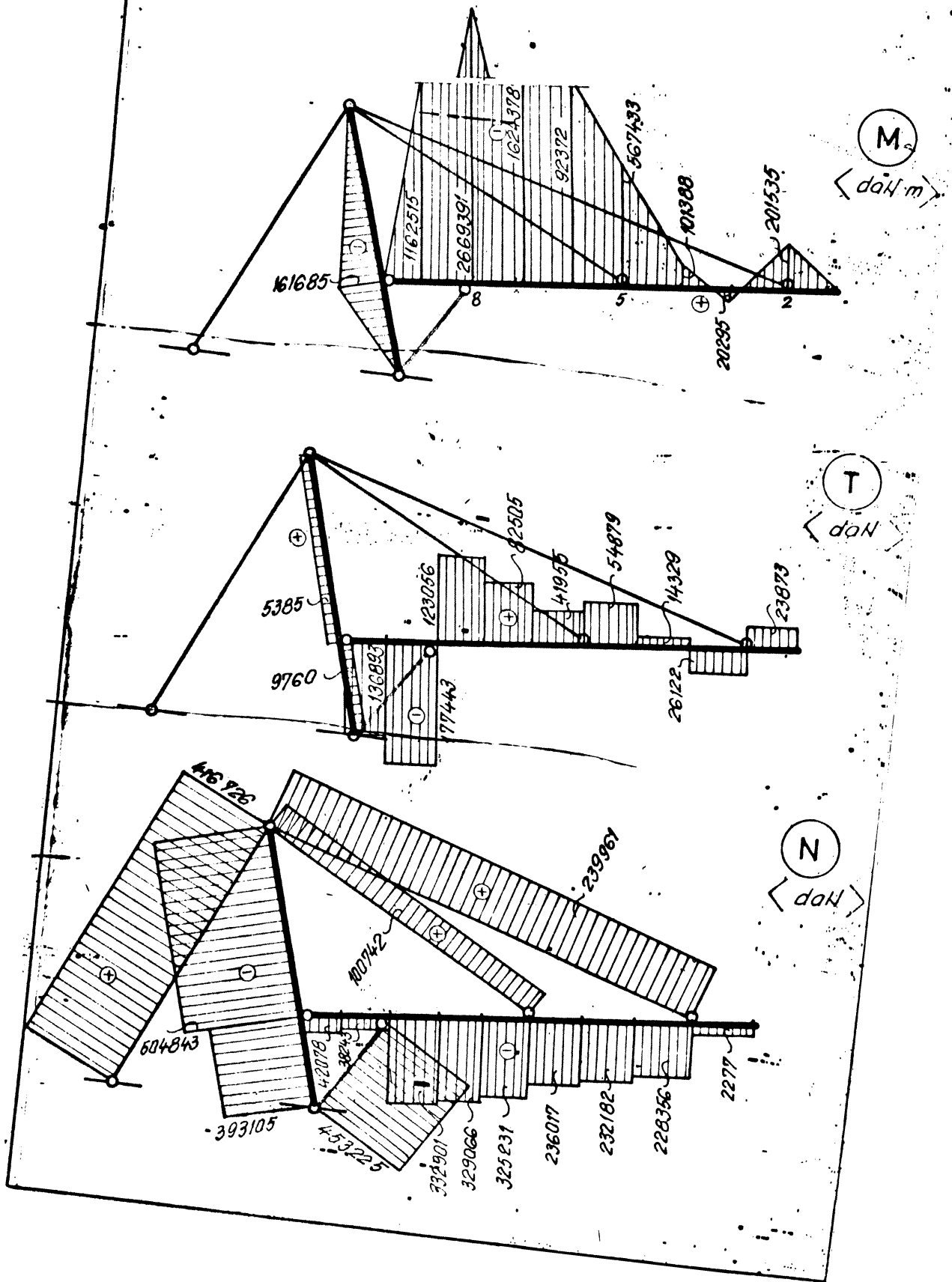


FIG. 3.17. CS8

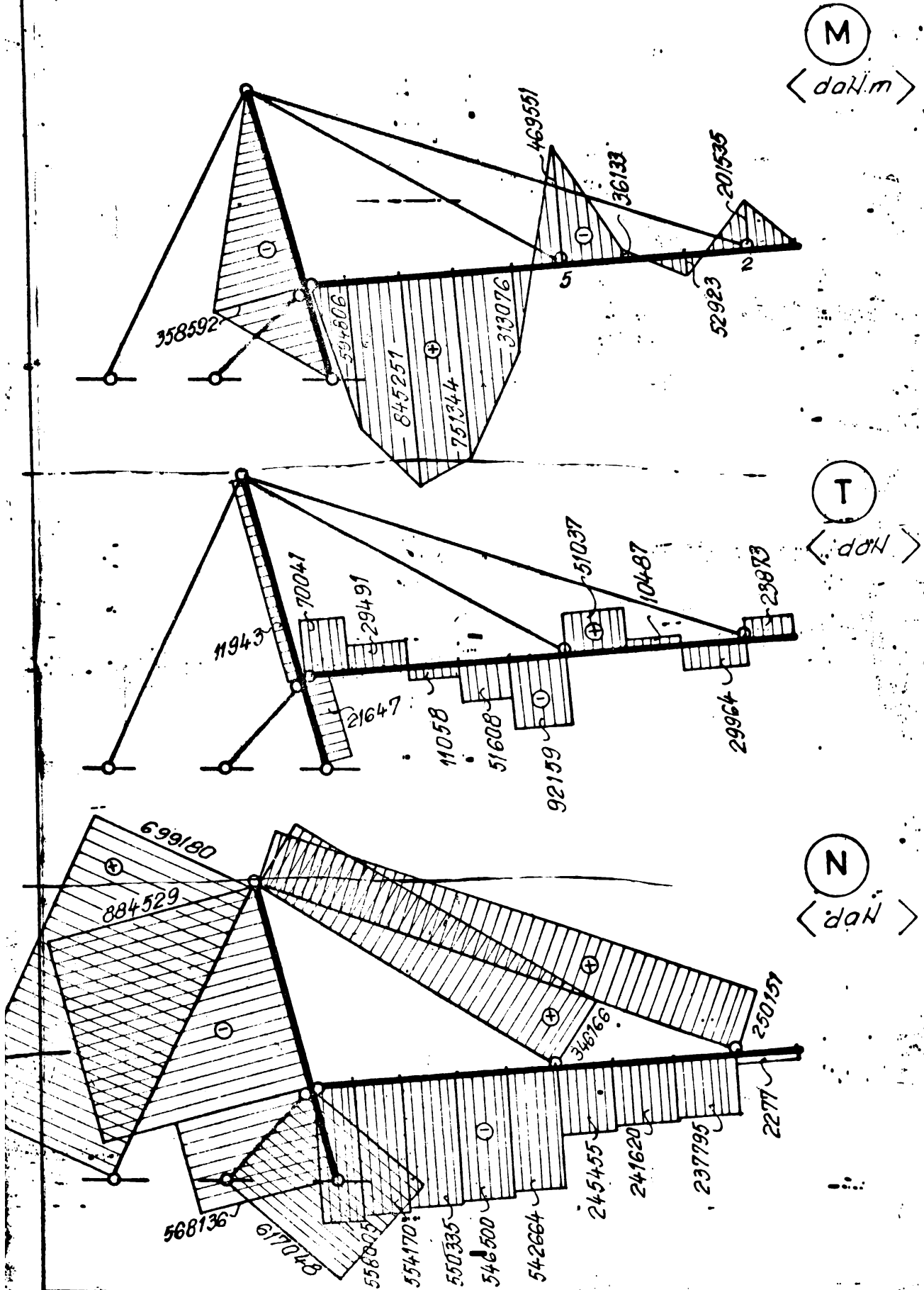
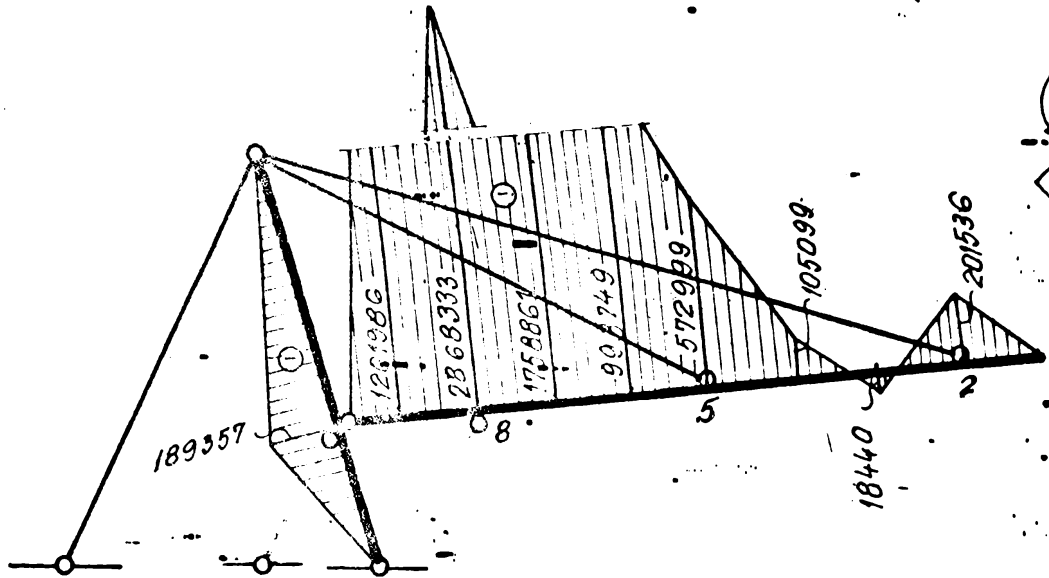
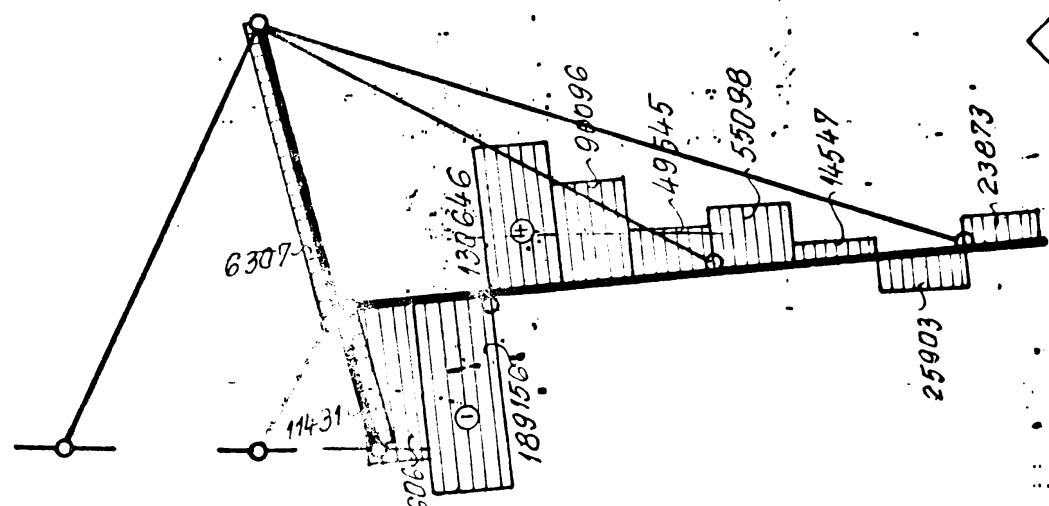


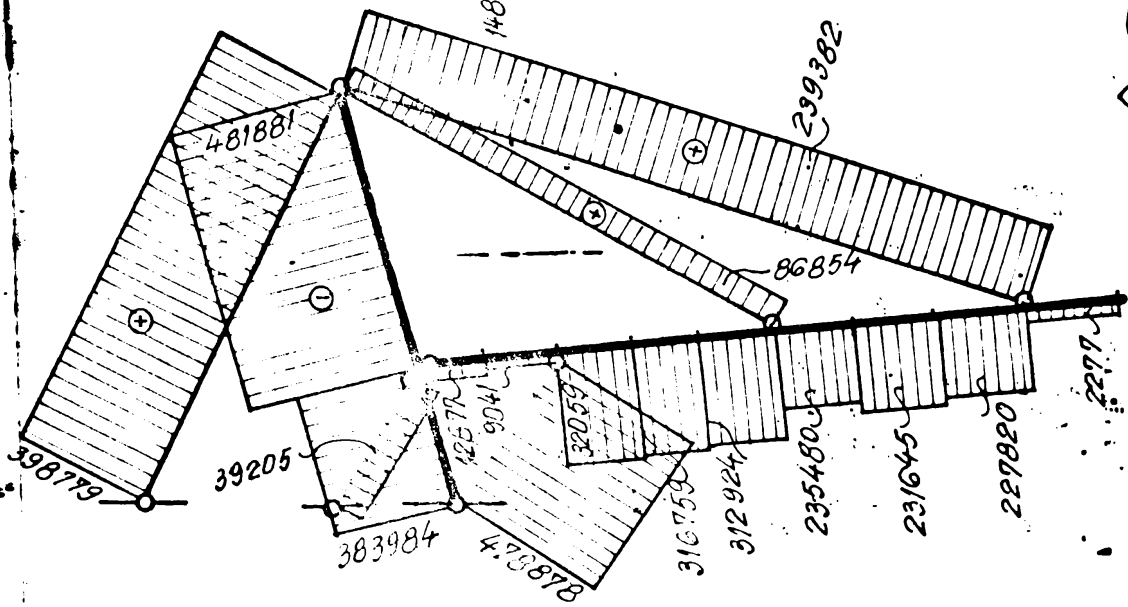
FIG. 3.19. CS₁₀



M
(daN.m)



T
(daN)



N
(daN)

FIG. 3.20 CS11

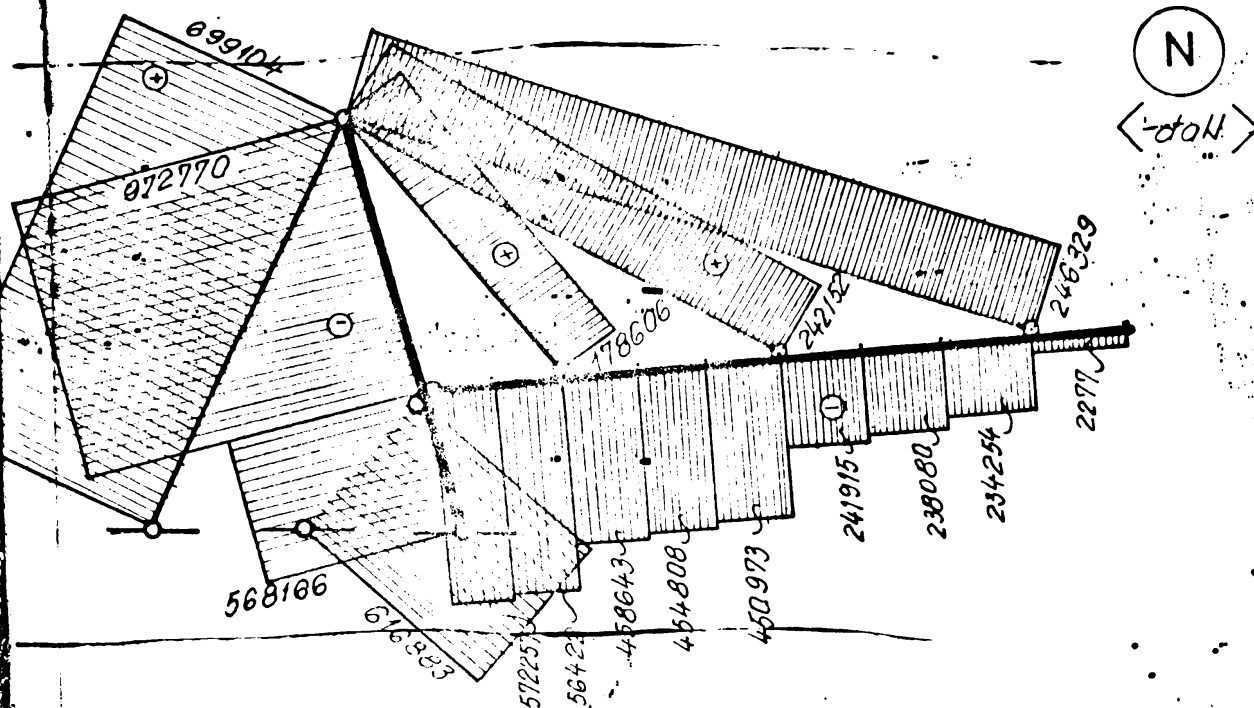
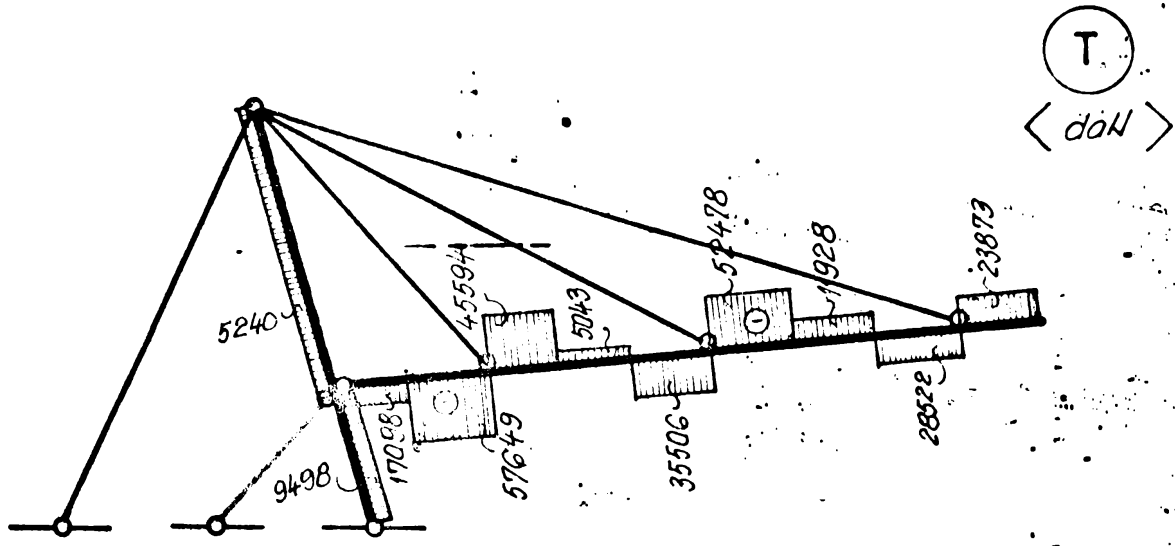
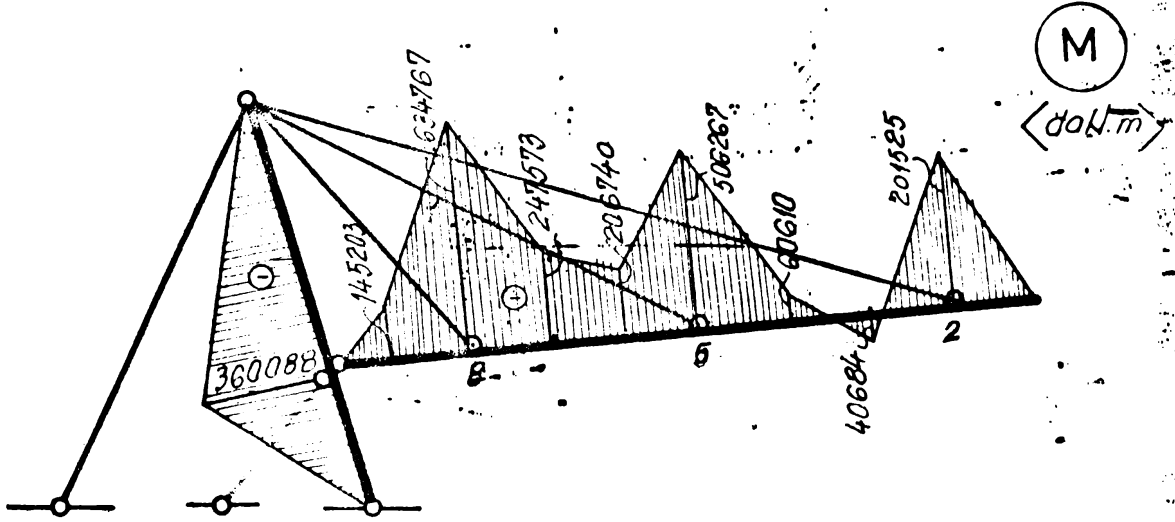


FIG. 3.21. CS12

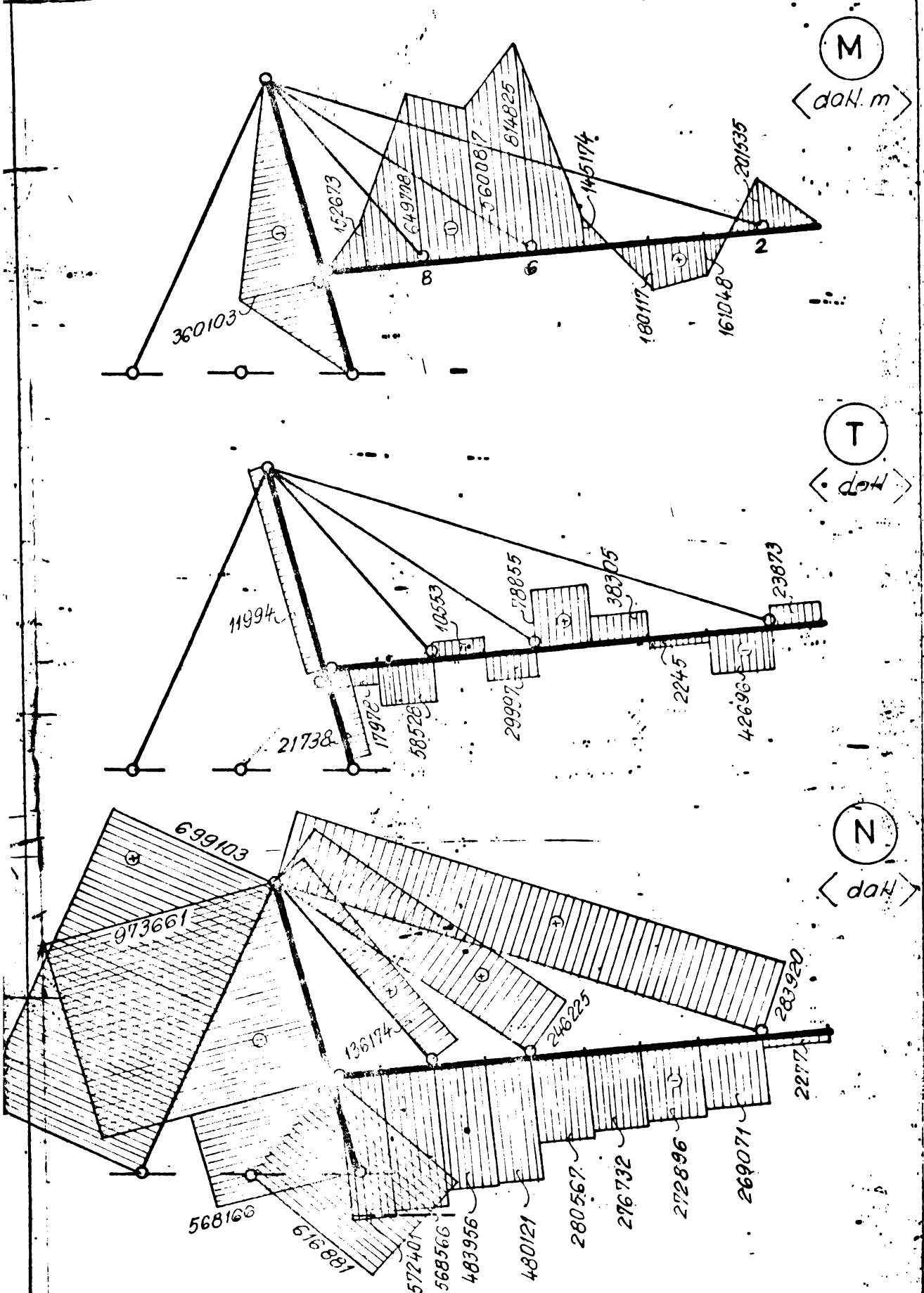
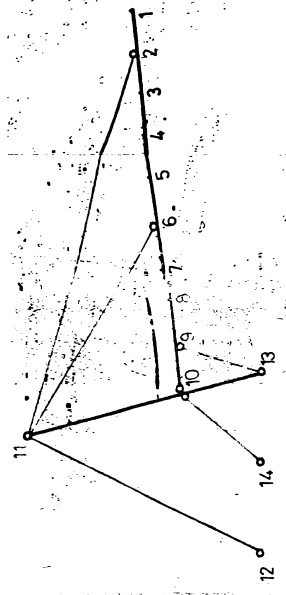


FIG. 2.22 SCHEME DE CALCUL SI
TABEL CENTRALIZATOR PTR.
STRUCTURILOR ANALIZATE



ELEMENT	STRUCTURE													
	CS1	CS2	CS3	CS4	CS5	CS6	CS7	CS8	CS9	CS10	CS11	CS12	CS13	CS14
M [daNm]	1090028	774231	843780	1090818	3907787	265015	2669391	845251	767973	2868333	634767	814821		
T [daN]	102006	83617	92245	83366	162750	133993	177443	92159	83433	189156	57649	78855		
N [daN]	569830	563243	558023	568838	342217	31414	332901	558005	563210	320595	572257	572401		
M [daNm]	5954198	5954197	5954209	5954241	319927	31992	161685	358592	359138	189317	360088	360103		
T [daN]	359441	359441	359441	359443	19313	711	9760	216680	21680	11431	21737	21738		
N [daN]	745533	704727	681439	745568	64831	1724	504843	884529	916756	481893	972770	973661		
N					704197	1334	453225	617048	616987	47863	616883	616883		
N [daN]	416726	416725	416725	416728	416728	416726	416726	699180	699152	398776	699104	699103		
GEATA (cm)	462	456	451	470	83	69	68	94	99	60	95	99		

(Analizând repartitia eforturilor, respectiv a deformatiilor la toate variantele studiate anterior cu scopul determinării pozițiilor rationale de prindere a cablurilor de grindă și poziției de așezare a contrafiseilor (spre exteriorul cadrului sau interiorul acestuia) și a numărului de cabluri care susține grindă, a fost reținută doar varianta aratăată în fig. 3.18 deoarece este optimă din punctul de vedere al repartitiei eforturilor. În continuare această soluție de alcătuire a fost studiată mai detaliat prin încercări succesive, pentru a obține în final o repartitie cât mai uniformă a eforturilor în cadru. Din variantele rezultate în urma calculelor s-a reținut varianta prezentată în fig. 3.23 deoarece s-a considerat a fi optimă din punctul de vedere al criteriilor care s-au enunțat anterior.

Înălțimea și înclinația stîlpului

În continuare s-a studiat structura pentru a se determina înălțimea corespunzătoare a stîlpului. În acest scop s-a trecut la studierea structurii cu trei înălțimi a stîlpului de 40, 45, și 50 metri. Din analiza rezultatelor obținute pentru eforturi în cele trei variante:

- H = 45 metri (fig. 3.23);
- H = 40 metri (fig. 3.24);
- H = 50 metri (fig. 3.25),

S-a reținut varianta corespunzătoare înălțimii stîlpului de 45 metri deoarece în grindă rezulta repartitii mai uniforme a eforturilor față de cazul celorlalte două variante analizate.

Înclinația stîlpului este optimă atunci cînd rezultanta eforturilor din cabluri este dirijată după axa acestuia. Ea corespunde unei abateri a stîlpului de la verticală cu un unghi cuprins între 13 și 18 grade.

În final, după stabilirea soluției mai avantajoase s-a trecut la dimensionarea elementelor componente ale acestui cadru pentru care eforturile se prezintă în tabelul 3.1.

3.6 Elementele componente ale cadrului suspendat.

3.6.1 Elemente rigide.

Elementele rigide sînt alcătuite în general cu secțiunea

transversala executata din profile laminate sau sudate, sub forma de profile dublu T sau de chesoane. In cazul cind este pericol de succiune (care este specificul structurilor suspendate usoare) de obicei se foloseste pentru inlaturarea acestui efect sectiuni chesonate care se umplu cu beton greu in scopul maririi greutatii, ceea ce implica necesitatea unei supradimensionari, care conduce in final la un consum mare de material.

Rigla cadrului, respectiv stilpul, sint elemente sollicitate la incovoiere si la forte axiale. Tinind seama de avantajele pe care le prezinta barele cu inima plina [GK89]:

- comportare mai buna la incarcari statice si dinamice;
- rezerve importante de rezistenta fata de starea de sollicitare limita;
- executia simpla, permitind un inalt grad de industrializare;
- posibilitatea de adaptare simpla si usoara a transversale functie de felul, marimea si modul de variatie a sollicitarilor.

Din aceste motive s-a ales rigla cadrului si stilpul in varianta cu inima plina. Ca sectiune chesonata pentru stilp datorita rigiditatii mari fata de ambele axe principale ale sectiuni pe care aceasta o prezinta, si ca sectiune dublu T sudata pentru rigla cadrului.

Din fig. 3.23 unde se prezinta modul de variatie al eforturilor in cadru, rezulta modulul de rezistenta necesar care s-a calculat cu relatia:

$$W_{nec} = \frac{M_{max}}{R} \quad (3.1)$$

Valoarea care rezulta este o functie de momentul incovoietor, motiv pentru care se pune problema determinarii sectiuni optime, adica a aceleia care conduce la cel mai mic consum de material.

Tinind cont de deschiderea riglei, ca si de inaltimea stilpului, respectiv de diferenta de sollicitari din lungul lor s-a ajuns la concluzia ca nu este rationala alcatuirea unei sectiuni constante pe toata lungimea. Concluzia este rezultatul observatiei ca in cazul unei sectiuni constante apare o rezerva exagerata de rezistenta in zonele momentelor mici (zonele in punctele de schimbare a sensului diagramei de

FIG. 3.23. CS13

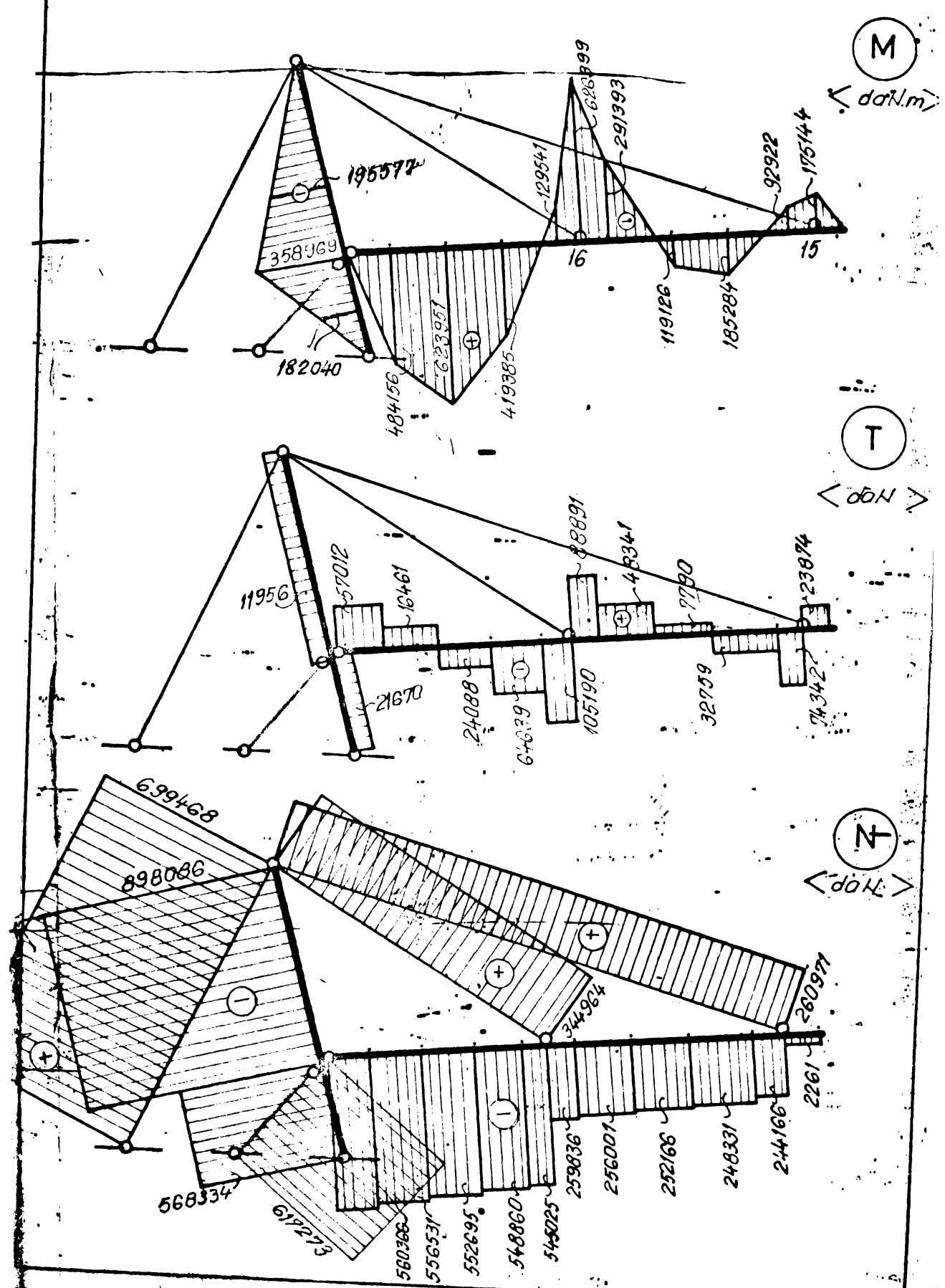


FIG. 3.24. CS14

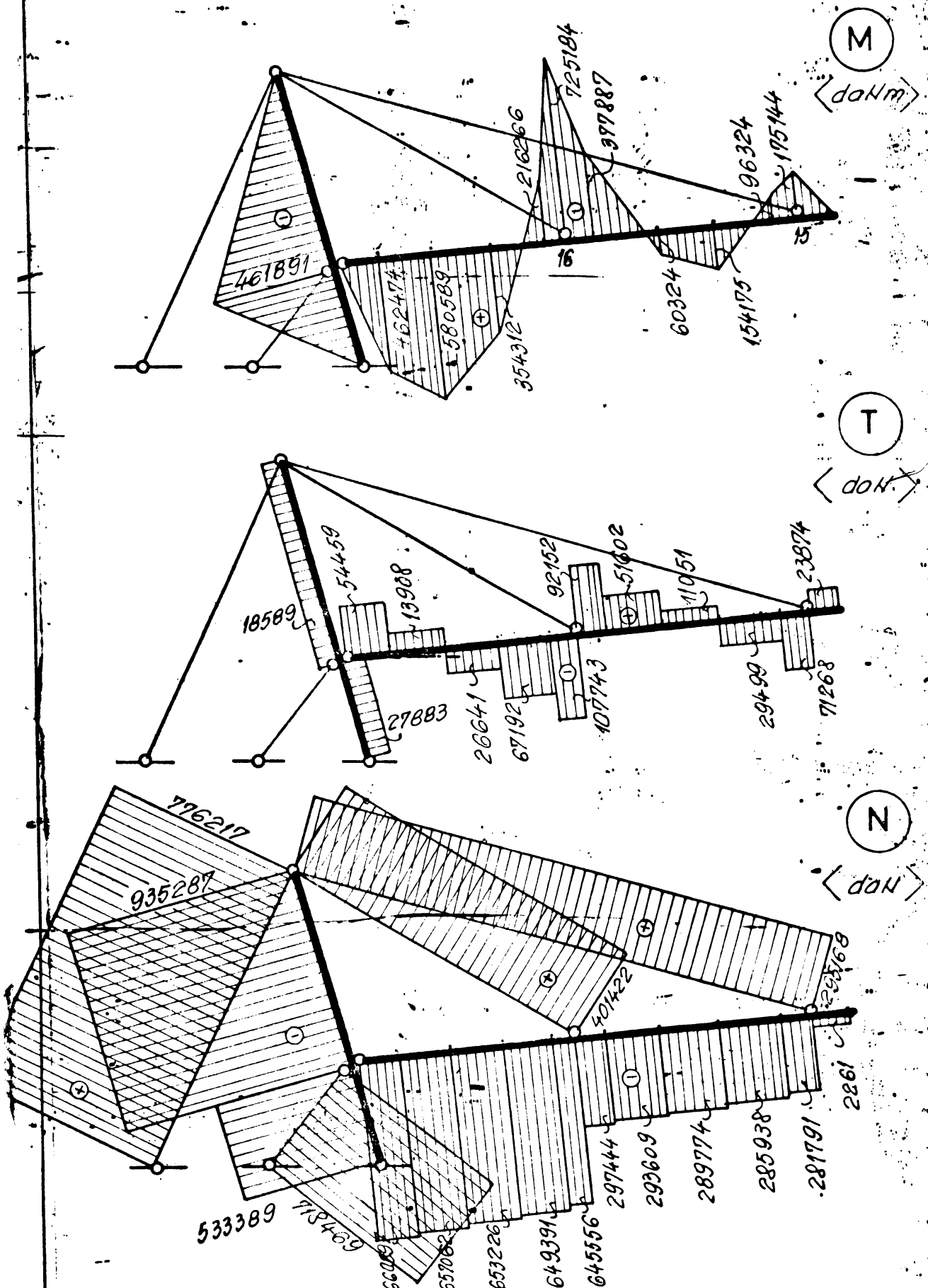
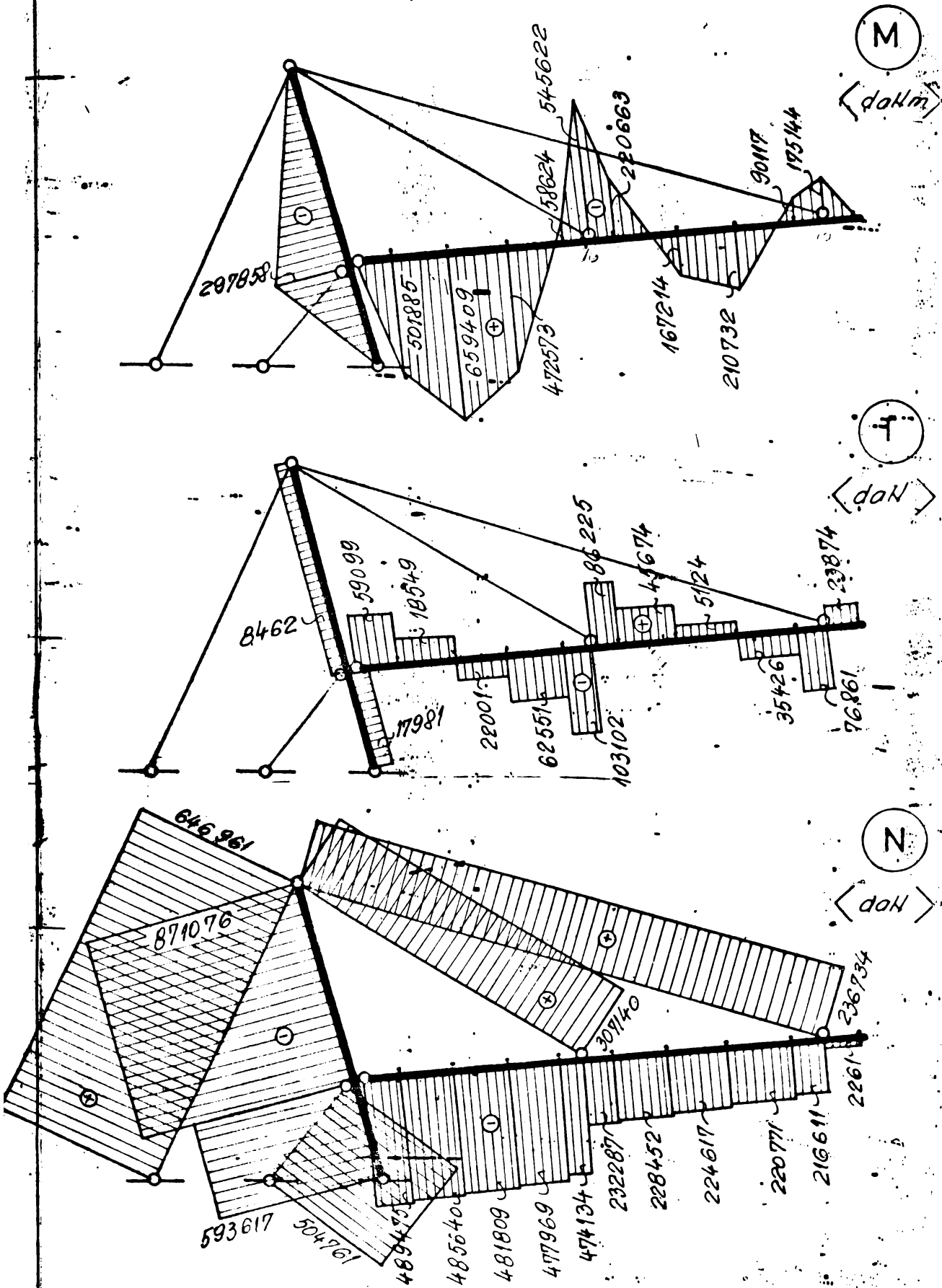


FIG. 3.25. CS₁₅



momente). Solutia se justifica deci prin faptul ca se elimina consumul mare de material. Din acest motiv s-a adoptat o sectiune variabila in functie de variatia solicitariilor. Aceasta alegere s-a facut prin modificarea simultana atat a dimensiunilor talpilor cit si a dimensiunilor inimi. La rindul lor, modificarea dimensiunilor talpilor s-a facut simultan prin reducerea grosimii si a latimi talpilor. Trecerea de la o grosime mai mica t_1 la o grosime mai mare t , respectiv trecerea de la o latime mai mica b_1 la o latime mai mare b se face prin prelucrarea pieselor cu inclinatie data in [MC80]. Desigur in zonele de schimbare a sectiunilor s-a tinut seama de valoarea M_{cap} , care s-a calculat astfel:

$$\frac{M}{W} = R - \frac{N}{A} \quad (3.2) \quad R' = R - \frac{N}{A} \quad (3.3)$$

de unde rezulta

$$M_{cap} = R' \times W \quad (3.4)$$

Rezultatele dimensionarii sint prezentate in tabelul 3.1. Dupa dimensionarea cadrului s-a refacut calculul tinind seama de schimbarea in greutatea proprie a cadrului. Rezultatele calculelor sint prezentate in fig. 3.26 si tabelul 3.2.

Referitor la sageata care s-a obtinut in urma calculelor, ea indeplineste conditiile impuse valorii maxime admise pentru acest tip de structura in conditii de functionalitate. In acelasi timp rezultatele calculelor date din combinatia cind vintul actioneaza din dreapta spre stinga, in conditia porti deschise, arata ca efectul de succiune este ineluturat.

Calcululele de ordinul doi care s-au efectuat, (referitoare la structura stabilita anterior) au condus la constatarea ca cresterea deformatiilor este sub 3%, ceea ce a permis ca aceste deformatii sa fie ignorate.

3.6.2 Cabluri pentru acoperisuri suspendate.

Elementele principale portante ale acoperisurilor suspendate le formeaza cablurile. Ele sint executate din oteluri cu calitati mecanice ridicate. Astfel se poate folosi otel rotund sau otel profilat ca si platbenzi cu rigiditatea mica la incovoiere si cabluri inelare (lant). Aceste cabluri

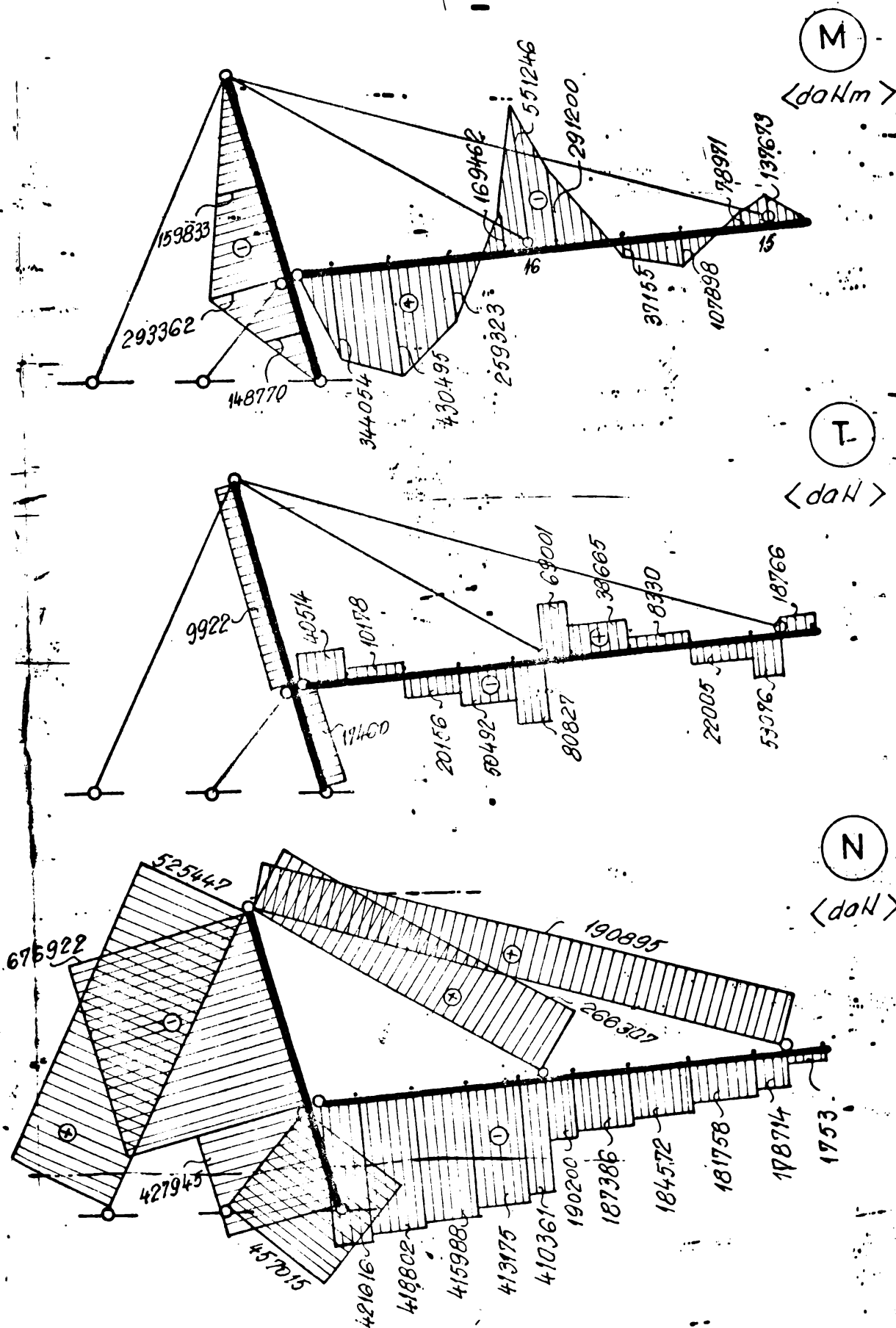
EFORTI	M	N	T	A	L	G	g	
TR \ I	[daN.m]	[daN]	[daN]	[cm ²]	[m]	[Kg]	[Kg/m ²]	
RI	TR1	623951	-560366	57012	612	25.35	12179	
IG	TR2	419385	-548860	64639	510	12.25	4904	24.2
IL	TR3	-626399	-545025	105190	612	4.65	2234	
IA	TR4	-291399	-256001	48341	312	33.8	8279	
IS								
IT	TR1	-182040	-568334	21670	744	8.28	4836	
II	TR2	-358969	-898086	21670	1221	23.3	22333	33
IL	TR3	-195577	-898086	11956	969.6	15.	11417	
IP								
Contrafise		-	-617273	-	216	21.93	3718	3.26
Consum de otel pentru cadru fara tiranti							66182	60.02
Ti-	1	-	260971	-	52.3	79.6	3270	
ranti	2	-	344964	-	84.6	52.6	3496	14.7
	3	-	699468	-	169.3	59.19	10022	
Sageata maxima = 96 cm								

Tabel 3.1 Rezultatele calculelor pentru cadru din conditii de rezistenta.

EFORTI	M	N	T	A	L	G	g	
TR \ I	[daN.m]	[daN]	[daN]	[cm ²]	[m]	[Kg]	[Kg/m ²]	
RI	TR1	430495	-421616	40514	432	25.35	8596	
IG	TR2	259323	-415988	50492	351	12.25	3375	18.7
IL	TR3	-551246	-410361	80827	476	4.65	1737	
IA	TR4	-291200	-187686	38665	288	33.8	7642	
IS								
IT	TR1	-148770	-427945	17460	508	8.28	3302	
II	TR2	-293362	-676922	9922	931	23.3	17028	26
IL	TR3	-159833	-676922	9922	814	15.	9585	
IP								
Contrafise		-	-457015	-	164	21.93	28.43	2.47
Consum de otel pentru cadru fara tiranti							51293	47.
Ti-	1	-	190895	-	37	79.6	2312	
ranti	2	-	266307	-	53	52.6	2188	8.26
	3	-	525447	-	106	59.19	4925	
Sageata maxima = 48 cm (zapada + vint = 30 cm)								

Tabel 3.2 Rezultatele calculelor pentru cadru din conditii de rezistenta.

FIG. 3.26. CS16



din otel sint executate din sirme de inalta rezistenta, grupate prin infasurare (cablare), in jurul unei inimi intr-un strat (sau mai multe straturi) concentrice, cu exceptia cablurilor plate. Acestea din urma sint alcatuite din cabluri alaturate in plan si cusute. Cablurile din otel pot fi clasificate dupa mai multe criterii: forma, materialul sirmelor, modul de constructie, mod de cablare s.a.m.d.

- astfel, dupa forma sectiunii transversale avem cabluri plate sau rotunde.

- dupa felul acoperirii suprafetelor din cabluri putem avea: sirma neteda si sirma zicata cu strat subtire (sau gros) de zinc.

- dupa modul de constructie, cablurile pot fi clasificate in mai multe categorii, din care intereseaza numai cele folosite in constructii, asa cum se prezinta in continuare.

Tipuri de cabluri

Principalele tipuri de cabluri din otel sint:

1. **Cabluri rotunde**, care pot fi de urmatoarele tipuri:

a) Cabluri simple (cabluri spirale) fig.3.27, care sint alcatuite din sirme cu diametrul de la 1.0mm la 5.0mm, infasurate in jurul unei sirme centrale drepte intr-un strat, doua sau trei straturi concentrice, formind un singur toron. Acestea pot fi la rindul lor:

- cabluri deschise, sau cabluri spirale la care stratul exterior este format din sirme rotunde;

- cabluri seminchise la care stratul exterior este format din sirme profilate care alterneaza cu sirme rotunde. In acest fel la exterior apare o suprafata cilindrica care asigura o inchidere relativa a straturilor interioare (alcatuite doar din sirme rotunde);

- cabluri inchise, la care stratul exterior este alcatuit din sirme astfel profilate si dispuse incit sa formeze o suprafata cilindrica cit mai neteda. In felul acesta se asigura o buna inchidere a straturilor interioare alcatuite doar din sirme rotunde. In [5] sint date intr-un tabel dimensiunile si sarcinile minime de rupere, calculate in functie de rezistenta minima de rupere a sirmei din care sint confectionate.

b) cabluri compuse (fig.3.28), sint alcatuite prin infasurarea mai multor cabluri in jurul unei inimi. Se disting

urmatoarele tipuri:

- cabluri normale, obtinut prin infasurarea unui singur strat de toroane pe o inima. Toroanele sint alcatuite din sirma de acelasi diametru.

- cabluri combinate obtinut prin infasurarea unui singur strat de toroane pe o inima. Toroanele sint alcatuite din sirme cu diametre diferite.

- cabluri concentrice sint cabluri alcatuite din mai multe toroane infasurate in doua sau mai multe straturi concentrice.

2. **Cabluri plate** (fig. 3.29) sint formate din cabluri simplu cusute in acelasi pian cu sirme zincate.

3. **Cabluri cu fire paralele** reprezinta solutia cea mai des folosita mai ales in cazul unor eforturi de intindere mari. Sirmele pot fi asezate intr-o forma compacta fig. 3.30, sau intr-o forma inelara in unul sau mai multe straturi (fig.3.32). Formele inelare de asezare a sirmelor sint asigurate prin resparte executate din sirma moale, in forma de spirale iar la exterior fascicolele sint mentinute prin legaturi executate de asemenea din sirme.

Un sistem de cabluri deosebit de eficient este cel cunoscut sub denumirea de **BBRV** (Birkenmaier Brandestini Ros Vogt) care este trecut prin doua piese foarte rigide, cite una la fiecare capat al fascicului, gaurite conform figurii de asezare a sirmelor in fascicole fiecare sirma avind capetele ingrosate prin refulare la cald, in forma unui cap de nit semirotund (fig. 3.32).

Piesa de capat in care sint ancorate sirmele, cu o grosime mare, are exteriorul filetat, ceea ce permite atat montarea dispozitivului de intindere cit si a unei piulite de fixare, cu intercalarea eventuala a unei rondel crestate (fig. 3.33).

In tabel sint date tabele care furnizeaza numarul de fire necesare in functie de solicitatare si de diametru, ca si de rezistenta la rupere.

Modulul de elasticitate E_c ale cablurilor este mai redus decit al otelului, deoarece sub actiunea fortelor de intindere pasul de infasurare al sirmelor creste, sirmele fiind presate puternic pe inima centrala a cablului. In general putem spune ca modulul de elasticitate al cablului E_c este proportional cu modulul de elasticitate al otelului E . Adica:

$$E_c = K \times E \quad (3.5)$$

unde:

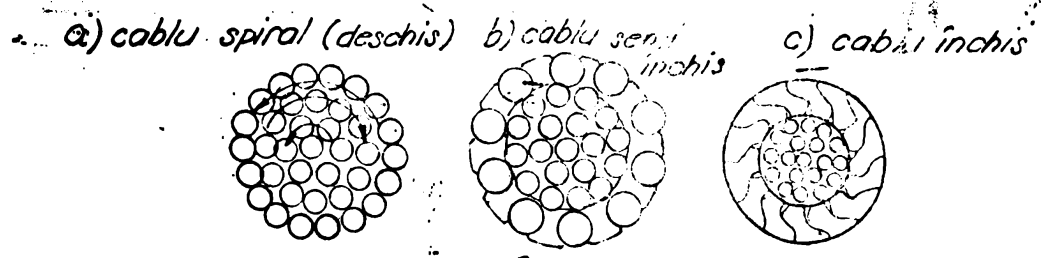


FIG. 27 Cabluri simple

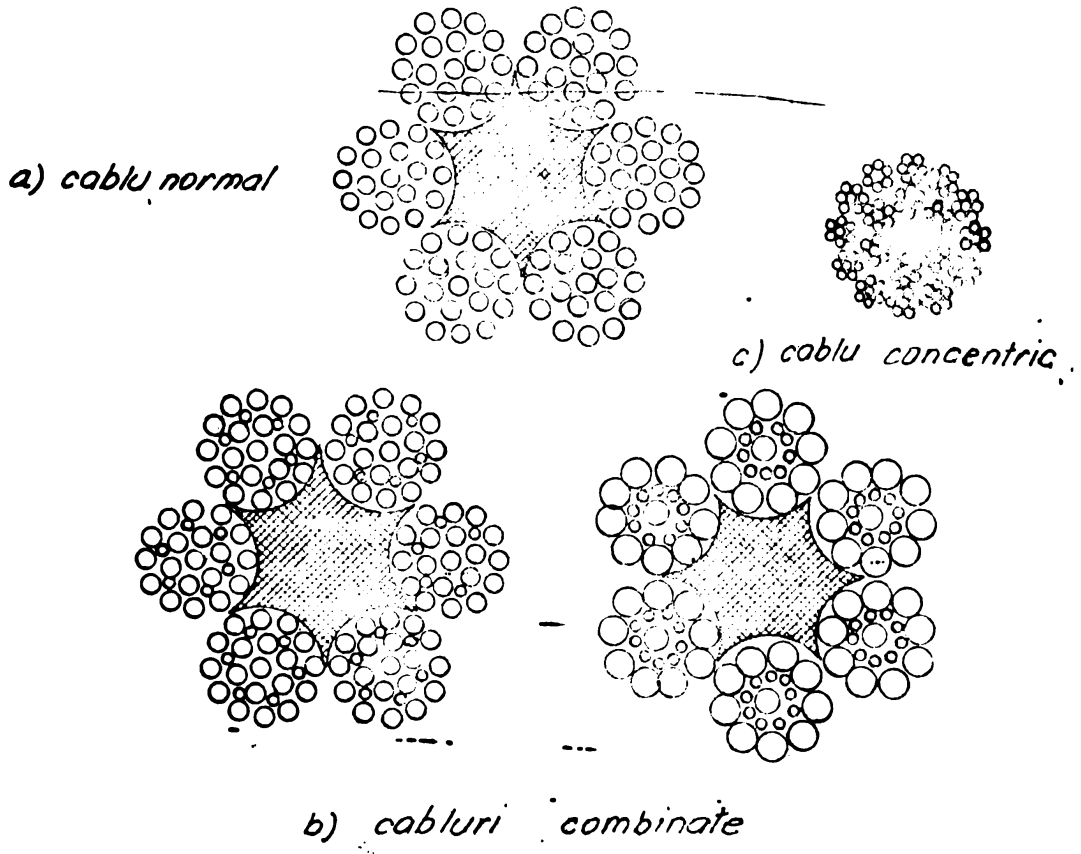


FIG. 28 CABLURI COMPUSE

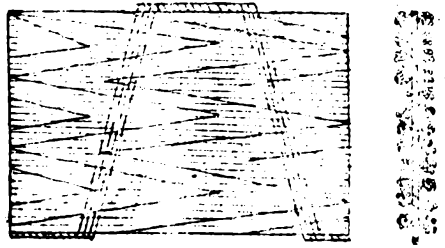


FIG. 3.29 CABLURI PLATE

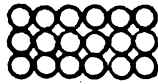
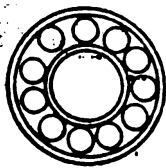
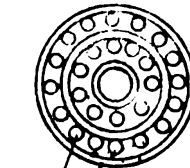
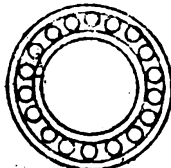


FIG. 3.30 CABLU CU FIRE PARALELE



asezarea pe un rind



Sirmă de legătură

Resort interior

asezare pe două rinduri

FIG. 3.35 CABLU DIN SIRME PARALELE:
ASEZAREA CIRCULARĂ

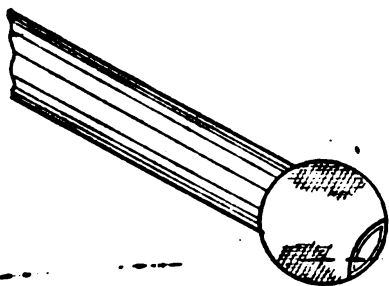


FIG. 3.32 SISTEM BBTV

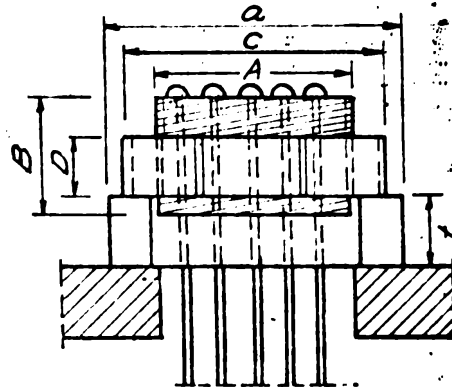


FIG. 3.33 SISTEM BBTV
DIMENSIUNI

E_c - modulul de elasticitate al cablului (daN/cm²);

K - este un coeficient de proportionalitate subunitar;

E - modulul de elasticitate al otelului (daN/cm²);

utilizind relatia de mai sus s-a obtinut:

$$E_c = 2.1 \times 10^6 \times K \text{ daN/cm}^2$$

Dupa A.I. Dukalski, avem citeva valori orientative ale lui E_c si anume:

- cabluri spirale pentru care avem

$$E_c = (1.4, \dots, 1.8) \times 10^6 \text{ daN/cm}^2$$

unde pentru K s-au utilizat valorile $K=0.67-0.86$

- cabluri cu mai multe straturi de toroane si inima metalica pentru care avem

$$E_c = 1.05 \times 10^6 \text{ daN/cm}^2$$

unde pentru K s-a utilizat valoarea 0.5.

- cabluri cu fire paralele, in care toate sirmele cablului sint incarcate uniform, iar modulul de elasticitate al cablului este aproximativ de circa

$$[2.0 \times 10^6, \dots, 2.05 \times 10^6] \text{ daN/cm}^2.$$

Alegerea cablurilor din otel pentru acoperisuri suspendate.

In bibliografia de specialitate nu este suficient lamurita problema alegerii corecte a cablurilor pentru acoperisurile suspendate. Motivul este datorat numarului mare de tipuri livrate de industrie. Experienta de proiectare arata ca la stabilirea destinatiei cablurilor si la intocmirea specificatiilor nu se tine seama deseori de particularitatile constructiei acestora si de conditiile de lucru admitindu-se in majoritatea cazurilor supradimensionarea [Mi83].

Alegerea justa se face prin analiza conditiilor pe care trebuie sa le indeplineasca cablul adica:

- calitatea sirmei, se alege astfel incit caracteristicile mecanice sa fie ridicate si foarte ridicate, (rezistenta de rupere sa fie mare).

- sectiunea, sa fie judicios aleasa. Un cablu din sirme subtiri prezinta o suprafata laterala mare si este expus mai mult la coroziune decit un cablu cu aceeasi suprafata a sectiunii transversale, formata insa din sirme cu diametre mai mari.

In sfirsit, o ultima remarca se refera la faptul ca pentru

cadrul care s-a studiat s-au ales cabluri de tip -BBRV, datorita avantajelor pe care le prezinta acestea pentru structura in cauza.

3.7 Concluzii.

In urma studiului efectuat rezulta:

1. Eficienta solutiei constructive propuse, deoarece conduce la o repartizare uniforma a eforturilor in structura, ceea ce conduce la un consum mai mic de otel. De asemenea, montajul este mai simplu de efectuat. Mai sint de remarcat urmatoarele aspecte:
 - Pozitiile optime a celor doua cabluri sint situate la $L/2$ si la respectiv, $L/10$ din lungimea consolei.
 - Inaltimea optima a stilpului este cuprinsa intre $L/1.66$ si $L/2$.
 - Solutia de prindere prin articulatie a riglei cadrului este mai eficienta decit o prindere rigida.
2. Prin introducerea contrafisei s-a obtinut o reducere a valorii momentului incovoietor si a valorii fortei taietoare in stilp cu aproximativ 90%. Tipul contrafisei nu influenteaza valorile anterioare.
3. Deficienta solutiei se datoreste faptului ca dimensionarea s-a efectuat din necesitatea inlaturarii compresiunii din cabluri care nu pot fi preluate.
4. Apar greutati de executie a detaliilor de imbinare, fiind necesara o executie exacta.

4. STRUCTURI CU ELEMENTE DE REZISTENTA DISPUSE PERPENDICULAR PE PLANUL PORTII SI REZEMATE PE UN CADRU PARALEL CU PLANUL PORTII.

Acest sistem constructiv este avantajos datorita simplitatii de alcatuire [Dw85]. Structura necesita un cadru foarte rigid care este dispus paralel cu planul portii si serveste la rezemarea grinzilor perpendiculare, care sustin acoperisul si care sint rezemate in partea opusa pe stilpi sau grinzi de contur incluse in partile de inchidere. Structurile sint avantajoase fata de cele suspendate in cazul amplasarii hangarului in prelungirea pistelor de aterizare / decolare, unde nu se permit inaltimi de constructie mari [Wa88]. De asemenea sistemul de alcatuire este avantajos la hangarele la care latimea depaseste de doua pina la trei ori lungimea.

La acest tip de constructii folosirea fermelor cu zabrele plane conduce la inaltimi de constructie foarte mari, ceea ce atrage dupa sine si cresterea volumului construit. De aceea s-au preferat solutii in cadre, care conduc la inaltimi mici de constructie. Acestea pot fi realizate din rigle si stilpi metalici cu zabrele, la care prinderea riglei de stilpi si a stilpilor de fundatii se poate face articulata sau incastrat. Desigur, cadrele pot fi realizate si cu stilpi si rigle cu inima plina, cu prinderea in fundatie rigida sau articulata (aceasta solutie se utilizeaza in cazuri speciale) in scopul reducerii si mai mult a inaltimii constructiilor. In acelasi timp, aceasta solutie conduce la un consum de material mai ridicat decit in cazul adoptarii solutiei cu zabrele).

4.1 Alcatuirea structurii.

4.1.1 Structuri cu cadrul dispus la poarta hangarului.

Ca sistem static, in cadrul acestui tip de structura, cadrul de sustinere al grinzilor acoperisului se poate amplasa chiar la poarta hangarului. In acest caz cadrul serveste in plus si la ghidarea panourilor portii, inlocuind in felul acesta grinda de ghidare. Exemple de acest tip sint date de hangarul de la Koln-Wahn - RFG fig. 4.1, la care grinda de sustinere din dreptul portii este alcatuita din doua grinzi cu

zabrelele cu talpi paralele si diagonale descendente, departate la 3.75 metri intre ele si legate cu contravintuiri pentru a forma o structura spatiala capabila sa preia, atat incarcările verticale ale acoperisului, cit si pe cele orizontale, provenite din actiunea vintului pe peretele frontal al portii [**73]. La ambele grinzi, raportul H/L este de ordinul 1/10.

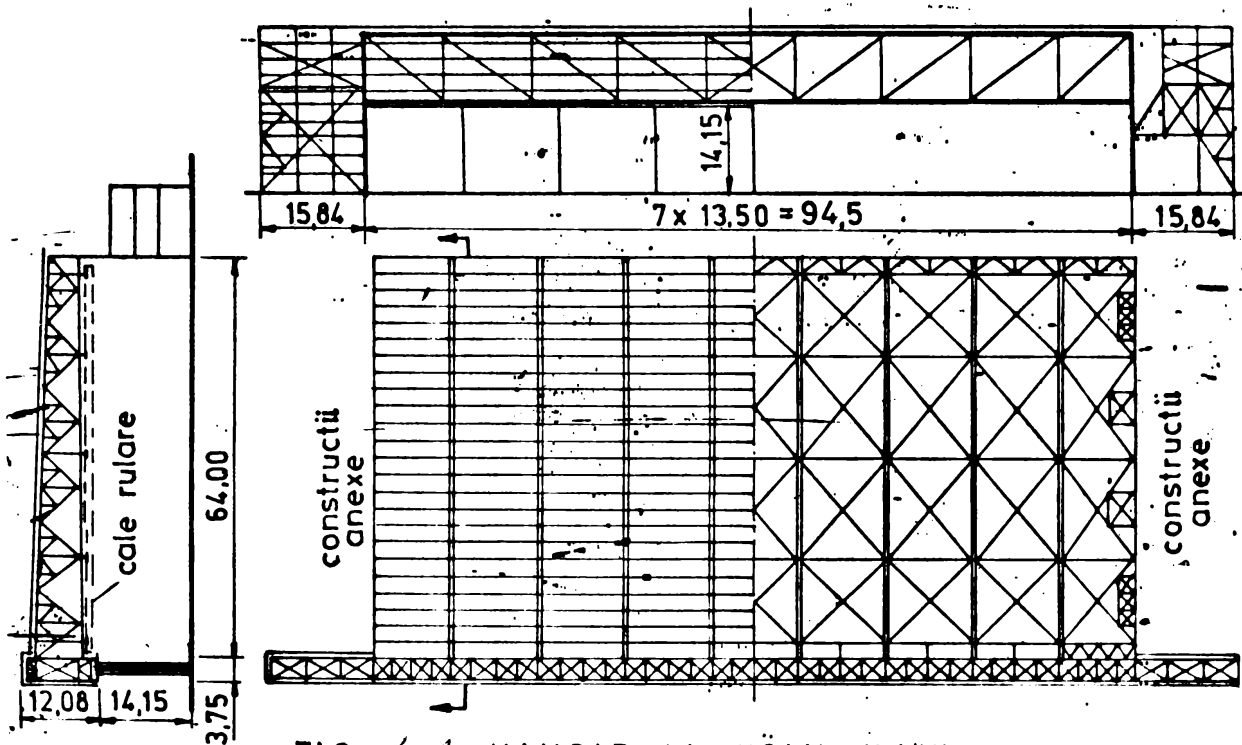


FIG. 4.1. HANGAR LA KÖLN - WAHN.

Un alt exemplu este cel prezentat in fig. 4.2 de la Wunsdorf - RFG. La aceasta structura alcatuirea este similara, static si constructiv, cu observatia ca grinda principala, care are si rolul de grinda de poarta, este realizata ca un cadru dublu articulata, alcatuit din doua saibe cu zabrele care sunt distantate la 4 metri. Inaltimea sistemului de grinda este de 10 metri, iar inaltimea grinzii secundare perpendicularare pe planul portii este de 7 metri in dreptul portii, respectiv de 4 metri in partea opusa. Fortele orizontale sunt preluate de fundatia de beton armat, alcatuita din grinzi, care se intind pe toata lungimea halei si care suporta si sinele portii. Dimensiunile in plan pentru acest hangar sunt de 119.5 X 44 metri [**73].

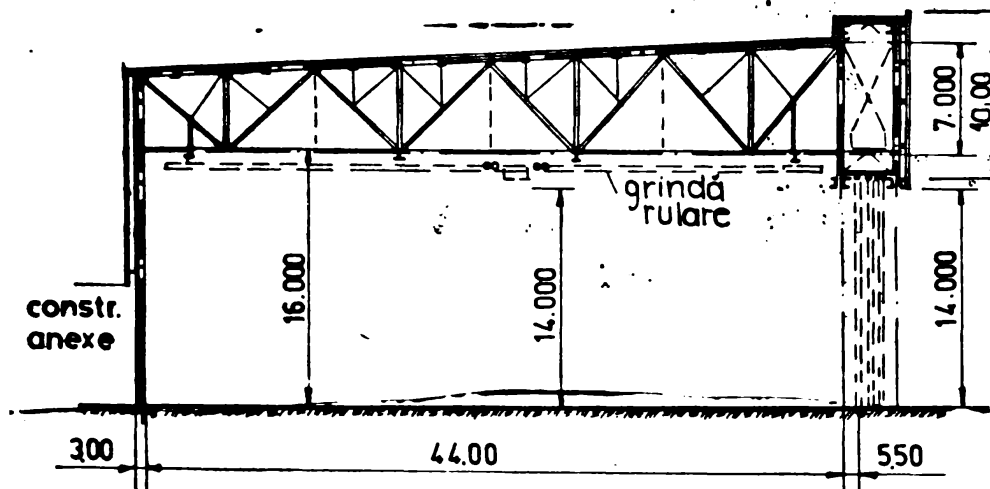


FIG. 4.2. HANGAR LA WUNSTORF - R.F.G., SECȚIUNE ȘI VEDERE.

4.1.2 Structuri cu cadre amplasate în spatele porții.

Acest sistem constructiv nu diferă principial de cel prezentat anterior. Deosebirea constă în separarea grinzii de susținere de cea de poartă și în amplasarea ei spre interiorul hangarului. Astfel, grinzile longitudinale, rezemate pe cadru, lucrează ca grinzi în consola. Soluția impune prezenta unei grinzi la nivelul porții, care să servească la ghidare.

Amplasarea cadrului de susținere conduce la o schimbare în repartitia solicitărilor, astfel încât cadrul de susținere devine cu atât mai încărcat cu cât este mai retras spre interior, iar grinzile perpendiculare pe planul porții, care sunt rezemate pe cadru, devin la rândul lor mai favorabil solicitate [RP76].

Soluția optimă pentru grinzile perpendiculare pe planul porții se obține atunci când momentul încovoietor pe reazem devine egal cu cel maxim din câmp, ceea ce corespunde unei lungimi de consola de 0.28 din lungimea acestor grinzi. În acest caz, cadrul de susținere îi revine circa $3/4$ din încărcările acoperisului, comparativ cu $1/2$ din această încărcare corespunzător cazurilor când este amplasat în planul porții. Desigur, amplasarea cadrului de susținere depinde și de alți factori cum ar fi:

- rezolvarea iluminării naturale în interiorul construcției;
- cerințe impuse de funcționalitatea mijloacelor de transport suspendate;

- amplasarea unor instalatii de intretinere, s.a.m.d

Aceste structuri prezinta avantaje din punctul de vedere al consumului de material, dar sint si dezavantajoase din punctul de vedere al realizarii.

Exemple de acest tip constructiv pot fi date de hangarul de la Frankfurt pe Main - RFG, fig. 4.3 [**73]. Cadrul acestuia este patetele portii la o distanta de 0.32 din adincimea constructiei, avind astfel grinzile perpendiculare pe planul portii iesite cite 16 metri in consola. Rigla cadrului are lungime de 90.24 metri si inaltimea de 8 metri, fiind integrata in structura grinzilor perpendiculare, asigurind astfel posibilitatea de realizare a unor luminatoare triunghiulare paralele cu poarta. Impingerile cadrului transversal dublu articulata sint preluate de un tirant montat sub nivelul pardoselii constructiei.

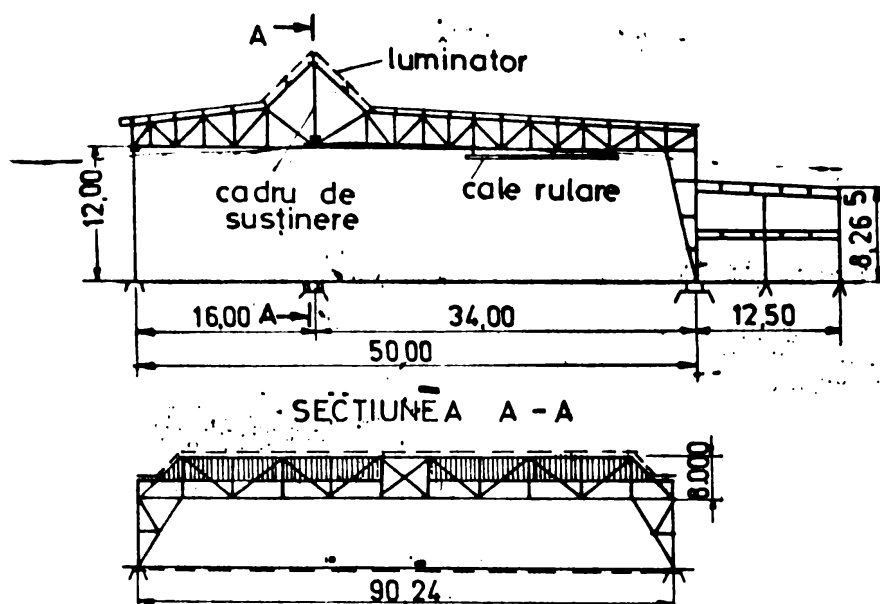


FIG. 4.3 HANGAR FRANKFURT PE MAIN-R.F.G.

Un alt exemplu in care s-a adoptat aceeași soluție constructivă este cel dat de construcția hangarului din Köln - RFG [**73], cu dimensiuni în plan de 100 X 65 metri și înălțimea liberă de 14 metri. Grinda de susținere a acoperișului se reazemă în acest caz pe un cadru, care are stâlpi în formă de cheson, iar cadrul este retras cu o distanță de 0.32 X 65 metri în spate față de poziția portii. Talpiile riglei cadrului au secțiuni variabile cu înălțimi de 3 metri la mijloc și de 5.1 metri la nivelul legăturii cu stâlpul a cărui

secțiune este de tip cheson. Stilpii au secțiunea variabilă, de forma casetată, cu dimensiuni de 5 X 0.8 metri la nivelul riglei cadrului și de 2.5 X 0.35 metri la nivelul de prindere cu fundația.

4.1.3 Stabilirea structurii optime.

Pentru alegerea structurii optime din punctul de vedere al funcționalității și al costului total, în cadrul acestei lucrări s-au parcurs următoarele etape:

a) Alegerea poziției de așezare a cadrului

Din analiza celor două variante de așezare a cadrului de mai sus, rezulta că varianta a doua este mai avantajoasă din punctul de vedere al consumului de material. De aceea s-a ales, pentru structurile analizate în cadrul prezentei lucrări, soluția cu un cadru cu așezarea la distanța 0,28 din adâncimea hangarului față de poartă. Ca elemente componente ale acestui cadru, pot fi alese structuri:

- cu inima plină care conduc la o înălțime mică a cadrului;
- cu zabrele care însă conduc la o înălțime mare a cadrului

[Ținând seama de necesitatea reducerii consumului de material s-a ales structura cadrului cu zabrele (fig. 4.4a). Pentru prinderea cadrului în fundație, s-a ales o prindere rigidă, pentru a obține o repartizare cât mai uniformă a eforturilor în structura cadrului] (repartitia eforturilor este prezentată comparativ pentru cele două cazuri de prindere a stilpului în fundație în fig. 4.5). [Este de remarcat faptul că prin adăugarea contrafisei (bara numărul 32) la colțurile cadrelor, crește momentul de inerție al colțului cadrului, ceea ce conduce la o repartizare mai uniformă a eforturilor în bare.]

b) Alegerea formei grinzii secundare.

[La alegerea formei grinzii secundare (fig. 4.4b) s-a ținut seama de legea de variație a solicitărilor produse de încărcări, ceea ce a impus soluția unei grinzi cu înălțime variabilă. Aceasta, se prinde articulat în stilpul pendular din partea opusă a porții și simplu rezemat pe cadru, fiind ieseită în consola au 22 metri.]

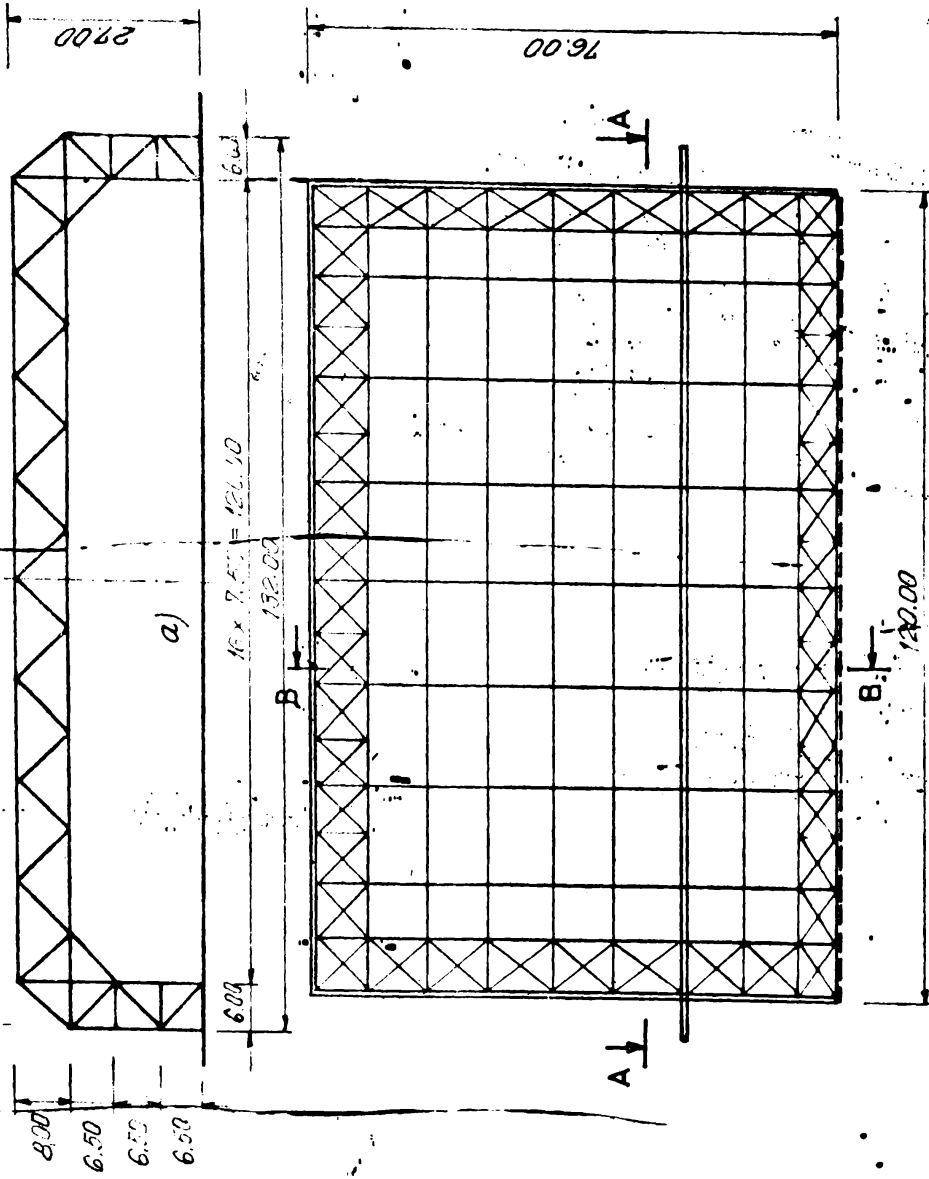
c) Alegerea formei și înălțimii riglei cadrului.

La alegerea formei s-a ales varianta cu inaltime constanta, deoarece grinziile secundare sunt rezemate succesiv pe aceasta rigla. In ceea ce priveste inaltimea riglei si cea a grinzii secundare s-au ales astfel de variante incit sa fie indeplinite cerintele impuse de operatia de dimensionare (conditii de rezistenta si stabilitate).

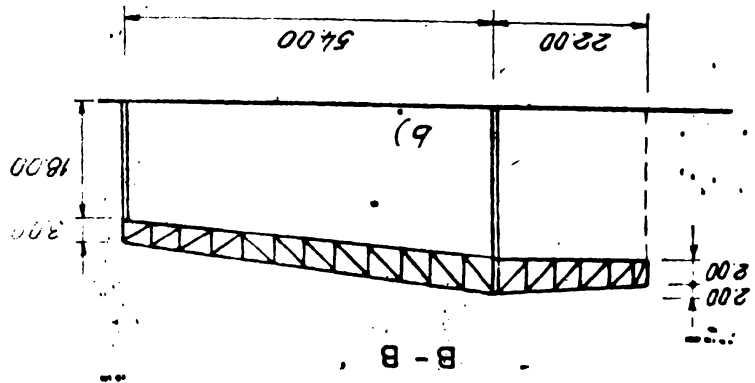
O alta problema care s-a avut in vedere a fost cea a reducerii consumului de material si a manoperei [GR89]. S-a procedat in acest scop la reducerea numarului de noduri, care, prin modul lor de alcatuire, cu gusee, suprapuneri de elemente si elemente de imbinare, conduc la un consum suplimentar de otel. In acelasi timp insa, un numar prea mic de noduri conduce la un numar redus de bare, care vor fi mai puternic solicitate iar datorita lungimii mari se vor comporta defavorabil la stabilitate, conducind in final la cresterea consumului de material. Din acest motiv la alcatuirea grinzilor componente ale structurii s-a tinut seama ca inclinarea diagonalelor sa fie cit mai apropiata de 45 grade. La rigla cadrului, unde numarul de noduri este mic si lungimea barelor este mare, in cazul cind eforturile sunt prea mari, se va trece la utilizarea unei impartiri secundare in scopul reducerii lungimii de flambaj a barelor sistemului principal.

4.2 Calculul structurii.

Dupa stabilirea formei si a elementelor componente ale structurii (pozitia optima a cadrului cu zabrele), s-a trecut la determinarea eforturilor din bare. Pentru evitarea solicitarii la incovoiere a barelor s-a tinut seama ca pozitia fortelor care actioneaza asupra lor sa fie concentrata numai in noduri. Calculul cadrelor si respectiv al grinzilor, care sunt in general static nedeterminate se poate face cu una din metodele cunoscute din statica constructiilor [IN89]. Metodele de calcul sunt variate, cele mai cunoscute fiind cele clasice: metoda deformatiilor, metoda eforturilor, etc. Incarcarile au fost stabilite ca si in cap. 2, cu deosebirea ca incarcarile date de greutatele proprii ale structurii sunt diferite. Pe baza acestor incarcari, stabilite anterior, au fost calculate mai intii fortile concentrate in nodurile grinzii perpendiculare pe planul porti si iesite in consola de 22



8.00
6.50
6.50
6.50



44

metri. Avind in vedere diversitatea calculelor care sint necesare de efectuat, ca si volumul mare al acestora (datorita multitudinii de combinatii cu mai multe ipoteze de calcul), s-a recurs la un calcul automat (programul de calcul este cel prezentat in cap. 6).

Dupa efectuarea calculului grinzii secundare (determinarea eforturilor si a deformatiilor), respectiv a dimensionarii, s-a trecut la calculul cadrului care sustine aceste grinzi. Cadrul a fost incarcat cu zapada + vint la care s-au adaugat greutatea proprie, reactiunile date de grinzile secundare, in doua variante si anume:

- prima varianta a fost data de reactiunile rezultate din provenite din combinatia: zapada + vint +

- greutatea proprie a grinzii + pane + invelitoare

- a doua varianta a fost data de reactiunile date de incarcari provenite din combinatia: zapada + vint.

De remarcat ca cea de a doua varianta de incarcari a fost conceputa pentru a determina deformatia cadrului in scopul asigurarii functionalitatii hangarului.

Dupa efectuarea calculelor au fost intocmite tabelele care reflecta rezultatele obtinute. In primul tabel din fig. 4.6 se prezinta rezultatele pentru grinda secundara perpendiculara pe planul porti si rezemata la 0.28 din adincimea hangarului pe un cadru de lungime care variaza intre 60 si 120 metri. Grinzile secundare sint asezate la distanta de 15 metri. Paneele care sustin invelitoarea sint rezemate in nodurile grinzilor secundare si sint distantate la 9 metri. Grinda s-a impartit in 4 tronsoane, in functie de repartitia eforturilor. Repartitia este rationala, aspect care este observabil in tabelul din fig. 4.6, deoarece cele 4 tronsoane prezinta greutati aproximativ egale. Grinda este asigurata spre interior si spre exterior cu pante corespunzatoare scurgerii apelor.

La alegerea sectiunii barelor s-a tinut seama ca toate sectiunile sa aiba aceleasi dimensiuni ca latime si aproximativ aceleasi inaltime, diferind doar prin grosime (sau prin adaugarea unor platbande). Sectiunile alese pentru talpi au fost sectiuni formate din profile de tip [] departate legate prin platbande. La diagonale si montanti s-a ales acelasi tip de sectiune.

Tinind seama ca prinderea barelor in noduri se face cu sudura si ca barele care se imbina au sectiuni chesonate

practic, ele nu constituie articulatii reale si deci, in bare vor apare si momente incovoietoare, ai caror efect insa s-a neglijat, datorita lungimii mari a barelor componente. De asemenea s-a tinut seama si de necesitatea reducerii consumului de material luind in considerare mai multe posibilitati si anume:

- s-a utilizat otel de calitate superioara (OL52) in locul oteilor normale, pentru toate structurile studiate. Aceasta deoarece OL52 are caracteristici mecanice mai ridicate decit otelul normal, avind in special o limita de curgere R_c mai mare, ceea ce conduce la scaderea ariei sectiuni transversale si in acelasi timp conduce la scaderea greutati proprii;
- s-au utilizat pentru sectiunile componente ale structurii profile laminate care conduc la o manopera cit mai redusa.

Stilpul pendular, care sustine grinda este format din sectiunea de tip I profilata. Consumul specific de material al grinzii este de aproximativ 14 Kg/m². iar cel al stilpului pendular nu depaseste 1 Kg/m².

Cadrela care sustin grinzile de acoperis au fost calculate pentru deschideri de 60, 90, si 120 metri. Incarcarile care revin acestor cadre sint date de greutatea proprie si de aproximativ 3/4 din incarcarile acoperisului. Cele trei tipuri de cadre au fost tratate separat, determinarea solicitarilor, respectiv dimensionarea lor, fiind facuta pe aceleasi principii ca si la grinda principala prezentata anterior.

La cadrul cu deschidere de 60 metri rigia are inaltime constanta de 4 metri pe toata deschiderea (fig. 4.7). Aceasta grinda s-a impartit in 4 tronsoane, cu lungimi de cite 15 metri fiecare. La primul tronson diagrama de momente incovoietoare la prinderea rigiei de stilp schimba semnul, de aceea rezulta cu o greutate mai mica decit cea a tronsonului al doilea, unde diagrama nu schimba semnul si unde talpile superioare sint puternic comprimate, iar cele inferioare puternic intinse. Stilpul este format dintr-un singur tronson si este prins rigid de fundatie, avind latimea de 4 metri. Cele doua talpi ale stilpului au fost dimensionate la acelasi efort (cel maxim). La diagonale (variatiia eforturilor este legata de alura diagramei de moment) de aceea diagonalele stilpului s-au ales cu arii diferite de cea a contrafisei. Sectiunile utilizate pentru

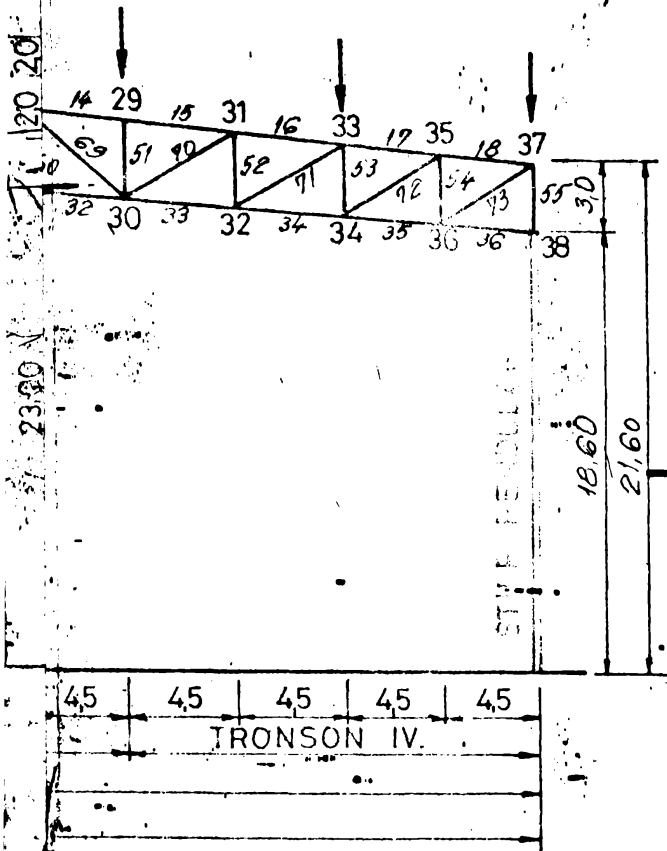
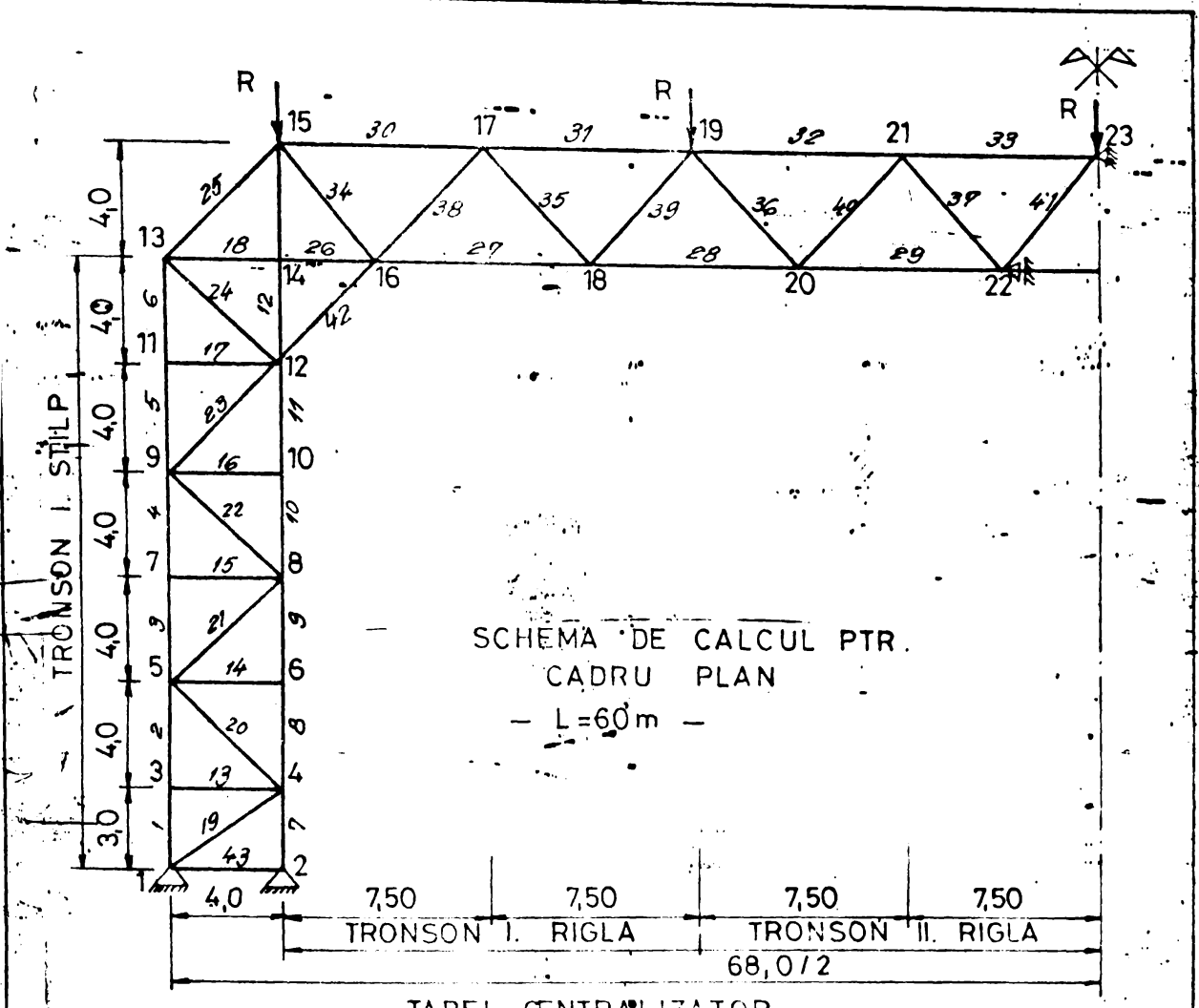


FIG. 4.6
SCHEMA DE CALCUL SI
TABEL CENTRALIZATOR PTR.
GRINDA PENDULARA PE
PLANUL PORTII

ELEMENT	TRONSON III				TRONSON IV						TOTAL GRINDA		
	A (cm ²)	Z I (cm)	G (Kg)	GTRONSON (Kg)	BARA	N max (d.c.N)	A (cm ²)	Z I (cm)	G (Kg)	GTRONSON (Kg)	GTOTAL (Kg)	g (Kg/m ²)	fmax (cm ²)
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
5	97	18,09	13,77	3564	15	21,77	97	18,09	13,78	3525	14944	14	23
1	85	18,26	12,06		33	19,511	75	18,06	10,64				
2	34	22,89	611		73	98849	41	21,73	680				
1	34	13,85	370		55	72593	41	12,51	403				
						72747	63	1860	-		920	0,8	
											15864	14,8	



TABEL CENTRALIZATOR

STILP	M. D.	RIGLA	TRONSON I.					TRONSON II.					TOTAL		fz.v (cm)	fmax (cm)	
			BARA	Nmax (daN)	A (cm ²)	Σ l (cm)	G (Kg)	GTRONSON (Kg)	BARA	Nmax (daN)	A (cm ²)	Σ l (cm)	G (Kg)	GTRONSON (Kg)			G (Kg)
1	3	31	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	31	-444360	264	1500	3409	8166	33	-1012103	528	1500	6217	11525	39370	8,54	11	19,3	
1	27	25910	108	1875	1590		R22	960089	390	1125	3444						
1	38	-423868	201	2193	3461		40	447160	85	2193	1864						
2	11	-535796	198	5000	7772	11766	-	-	-	-	-	23532	5,46	-	-		
2	24	185489	85	3895	2599		-	-	-	-	-						
2	42	-307356	118	548	647		-	-	-	-	-						
2	18	10354	34	2800	748		-	-	-	-	-						
Total cadru												62902	14	-	-		
Total structură												126358	29	-	-		

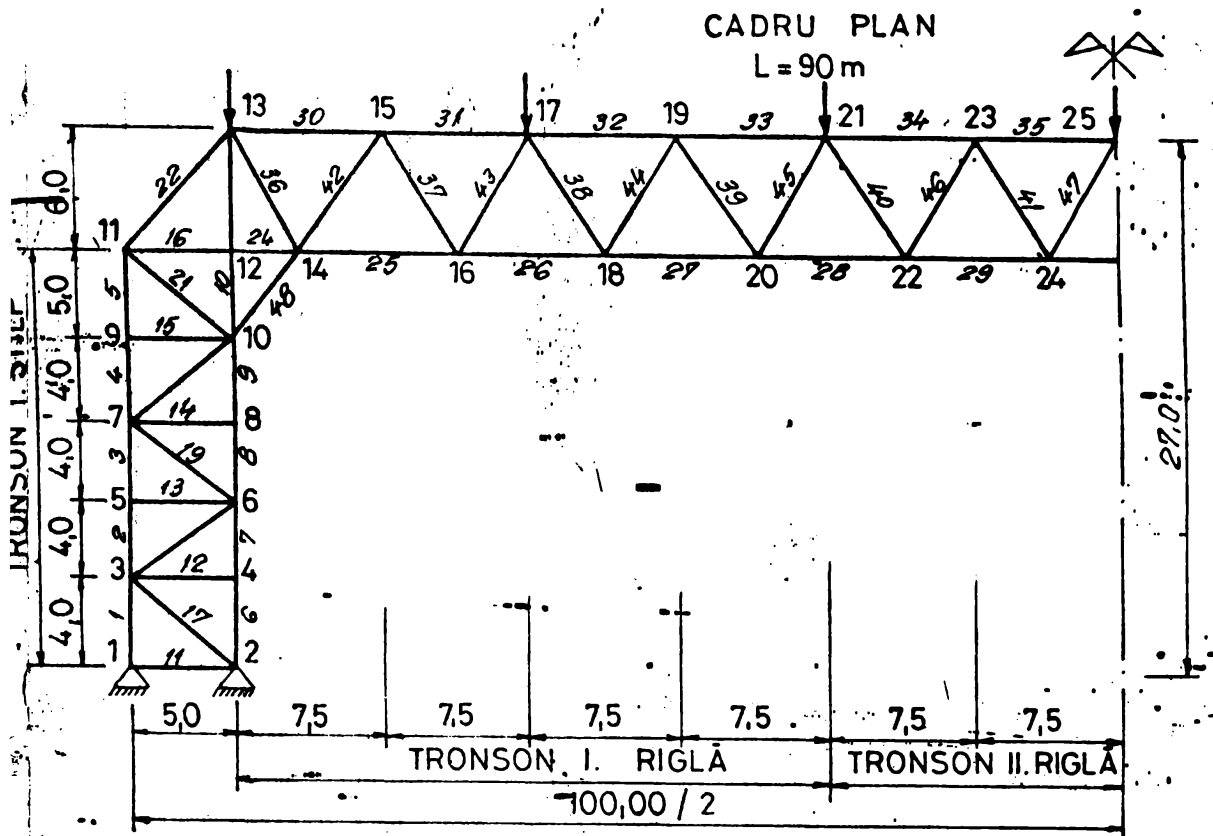


FIG. 4.8
SCHEMA DE CALCUL SI TABEL CENTRALIZATOR PTR. CADRU PLAN
+ L = 90,m -

TRONSON I.						TRONSON II.					TOTAL		fz.v (cm)	fmax (cm)	
BARA	N _{max} (daN)	A (cm ²)	Σl (cm)	G (Kg)	G _{TRONSON} (Kg)	BARA	N _{max} (daN)	A (cm ²)	Σl (cm)	G (Kg)	G _{TRONSON} (Kg)	G (Kg)			g (Kg/m ²)
33	-1172466	606	3000	14271	26499	35	-1557851	800	15,00	94,20	18,071	89140	13,03	33	19
25	-656482	210	3000	4946		R24	1274646	425	15,00	50,04					
44	-372238	104	5656	7282		46	-129857	164	28,28	36,47					
9	-833283	3554	4600	12783	23338	-	-	-	-	-	-	46676	6,85	-	-
17	439051	198	3842	5971		-	-	-	-	-					
48	-853746	354	548	1523		-	-	-	-	-					
16	-98539	130	3000	3061		-	-	-	-	-					
Total cadru											135228	19,88	-	-	
Total structură											230412	34	-	-	

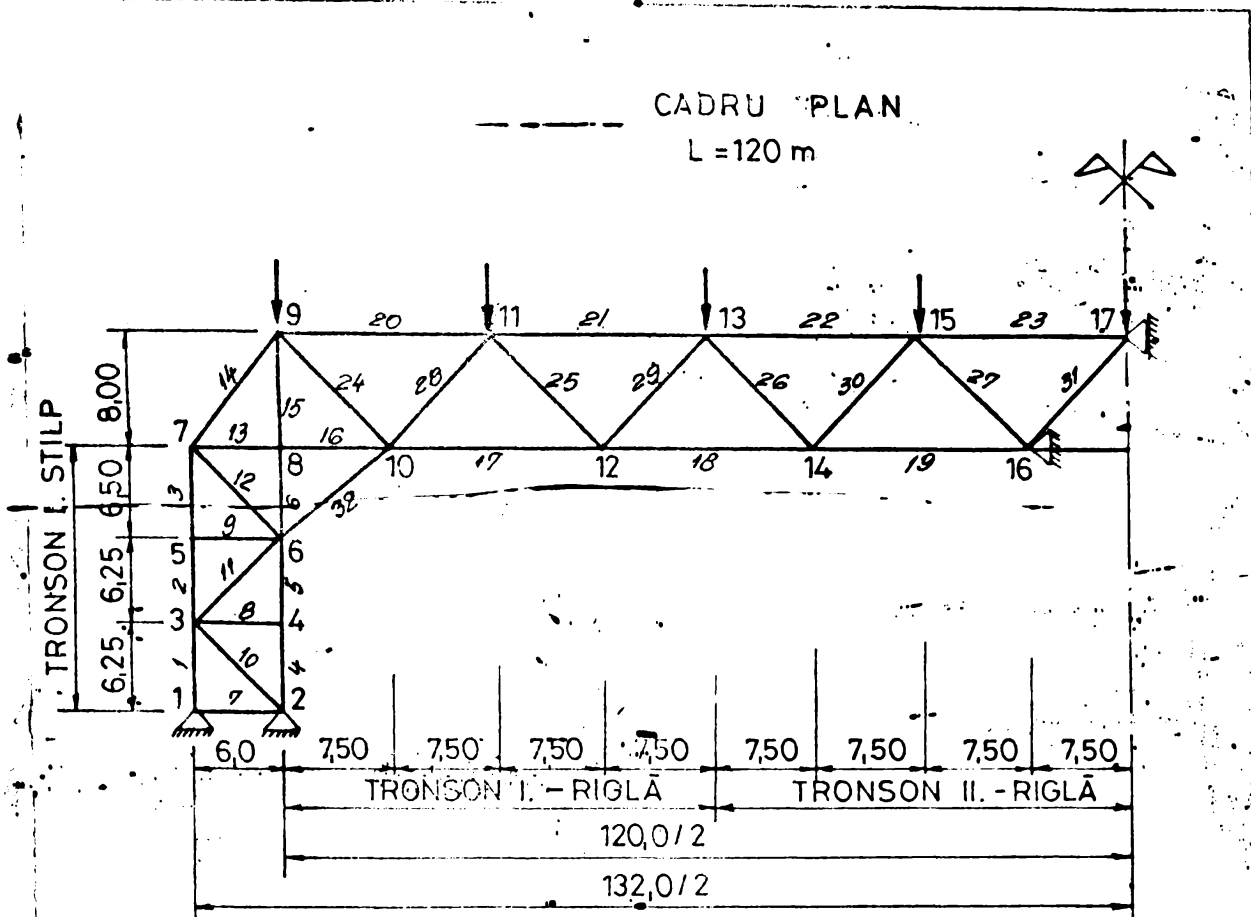


FIG. 4.9

SCHEMA DE CALCUL SI TABEL CENTRALIZATOR PTR. CADRU PLAN L=120 m

STILP ZONE	M. D.	I.	D.	T.	S.	2	TRONSON I.					TRONSON II.					TOTAL		fz.v (cm)	fmax (cm)			
							BARA	N _{max} (daN)	A (cm ²)	Σ l (cm)	G (Kg)	G _{TRONSON} (Kg)	BARA	N _{max} (daN)	A (cm ²)	Σ l (cm)	G (Kg)	G _{TRONSON} (Kg)			G (Kg)	g (kg/m ²)	
							3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
							21	-631273	351	3000	8266	32795	23	-1725410	902	3000	21242	39341	144272	15.8	5.8	22	
						17	-547321	306	3750	9008	25		1093684	355	3000	8360							
						28	-933190	451	4384	15521	20		-399338	283	4384	9739							
							1	-820413	369	4600	13326	30856						78714	6.69				
						10	1043568	360	3619	10322													
						32	-1316982	738	992	5747													
							13	-19964	85	2400	1601												

rigla cadrului sint diferite in functie de tipul barelor:

- pentru talpile riglei s-au utilizat sectiuni chesonate cu latime constanta, dar cu inaltime si grosime diferita;
- la diagonalele si montantii riglei cadrului si a stilpului s-au utilizat sectiuni din profile departate de tip [] legate cu zabrele.

Pe acelasi principiu s-a calculat si s-au dimensionat cadrele cu lungimea de 90, si 120 metri (fig. 4.8 pentru deschidere de 90 metri si fig 4.9 pentru deschidere de 120 metri).

lungime [m]	60	90	120
greutatea G [Kg]	132240	230414	349898
consum specific g [Kg/m ²]	29	34	39

Tabel 4.1 Variatia consumului specific de otel
in functie de lungimea cadrului.

In tabelul 4.1 se prezinta variatia consumului specific de otel in functie de deschiderea cadrului. Aceasta variatie este aproximativ liniara si crescatoare. Procentul de crestere este relativ mic fata de cresterea deschiderii cadrelor. Acest rezultat, conduce la concluzia ca structurile de acest tip cu deschideri mari, care depasesc deschiderea de 60 metri fara reazeme intermediare, sint avantajoase din punctul de vedere al consumului de material. Trebuie totusi remarcat ca acest tip de structuri cu zabrele au si dezavantaje, deoarece necesita multa manopera, multe gusee, precum si faptul ca necesita contravintuiri puternice in planul acoperisului care asigura transmiterea actiunilor orizontale provenite din vint. Aceste contravintuiri sint necesare pentru asigurarea conlucrarii spatiale intre grinzile rezemate pe cadru pe de o parte si intre grinzi si cadru pe de alta parte. In acelasi timp, paneele detin un rol important prin faptul ca ele sint concepute cu contrafise care asigura reducerea lungimilor de flambaj a talpilor comprimate pentru grinzile secundare (paneele sint elementele care creaza puncte fixe ale nodurilor fermelor in

planul normal pe planul acestora).

Contravintuirile utilizate sînt de diferite tipuri, ele fiind realizate prin legarea cu zabrelele a panelor in sens longitudinal si a unor grinzi secundare in sens transversal (asa cum se arata in fig. 4.6). Ele formeaza un cadru inchis, suficient de rigid, care asigura rigiditatea constructiei la rasuciri. In general ele sînt amplasate la panele si grinzile marginale ale constructiei, in cazurile cind deschiderea constructiei este relativ mica, cum este cazul celei de 60 metri. In cazul in care deschiderea este mare (structura de 120 metri) s-au introdus si contravintuiri in centrul deschiderii in scopul mariri rigiditatii.

Tinind seama ca stilpii pe care se rezema grinzile secundare sînt pendulari, in cazul structurilor cu deschideri mari, pentru a asigura stabilitatea si rigiditatea structurii in ansamblu, s-au prevazut contravintuiri si in pereti.

Facind o comparatie cu celelalte structuri analizate si inspectura reticulata, unde nu sînt necesare astfel de contravintuiri, se observa o crestere a consumului de material.

5. STRUCTURI RETICULATE PLANARE.

5.1 Introducere.

Structurile reticulate spatiale pe doua nivele prefabricate reprezinta astazi cea mai uzuala forma de structuri reticulate spatiale [PD88]. Ele se intilnesc pe scara larga in constructii, indeosebi la cele cu deschideri mari, ca de exemplu hale, sali de sport, biserici, sali de congrese, expozitii industriale etc. Structurile reticulate spatiale pe doua nivele devin cu atat mai economice cu cit creste deschiderea indeosebi cind au de preluat sarcini mari din acoperis (de exemplu la hangare, unde acoperisul sustine si mecanismul de ridicare utilizat la intretinerea aeronavelor), aspect care face ca aceste structuri sa fie sistemul static care distribuie cel mai bine incarcările.

Ele prezinta mai multe avantaje dintre care enumeram [**85]:

- prezinta o mare siguranta in exploatare, consecinta a faptului ca o deteriorare locala nu atrage dupa sine cedarea in lant a elementelor adiacente. Fac exceptie unele acoperisuri reticulate simplu strat, indeosebi cupolele care au o rigiditate relativ mica la incovoiere. In acest caz cedarea unei bare are drept consecinta o pierdere locala de stabilitate care poate duce chiar la pierderea generala a stabilitatii constructiei;
- rigiditatea mare si comportarea favorabila la forte concentrate si aplicate nesimetric;
- structurile portante formeaza un mediu continuu rigid permitind inginerului proiectant o libertate mare in ceea ce priveste dispunerea reazemelor portante (se poate ajunge chiar la indepartarea unor reazeme sau mutarea lor fara a periclita capacitatea portanta a structurii reticulate);
- pot fi alcatuite din elemente simple, similare barei, cu lungimi si forme standardizate. Astfel devine posibila o fabricare de serie mare in intreprinderi specializate. Ele pot fi astfel usor si rapid montate pe santiere de catre muncitori specializati ajungindu-se astfel la standardizarea constructiilor de acest tip, ceea ce are ca

- urmare costuri optime;
- utilizarea in general a structurilor reticulate spatiale din profile laminate, care se preteaza deosebit de bine pentru standardizare si tipizare si are ca efect cresterea substantiala a productivitatii;
- folosirea profilelor cu sectiuni tubulare sau chesonate, care sint optime pentru preluarea sarcinilor de compresiune sau intindere si au o suprafata neteda care usureaza protectia impotriva coroziunii;
- economie de material datorita greutatei proprii mici;
- scurtarea timpului de montaj si simplificarea executiei;
- cost redus pentru asamblare, transport ca si o depozitare usoara;
- se obtin inaltimi mici pentru acoperis;
- constructia are o mare rigiditate, deformatiile fiind reduse.

La proiectarea acoperisurilor de mare deschidere cu structuri reticulate planare, asa cum este cazul structurii analize in prezenta teza, problema initiala, sub aspectul optimizarii, o constituie alegerea tipului optim de structura [83].

5.2. Alcatuirea structurii.

In literatura de specialitate sint analizate foarte multe uri de alcatuire a structurilor din punctul de vedere al ului de rezemare si al formei adoptate pentru ochiul structurii [Ma80 MN85].

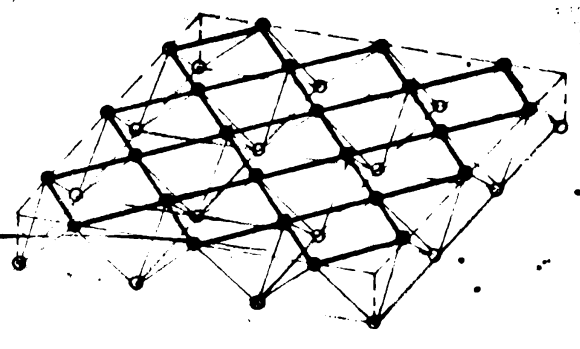
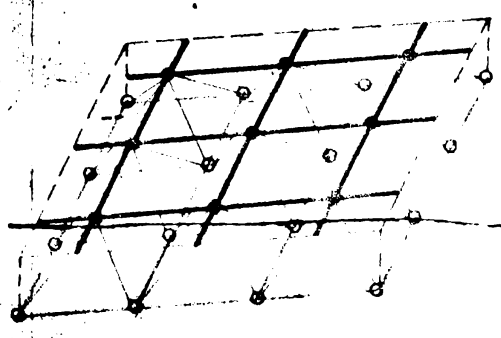
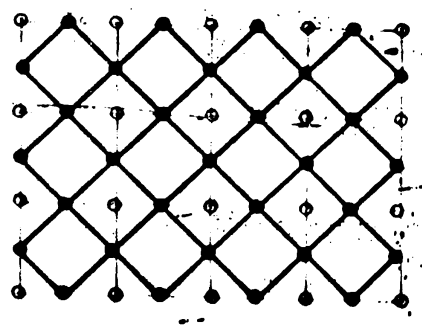
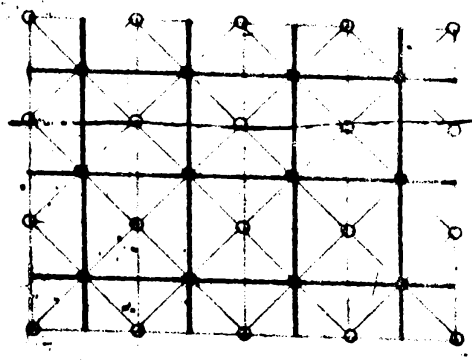
O prezentare a tuturor tipurilor de sisteme folosite in ctica este dificil de facut, datorita gradului de versitate ridicat. Dupa natura suprafetelor pe care se afla uniile retelei structurile reticulate pot fi clasificate in multe categorii [Ma87], din care ne intereseaza numai structurile reticulate de tip planar. La rindul ei, din aceasta egorie intereseaza acelea in care nodurile retelei sint zate in formele care urmeaza (pentru explicitatea desenului vor utiliza urmatoarele notatii in fig. 5.1):

FS = fata superioara;

D = diagonala;

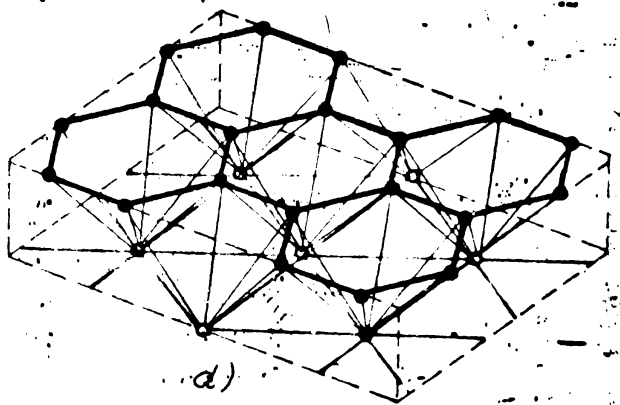
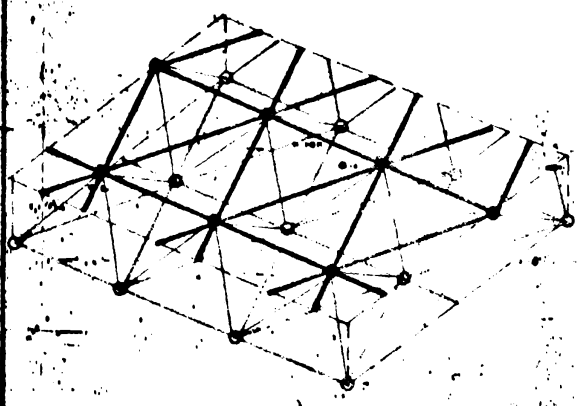
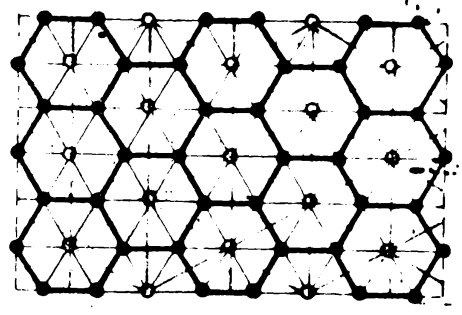
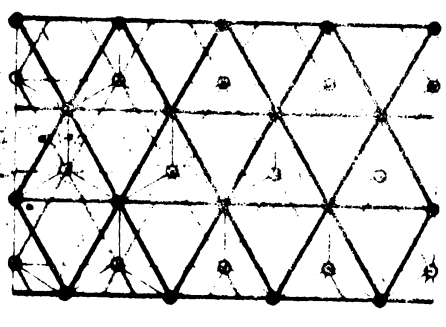
FI = fata inferioara.

a) structuri reticulate cu talpile paralele intre ele si



a)

b)



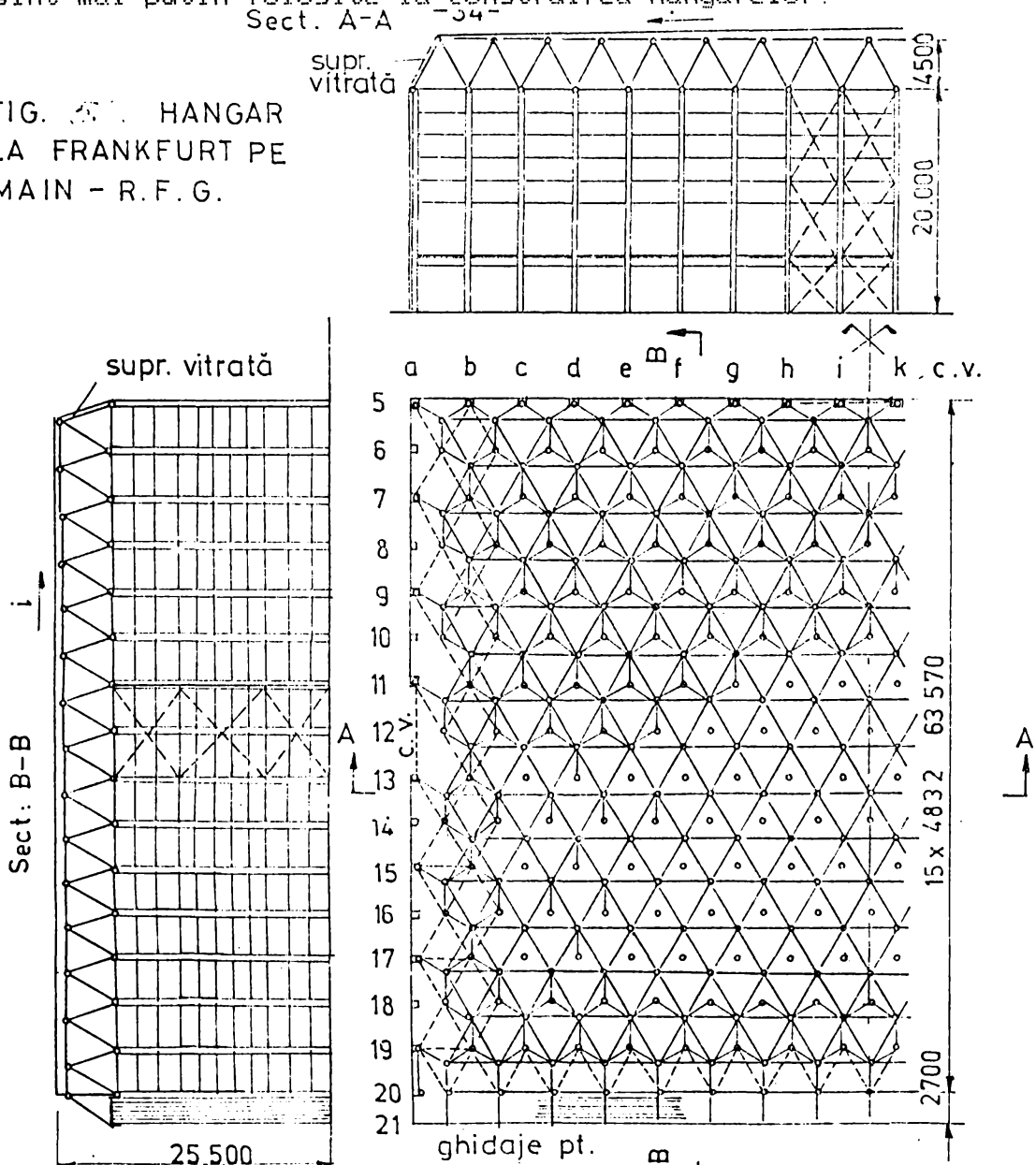
c)

d)

- paralele cu marginile constructiei;
- b) structuri reticulate in sistem diagonal, cu una din talpi paralela cu marginile constructiei si cealalta rotita la 45 de grade fata de marginea constructiei;
- c) structuri reticulate planare de tip sistem triunghiular;
- d) structuri reticulate planare de tip sistem hexagonal mixt.

Desigur in literatura de specialitate, ca si in practica, apar si alte tipuri de structuri reticulate dublu strat care insa sint mai putin folosite la construirea hangarelor.

FIG. 5.2. HANGAR LA FRANKFURT PE MAIN - R.F.G.



Dintre anumeroasele moduri de alcatuire in continuare se prezinta hangarul construit la Frankfurt pe Main - RFG fig. 5.2 [**73]. Acesta are dimensiunile in plan de 84 X 64 metri si o

timp a plăcii de 4.5 metri, cu dimensiunile ochiurilor lei de 4.8 metri. La realizarea acestei structuri, în care urile sînt triunghiulare, consumul de material a fost de 62 m². Placa este rezemată pe stâlpi din beton armat pe trei ri, fiind liberă în dreptul porții. Alt exemplu este dat de hangarul din Viena - Austria fig. 5.3 [Ma74],

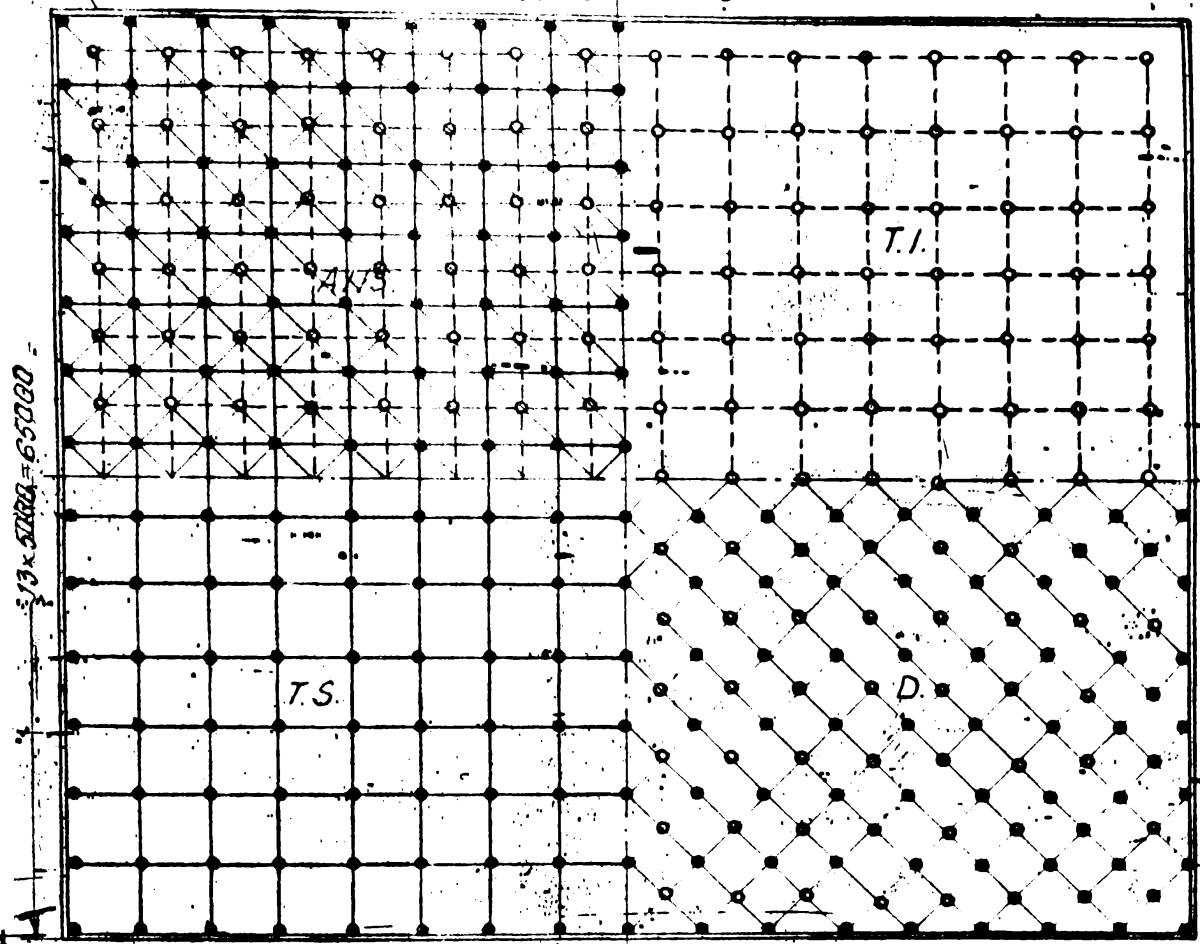
care acoperă o suprafață de 80 X 65 metri și care este rezemată pe cele patru laturi. Astfel, pe trei laturi este rezemat pe stâlpi, iar în dreptul porții este rezemat pe o grindă cu înălțimea de 8.4 metri, care în același timp joacă și rolul de ghidare a porții. Rețeaua are ochiurile pătrate, cu latura de 5 metri. Un ultim exemplu îl reprezintă hangarul de la Heathrow - Anglia fig. 5.4 [Ma70], care acoperă o suprafață de 138 X 88 metri și care este rezemat pe un cadru amplasat la distanță de 5 metri în spatele porții. Acoperișul este realizat dintr-o rețea de grinzi plane bidirectionale.

În cazul utilizării structurilor reticulate la acoperișurile deschideri mari rezemate pe contur, barele din fața inferioară sînt comprimate, în timp ce barele de pe fața superioară sînt întinse. Această stare de eforturi sugerează folosirea unor structuri la care barele din fața inferioară sînt distribuite mai rar decît cele din fața superioară. Prin creșterea numărului de noduri, respectiv al barelor din fața inferioară se obține un avantaj din punctul de vedere al consumului de material, al manoperei de execuție și al costului [Do88].

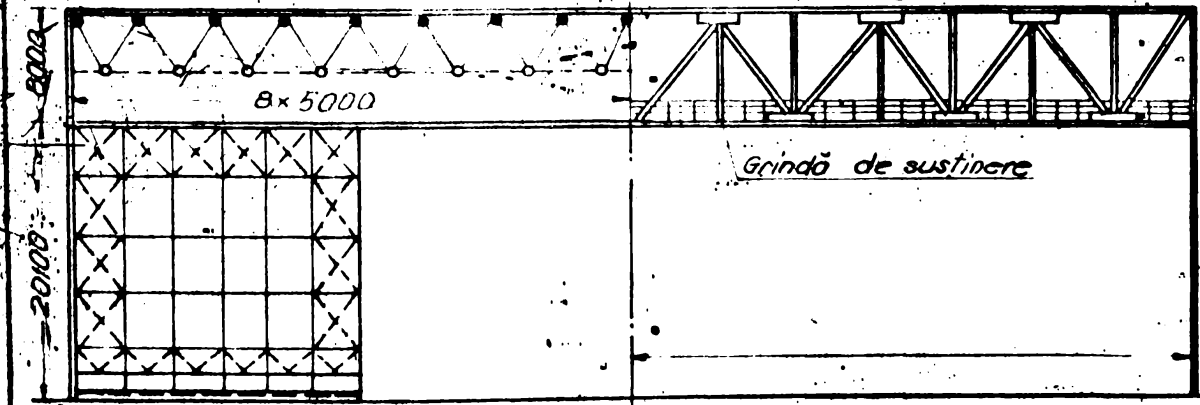
Cîteva tipuri de rețele cu fața inferioară rară, care sînt prezentate în fig. 5.5, constituie soluții optime pentru acoperirea unor acoperișuri de diverse dimensiuni. Prezentarea lor începe plecînd de la structurile curente prezentate în fig.

În fig. 5.5a este prezentată o astfel de structură cu bare dispuse rectangular, deci paralel cu conturul acoperișului iar în fig. 5.5b o structură din bare formată din bare dispuse în diagonală, la 45 de grade față de contur. Se observă că ambele structuri au pasul fetei inferioare dublu față de pasul fetei superioare, deci ambele fete au aceeași înălțime de bară. Aceste structuri pot fi interpretate și ca rețele de grinzi cu zăbrele avînd o secțiune transversală

PLACĂ ACOPERIS



VEDERE FRONȚON



SECȚIUNE LONGITUDINALĂ

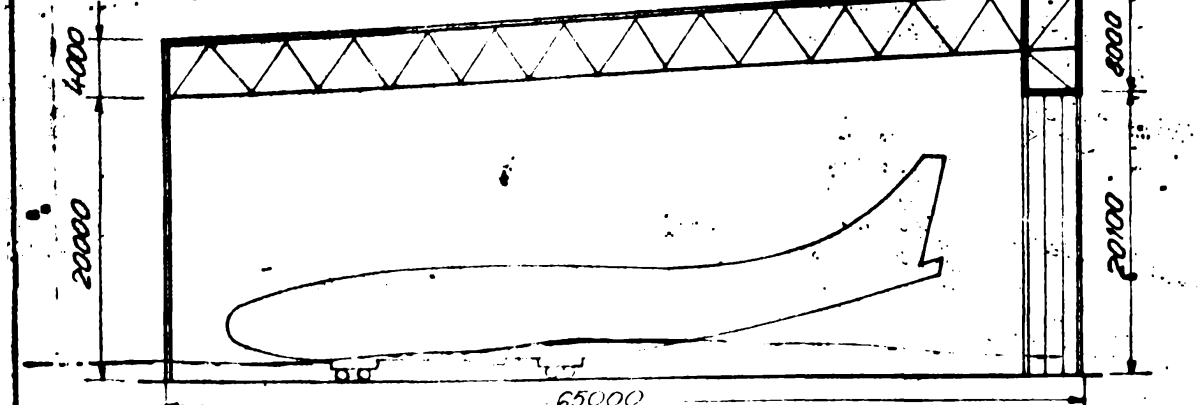


FIG. 3. ACOPERȘUL RETICULAT - AEROPORT VIENA

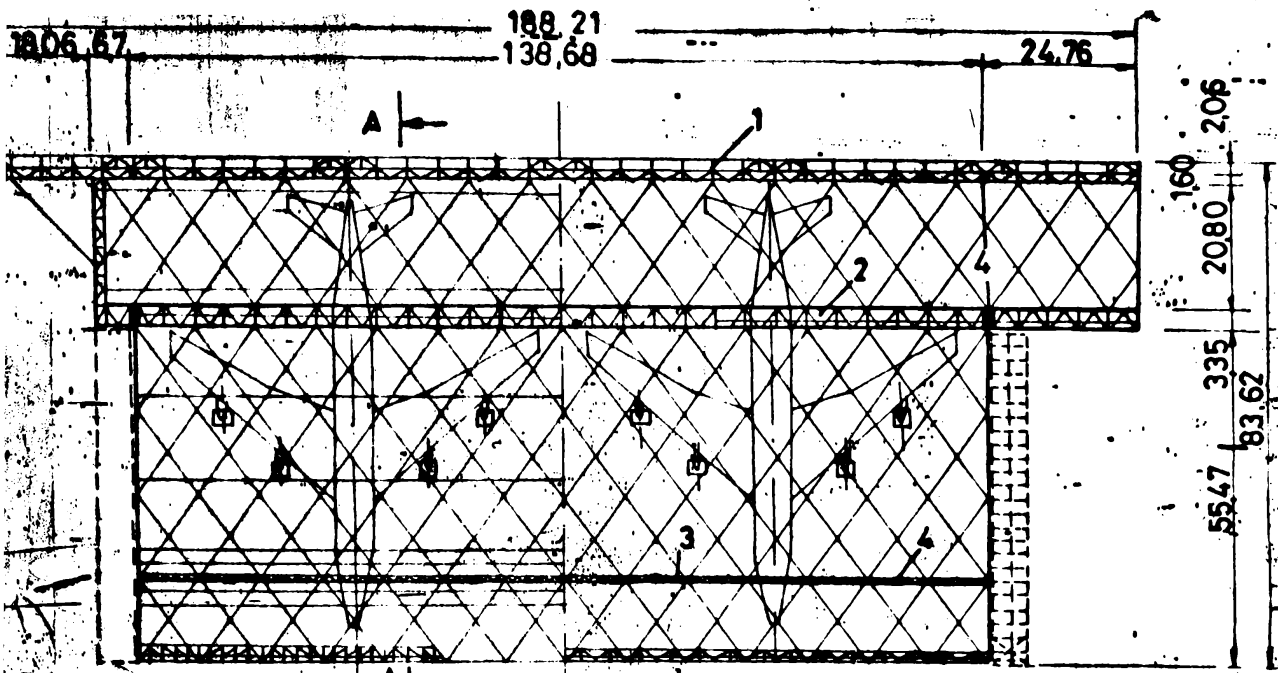


FIG. 5.4a. HANGAR LA AEROPORTUL HEATHORN-ANGLIA 1. Grinda de p \ddot{a} rt \acute{a} 2. Grinda intermediar \acute{a} 3. Grinda de spate 4. St \ddot{i} lpi de sus \ddot{t} inere

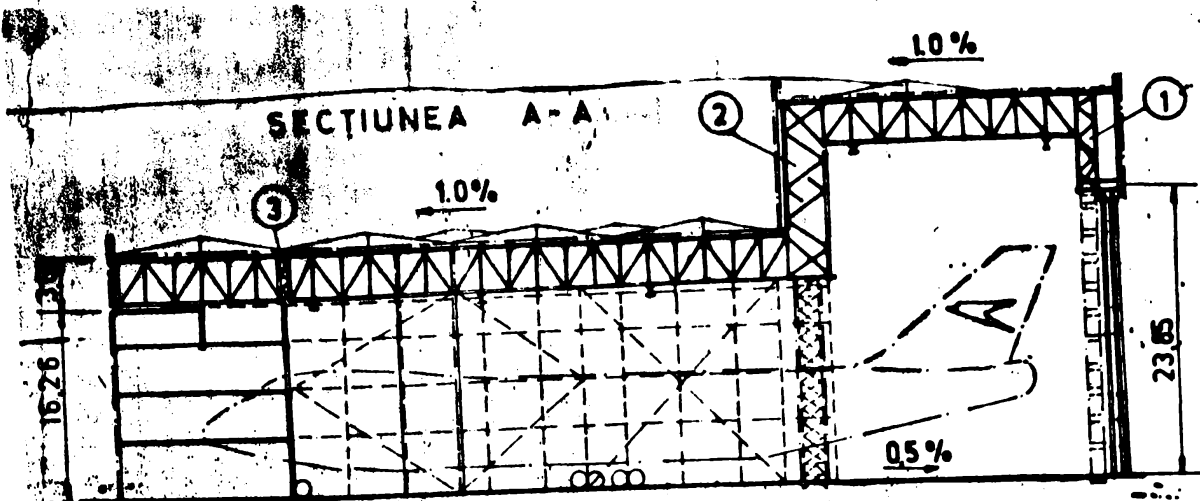


FIG. 5.4 b. SECTIUNEA TRANSVERSALA

In compunerea acestor structuri apar trei tipuri de noduri:

- nod curent in FS cu 7 bare (4 FS + 3 D);
- nod principal in FI cu 8 bare (4 FI + 4 D);
- nod secundar in FI cu 6 bare (2 FI + 4 D).

Ca număr de elemente componente la aceste structuri se fac următoarele economii față de structurile curente:

- 25% noduri în FI;
- 50% bare în FI;
- 25% bare în D.

Alt exemplu de folosire a feței inferioare rare este cel dat în fig. 5.6. Cele două tipuri de structuri, la care una din fețe este dispusă rectangular iar cealaltă în diagonală, le numim rectangular-diagonal și respectiv diagonale-rectangulare. Acestea nu deriva direct din structurile curente (fig. 5.1a și 5.1b) fiind o combinație între ele. Desigur creșterea lungimii talpi inferioare (l_i) față de lungimea talpi superioare (l_s) este de:

$$l_i = \sqrt{2} \times l_s \quad (5.1)$$

Tipurile de noduri pentru aceste structuri sînt următoarele:

- nod în FS cu 6 bare (4 FS + 2 D);
- nod în FI cu 8 bare (4 FI + 4 D).

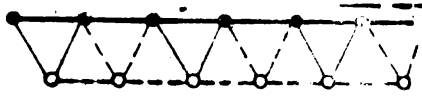
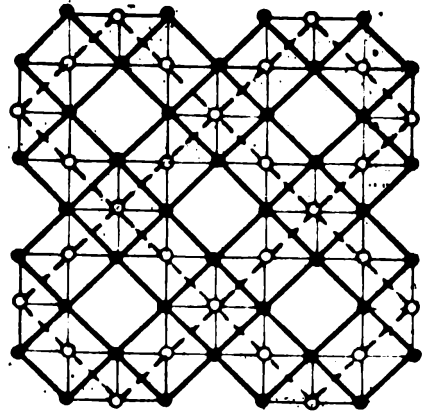
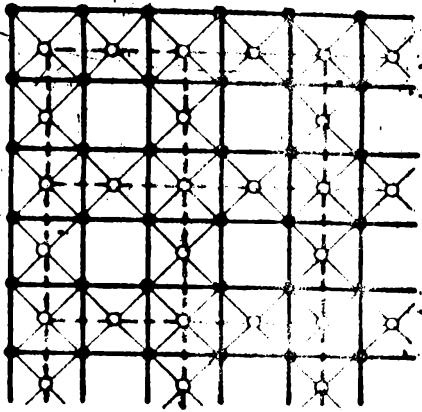
Mai există și alte noduri secundare în FS respectiv în FI la care numărul de bare depinde de modul de rezemare a structurii.

Folosirea structuri tridirectionale cu fața inferioară rară este și ea des folosită. Pornind de la structura curentă tridirecțională prezentată în fig. 5.1c se prezintă în fig. 5.7 o structură la care în fața inferioară au fost eliminate cite un șir de bare, alternativ pe cele trei direcții. Astfel fața inferioară a barei este formată din triunghiuri cu laturi duble, față de cele din fața superioară. Ambele talpi sînt construite din bare de aceeași lungime. În compunerea acestei structuri intra următoarele tipuri de noduri:

- nod curent în FS cu 9 bare (6 FS + 3 D);
- nod principal în FI cu 9 bare (6 FI + 3 D);
- nod secundar în FI cu 5 bare (2 FI + 3 D).

La acest tip de structuri se fac economii numai la fața inferioară cu un procent de peste 40% față de structura curentă din fig. 5.1c și această valoare crește cu cit structura este cu deschideri mai mari. Un alt mod de eliminare a barelor din fața inferioară este prezentat în fig. 5.8, unde fața inferioară apare formată din triunghiuri și hexagoane cu laturi egale. În compunerea acestor structuri intra următoarele tipuri de noduri:

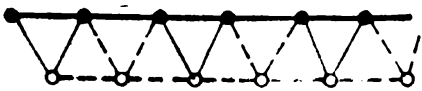
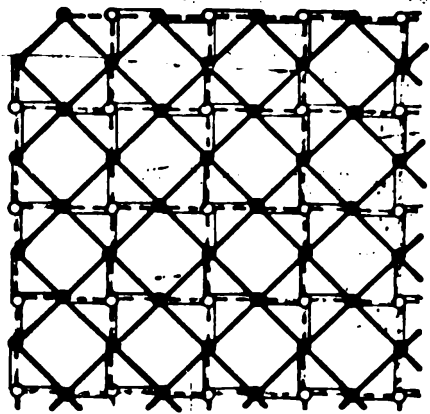
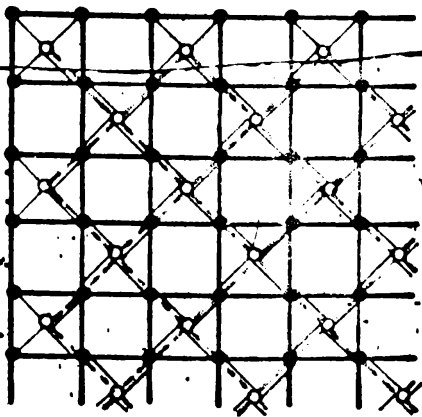
- nod curent în FI cu 7 bare (4 FI + 3 D);



a)

b)

FIG. 4.5



a)

b)

5.6.

- nod principal in FS cu 9 bare (6 FS + 3 D);

- nod secundar in FS cu 8 bare (6 FS + 2 D).

Economiile realizate la numarul de elemente componente fata de structura curenta din fig. 5.1c sint mai mari decit in cazul precedent datorita faptului ca se fac economii la barele, respectiv la nodurile talpii inferioare, ca si la barele diagonale. Procentul de economii creste cu cit deschiderea este mai mare.

In continuare se vor prezenta citeva tipuri de structuri planare cu fata inferioara rara, avind o distributie a barelor si a de eforturi. Aceasta distributie poate ajuta la stabilirea diferitelor forme de acoperire. Ele reprezinta aplicatii practice intermediare intre structurile curente si cele rare. Primul exemplu este prezentat in fig. 5.9 si reprezinta solutia pentru o structura de tip rectangular cu rezemare in colturi. Barele din fata inferioara sint indesate pe contur si in mijlocul structurii unde se presupun prezente eforturile mai mari. Al doilea exemplu din fig. 5.10, este un sistem diagonal cu fata inferioara rotita cu 45 de grade, la care indesirea talpii inferioara este facuta in mijlocul si marginea structurii.

In fig. 5.11 se prezinta o structura de tip diagonal avind mai multe variante de rezemare (in colturi sau la mijlocul laturilor acoperisului). Barele din fata inferioara sint indesate pe laturile unui patrat care uneste punctele de rezemare.

Din exemplele prezentate anterior am ales citeva tipuri care pot fi utilizate pentru structurile cu deschideri mari (hangare). Este evident ca gama de structuri poate fi marita in functie de forma in plan a acoperisului, de tipurile de poligoane componente a celor doua fete, de modul de rezemare si incarcare a structurii, cit si de starea de eforturi si deformatii rezultata in cazul structurilor analizate. Pe linga caracteristicile pozitive deja cunoscute ale structurilor reticulate curente, structurile cu fete rare prezinta si urmatoarele avantaje specifice:

- prin reducerea numarului de bare si in special a numarului de noduri, se realizeaza o economie substantiala de manopera, deoarece la executia structurilor planare circa 90% din manopera se consuma la executia nodurilor si la prinderea barelor in noduri. Aceasta reducere este

- cu atit mai mare cu cit numarul de bare care se imbina in nod este mai mic;
- exploatarea acestora poate fi indreptata in directia lucrului in domeniul plastic prin atingerea capacitati maxime numai intr-un numar redus de bare din fata inferioara;
 - aspectul arhitectonic al sarpantelor realizate cu structuri reticulate planare aparente este placut si chiar este foarte apreciat de unii autori. Totusi, la acoperisurile cu deschideri mari cu structuri curense (fig.5.5), desimea barelor la un moment dat poate deveni suparatoare. Din acest punct de vedere structurile cu fata rara au un aspect mai placut, datorita unei distributii mai aerisite a barelor;
 - montajul pe santier al acestor structuri se poate realiza mai usor datorita posibilitatilor de tronsonare mai rationala. Imbinarile se pot astfel realiza in dreptul zonelor cu numar mai redus de bare;
 - structurile cu fete rare, avind un numar mai mic de bare si noduri si in consecinta un grad de nedeterminare static mai redus, sint mai usor de calculat.

Pe baza acestor avantaje prezentate mai sus s-au ales cele trei tipuri de structuri cu fete rare prezentate in fig. 5.5a, 5.6b si 5.7, pentru a le studia mai detaliat, pentru diferite moduri de rezemare si deschideri.

Un tip de alcatuire a unei structuri reticulate a fost obtinut urmarindu-se posibilitatea de extindere dupa cele trei directii (fig. 5.12). In plus tinindu-se seama de diferenta de nivel apreciabila dintre inaltimea fuselajului si cea a cozii avionului, s-a adoptat un acoperis cu structura in trepte, care urmareste aceasta configuratie a avionului. Aceasta masura contribuie la reducerea volumului construit, ca si a volumului de aer incalzit. Cele doua placi reticulate sint amplasate la nivele diferite, rezemate pe un cadru comun, care este retras spre interior cu 12 metri si este format dintr-o placa spatiala cu 5 nivele, avind inaltimea de 15 metri si dimensiunile ochiurilor de 4 metri.

Placa superioara este iesita in consola pe 12 metri si incastrata in cadru, iar placa inferioara este rezemata simplu pe contur pe cei trei pereti laterali, avind latura a patra rezemata pe cadru longitudinal.

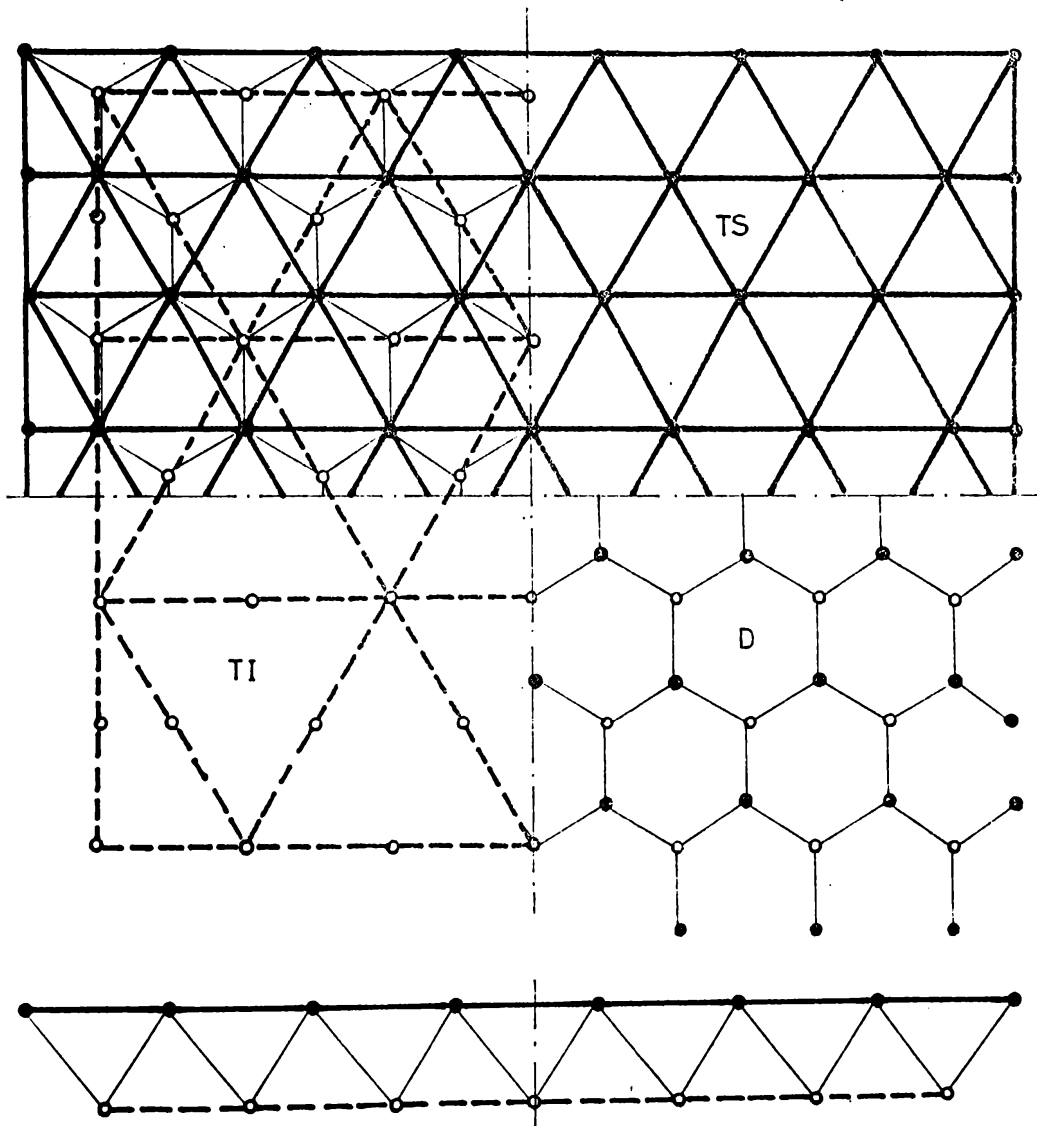


FIG. 5.7.

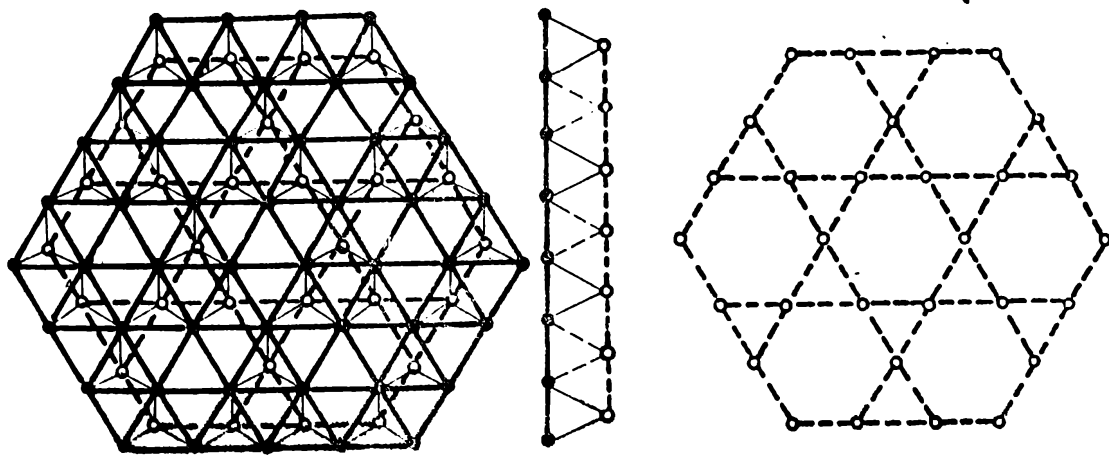
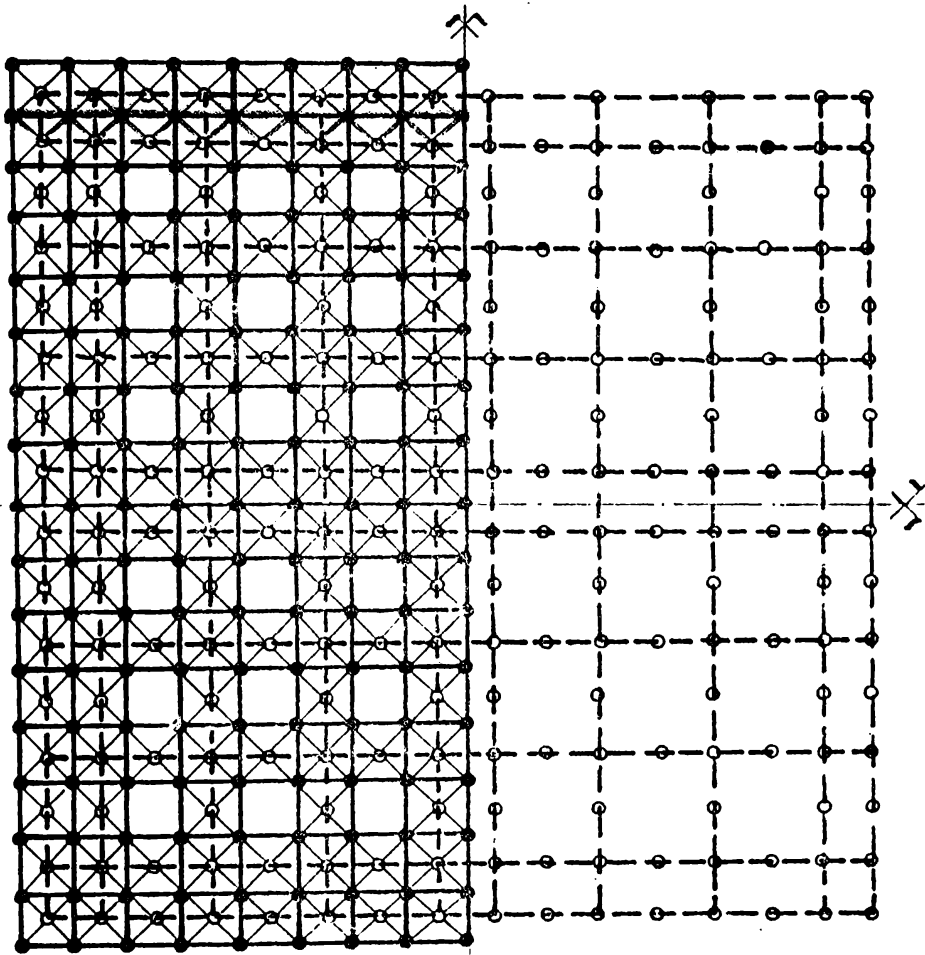
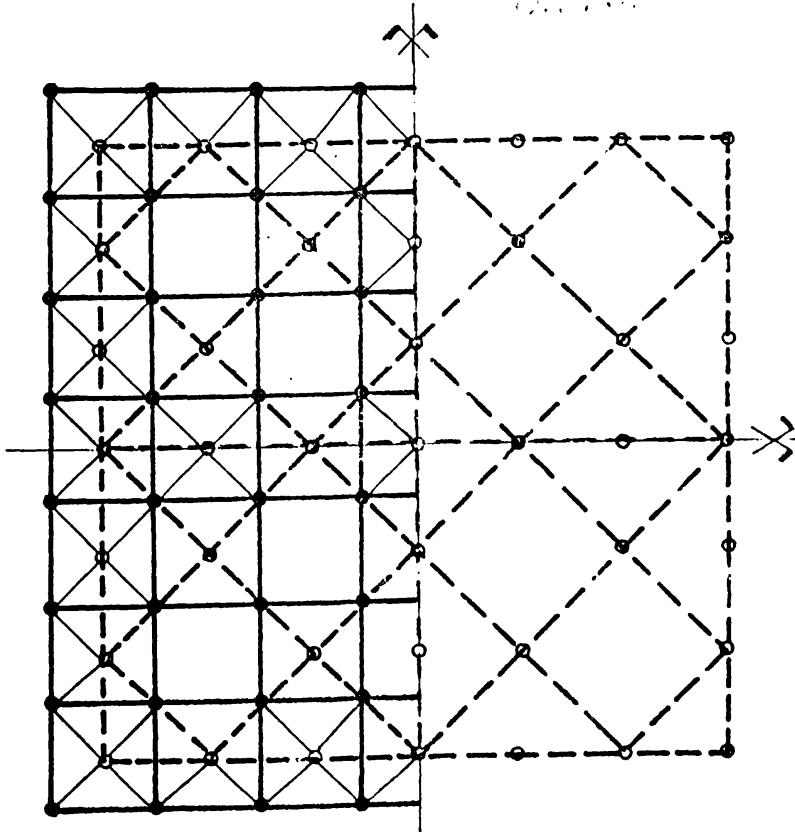


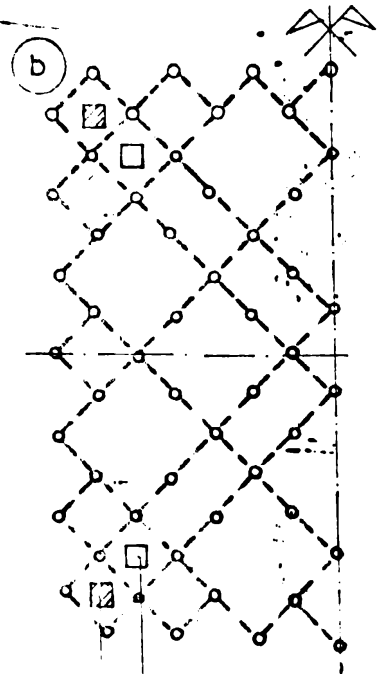
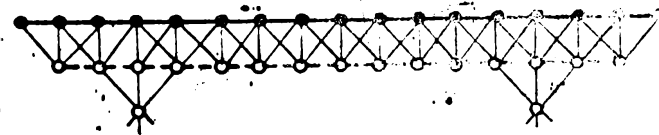
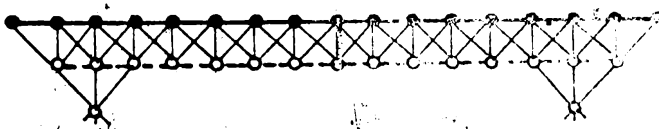
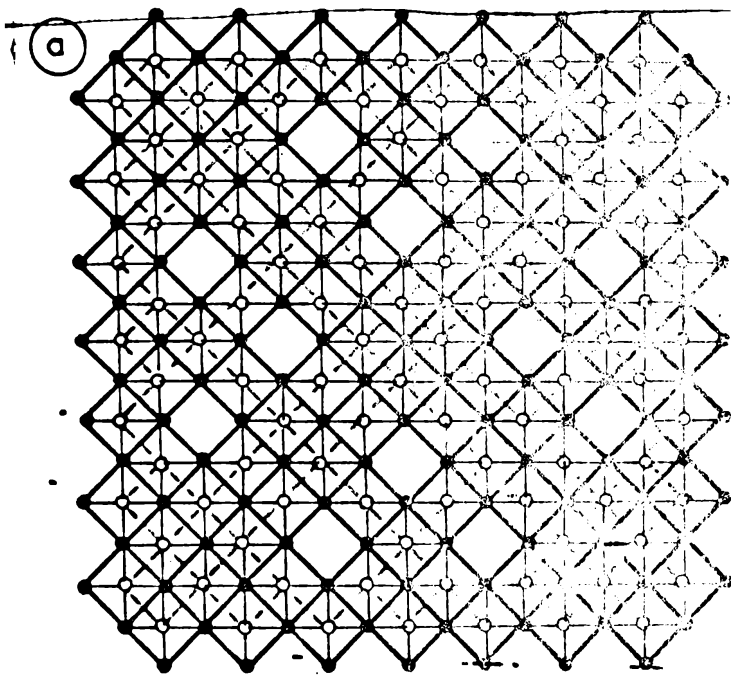
FIG. 5.8.



110. 5. 10.

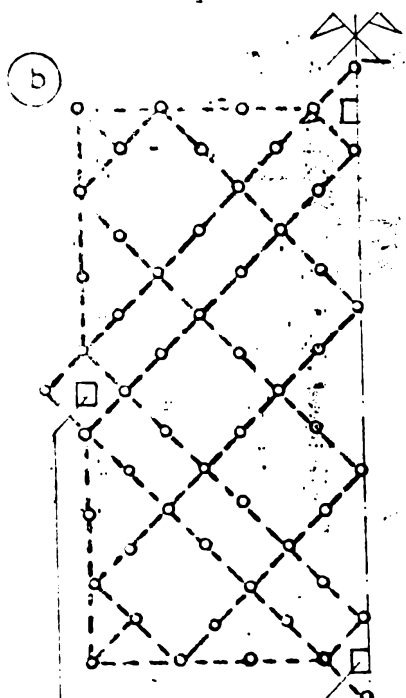
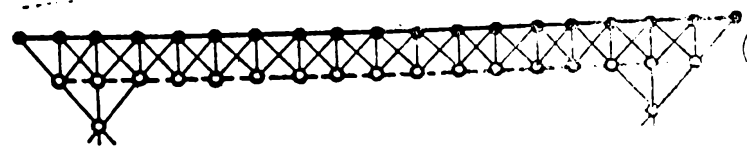
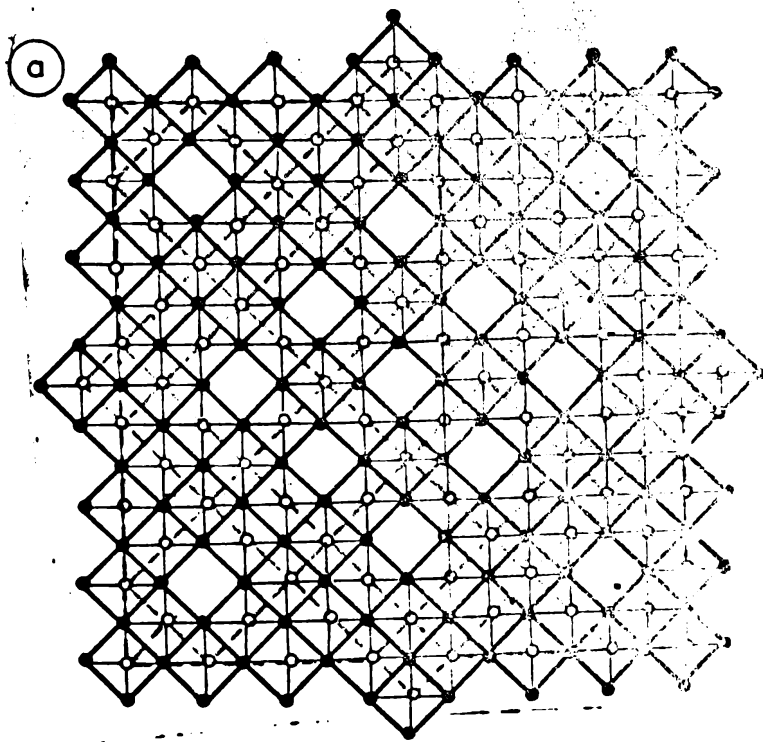


110. 5. 10.



REZEMARE
VAR. (d)

REZEMARE
VAR. (c)



PUNCT DE
REZEMARE

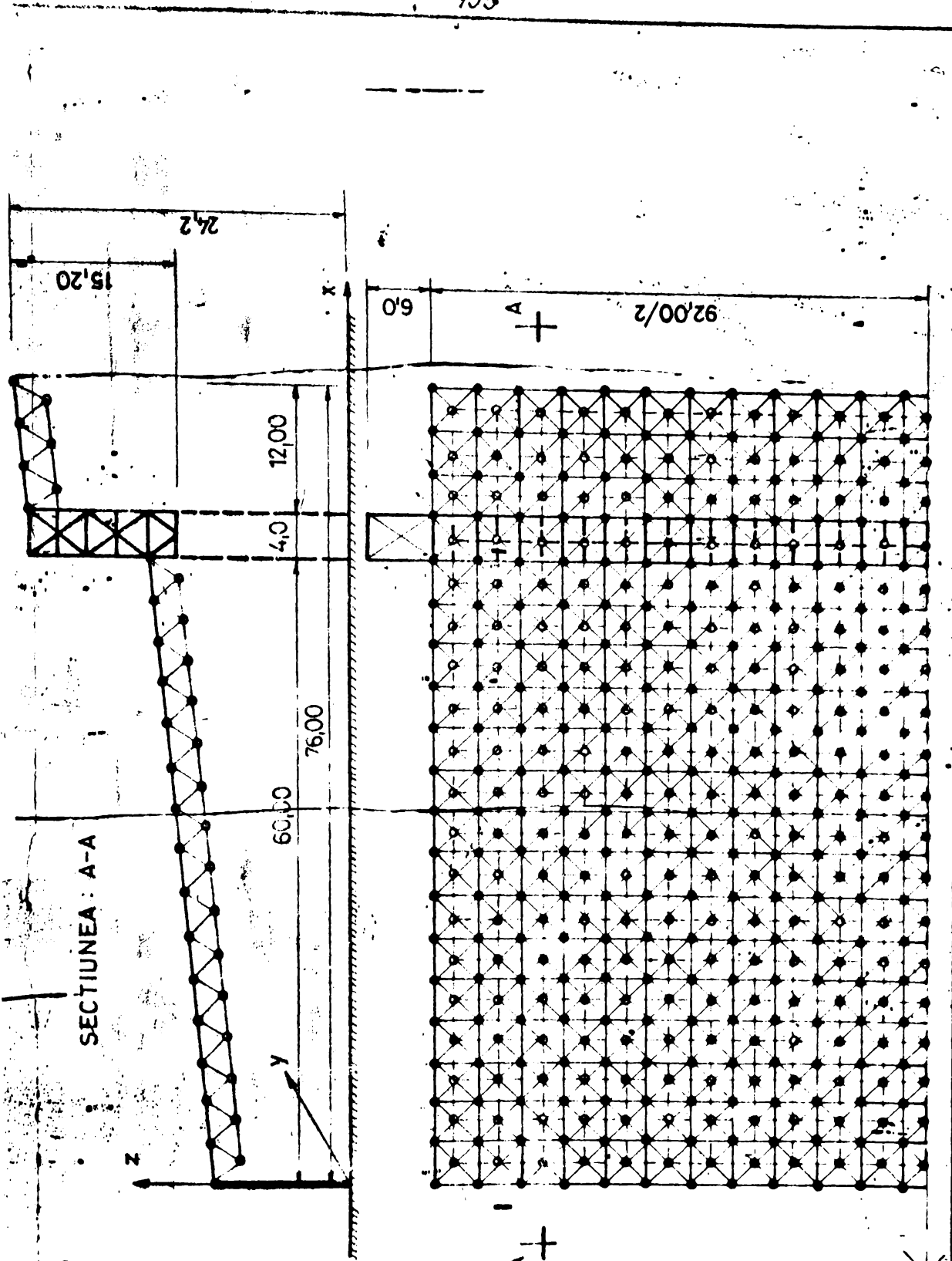


FIG. 5.12.
STRUCTURA
RETICULATA
DEASA

La alegerea înălțimii plăcii, s-a ținut seama ca toate barele componente ale structurii să aibă aproximativ aceeași lungime. Aceasta s-a ales ca fiind de 0.7 din lungimea barelor care alcătuiesc talpile, obținându-se astfel o înălțime de 2.8 metri. Aceasta înălțime a condus la obținerea unei lungimi de 3.98 metri pentru diagonale. Valoarea s-a calculat cu relația:

$$l_d = \frac{l}{\sqrt{2} \cos \alpha} \quad (5.2)$$

unde:

l = pasul rețelei;

α = unghiul diagonalei cu planul orizontal.

5.3 Calculul structurii reticulate.

În trecut, cînd nu se dispunea de metodele moderne de calcul, ca și sisteme de calcul de mare capacitate, era greu de executat o structură spațială cu dimensiuni mari datorită gradului mare de nedeterminare statică, ceea ce făcea ca metodele de calcul exacte să fie foarte voluminoase și aproape imposibil de efectuat manual. Calculul se efectua direct, prin determinarea eforturilor în toate barele și a sagetilor în toate nodurile pe baza aplicării pe structura reală a încărcărilor ținînd seama de asemenea de rezemările reale, sau se putea calcula indirect, prin înlocuirea structurii reale cu un sistem echivalent, la care între cele două plăci se stabilesc anumite relații prin care se determină necunoscutele cu o aproximație mult mai simplă și mai rapidă. Desigur trebuie remarcat că exactitatea este mult mai mică decît la soluționarea pe calculatoarele electronice. Însă aceste metode sînt utilizate și în prezent mai mult pentru predimensionare.

Metodele cele mai des folosite pentru calculele exacte sînt:

- analogia cu plăci plane;
- analogia cu pinze;
- metoda diferentelor finite etc.

Statica matriceală bazată pe metoda elementului finit, oferă o cale mai eficientă pentru calculul mai exact al structurilor reticulate spațiale extrem de complicate. Dezvoltarea rapidă a sistemelor de calcul a favorizat

promovarea acestor tehnici si raspindirea acestor structuri reticulate spatiale, indeosebi acelea pe doua nivele. Metodele matriceale sint deosebit de potrivite pentru calculele cu mijloacele de calcul electronic, fiind insa prezente si o serie de limitari. Acestea sint impuse de capacitatea maxima a calculatoarelor, care pentru structuri mari poate sa nu fie suficienta. In practica exista structuri atit de voluminoase incit numai calculatoarele de foarte mare putere de calcul ar rezolva calculul static al acestora. Mai exista si alte probleme cum ar fi precizia de calcul care depinde de tipul calculatorului si care, in unele cazuri, conduce la aparitia erorilor de rotunjire, care pot cauza abateri destul de mari in rezultatele calculelor pentru asemenea structuri unde sint necesare precizii mari.

5.4 Structura in forma cotita.

Referitor la structurile pe care le-am analizat rezultatele calculelor au fost efectuate pe baza unui program de calcul scris in doua limbaje de programare (programele sint descrise in cap. 6).

Trebuie remarcat faptul ca toate variantele studiate au fost supuse la aceleasi ipoteze de incarcari stabilite anterior cu observatia ca pentru fiecare tronson din structura calculata (consola, stilp, placa), s-au luat in considerare greutatele proprii, care evident au fost diferite.

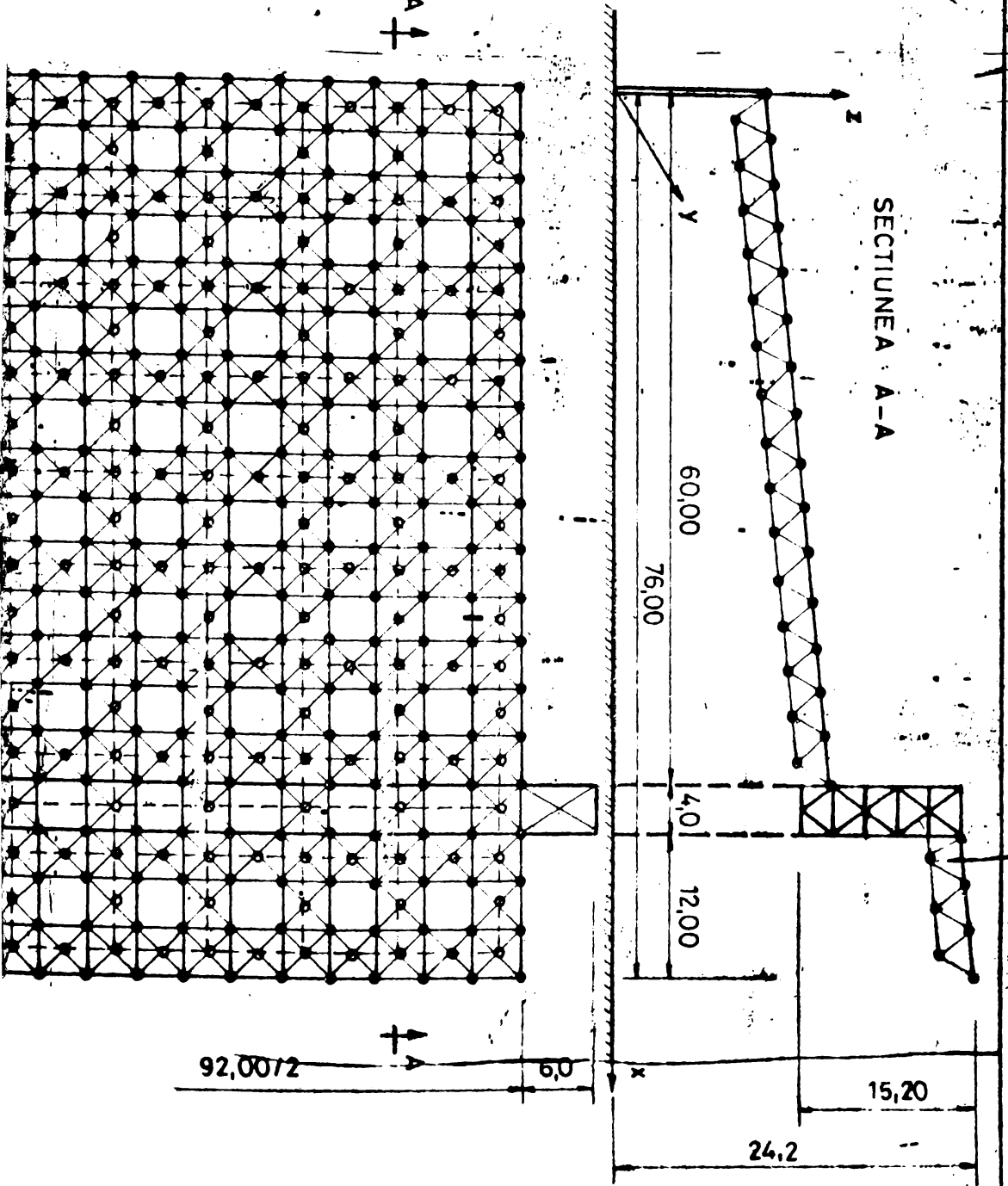
Prima varianta de alcatuire a acestui tip (fig. 5.12) este formata dintr-o placa rectangulara deasa, cu talpa inferioara decalata cu o jumatate de pas fata de talpa superioara. A doua varianta din fig. 5.13 este construita pe acelasi principiu ca cea prezentata anterior, diferind insa prin faptul ca talpa inferioara este rara, ceea ce conduce la o retea de grinzi spatiale intersectate, cu sectiune transversala triunghiulara.

Studiile sint efectuate pentru structura cu o adincime constanta de 76 metri si o lungime variabila de: 60, 92, si 124 metri.

In primul rind s-au tratat consolele pentru cele trei deschideri stabilite anterior pentru o adincime constanta de 12 metri iar in al doilea rind s-au tratat placile rezemate pe contur pe o adincime constanta de 60 metri.

5.4.1 Console.

FIG. 5.13.
STRUCTURA
RETICULATA
TI RARĂ IN
FORMA COTITA



Rezultatele calculelor au fost cumulate in tabelul 5.14 pentru deschideri de 60 metri. Tabelul contine valorile maxime si minime ale elementelor componente ale structurii. De asemenea tabelul contine sectiunile barelor si lungimile care alcatuiesc structura.

Urmarind rezultatele calculelor se observa ca valorile maxime ale eforturilor de intindere in talpa superioara apar in barele care sint dirijate dupa directia scurta a placii (dupa axa x). Valorile maxime ale eforturilor de compresiune sint dirijate dupa directia lunga a placii (dupa axa y). Desigur, daca s-ar fi tinut seama de impartirea placii intr-un sir de grinzi in consola, formate din talpa superioara plus talpa inferioara (fara a tine cont de interactiunea dintre grinzi), atunci ar fi aparut in talpa superioara numai eforturi de intindere iar in cea inferioara numai eforturi de compresiune. Deoarece aceasta interactiune exista si se manifesta prin intermediul diagonalelor si al talpilor longitudinale, ca urmare se produce modificarea geometriei de deformatie a structurii, ceea ce are ca efect aparitia eforturilor de compresiune in talpa superioara, respectiv a eforturilor de intindere in talpa inferioara.

La alegerea elementelor componente ale placii, atat pentru cazul structurii rare, cit si pentru cazul structurii dese, s-a tinut seama de:

- folosirea otelului de calitate superioara pentru reducerea greutatii proprii;
- folosirea sudurii ca mijloc tehnologic de baza pentru imbinarea elementelor componente ale placii;
- folosirea profilelor laminate eficiente pentru reducerea manoperei;
- posibilitatea de tipizare a acestor elemente.

Tinind seama de cele afirmate, ca si de proprietatile de egala rezistenta in toate directiile a sectiunii transversale, s-a ales pentru elementele componente ale placii o teava profilata. Este de mentionat faptul ca, deoarece suprafetele care sint acoperite de cele doua tipuri de console sint mici, nu exista o deosebire semnificativa intre consumurile de material (consumul de material este putin mai mare in cazul placii cu retea deasa).

Trebuie remarcat faptul ca datorita numarului mic de

componente ale placi (TS, TI și D), s-a procedat la dimensionarea acestora utilizând aceeași arie pentru fiecare tip în parte (vezi tabelele 5.1, 5.2, 5.3 pentru rețea deasă și tabelele 5.4, 5.5 și 5.6 pentru rețea rară).

5.4.2 Placi

În ceea ce privește cazul placilor de dimensiuni mai mari (60 X 60 metri, 60 X 92 metri), dimensionarea elementelor componente s-a efectuat pe zone datorită numărului mare de elemente care intervin ca și diferenței mari în valorile eforturilor. Astfel pentru:

- placa de 60 X 60 metri, rezemată pe contur se observă că repartitia eforturilor după cele două direcții (x și y) este aproximativ egală (vezi tab. 5.7 pentru structura deasă și tab. 5.10 pentru structura rară);
- placa de 60 X 92 metri, rezemată pe contur se observă că repartitia eforturilor după cele două direcții (x și y) nu mai este simetrică (tabelul 5.8 pentru structura deasă și tab. 5.11 pentru structura rară). Eforturile sunt mai mari după direcția scurtă (x) și mai mici după direcția lungă (y), fapt care a impus ca pentru a realiza o dimensionare mai exactă să procedez la o dimensionare pe zone, iar în cadrul acestora pe cele două direcții;
- placa 60 X 124 metri rezemată pe contur, s-a procedat la împărțirea plăcii în două plăci de câte 60 X 60 m. care s-au rezemat pe o grindă spațială intermediară (vezi fig. 5.14). Rezultatele calculelor sunt prezentate în tabelul 5.9 pentru placa deasă și tabelul 5.12 pentru placa rară. Această grindă este formată dintr-o placă spațială cu trei nivele și înălțime totală de 8.4 metri, având dimensiunea ochiurilor de 4 metri. Grinda s-a calculat cu același program de calcul care s-a utilizat și pentru celelalte variante, în care încărcările sunt provenite din reacțiunile placilor de 60 X 60 metri. Rezultatele calculelor sunt prezentate în tabelul 5.13 pentru structura deasă și în tabelul 5.14 pentru structura rară. Este de menționat că grindă a fost rezemată încastrat în cele două capete (în realitate grindă este de fapt încastrată elastic în stîlp și în rigla cadrului longitudinal). Analizînd rezultatele calculelor anterioare

Element	Nmax [daN]	Nmin [daN]	Section [mm]	Area [cm ²]	Length [cm]	Nr. gimbare	G [Kg]	g [Kg./m ²]	g ₁
T.S	16090	-590	83X4	9.93	400	90	3476	0.762	4.831
	3076	-10495			400	72	2781		
T.I	0	-22730	102X4	12.3	200	15	290	0.673	4.271
D	6668	-7111	89X3.5	9.4	398	180	5286	1.16	7.341
TOTAL (inclusiv nodurile = 10% G, 10% g)							13016	2.85	18.1
SAGEATA MAXIMA = 3.3 cm.									

Tabel 5.1 Rezultatele calculelor pentru placa deasa in consola de dimensiuni 12 X 60 metri.

Element	Nmax [daN]	Nmin [daN]	Section [mm]	Area [cm ²]	Length [cm]	Nr. gimbare	G [Kg]	g [Kg./m ²]	g ₁
T.S	16551	0	102X4	12.3	400	138	5330	1.17	4.831
	965	-10453	140X4	12.3	400	136	5253		
T.I	0	-24144	127X8	29.9	200	23	1080	1.39	5.741
D	6538	-6900	83X4	9.93	398	276	8563	1.22	11.91
TOTAL (incl. greutatele nodurilor = 10% G)							22248	3.18	21.01
SAGEATA MAXIMA = 2.3 cm									

Tabel 5.2 Rezultatele calculelor pentru placa deasa in consola de dimensiuni 12 X 92 metri.

Element Int	Nmax [daN]	Nmin [daN]	Sec- tiune [mm]	Aria [cm ²]	Lun- gime [cm]	Nr. gime [bare]	G [Kg]	g [Kg./m ²]	g ₁
T.S	72038	-74705	140X11	44.6	400	186	26048	2.76	17.51
I	43995	-58870	140X9	37.	400	154	17892		
T.I								0.673	4.271
I	0	-188564	168X14	67.7	200	31	3295		
D	94199	-55098	140X8	33.2	398	372	38586	4.01	25.91
TOTAL (inclusiv nodurile = 10% G, 10% g)							94403	10.02	63.4
SAGEATA MAXIMA = 3.1 cm.									

Tabel 5.3 Rezultatele calculelor pentru placa
deasa in consola de dimensiuni 12 X 124 metri.

Element Int	Nmax [daN]	Nmin [daN]	Sec- tiune [mm]	Aria [cm ²]	Lun- gime [cm]	Nr. gime [bare]	G [Kg]	g [Kg./m ²]	g ₁
T.S	15526	-1715	102X3.5	10.8	400	90	3052	0.67	4.241
I	3142	-18636	102X5.5	16.7	400	46	2412		
T.I								0.585	3.71
I	0	-41607	102X6	18.1	200	9	256		
D	11515	-11512	102X3.5	10.8	398	156	5264	1.15	7.311
TOTAL (inclusiv nodurile = 10% G, 10% g)							12082	2.65	16.8
SAGEATA MAXIMA = 3.7 cm.									

Tabel 5.4 Rezultatele calculelor pentru placa cu
T.I rara in consola de dimensiuni 12 X 60 metri.

Element	Nmax	Nmin	Section	Area	Length	Nr.	G	g	g ₁
Int	[daN]	[daN]	[mm]	[cm ²]	[cm]		[Kg]	[Kg./m ²]	
T.S	20120	-7621	102X3.5	10.8	400	138	4680	0.67	4.24
	1808	-27213	108X7	22.2	400	70	4880		
T.I								0.763	4.83
	0	-51000	108X7	22.2	200	13	453		
D	12895	-13719	102X4	12.3	398	236	9069	1.30	8.21
TOTAL (inclusiv nodurile = 10% G, 10% g)							20990	3.	19.
SAGEATA MAXIMA = 2.1 cm.									

Tabel 5.5 Rezultatele calculelor pentru placa cu T.I rara in consola de dimensiuni 12 X 92 metri.

Element	Nmax	Nmin	Section	Area	Length	Nr.	G	g	g ₁
Int	[daN]	[daN]	[mm]	[cm ²]	[cm]		[Kg]	[Kg./m ²]	
T.S	47077	-19571	102X6	18.1	400	186	10571	1.12	7.1
	19953	-49589	140X7	29.3	400	102	9384		
T.I								1.09	4.09
	0	-85040	140X8	33.2	200	17	886		
D	43002	-38918	127X7	26.4	398	302	24909	2.64	16.74
TOTAL (inclusiv nodurile = 10% G, 10% g)							503225	5.34	33.8
SAGEATA MAXIMA = 6.3 cm.									

Tabel 5.6 Rezultatele calculelor pentru placa cu T.I rara in consola de dimensiuni 12 X 124 metri.

El.	Nmax	Nmin	Sec- tiune	Aria	Lun- gime	Nr.	G	g	g ₁
[Zona]	[daN]	[daN]	[mm]	[cm ²]	[cm]		[Kg]	[Kg./m ²]	
1 TS	50996	0	102X5	18.1	400	56	3183	0.698	0.88
1 TI	52068	0	121X5	18.2	400	308	17602	3.86	4.9
ID	20966	-23574	121X4.5	16.5	398	490	25260	5.54	7.01
2 TS	29587	-25457	121X5	18.2	400	424	23374	5.12	6.49
2 TI	76806	0	121X8	28.4	400	122	9988	2.19	2.77
TOTAL							56	4.64	15.87

SAGEATA MAXIMA = 23 cm.

Tabel 5.7 Rezultatele calculelor pentru placa deasa rezemata pe contur de dimensiuni 60 X 60 metri.
(1 - zona marginala, 2 - zona centrala)

El.	Nmax	Nmin	Sec- tiune	Aria	Lun- gime	Nr.	G	g	g ₁
[Zona]	[daN]	[daN]	[mm]	[cm ²]	[cm]		[Kg]	[Kg./m ²]	
x	79600	-50000	133X8	31.4		104			
1 TS					400		15821	2.25	2.72
y	0	-14500	102X4.5	13.8		128			
1 TI									
x	143000	0	140X12	48.3		143			
2 TI					400		29261	4.18	5.3
y	58500	0	133X5	20.1		120			
ID	11995	-12242	102X3.5	10.8	398	520	17546	2.51	3.18
x	53600	-31190	133X4.5	18.2		232			
2 TS					400		39288	5.62	7.12
y	45100	-53000	133X8	31.4		264			
2 TI									
x	866000	0	133X8	31.4		192			
TI					400		34018	4.86	6.16
y	55300	0	133X4.5	18.2		264			
ID	20913	-20876	102X7	20.9	398	860	56156	8.03	10.18
TOTAL (inclusiv nodurile = 10% G, 10% g)							210419	31	38.1
SAGEATA MAXIMA = 7.9 cm.									

Tabel 5.8 Rezultatele calculelor pentru placa deasa rezemata pe contur de dimensiuni 92 X 60 metri.
(1 - zona marginala, 2 - zona centrala)

El.	Nmax	Nmin	Sec- tiune	Aria	Lun- gime	Nr. bare	G	g	g ₁	
Zona	[daN]	[daN]	[mm]	[cm ²]	[cm]		[Kg]	[Kg./m ²]		
1	TS	50996	0	102X6	18.1	400	112	6366	0.678	10.88
1	TI	52068	0	121X5	18.2	400	616	35204	3.73	14.9
	ID	20966	-23574	121X4.5	16.5	398	980	50520	5.36	17.01
	TS	29587	-25457	121X5	18.2	400	848	26748	2.84	16.49
2	TI	76806	0	121X8	28.4	400	214	19976	2.12	12.77
	ID	20966	-23574	121X4.5	16.5	398	820	35204	3.73	14.9
TOTAL (inclusiv nodurile = 10% G, 10% g)							22184	23.47	30.7	
TOTAL grinda spatiala intermediara							36488	3.87	-	
TOTAL PLACA							257672	27.34	-	
SAGEATA MAXIMA = 3.9 cm.										

Tabel 5.9 Rezultatele calculelor pentru placa deasa rezemata pe contur de dimensiuni 124 X 60 metri (1 - zona marginala, 2 - zona centrala).

El.	Nmax	Nmin	Sec- tiune	Aria	Lun- gime	Nr. bare	G	g	g ₁	
Zona	[daN]	[daN]	[mm]	[cm ²]	[cm]		[Kg]	[Kg./m ²]		
1	TS	53362	-24718	121X6	21.7	400	352	23985	5.25	6.66
1	TI	104436	0	127X10	36.8	400	160	18488	4.05	5.13
	ID	21956	-31593	102X3.5	10.8	398	408	17537	3.85	4.87
	TS	0	-36557	121X6	21.7	400	128	11110	2.44	3.09
2	TI	183383	0	127X16	55.8	400	64	14285	3.13	3.97
	ID	17039	-17705	121X7	25.1	398	296	29569	6.48	8.21
TOTAL (inclusiv nodurile = 7.5% G)							123884	128.16	35.4	
SAGEATA MAXIMA = 33.9 cm.										

Tabel 5.10 Rezultatele calculelor pentru placa cu TI rara rezemata pe contur de dimensiuni 60 X 60 metri.

El.	Nmax	Nmin	Sec- tiune	Aria	Lun- gime	Nr. bare	G	g	g ₁
[Zona]	[daN]	[daN]	[mm]	[cm ²]	[cm]		[Kg]	[Kg./m ²]	
x	112580	-40800	133X10	38.6		210			
TS					400		26555	3.8	4.81
y	39500	-24213	121X6	21.7		234			
1									
x	154800	0	140X14	55.4		92			
TI					400		20073	2.93	3.72
y	28500	-7000	102X3.5	10.8		120			
D	59410	-64405	140X9	37.	398	812	193866	13.42	17.0
x	18400	-65300	140X9	37.		154			
TS					400		51584	7.38	9.34
y	14823	-19000	102X7	20.9		130			
2									
x	269900	0	178X18	90.4		90			
TI					400		29363	4.2	5.32
y	33000	-35900	121X6	21.7		56			
D	18777	-24046	102X8	23.6	398	288	21235	3.04	3.85
TOTAL (inclusiv nodurile = 7.5% G)							247938	34.6	43.8
SAGEATA MAXIMA = 12.6 cm									

Tabel 5.11 Rezultatele calculelor pentru placa rara
rezemata pe contur de dimensiuni 92 X 60 metri.
(1 - zona marginala, 2 - zona centraia)

El.	Nmax	Nmin	Sec- tiune	Aria	Lun- gime	Nr. bare	G	g	g ₁
[Zona]	[daN]	[daN]	[mm]	[cm ²]	[cm]		[Kg]	[Kg./m ²]	
TS	53362	-24718	121X6	21.7	400	704	47970	5.09	6.66
TI	104436	0	127X10	36.8	400	320	36976	3.92	5.13
D	21956	-31493	102X3.5	10.8	398	816	35074	3.72	4.87
TS	0	-36557	121X6	21.7	400	256	22220	2.36	3.09
TI	183383	0	127X16	55.8	400	128	28570	3.03	3.97
D	17039	-17705	121X7	25.1	398	592	59138	6.28	8.21
TOTAL (inclusiv nodurile = 7.5% G)							247768	26.3	33.3
TOTAL grinda intermediara							51471	5.46	-
TOTAL PLACA							299239	31.76	-
SAGEATA MAXIMA = 33.9 cm.									

Tabel 5.12 Rezultatele calculelor pentru placa rara
rezemata pe contur de dimensiuni 124 X 60 metri.

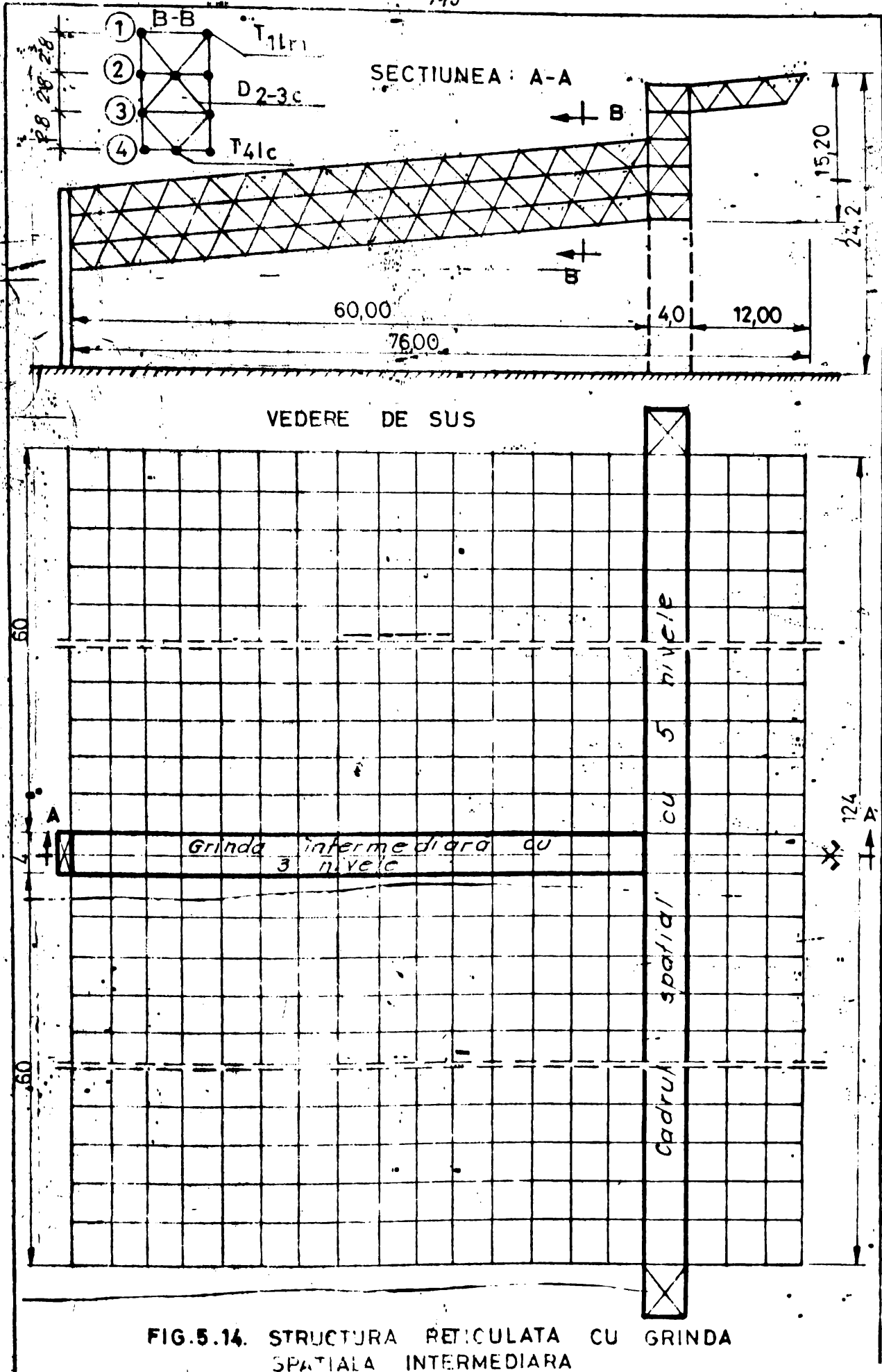


FIG. 5.14. STRUCTURA RETICULATA CU GRINDA SPATIALA INTERMEDIARA

I Z	El.	Nmax	Nmin	Sec-	Aria	Lun-	Nr.	G	g	I	
I O		(+)	(-)	tiune		gime	bare			I	
I N										I	
I A		[daN]	[daN]	[mm]	[cm ²]	[m]		[Kg]	Kg/	I	
									m ²		
	T11m	96000	0	121X10	34.9		12	1315			
	T21m	33000	0	102X4	12.3		12	464			
	T21c	21000	0	102X3.5	10.8		6	203			
	T31m	0	51000	121X11	38	400	12	1432	.63		
	T41m	0	95000	152X8	36.2		12	1137			
	T41c	0	90800	152X8	36.2		6	568			
	T(1-4)t	28000	2000	102X3.5	10.8		24	814			
TID											
	D1-2m	33700	17300	102X4	12.3	344	24	797			
	D2-3m	31900	24900	121X4	14.7	344	24	952			
	D3-4m	24000	22000	121X4	14.7	344	24	952			
	D1-2c	25100	24000	121X4.5	16.5	398	42	2165	1.42		
	D2-3c	31400	23600	121X4.5	16.5	398	42	2165			
	D3-4c	58118	58118	121X14	47.1	398	42	6180			
	E										
	T11m	58020	46923	121X11	36.2		18	2046			
	T21m	8000	23000	121X4.5	16.5		18	933			
	T21c	0	17000	121X4.5	16.5		9	466			
	T31m	24000	7000	102X3.5	10.8	400	18	610	.832		
	T41m	46396	9194	121X4.5	16.5		18	933			
	T41c	52000	7500	121X6	21.7		10	681			
	T(1-4)t	48000	3000	121X4.5	16.5		42	2176			
TID											
	D1-2m	11020	12500	102X3.5	10.8	344	36	1050			
	D2-3m	0	17900	102X3.5	10.8	344	36	1050			
	D3-4m	22000	22000	121X4	14.7	344	36	1430			
	D1-2c	12900	10900	102X3.5	10.8	398	20	675	.656		
	D2-3c	28400	17300	102X5	15.2	398	20	950			
	D3-4c	23600	23600	121X4.5	16.5	398	20	1031			
	E										
TOTAL (inclusiv nodurile = 10%								136488	3.87		

Legenda :

T11m = talpa la nivel 1, sens longitudinal ax marginal;
 T21c = talpa la nivel 2, sens longitudinal ax central;
 T1t = talpa la nivel 1, sens transversal;
 D1-2m = diagonale intre nivel 1 si 2, sens longitudinal ax marginal;
 D1-2c = diagonale intre nivel 1 si 2, sens longitudinal ax central;

Tabel 5.13 Grinda spatiala intermediara cu
L = 60 metri pentru o retea deasa.

Z O N A	El.	Nmax (+) [daN]	Nmin (-) [daN]	Sec- tiune [mm]	Aria [cm ²]	Lun- gime [m]	Nr. bare	G [Kg]	g Kg/ m ²
	T11m	154589	0	140X14	55.4		12	2087	
	T21m	33020	0	102X3.5	10.8		12	407	
	T21c	20543	0	102X3.5	10.8		6	204	
M	T31m	33638	107974	168X11	54.3	400	12	2046	.84
A	T41m	0	144000	168X8	40.2		12	1705	
R	T41c	0	115000	168X8	40.2		6	631	
G	T(1-4)t	28580	5000	102X3.5	10.8		14	814	
TID									
	D1-2m	50500	23800	121X4.5	16.5	344	24	1069	
L	D2-3m	50000	48600	121X8	28.4	344	24	1840	
A	D3-4m	42800	42800	121X8	28.4	344	24	1840	
	D1-2c	59500	46800	121X10	34.9	398	42	4579	2.13
	D2-3c	58500	45800	121X10	34.9	398	42	4579	
	D3-4c	63300	63300	121X14	47.1	398	42	6181	
	EI								
	T11m	22000	95000	168X10	49.6		18	2803	
	T21m	17043	22660	121X4.5	16.5		18	933	
	T21c	3251	16888	121X4.5	16.5		9	466	
	T31m	54691	41994	121X9	31.4	400	18	1775	1.198
C	T41m	88000	19000	121X9	31.4		18	1775	
E	T41c	63000	9000	121X6	21.7		10	681	
N	T(1-4)t	60058	5000	121X6	21.7		42	2862	
TID									
	D1-2m	10880	15800	102X3.5	10.8	344	36	1050	
L	D2-3m	36900	30100	121X4.5	16.5	344	36	1604	
A	D3-4m	16900	16900	102X3.5	10.8	344	36	1050	
	D1-2c	21575	3349	102X3.5	10.8	398	20	675	.797
	D2-3c	53900	31500	121X7	25.1	398	20	1568	
	D3-4c	34200	34200	121X7	25.1	398	20	1568	
	EI								
TOTAL (inclusiv nodurile = 10%								151471	5.46

Legenda :

T11m = talpa la nivel 1, sens longitudinal ax marginal;
 T21c = talpa la nivel 2, sens longitudinal ax central;
 T1t = talpa la nivel 1, sens transversal;
 D1-2m = diagonale intre nivel 1 si 2, sens longitudinal ax marginal;
 D1-2c = diagonale intre nivel 1 si 2, sens longitudinal ax central;

Tabel 5.14 Grinda spatiala intermediara cu
L = 60 metri pentru o retea rara.

se observa o repartizare uniforma in grinda prin intermediul diagonalelor. Consumul de material a rezultat mic in comparatie cu consumul datorat placilor.

Dimensionarea a fost efectuata pe zone si in cadrul acestora pe elemente.

5.4.3 Cadrul longitudinal.

Cadrul longitudinal, care s-a utilizat pentru sustinere in toate cele trei variante prezentate anterior (fig. 5.15), este un cadru foarte rigid, datorita solicitarilor mari cauzate de placi. Introducand reactionile date de placi in TS si TI au rezultat zone puternic solicitate la nivelul superior si inferior al riglei cadrului, ca si zone putin solicitate la nivelul intermediar al riglei cadrului. Aceasta stare de fapt mi-a impus efectuarea unei repartizari mai uniforme a incarcarilor date de greutatea proprie, aproximativ in toate nodurile cadrului, pentru a obtine in final o repartitie cit mai uniforma a eforturilor (vezi rezultatele referitoare la valorile eforturilor si dimensionarilor din tabelul 5.15 pentru grinda ca si din tabelul 5.16 pentru stilp in cazul retelei dese).

Analizind toate rezultatele prezentate anterior se observa ca consumul de otel pentru retele dese este mai mic in comparatie cu cel al retelelor cu talpa inferioara rara. Cu cit insa creste deschiderea structurii aceasta diferenta incepe sa scada, concomitent cu scaderea manoperei, ceea ce conduce in final la concluzia ca folosirea retelelor rare este mai avantajoasa pentru deschideri mai mari si in special foarte mari. Este insa de remarcat ca, cu cit creste numarul de zone de dimensionare, cu atit creste si precizia de stabilire a consumului exact de otel. In acelasi timp insa, creste manopera de executie, respectiv montaj, ceea ce impune gasirea de fiecare data a unui optim.

Acest tip de alcatuire, similar cu ceal adoptat de prof. Makowski la hangarul din Hiathrow, nu este avantajos din punctul de vedere al consumului total de material.

5.5 Structura reticulata dreapta.

O solutie mai avantajoasa este cea care s-a propus in

lucrare, prezentata in fig. 5.17, formata dintr-o retea cu talpa inferioara rara. Structura s-a studiat in trei variante de rezemare:

- 1) continua pe contur la TI, fara suspendare;
- 2) rezemata continuu, pe 4 laturi la TI si suspendata in mijlocul structurii;
- 3) rezemata pe 3 laturi la TI (libera in dreptul porti), si suspendata in doua puncte;

Structura optima in cazul unei deschideri de 60 metri este data de varianta 2 de rezemare (varianta 3 de rezemare, conduce la o crestere cu 11% a consumului de otel, iar varianta 1 de rezemare la o crestere de 22% a consumului de otel).

O data cu cresterea dimensiunilor structurii, aceasta ordine se schimba. Astfel, varianta 3 de rezemare devine cea mai avantajoasa, in timp ce varianta 1 de rezemare, devine cea mai avantajoasa din punctul de vedere al manoperei. Motivul se datoreste unei impartiri a structurii din varianta 1 de rezemare in zone a caror constructie cere o manopera mai mica, fata de variantele 2 si 3 de rezemare unde datorita reazemelor intermediare se impune o manopera suplimentara.

Datorita proprietatilor de egala rezistenta in toate directiile, si a valorilor mari ale eforturilor s-a ales pentru executarea structurii pentru toate variantele studiate, teava cu sectiune circulara.

5.6 Probleme speciale privind analiza de stabilitate.

Posibilitatea pe care am avut-o de a realiza in timp relativ scurt dimensionarea mai multor variante, mi-a permis realizarea unui studiu comparativ in care am utilizat aceeasi metodologie (ca cea prezentata anterior), pentru diferitele variante de sisteme structurale. Rezultatele acestui proces de optimizare au avut ca obiectiv reducerea greutatilor si consumului de material. Aceasta reducere care este legata de sveltetea pronuntata a structurii aduce in primul plan problema analizei fenomenelor de pierdere a stabilitatii, care in acest caz devin mai importante decit verificarea de

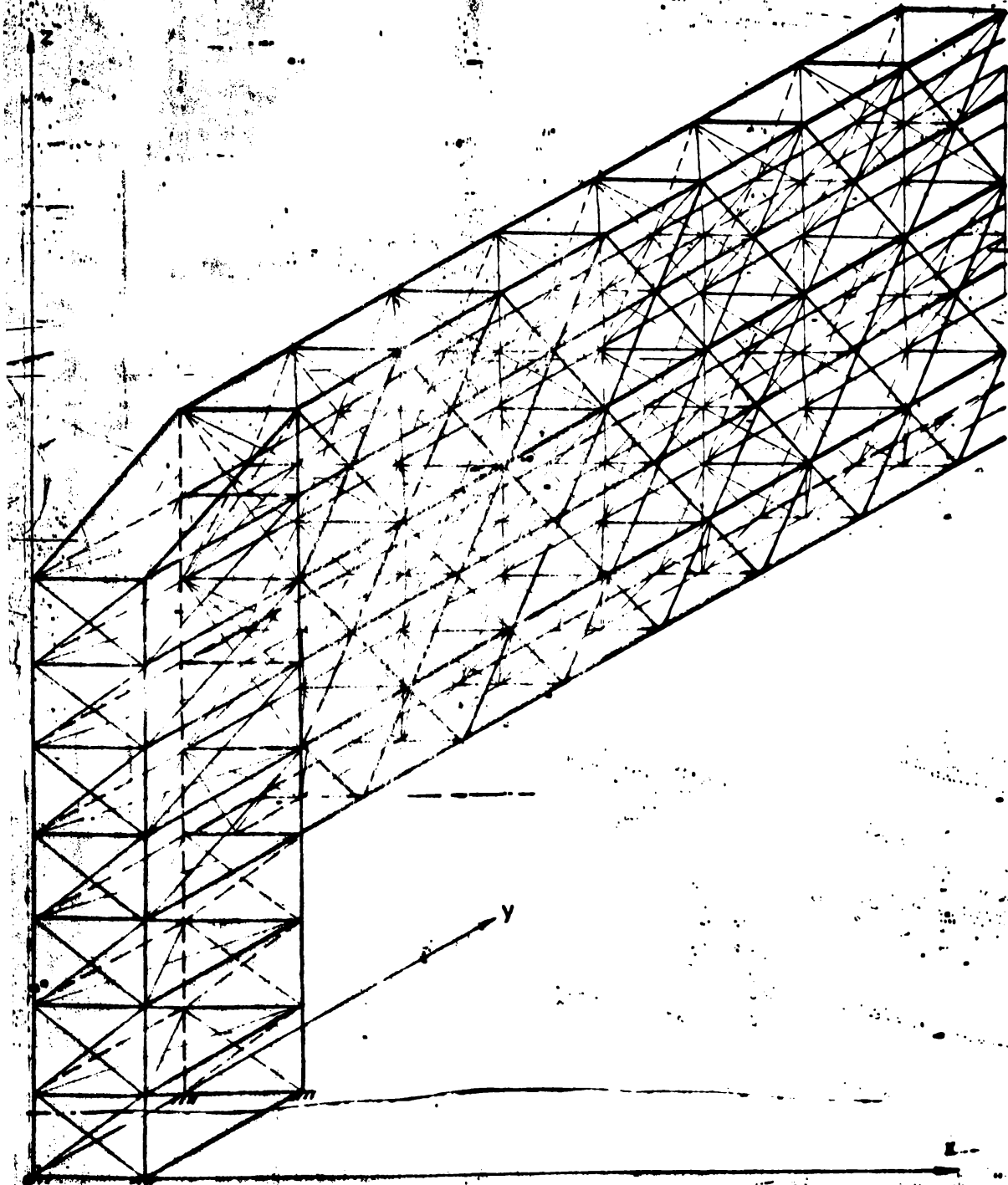


FIG. 5.15. SCHEMA DE CALCUL A CADRULUI SPATIAL

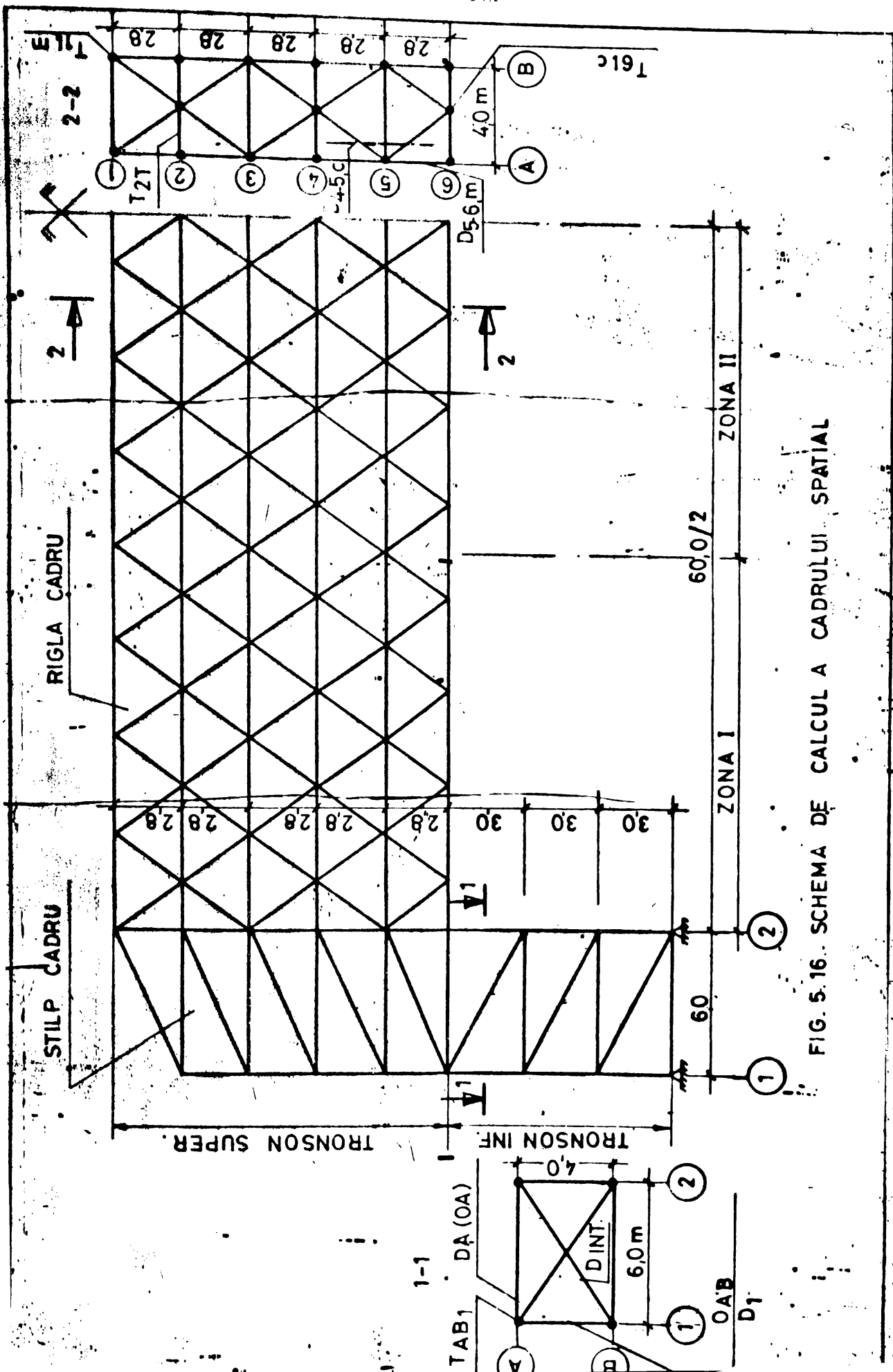


FIG. 5.16. SCHEMA DE CALCUL A CADRULUI SPATIAL

I L I A Z I O N	Ei.	Nmax (+)	Nmin (-)	Sec- tiune	Aria	Lun- gime	Nr. bare	G	g	I I I
		[daN]	[daN]	[mm]	[cm ²]	[m]		[Kg]	Kg/ m ²	
M A R G I N A L	T11m	80176	149590	168X18	84.8		16	4260	4.92	
	T21m	105350	152200	168X16	76.4		8	3838		
	T21c	42986	28698	21X5.5	20		8	502		
	T31m	109650	127210	168X12	58.8		16	2954		
	T41m	137660	126880	168X12	58.8		16	2954		
	T41c	42986	28698	21X5.5	20	400	8	502		
	T51m	173840	128460	168X12	58.8		16	2954		
	T61m	145230	75198	140X12	48.2		16	2422		
	T61c	42986	28698	21X5.5	20		8	502		
	T(1-6)t	23706	3444	102X4	12.3		39	1506		
	D1-2m	19890	37052	121X5.5	20			1512		6.7
	D3-4m	29117	59069	121X10	34.9			2639		
	D5-6m	49399	49399	121X10	34.9	344	28	2639		
	D2-3m	42546	72394	40X10	40.8			3085		
	D4-5m	62551	91343	40X11	44.6			3372		
	D1-2c	30585	23283	21X5	18.2			1592		
D3-4c	58840	67512	40X10	40.8			3569			
D5-6c	148408	148400	168X16	76.4	398	32	6683			
D2-3c	12461	15477	21X5	18.2			1592			
D4-5c	51952	81423	40X11	44.6			3902			
TOTAL MARGINAL								52979	11.62	
C E N T R A L	T11m	135610	247640	194X20	109		14	4792	5.62	
	T21m	130750	186850	168X20	98		14	4088		
	T21c	42986	28698	21X5.5	20		7	4040		
	T31m	186270	209890	178X20	99.2		14	4361		
	T41m	174740	155480	168X16	76.4		14	3359		
	T41c	42986	28698	21X5.5	20	400	7	4040		
	T51m	244710	175920	168X18	84.8		14	3728		
	T61m	182150	96694	168X12	58.8		14	2585		
	T61c	42986	28698	21X5.5	20		7	4040		
	T(1-6)t	23706	3444	102X4	12.3		39	1506		
	D1-2m	46059	66030	121X10	34.9			3016		5.52
	D3-4m	47877	40044	121X10	34.9			3016		
	D5-6m	22771	22771	21X5	18.2	344	32	1573		
	D2-3m	25739	49960	21X10	34.9			3016		
	D4-5m	44595	52042	21X10	34.9			3016		
	D1-2c	27828	22429	21X5	18.2			1819		
D3-4c	47633	31958	21X5.5	20			2000			
D5-6c	69088	69088	40X10	40.8	398	32	4079			
D2-3c	11888	9492	21X5	18.2			1819			
D4-5c	38441	26753	21X5	18.2			1819			
TOTAL CENTRAL								50912	11.17	
TOTAL rigla (inclusiv nodurile) = 10% G								103891	22.78	

Legenda :

- T11m = talpa la nivel 1, sens longitudinal ax marginal;
 T21c = talpa la nivel 2, sens longitudinal ax central;
 T1t = talpa la nivel 1, sens transversal;
 D1-2m = diagonale intre nivel 1 si 2, sens longitudinal ax marginal;
 D1-2c = diagonale intre nivel 1 si 2, sens longitudinal ax central;

Tabel 5.15 Rigla cadrului spatial cu L = 60 metri pentru retea deasa.

IZ ID IN IA	El.	Nmax (+) [daN]	Nmin (-) [daN]	Sec- tiune [mm]	Aria [cm ²]	Lun- gime [m]	Nr. bare	G [Kg]	g Kg/ m ²
T									
R	T _{AB2}	344690	439400	2U30	170	300	12	4804	1.45
D	T _{AB1}	137530	173630	2U20	64.4		12	1820	
N									
S	D _{A,B}	65551	95640	2L130 X 130 X 14	69.4	600	16	5230	1.49
D									
N	D _{1,2}	20743	0	2L100 X 100 X 8	69.4	400	16	5230	
					31		16	1557	
I									
N	D ₂	175960	197900	2U22	74.8	500	12	3523	
F	D ₁	30136	42378	2L120 X 120 X 10	46.4	500	12	2185	3.805
E									
R	D _{A,B}	127780	119880	2L160 X 160 X 18	109.6	671	12	6928	
I									
D	D _{INT}	14909	114080	2L130 X 130 X 14	69.4	721	12	4714	
R									
TOTAL TRONSON INFERIOR =									130761 6.75
T									
R	T _{AB2}	45920	114080	2U16	48	280	20	2110	.73
D	T _{AB1}	48350	43932	2U10	27		20	1187	
N									
S	D _{A,B}	9616	25296	2L100 X 100 X 8	31	600	16	2336	.896
D									
N	D _{1,2}	20743	0	2L100 X 100 X 8	31	400	18	1752	
S									
U	D ₂	193870	193870	2U22	74.8	344	20	4040	
P	D ₁	30136	42378	2L120 X 120 X 10	46.4	488	16	2844	5.39
E									
R	D _{A,B}	127780	119880	2L160 X 160 X 18	109.6	662	20	11391	
I									
D	D _{INT}	14909	35148	2L130 X 130 X 14	69.4	721	16	6284	
R									
TOTAL TRONSON SUPERIOR =									131944 7.
TOTAL (inclusiv nodurile = 10%								68976	15.13

Legenda :

- T_{AB2} = talpa dupa marginile A si B in sens vertical a stilpului din marginea 2;
D_{A,B} = talpa dupa marginile A si B in sens orizontal;
D₂ = diagonale in sens vertical a stilpului din marginea 2;
D_{A,B} = diagonale in sens vertical a stilpului din marginea A si B;
D_{INT} = diagonale in sens vertical a stilpului din interiorul stilpului;

Tabel 5.16 Stilpul cadrului spatial pentru L = 60 metri.

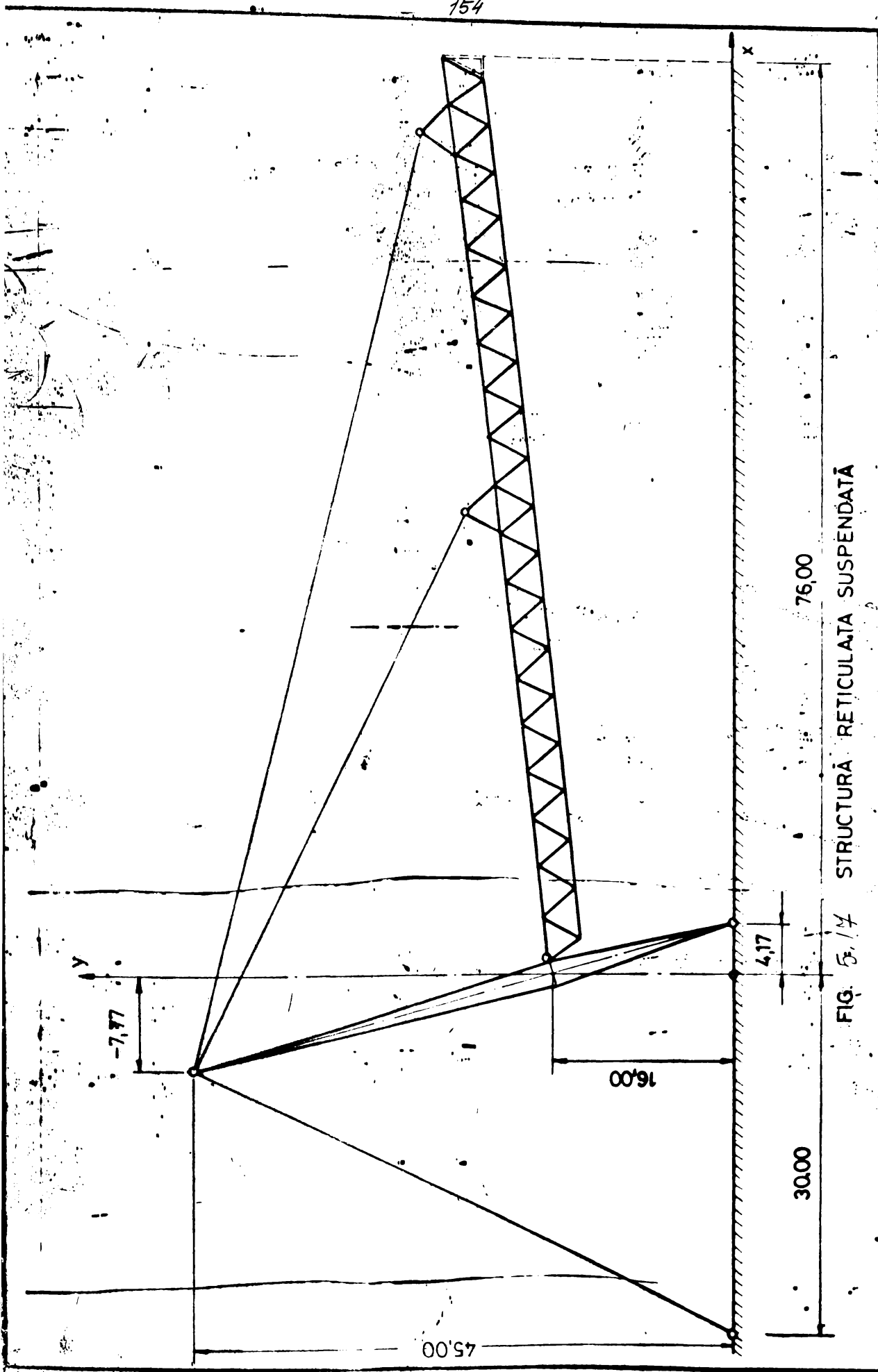


FIG. 5.14 STRUCTURĂ RETICULATĂ SUSPENDATĂ

Aceasta concluzie a fost confirmata, in special pentru structurile reticulate, dupa producerea unui numar de accidente recente (sala de sport din Hartford, structuri de acoperisuri reticulate in Ecuador), a carora cauza a constituit-o fenomenele de instabilitate. De aceea, este de preferat ca solutiile care se adopta la proiectarea structurilor reticulate spatiale sa cuprinda atat studii teoretice cit si experimentale privind fenomenele de pierdere a stabilitatii. Doarece studiile experimentale sint mai dificil de elaborat, am sa prezint pe scurt aspectul teoretic al acestui fenomen de pierdere a stabilitatii.

Aspectul general.

Dezvoltarea unei analize corecte, calitativ si cantitativ a fenomenelor de instabilitate presupune (in cazul oricarui tip de structura) indeplinirea a doua conditii esentiale:

a) cunoasterea in profunzime a acestor fenomene cu toate particularitatile si factorii care le influenteaza. In esenta aceste particularitati se refera la urmatoarele aspecte:

- pierderea stabilitatii este un fenomen spontan, in majoritatea cazurilor neexistind indicii preliminare ale unei catastrofe iminente;
- fenomenele de pierdere a stabilitatii sint profund afectate de imperfectiunile de natura geometrica sau mecanica ale structurii reale. Incarcarea ultima poate fi redusa in unele cazuri, sub aspectul imperfectiunilor la fractiuni mici (0.1 - 0.2) din estimarile facute pentru structura.
- stabilirea corecta a efectului imperfectiunilor este complicata in special datorita caracterului aleator al acestora. Trebuie in acest caz facuta mentiunea ca la ora actuala nu exista inca informatii statistice suficiente asupra caracterului si distributiei acestor imperfectiuni;
- verificarea experimentală a rezultatelor obtinute prin modele analitice sau numerice este dificila. Experimentarile pe modele la scara naturala sint imposibile datorita dimensiunilor mari ale structurilor. Pe de alta parte experimentarile pe module la scara redusa nu sint relevante, deoarece acestea nu permit simularea corecta a distributiei si intensitatii imperfectiunilor structurii reale, factori ce influenteaza hotaritor fenomenele de pierdere a stabilitatii.

b) Elaborarea unor standarde de proiectare care sa tina seama de particularitatile verificarii de stabilitate a structurilor spatiale reticulate.

Privita din aceste punct de vedere, problematica pierderii stabilitatii la ora actuala are un caracter oare cumva paradoxal. Astfel, cu toate ca exista un numar mare de lucrari publicate in literaturata de specialitate, care cuprind studii privind pierderea stabilitatii structurilor spatiale, acestea nu se regasesc in standardele de proiectare. Explicatia acestei situatii rezida in faptul ca proiectanti de structuri, in general sint dispusi sa acorde un timp insemnat determinarii eforturilor si deplasarilor precum si verificarii de rezistenta, solicitind pentru verificarea de stabilitate modele si ecuatii cit mai simple. Aceste modele si implicit relatii foarte simple, au insa la baza ipoteze prea grosiere asupra fenomenelor pe care le reprezinta si o arie de aplicabilitate limitata. In aceasta situatie proiectantul obisnuit cu principiile verificarilor de stabilitate pentru structurile obisnuite (de exemplu structuri plane, cadre, grinzi cu zabrele) si care tinde sa extrapoleze aplicabilitatea acestor principii la structurile spatiale, poate comite erori grave.

Din acest motiv consider ca efectuarea unei analize de stabilitate corecte presupune ca in proiectarea generala a structuri sa se parcurga urmatoarele etape:

- dezvoltarea unei concepii generale privind fenomenul de stabilitatii si a determinarii incarcarii limita;
- stabilirea diferitelor mecanisme posibile de pierdere a stabilitatii pentru structurile in discutie;
- studii analitice pe modele similare numerice;
- studiul diferitilor factori care influenteaza pierderea de stabilitate ca: incarcarea ultima, imperfectiunile geometrice si de rezemare, conditiile de rezemare, caracteristicile imbinarilor;
- verificarea experimentală.

Tinind seama de capacitatea de calcul disponibila mica si de faptul ca calculele efectuate au un caracter preliminar urmarindu-se stabilirea solutiei optime din punctul de vedere al criteriilor specificate anterior, n-am tratat problema de stabilitate in calculele pe care le-am efectuat.

5.7 Sisteme constructive.

Faptul ca structurile spatiale dau posibilitatea adoptarii unor solutii constructive care permit tipizarea procesului de fabricare reprezinta unul din multiplele avantaje oferite de acest tip de structura. In acest context trebuie facuta mentiunea ca exista deja solutii constructive tip, care reprezinta patente ale unor firme specializate in executia si montajul structurilor spatiale reticulate.

In tabelul 5.19 se prezinta cele mai cunoscute dintre aceste solutii, care asigura o prefabricare integrala, fie la nivel de element, fie la nivel de unitate structurala, constituind astfel sisteme deschise, care permit obtinerea de forme arhitectonice deosebit de variate si cu functionalitati diferite. Pentru acestea, imbinarile sint realizate in marea majoritate a cazurilor cu suruburi, prin intermediul unor piese centrale de imbinare (conectori) de forma speciala. Sistemul de imbinare cu suruburi permite atat montarea cit si demontarea usoara a structurii, ca si modificarea formei in plan ori de cite ori o schimbare in functionalitatea cladiri se cere. Conectori centrali sint in cele mai multe cazuri astfel conceputi incit sa poata compensa eventualele abateri ale elementelor (barelor) de la lungimea prescrisa.

In [BS71, BR70] se prezinta o mare varietate de sisteme constructive de imbinare a nodurilor, dar numai unele si-au gasit o mai mare utilizare dintre care amintim:

- sistem MERO fig. 5.18 [**76 MG89] Este unul din cele mai vechi sisteme constructive utilizate care, in fiecare nod, permite prinderea a maxim 18 bare. Prezinta avantajul ca toate barele care sint intrerupte au aceiasi lungime. Permite de asemenea montarea, respectiv demontarea cu usurinta a barelor. Au dezavantajul greutatii mai mari datorita faptului ca sferele nodurilor sint pline, respectiv piesele de capat ale barelor au grosimi mari deci greutati mari;
- sistem CCMT (fig. 5.19) [MG89]. Acest sistem foloseste sfere goale gaurite pe directia perpendiculara pe planul sudurii (sferele sint formate din doua semisfere sudate cap la cap avind un inel in interior in dreptul sudurii), prin care trece o teava continua care este sudata de

- sfera cu sudura de colt. Prezinta avantaj fata de sistemul MERO prin faptul ca foloseste sfere goale, ceea ce duce la greutatea mai mici. Are dezavantajul ca imbinarea barei in nod se face prin sudura ceea ce mareste manopera
- sistem NIPON SPACE TRACE SYSTEM fig.5.20 [MG89] Nodurile sint realizate din sfere goale (sferele sint realizate prin matritarea la cald din teava fara sudura). Gaurile existente in urma matritarii se alezeaza la diametre diferite in care se introduc suruburile pentru prinderea barelor in sfere cu ajutorul unei chei speciale.
 - sistem UNISTRUIT (fig. 5.21) [MG89]. Nodurile sint realizate din placi deformatate plastic la cald, astfel ca in planul diagonalelor sa fie inclinate dupa directia acestora. Numarul de bare care se pot prinde in acest tip este de 8. Prezinta avantaj prin faptul ca imbinarile se fac cu suruburi, care permit prinderea profilelor U sau a cornierelor formate la rece sau la cald.
 - sistem VARITIC (fig. 5.22). Nodurile se realizeaza cu ajutorul unor piese de tip coltar, intre care se introduc guseele de la capatul barelor. Prinderea se face cu suruburi de inalta rezistenta.

La ora actuala, tendinta de a realiza solutii constructive se indreapta catre:

- realizarea unor imbinari de noduri care permit o montare si o demontare usoara si rapida a structurii;
- adoptarea unor solutii de imbinari care sa permita prinderea invelitorii direct de structura si eliminarea panelor;
- utilizarea profilelor din aluminiu.

Tinind seama de tendinta actuala de realizare a imbinarilor am justificat prin calcule o procedura noua privind modul de imbinare, pentru structuri mici si medii, care a fost prezentata in cadrul "Conferintei de Constructii Metalice 1988".

Solutia constructiva se refera la o structura reticulata planara (fig. 5.23) rezultata prin alipirea unor elemente paralelipipedice identice (fig. 5.24), in care forma in plan a elementelor paralelipipedice poate fi patrata sau dreptunghiulara in functie de dimensiunile si modul de rezemare a structurii. Un element paralelipedic oarecare (fig. 5.25) este format din talpi (notat in desen cu "1") realizate din oteți L, U, sau chesonat, laminat la cald sau la rece. Montanti

Tabel 5.19. TIPURI DE NODURI PTR. STRUCTURI RETICULATE

Nr. crt.	NUMELE SISTEMULUI (TARA)	CONFIGURATIA STRUCTURALA		ELEMENTE STRUCTURALE		SISTEMUL DE IMBINARE		FORMA SECTIUNII TRANSVERS A BARELOR
		dublu strat (multistrat)	simplicu strat	bare independente	nuclee prefabricate	sudat	cu suruburi	
0		2	3	4	5	6	7	8
1	MERO (RFG)	●	●	●			●	○ □ □
2	C.C.M.T. (ROMANIA)	●		●		●		○
3	NIPON SPACE TRUSS SYSTEM (JAPONIA)	●		●			●	○
4	SPACE DECK (ANGLIA)	●			●	●	●	○ ○ ●
5	TRIODETC (CANADA)	●	●	●			●	○]
6	OKTAPLATTE (RFG)	●		●	●	●	●	○
7	UNIBAT (FRANTA, ANGLIA)	●	●		●	●	●	I ○
8	NODOS (ANGLIA)	●		●		●	●	○ □ □
9	UNISTRUT (USA)	●		●			●	□ □
10	VARITIC (AUSTRIA)	●		●			●	○ □ □

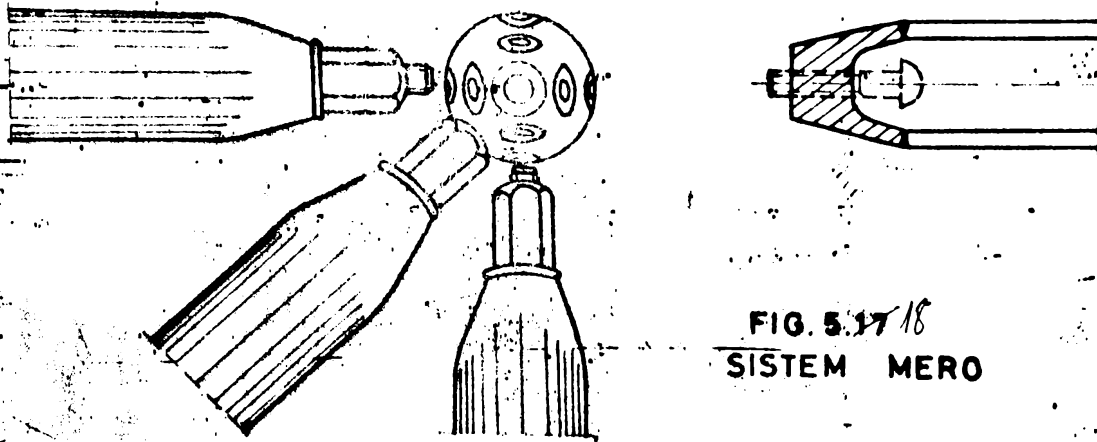


FIG. 5.17 18
SISTEM MERO

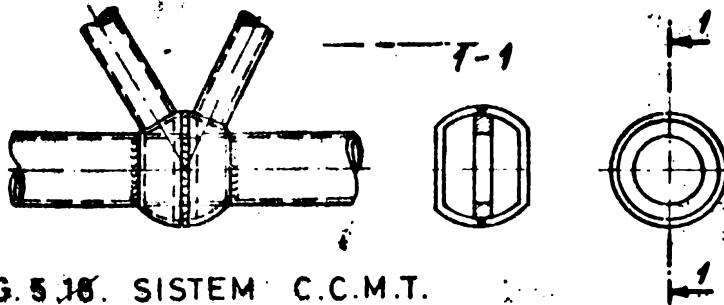
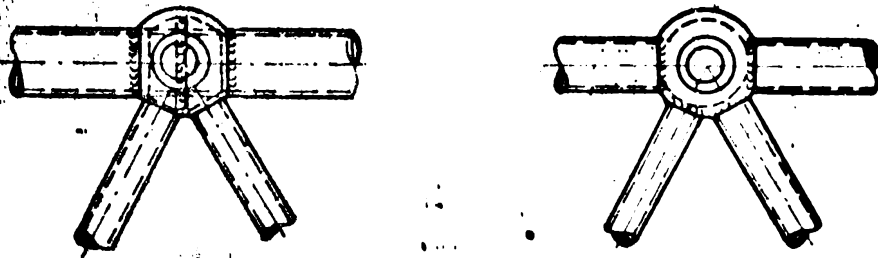


FIG. 5.18. SISTEM C.C.M.T.

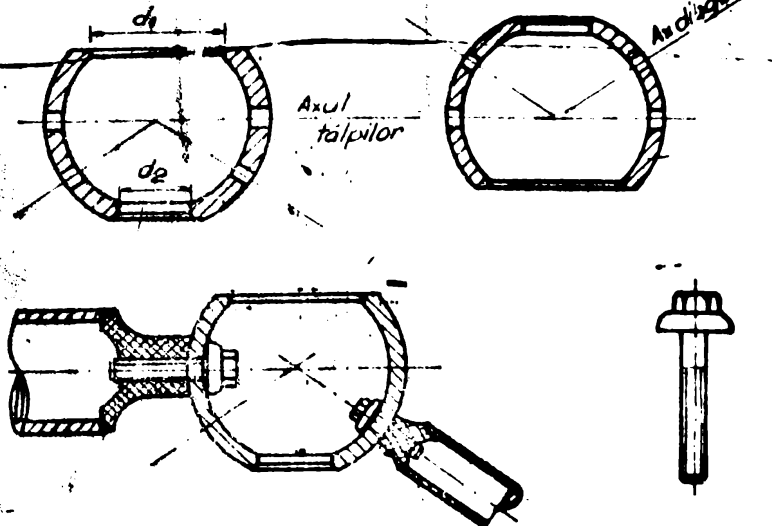


FIG. 5.19 20. SISTEM NIPON SPACE TRUSS

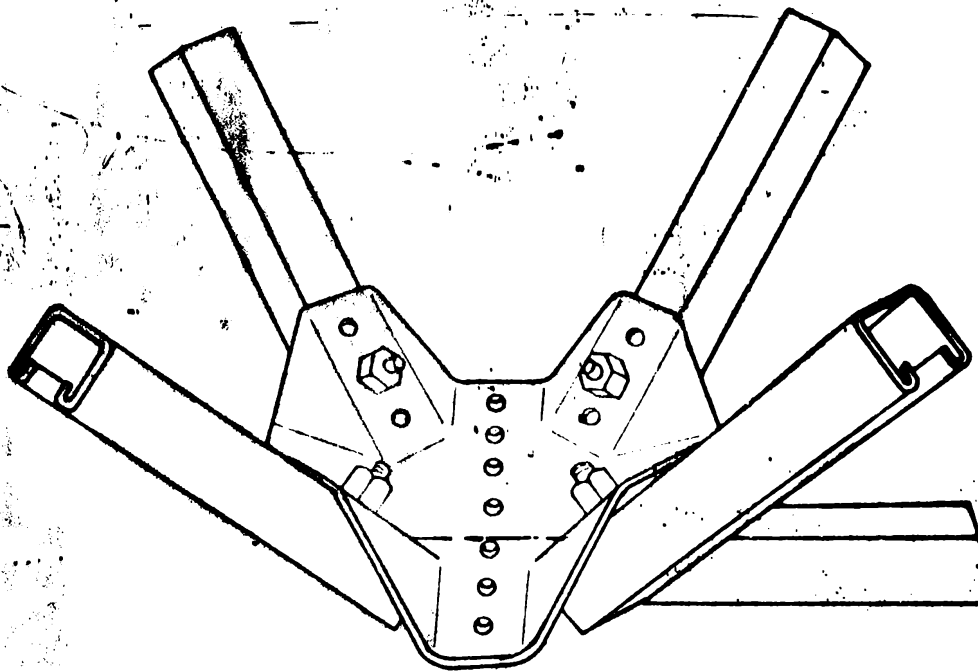


FIG. 5.20 SISTEM UNISTRUT

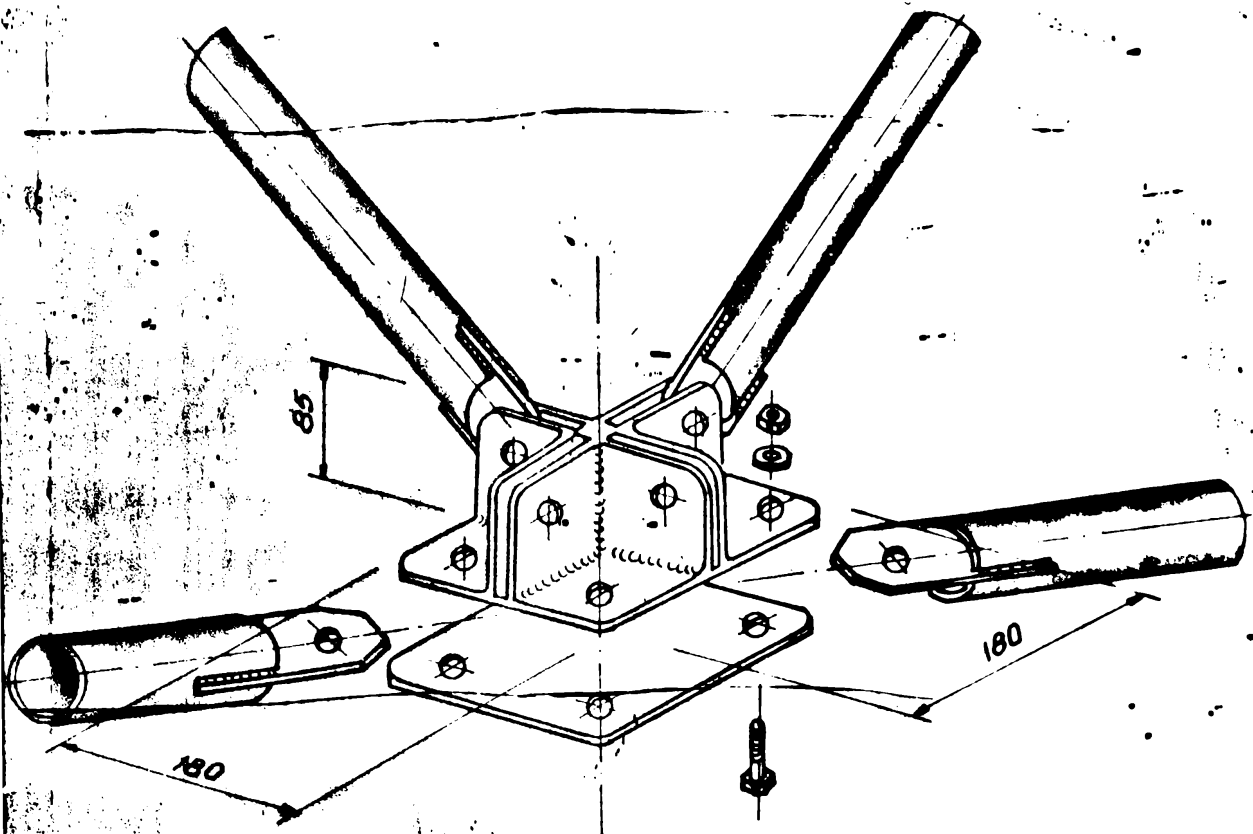


FIG. 5.22 SISTEM VARIATIC

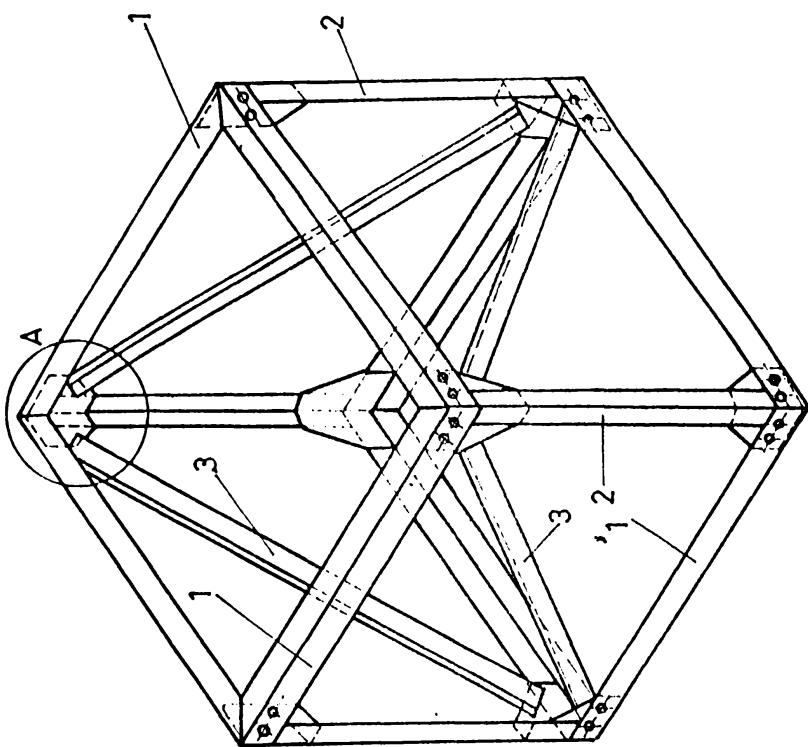


FIG. 5.25 UNITATE DE BAZA PARALELIPEDICA

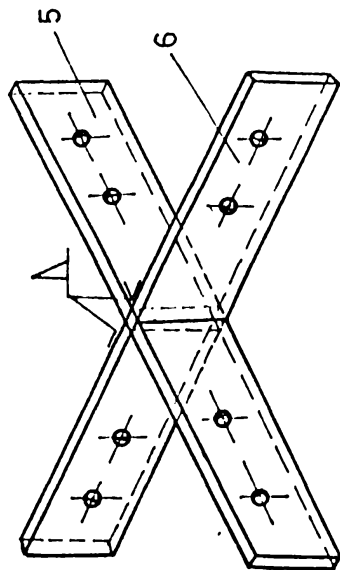


FIG. 5.26 CONECTOR CENTRAL

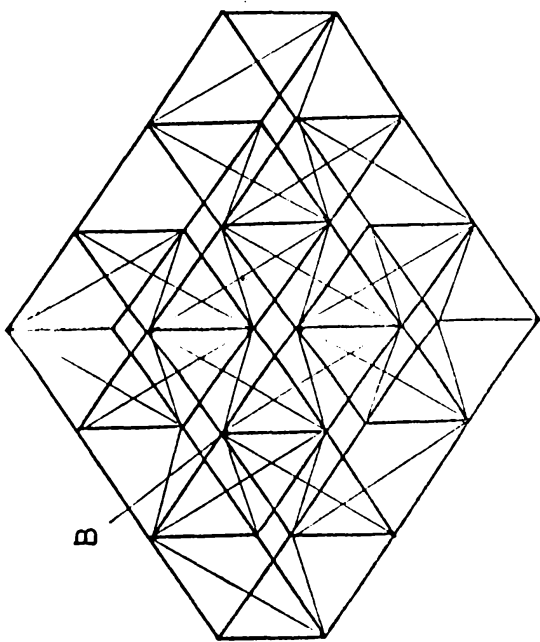


FIG. 5.23 ANSAMBLU STRUCTURAL

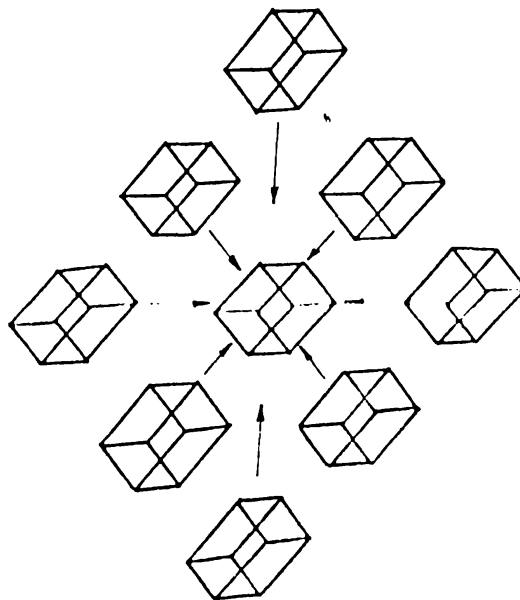


FIG. 5.24 ASAMBLAREA ELEMENTELOR PARALELIPEDICE

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMISOARA
BIBLIOTECA

"2" sînt realizați din otel cornier. Diagonalele "3" sînt de asemenea realizate din otel cornier. Imbinarea barelor ce alcătuiesc elementul paralelipipedic se face prin intermediul unor conectori centrali, de tip guseu (fig. 5.26), realizați din două table sudate, cu ajutorul unor suruburi de înaltă rezistență. Modul de realizare al imbinării este prezentat în figurile 5.27, 5.28, 5.29. Pentru solidarizarea intermediară a talpilor între ele se prevăd fururi "8".

Folosirea soluției constructive propuse, la realizarea structurilor reticulate planare dublu strat, conduce la obținerea următoarelor avantaje:

- structurile reticulate se obțin din elemente tipizate de forma paralelipipedică prin asamblare în noduri identice utilizînd piese cu guseu tip și suruburi de înaltă rezistență, fapt ce permite executarea acestora în cadrul unui proces de montaj industrializat;
- forma elementelor paralelipipedice poate fi adoptată în plan în raport cu forma întregii structuri (patrată sau dreptunghiulară) ca și cu modul de rezemare al acesteia;
- învelitoarea poate fi prinsă direct de talpi, fără a mai fi necesare pane sau alte elemente intermediare de prindere;
- structurile obținute sînt integral demontabile cu posibilități de modificare a formei în plan;
- executia elementelor paralelipipedice și a pieselor de imbinare se poate realiza în mod industrializat rezultînd în acest mod economii importante de otel și manoperă;
- productivitate mare la execuție și montaj;
- posibilitatea folosirii profilelor cu pereți subțiri.

Studiile numerice comparative pe care le-am efectuat pentru soluția constructivă propusă în raport cu soluțiile structurale clasice au ca obiect stabilirea gradului de eficiență a soluției prezentate ca și stabilirea limitelor de aplicabilitate. Sînt luate în considerare următoarele aspecte:

- calculul comparativ în raport cu tipurile uzuale de structuri reticulate planare în dublu strat;
- calculul comparativ între tipurile de soluții propuse.

Comparatiile se vor efectua din punctul de vedere al:

- 1) eforturilor maxime din elementele componente ale structurilor;

- 2) rigiditatii lor, estimate cu ajutorul sagetii maxime;
- 3) consumurilor specifice de otel.

Pentru a estima cu suficienta acuratete eficienta solutiei mentionate, intr-o prima etapa au fost efectuate calcule comparative cu 6 tipuri clasice de structuri reticulate planare in dublu strat (prezentate in fig. 5.30 ca si intr-o lucrare a lui Makowski [Ma80]. Structurile mentionate au dimensiunile in plan de 30 X 30 metri si dimensiunile ochiurilor de 3 X 3 metri. Regimul de incarcare este de 150 daN/m. Pentru simplitate s-a considerat ca toate barele au aceeasi sectiune transversala. Toate structurile mentionate au fost rezemate pe talpa inferioara. Rezultatele calculelor sint prezentate in tabelul 5.20.

Asa cum o demonstreaza valorile prezentate in tabelul 5.20, solutia propusa prezinta o rigiditate satisfacatoare (rigiditatea a fost estimata prin valoarea sageti maxime)), comparabila cu cea a tipului din fig. 5.30a, si 5.30d. Sensibilitatea se situeaza la valori mai scazute decit in cazul tipurilor a si b, fiind aproximativ egala cu consumul rezultat in cazul structurii de tip c.

Tip	T _N [daN]	T _S [daN]	f [cm]	P [daN/m ²]	Sectiune [cm ²]	g [Kg./m ²]
a	19480	19180	7.16	150	0114X5 A=17.2	39.62
b	35710	20440	10.47	150	0114X5 A=17.2	35.31
c	9480	9310	6.91	150	070X3.5 A=7.33	31.28
d	9480	10000	7.29	150	070X3.5 A=7.33	28.1
e	8870	9300	5.43	150	830X5 A=10.7	29.30
f	9550	11070	5.61	150	083X5	26.4

I	!	!	!	!	!	A=10.7	!	I						
I	-----I													
I	propus	19448	!	20259	!	8.10	!	150	!	65X50X8	!	32.06	!	I
I	-----I													
I	!													
I	A=17.2													
I	-----I													

Tabel 5.20 Tabelul rezultatelor comparative între soluțiile clasice și cea propusă.

Ținând cont de valorile raționale ale rigidității și consumului de oțel obținut pentru soluția propusă, am considerat ca aplicarea acesteia este pe deplin justificată având în vedere simplitatea, gradul înalt de prefabricare precum și productivitatea ridicată la execuție și montaj pe care le asigură.

Pentru a estima corect limitele de aplicabilitate ale soluțiilor propuse am studiat de asemenea influența următorilor factori:

- condițiile de rezemare continuă și discretă în nodurile de pe contur, ca și efectul unor rezeme intermediare;
- regimul de încărcări statice care s-a modificat între 150 - 250 daN/m²;
- influența modificării alcatuirii barelor, care s-au considerat a fi formate din profile formate la rece de tip U, din tevi rotunde și respectiv din tevi patrute.

În continuare studiul a comportat analizarea de diferite variante de alcatuire a structuri propuse luându-se în considerare următoarele tipuri și dimensiuni ale suprafeței:

a) suprafața patrută:

- a1. 30 X 30 metri;
- a2. 36 X 36 metri;
- a3. 42 X 42 metri.

Ochiurile structuri pentru acest caz sunt de formă patrută cu dimensiunile de 3 X 3 metri.

b) suprafața dreptunghiulară:

- b1. 30 X 40 metri;
- b2. 36 X 48 metri;
- b3. 42 X 56 metri.

Ochiurile structurii pentru acest caz sunt de formă dreptunghiulară cu dimensiunile de 3 X 3 metri.

Pentru fiecare din cele 6 variante prezentate anterior s-au avut în vedere câte un număr de 4 variante de rezemare și anume:

- rezemare in colturi;
- rezemare continua la talpa inferioara;
- rezemare continua la talpa superioara;
- rezemare continua atat la talpa inferioara cit si la cea superioara.

Incarcarile care s-au avut in vedere au fost de 150, 200 si 250 daN/m². Tinind cont de particularitatile constructive ale sistemului la dimensionarea barelor s-a avut in vedere respectarea urmatoarelor criterii:

- barele talpilor inferioare si superioare sa aiba toate aceasi sectiune transversala;
- diagonalele sa prezinte toate aceiasi sectiune transversala;
- montanti sa aiba toti aceiasi sectiune transversala;
- materialul utilizat sa fie otel OL37.

Rezultatele care s-au obtinut sint sintetizate in tabelul 5.21. Din acest tabel au fost eliminate variantele de alcatuire care nu conduc la consumuri eficiente (peste 65 Kg/m² pentru deschideri mai mici de 42 metri si peste 80 Kg/m² pentru deschideri mai mari de 42 metri).

In urma analizei rezultatelor din tabelul 5.21 apar urmatoarele concluzii:

- sistemul structural propus poate fi folosit cu eficienta pentru deschideri libere cuprinse intre 30 X 56 metri, in toate variantele de rezemare si regimurile de incarcare analizate cu exceptia variantelor de rezemare pe colturi. In aceasta ultima situatie, consumurile in limite acceptabile rezulta numai pentru structuri cu dimensiuni in plan de 30 X 30 metri si cu un regim de incarcare statica de 150 daN/m². In toate celelalte cazuri sistemul prezinta atat o rigiditate satisfacatoare cit si consumuri de otel care se inscriu in limite admisibile. Cele mai eficiente dintre variantele analizate se dovedesc a fi acelea cu rezemare continua atat la talpa superioara cit si la talpa inferioara;

- se poate afirma pe baza rezultatelor obtinute ca in toate variantele de rezemare, cu exceptia celei de colt, structura ar putea fi utilizata si la deschideri superioare celor analizate; de alcatuire a talpilor cu doua profile I[devin eficiente pentru dimensiuni in plan ale structurii mai mari dect 30 X 30 metri in cazul unui regim de incarcare de peste 150 daN/m². In celelalte cazuri, sectiunea transversala a

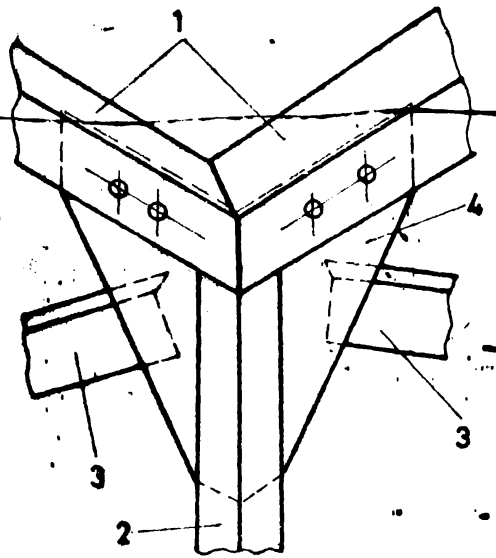


FIG. 5.27 DETALIU „A”

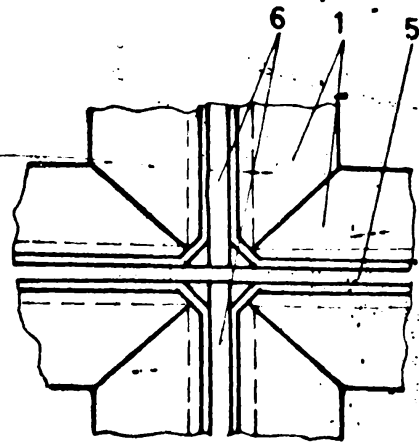


FIG. 5.28 DETALIU „C”

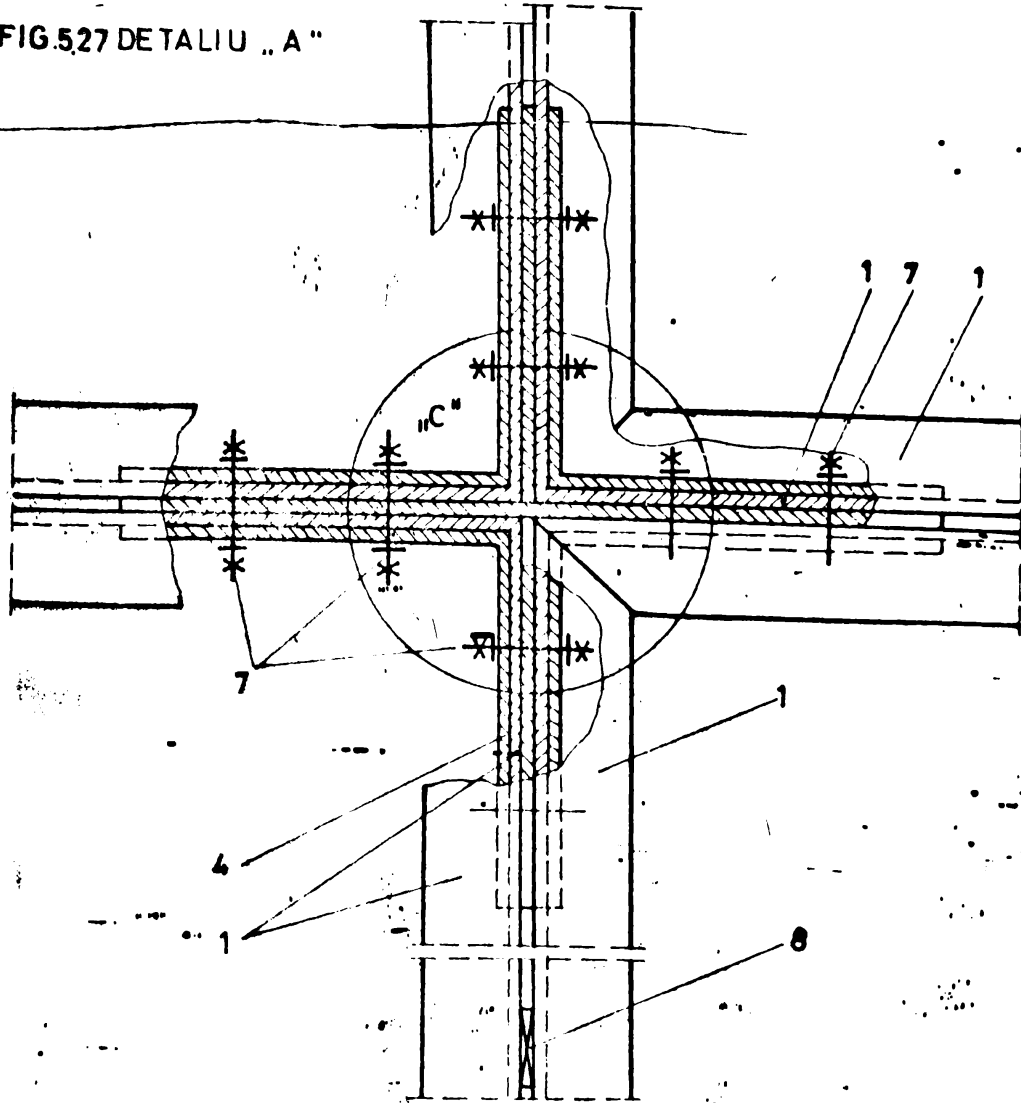


FIG. 5.29 NOD DE IMBINARE

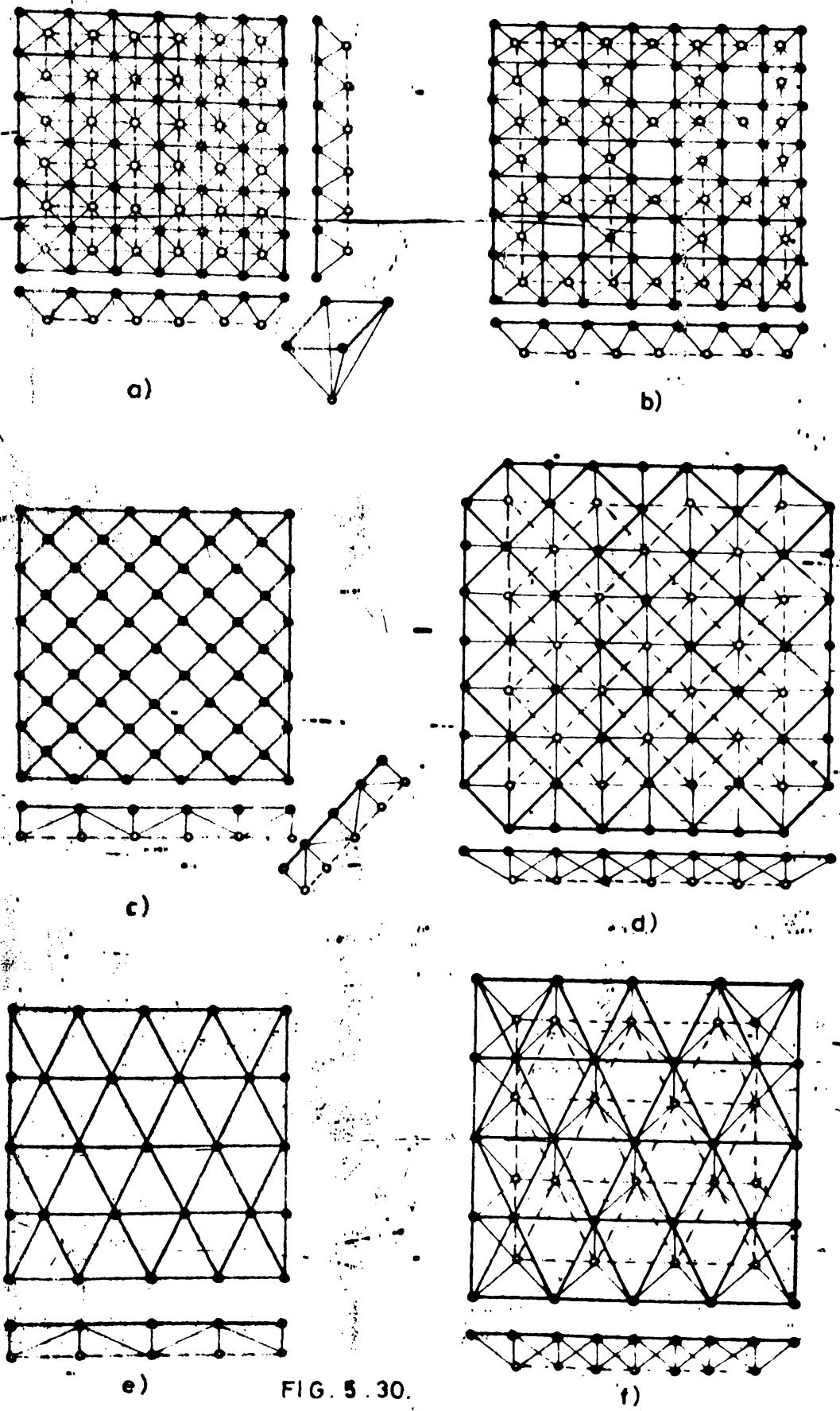


FIG. 5.30.

Tabel 5.21

DIMENSIUNE	REZEMARE	P dan cm ²	eforturi de dimens. [daN]		Var. I - talpi alcătuit din corniere				Varianta II		Var. I	Var. II
			talpa I.S.	diagonale	talpa 11	diagonale	montanți	săgeata	talpa I. si S.	talpi J.C.		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	colt	150	57435	22635	10119	27,8	11,1	4,8	8,9	27	44,6	44,4
	TI	150	-15290	-5397	1497	10,16	5,69	4,3	4,8	22	18,3	30,4
	TS	150	16068	5954	-3889	8,6	5,69	4,3	6,7	22	16,5	30,4
	TI+TS	150	-7494	-3622	-513	8,6	5,69	4,3	2,2	22	16,5	30,4
	colt	200	74934	31052	-9335	37,40	16,28	13,96	11,9	40,8	61,41	64,98
	TI	200	-19974	-7528	3280	13,82	8,91	9,4	6,40	22	24,63	33,18
	TS	200	20294	7407	-4743	11,64	6,91	13,96	7,60	22	23,14	33,98
	TI+TS	200	10910	-5405	-741	11,64	6,91	5,4	2,67	22	22,50	33,01
	colt	250	93668	38874	-11558	46,40	18,70	15,56	14,83	48	>65	>65
	TI	250	-24243	-9410	4100	18,06	8,13	9,4	8,00	22	31,11	34,16
	TS	250	25343	9528	-5928	16,26	8,13	15,56	9,50	22	29,23	35,24
TI+TS	250	-13658	-6757	-927	16,26	8,13	9,4	3,33	22	28,40	34,50	
30 x 30	colt	150	87939	39669	-13457	45,4	19,2	9,4	11,1	48	>65	>65
	TI	150	-21699	-8120	3807	16,26	5,7	9,4	7,5	22	25,62	31,62
	TS	150	21095	7873	-4710	11,38	4,3	9,4	8,9	22	18,80	29,91
	TI+TS	150	-12507	-5021	-588	9,60	4,30	9,40	4,2	22	17,00	29,91
	colt	200	116959	52758	-19898	71,1	28,1	14,76	14,76	48	>65	>65
	TI	200	-28859	-10800	5063	21,20	8,13	9,4	9,98	22	33,75	33,92
	TS	200	27877	10471	-6264	18,26	5,82	12,32	11,84	22	26,30	33,20
	TI+TS	200	-16634	-6680	-782	13,12	5,82	9,40	5,59	22	22,50	31,90
	colt	250	148199	62763	-24873	91,1	36,1	18,45	18,45	48	>65	>65
	TI	250	-36094	-13500	6929	26,24	10,6	9,40	18,45	27	42,00	42,15
	TS	250	34871	13089	-7830	21,20	8,13	15,56	12,48	22	34,82	35,20
	TI+TS	250	-20762	-833	-978	16,26	8,13	15,56	14,8	22	28,56	34,59

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	colt.	150	131862	49586	-15185	65	23,2	12,32	15,7		>65	>65
	TI	150	-30498	-9378	5558	21,2	10,6	9,4	9,9	22	36,86	37,10
	TS	150	30620	9267	-6655	14,58	4,3	9,4	14,6	22	22,14	29,91
	TI+TS	150	-18803	-6170	-630	13,82	4,3	9,4	10,1	22	21,35	29,91
	colt.	200									>65	>65
42x42	TI	200	-40562	-12473	9392	27,80	15,5	9,4	13,17	27	49,85	48,65
	TS	200	40725	12325	-8851	21,20	5,82	9,4	19,42	22	30,92	31,65
	TI+TS	200	-25008	-8206	-838	18,80	5,82	9,4	13,43	22	28,42	31,65
	colt.	250										
	TI	250	-50627	-15567	9227	37,49	18,7	9,4	16,434	34	63,60	60,00
	TS	250	50829	15383	-11047	24,60	8,13	12,48	24,23	27	37,84	40,20
	TI+TS	250	-31213	-10242	-1046	23,80	8,13	9,4	16,76	27	36,47	39,10
	colt.	150	88422	38726	-21015	45,4	18,7	16,26	14,1	48	63,38	>65
	TI	150	-20432	-8706	-3084	18,8	6,56	4,3	5,4	22	25,42	29,23
	TS	150	31467	9331	-4228	16,26	4,8	4,3	8,1	22	18,91	26,67
	TI+TS	150	-13751	-6178	-3733	10,16	4,8	4,3	3,8	22	15,5	26,6
	colt.	200	117601	51506	-27950						>65	>65
30x40	TI	200	-36905	-13172	5029	24,60	8,13	9,4	7,85	27	32,26	34,46
	TS	200	38205	13063	-6645	18,87	6,6	9,4	10,374	22	25,41	28,28
	TI+TS	200	-19447	-8678	-5322	13,82	6,6	9,4	5,19	22	20,80	28,28
	colt.	250									>65	>65
	TI	250	-46062	16441	-6276	31,00	10,60	9,4	9,79	34	40,70	43,45
	TS	250	47685	16304	-8293	23,80	8,13	9,4	12,95	27	31,52	34,45
	TI+TS	250	-24273	-10832	-8934	16,26	8,13	9,4	6,47	27	22,62	34,45

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36 x 48	colt	150	142059	62599	-23173	694	30	16,26	16,6	/	>80	>80
	TI	150	-38475	-11975	5330	26,2	8,6	9,4	8,8	27	34,22	34,95
	TS	150	40569	13170	-7223	21,2	6,61	9,4	11,5	22	27,56	28,30
	TI+TS	150	-22781	-8359	-957	15,26	5,82	9,4	5,3	22	21,29	27,46
	colt	200	/	/	/	/	/	/	/	/	>80	>80
	TI	200	-51471	-15929	7089	37,40	11,9	9,4	11,704	40,8	47,93	51,00
	TS	200	53956	17516	-9606	30,20	9,03	9,4	15,29	34	38,33	41,80
	TI+TS	200	-30299	11118	-1273	21,20	8,13	9,4	7,049	23	29,147	30,00
	colt	250	/	/	/	/	/	/	/	/	>80	>80
	TI	250	-63963	-19909	8861	46,40	15,5	9,4	14,63	48	59,932	61,40
	TS	250	67445	21895	-12008	37,40	11,10	9,4	19,11	40,8	47,00	50,20
	TI+TS	250	-37873	-13898	-1592	26,20	10,60	9,4	8,81	27	36,31	37,10
42 x 56	colt	150	206578	76202	-25504	/	/	/	30	/	>80	>80
	TI	150	-64998	-17701	7587	45,4	12,3	9,4	9,2	48	55,67	58,05
	TS	150	57906	16472	-7941	27,8	8,13	9,4	18,5	27	35,19	34,45
	TI+TS	150	-33983	-10392	-931	24	8,13	9,4	6,4	27	31,71	34,46
	colt	200	/	/	/	/	/	/	/	/	>80	>80
	TI	200	-86447	-23542	10090	60,00	19,20	9,4	12,23	64,4	76,25	>80
	TS	200	79015	21908	-10561	37,40	10,6	9,4	24,605	40,8	46,56	49,7
	TI+TS	200	-45198	-13821	-1238	31,00	10,6	9,4	8,512	34	40,70	43,50
	colt	250	/	/	/	/	/	/	/	/	>80	>80
	TI	250	/	/	/	/	/	/	/	/	>80	>80
	TS	250	96268	27385	-13201	45,40	15,10	9,4	30,75	48	61,00	61,00
	TI+TS	250	-56498	-17276	-1547	45,40	15,10	9,4	10,64	48	61,00	61,00

talpilor este impusa de dimensiunea maxima de profi l. Pentru dimensiunile maxime analizate de 48 X 56 metri in cazul regimurilor de incarcare severa, aceasta varianta este preferabila, datorita sporului de rigiditate pe care il confera structurii;

- varianta de alcatuire a talpilor din doua corniere cu aripi egale este eficienta pentru toate cazurile analizate;
- apare posibilitatea de adaptare a formei unitatilor paralelipipedice la forma structurii cu un efect favorabil asupra performantelor ansamblului structural;
- rezultatele obtinute sugereaza posibilitatea de a utiliza eficient si alte tipuri de sectiuni transversale (tevi patrute formate la rece sau profile (formate la rece).

5.8 Tehnologii de executie si montaj.

La ora actuala exista pe plan mondial o mare diversitate de tehnologii de montare a structurilor spatiale reticulate. Marea majoritate a acestor tehnologii pot fi grupate in trei mari categorii (fig.5.31):

- a) tehnologii de montaj element cu element in care elementele structurii (bare independente sau nuclee prefabricate) sint montate direct in pozitia lor finala;
- b) tehnologii de montaj pe blocuri in care elementele structurii sint asamblate la sol in blocuri, care sint apoi ridicate si montate in pozitia finala;
- c) tehnologii de liftare in care intreaga structura este asamblata la sol si apoi este liftata in pozitia finala. Aceasta tehnologie are doua variante principale si anume:
 - I. accesoriile sint montate dupa fixarea in pozitia finala a structurii;
 - II. intreaga structura, impreuna cu accesoriile necesare este montata la sol si apoi ridicata si fixata in pozitia finala.

Alegerea unei tehnologii de executie optime pentru o situatie data trebuie sa respecte urmatoarele seturi de conditii:

- o conditie de proiectatare, impusa de tipul structurii si de dimensiunea acesteia;
- o conditia de executie care se refera la dimensiunile

spatiului disponibil, tipul de utilaje pentru liftare, conditii de transport, durata si costul executiei;
- conditii de siguranta a muncii.

In final se remarca ca este necesar de tinut seama ca proiectarea unei structuri spatiale reticulate trebuie gindita in strinsa corelatie cu tehnologia de executie aleasa.

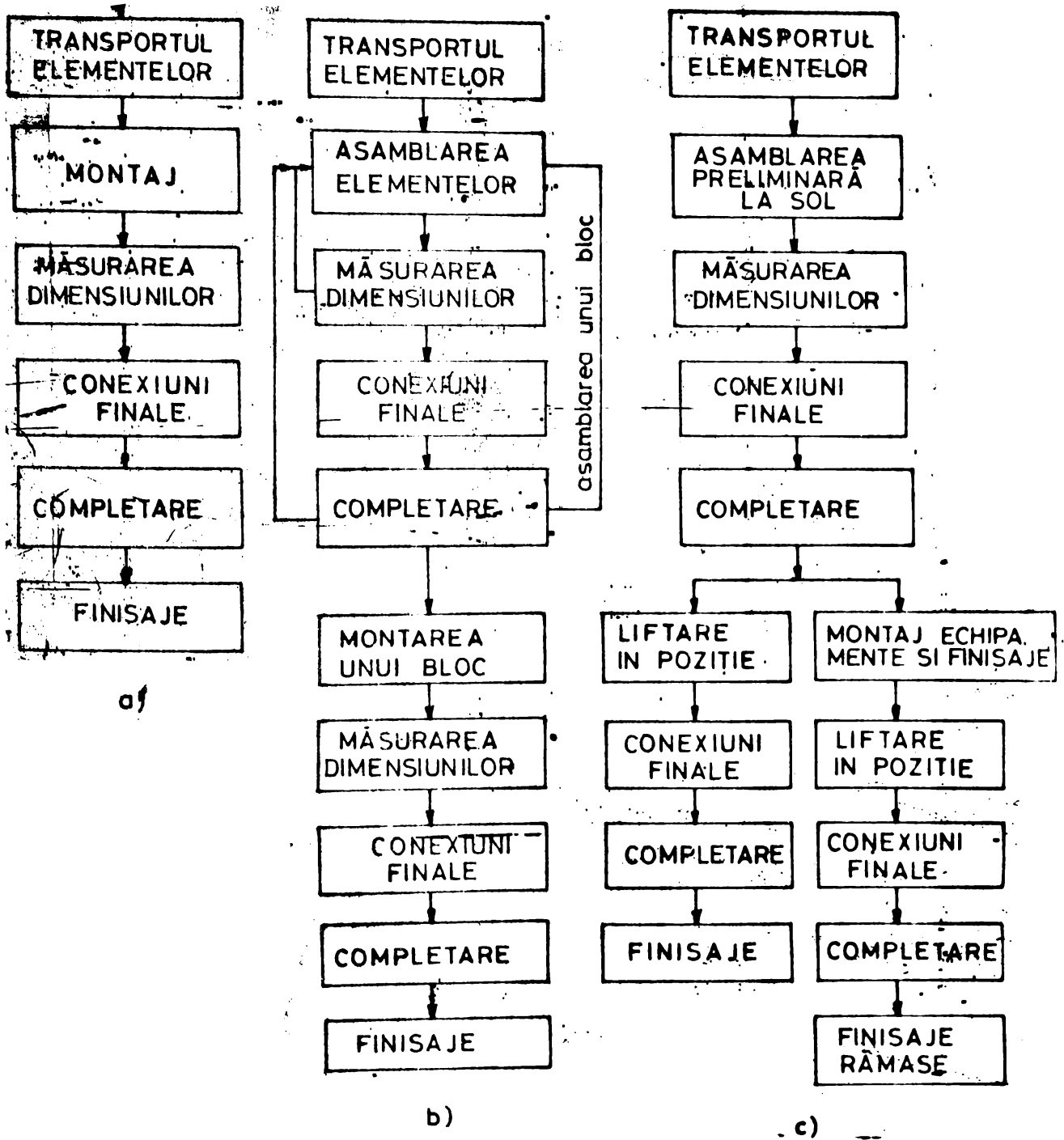


FIG. 5.31. TEHNOLOGIE DE MONTAJ

- a) Metoda element cu element b) Metoda cu blocuri.
c) Metode de liftare

6. METODA ELEMENTELOR FINITE PENTRU CALCULUL STRUCTURILOR DIN BARE.

6.1 Introducere.

Modelele de calcul în cadrul cărora s-au dezvoltat metodele numerice din mecanica structurilor sunt modele discrete, discretizarea fiind de natura fizică sau matematică. Abordarea pe această cale a problemelor are avantajul că permite formularea matriceală a metodelor de calcul, condiție absolut necesară pentru elaborarea algoritmilor programelor de calcul. Structurile din bare sunt însăși prin configurația lor sisteme discrete; în principiu fiecare bară este un element structural, respectiv un element finit.

Metodele numerice sunt metode aproximative de calcul a structurilor. Sunt cunoscute și metode analitice exacte, dar acestea au o arie de aplicabilitate redusă, pentru anumite cazuri particulare de acțiuni și geometrii ale structurilor.

Dintre metodele numerice se vor reține doar trei grupuri:

- metodele matriceale directe, care au la baza teoremele lucrului mecanic virtual;
- metodele variationale, care se bazează pe un criteriu de stationaritate impuse energiei potențiale;
- metode reziduale, care înlocuiesc condiția de stationaritate a energiei potențiale prin condiția de stationaritate a funcției reziduale.

În această idee în fig. 6.1 se prezintă o clasificare a metodelor de calcul utilizate în mecanica structurilor.

Dintre aceste metode se reține în continuare, numai metoda elementelor finite, care în prezent, oferă cele mai largi posibilități atât în ceea ce privește modelarea fizică a structurilor, cât și din punct de vedere a procedurilor necesare cu care operează.

Intrucât principiul metodei este cunoscut [Re86, Iv85, Sm71], acest aspect se va trata într-o manieră mai sumară, schematic, urmînd ca accentul să se pună pe procedurile numerice ale metodei. Astfel, referirea se va face în principii

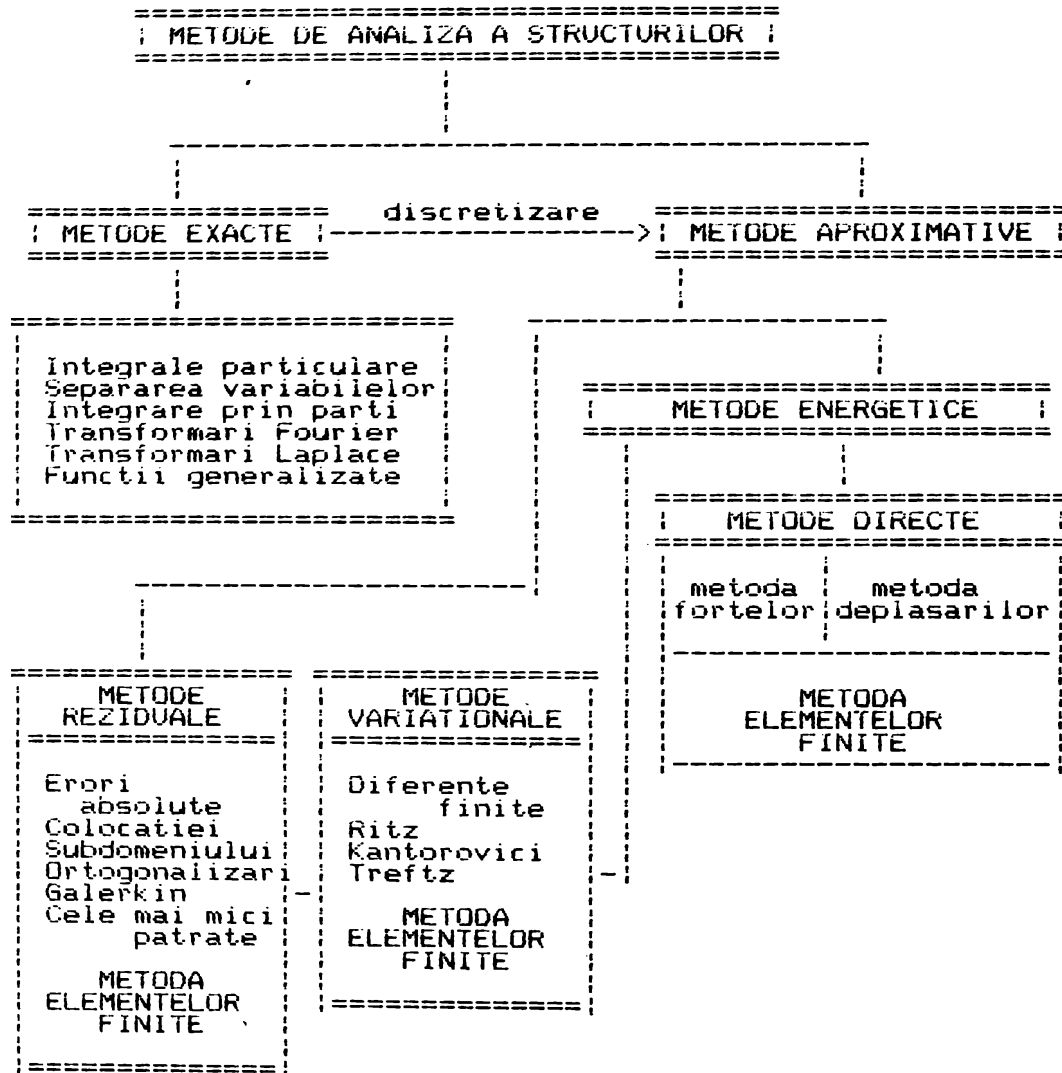


Fig. 6.1. Metode de calcul in mecanica structurilor.

la tehnicile de generare asamblare si stocare in memoria calculatorului a matricilor caracteristice. In cazul calculatoarelor personale care au o capacitate de memorie si viteza limitate, aceste probleme primesc o importanta deosebita, atat din punctul de vedere al elaborarilor de programe, cit si din acela al utilizatorilor programelor. Din aceste considerente, in partea a doua a capitolului dupa prezentarea algoritmilor si programelor de calcul realizate pentru:

- calculul static al grinzilor cu zabrele plane;
- calculul static al cadrelor plane;
- calculul static al sistemelor articulate sptiaiale;

accentul se va pune pe contributiile care au facut posibila implementarea programelor pe un sistem cu capacitate mica de calcul.

6.2 Formularea metodei elementelor finite.

6.2.1 Metode de calcul.

Metoda elementelor finite (MEF) reprezinta in momentul de fata cel mai eficient instrument pentru calculul structurilor constructiilor ingineresti, indiferent de forma si de material. Aplicarea ei in practica nu se poate realiza, insa, decat prin intermediul calculatoarelor.

Doua motive stau la baza dezvoltarii actuale a metodei elementelor finite: pe de o parte, faptul ca aceasta metoda permite abordarea unei largi game de probleme din domeniul mecanicii mediilor deformabile, a fizicii mediilor continue si a teoriei cimprilor, chimiei cuantice etc., iar pe de alta parte, nivelul mereu mai ridicat al tehnicii de calcul, care ofera posibilitatea ducerii calculului pina la nivelul de precizie dorit.

Metoda elementelor finite cunoscute, pina in prezent, patru procedee de formulare a ecuatiei fundamentale:

1. **Formularea directa**, derivata din mecanica structurilor pe baza formularii matriciale a metodei deplasarilor;

2. **Formularea variationala**, care consta in minimizarea energiei potentiale a solidului elastic, in baza principiului valorii stationare a energiei potentiale. Spre deosebire de procedeul direct, formularea variationala a extins aplicarea

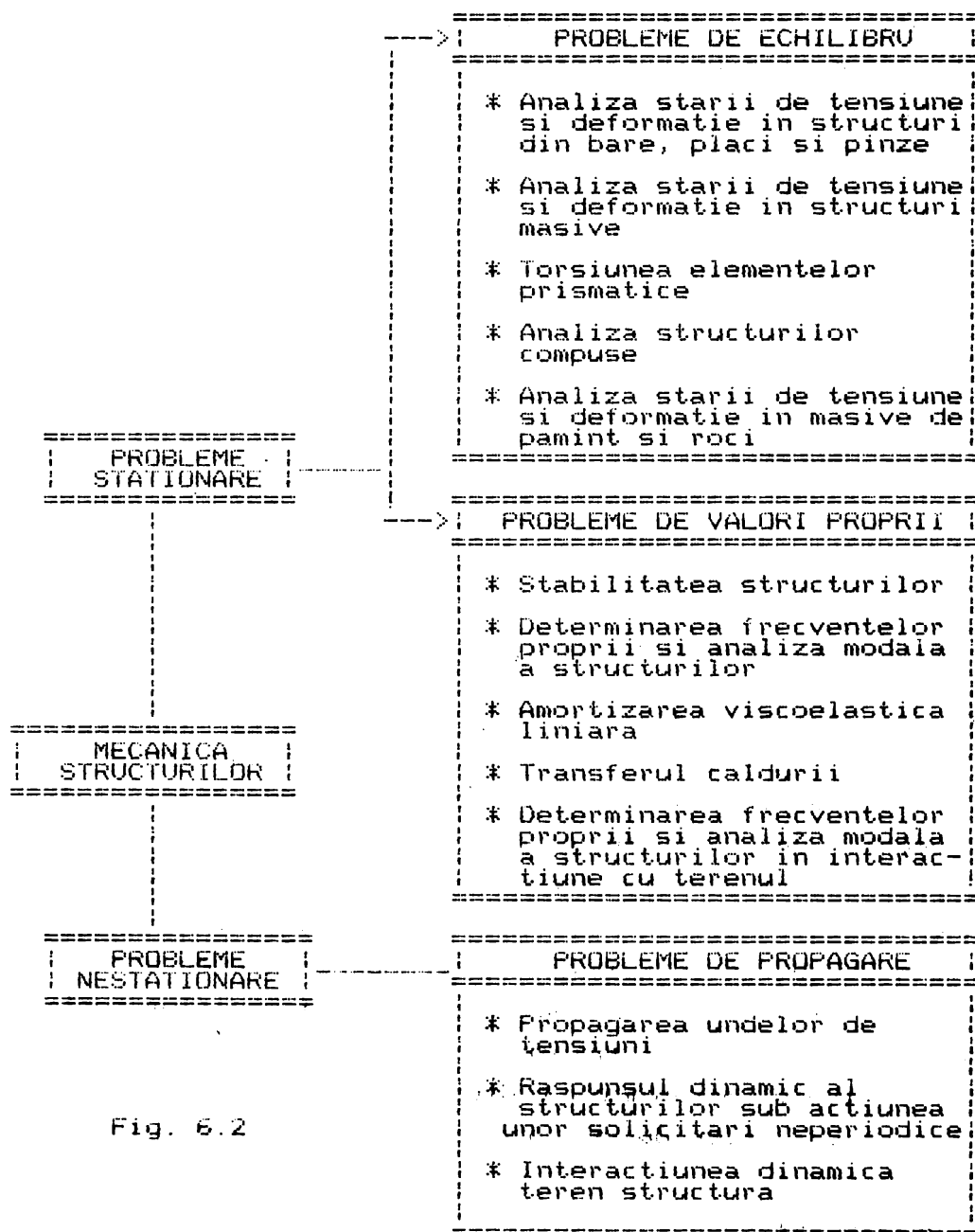


Fig. 6.2

ALGORITHM GENERAL DE CALCUL A METODEI ELEMENTELOR FINITE
 CITESTE caracteristicile structurii
 ; Numar de noduri si coordonatele acestora;

metodei si la alte categorii de probleme pentru care se poate defini o functionala si un criteriu de stationaritate.

3. **Formulara reziduala**, pe baza teoriei rezidurilor ponderate, care permite abordarea problemelor liniare, neliniare, de propagare si de valori proprii intr-o exprimare unitara, cu caracter generalizat, si da posibilitatea rezolvarii unor probleme ce nu pot fi caracterizate variational, inlocuind criteriul de minimizare a energiei potentiale prin minimizarea rezidului.

4. **Formulara pe baza bilantului energetic**, care, pornind de la prima lege a termodinamicii, permite abordarea problemelor liniare si neliniare ce caracterizeaza fenomenele din mecanica mediilor continue; ale cimpurilor termice si electromagnetice, dezvoltind considerabil gama de probleme ce pot fi investigate cu metoda elementelor finite.

Metoda elementelor finite poate fi descrisa ca un procedeu sistematic prin care orice functie continua este aproximata printr-un model discret, format dintr-un set de valori ale functiei date intr-un numar finit de puncte alese in domeniul ei, impreuna cu aproximari locale, pe portiuni, ale functiei peste un numar finit de subdomenii. Aceste domenii se numesc elemente finite. Aproximarile locale ale functiei, pe fiecare subdomeniu, sint definite in raport cu valorile discrete ale acesteia in punctele selectate initial. Aceste puncte se numesc noduri sau noduri de interpolare, iar valorile corespunzatoare ale functiei, valori nodale. Modelul discret cu elemente finite, rezulta prin conectarea acestora impreuna la noduri, pe frontierele comune.

Functia data este aproximata local, pe fiecare element, prin functii continue, numite functii de interpolare. Functiile de interpolare se definesc univoc in raport cu valorile functiei initiale sau cu valorile acesteia si derivatele ei pina la un anumit ordin in nodurile ce apartin fiecarui element. Elementele finite definite in acest mod se numesc elemente finite nodale, intrucit pot fi caracterizate in exclusivitate prin nodurile lor. Geometria elementelor finite se definesc analitic, iar functiile de interpolare se construiesc pentru fiecare tip de element in parte. Punctele nodale sint identificate prin doua sisteme de numerotare, unul

global - pentru intreg domeniul de analiza, si unul local - pentru fiecare element in parte. Sistemul local de noduri se poate asocia cu un sistem local de coordonate. Originea sistemului local de coordonate se alege, de regula, in centrul de greutate sau intr-unul din nodurile elementului. Coordonatele locale pot fi normale, (carteziene spre exemplu), sau naturale. Coordonatele naturale sint coordonate adimensionale normalizate, in sensul ca rezulta prin raportarea coordonatelor globale la marimi caracteristice elementului finit (lungimi sau arii). Daca se alege drept origine pentru aceste coordonate naturale centrul elementului finit, atunci domeniul lor de variatie este $-1, 1$; daca originea coincide cu unul dintre nodurile elementului finit, domeniul de variatie este $0, 1$.

Rezolvarea propriuzisa se poate conduce fie in spiritul metodei deplasarilor, cind caracteristicile globale ale elementelor finite se reprezinta prin rigiditatile acestora, regrupate intr-o matrice (metoda matricei de rigiditate), fie in spiritul metodei eforturilor, in care caracteristicile globale ale elementelor finite sint reprezentate prin flexibilitati (metoda matricei de flexibilitate). Dintre acestea, metoda deplasarilor este preferata fiind mai avantajoasa deoarece pe de o parte este mai intuitiva iar pe de alta parte conduce la algoritmi unitari care pot fi relativ usor de implementat pe un calculator.

In comparatie cu alte modalitati de calcul, metoda elementelor finite ofera avantaje deosebite. Astfel, operatia de discretizare a structurii prin supletea ei, permite rezolvarea oricarei structuri, indiferent de geometria domeniului analizat. Totodata, diversitatea cazurilor ce trebuie rezolvate este mult redusa, deoarece analiza este efectuata la nivelul elementelor componente si nu la nivelul structurii intregi. In sfirsit, metoda prezinta un caracter de unicitate, ea raminind in esenta aceeaasi indiferent de tipul elementului finit.

Problemele din mecanica structurilor se pot clasifica in doua categorii mari si anume: probleme stationare si probleme nestationare, dupa cum sint sau nu dependente de timp. Problemele stationare se subdivid, la rindul lor, in probleme de echilibru si probleme de vectori si valori proprii, fig.6.2.

6.2.2 Etape analizei cu elemente finite.

Aplicata la inceput in domeniul structurilor aeronautice, metoda elementelor finite a gasit un larg cimp de utilizare in proiectarea structurilor in constructii [Re86, CMS0] ca urmare a multiplelor avantaje de care dispune. Datorita aracteristicilor pe care le prezinta in analiza starii de eforturi si deformatii a unei structuri, utilizarea metodei elementului finit in rezolvarea structurii de rezistenta a unei constructii impune parcurgerea unui numar de sase etape a caror prezentare succinta se va face in continuare.

1) **Discretizarea structurii.** Structura data se subimparte in elemente finite, numerotate de la 1 la n , precizindu-se apartenenta fiecarui element la multimea nodurilor sale de conexiune. Se defineste astfel topologia modelului pe care se conduce calculul, operatie in care rolul inginerului proiectant este esentiala,

2) **Alegerea tipului de elemente finite.** Elementele finite difera intre ele prin forma geometrica, caracteristicile fizice ale materialului din care sint alcatuite si numarul, respectiv tipul deplasarilor independente care se ataseaza nodurilor. Pentru determinarea caracteristicilor sintetice ale unui element finit, se accepta o lege conventionala de variatie in cadrul elementului, a deplasarilor, numit cimp de deplasari sau a tensiunilor, numit cimp de tensiuni. Aceste legi se aleg de preferinta sub forma unor polinoame, care introduc un numar de coeficienti arbitrari si care se determina din conditii de compatibilitate cu anumite proprietati. Intrucit cimpul de deplasari sau de tensiuni ales nu reprezinta exact variatia reala a deplasarilor sau a tensiunilor pe domeniul elementului finit, aceasta constituie cauza principala a aproximatiilor pe care le face metoda ca atare. De aceea, alegerea tipului de element finit se coreleaza cu modul in care se face discretizarea structurii, si va avea in vedere urmatoarele aspecte:

- alegerea unui model de element constitutiv trebuie facuta tinind seama ca o precizie marita a rezultatelor se repercuta in cresterea considerabila a numarului de calcule.

- avind in vedere variatia mare a tipurilor de elemente finite, alegerea unui anumit tip trebuie facuta in corelare cu solutia de discretizare care s-a adoptat. Astfel daca forma domeniului discretizat si incarcările corespunzatoare sint relativ "linistite", sint preferate elementele finite complexe, avind un numar ridicat de grade de libertate, in timp ce in cazul unor forme "agitate" a domeniului discretizat sint de preferat elemente mai simple, dar cu o discretizare mai deasa, ceea ce permite urmarirea fidela a conturului.

- forma structurii poate impune utilizarea simultana a mai multor tipuri de elemente finite.

3) **Alegerea matricei de rigiditate / flexibilitate.** Odata ce tipul elementului finit a fost precizat si cimpul de deplasari sau de tensiuni definit, se trece la alcatuirea ecuatiei matriceale care exprima proprietatile cinematice sau statice ale elementului. De exemplu in domeniul actiunilor statice, in baza unui cimp de deplasari ales, se pot scrie ecuatiile de echilibru intre fortele aplicate in nodurile elementului finit numit "forte nodale" pe de o parte si fortele interioare pe de alta parte. Acestea din urma se vor exprima in functie de rigiditatea elementului si de deplasările nodurilor sale. Pentru determinarea elementelor de rigiditate, se pot folosi urmatoarele procedee:

- procedeul direct, avind la baza metoda clasica a deplasarilor;

-procedeul variational, care comporta minimizarea energiei potentiale totale a solidului elastic, in baza principiului valorii stationare a energiei potentiale;

- procedeul valorilor rezidual (metoda Galerkin), care are la baza o tehnica de obtinere aproximativa a solutiilor ecuatiilor diferentiale liniare sau neliniare, utilizata in cazul in care functionala de minimizat se obtine cu dificultati sau nu exista;

- procedeul bilantului energetic, care se bazeaza pe prima lege a termodinamicii.

4) **Asamblarea.** Caracteristicile de comportare mecanica a structurii intregi rezulta din aportul fiecarui element finit. Astfel rigiditatea structurii se obtine prin "asamblarea" rigiditatilor elementelor finite, ceea ce matematic revine in a combina ecuatiile matriciale care exprima comportarea

elementelor finite in parte si a obtine ecuatiile matriciale care exprima comportarea structurii intregi. La baza acestei operatii sta faptul ca intre un nod comun mai multor elemente finite valoarea deplasarilor sau tensiunilor este aceiasi pentru toate elementele cuplate in acel nod.

5) **Rezolvarea sistemului de ecuatii.** Operatia presupune modificarea preliminara a sistemului de ecuatii algebrice obtinute functie de conditiile la limita (conditiile de rezemare, noduri blocate) pe care trebuie sa le respecte structura. Prin rezolvarea sistemului de ecuatii se obtin valorile nodale ale variabilelor cimpului (deplasarile nodurilor sau/si fortele de legatura dintre acestea), dupa cum problema sa rezolvat cu metoda deplasarilor sau/si eforturilor. Rezolvarea se face utilizand algoritmi de calcul specifici sistemelor liniare sau neliniare cu un numar mare de ecuatii si necunoscute.

6) **Calculule auxiliare.** Uneori solutiile sistemului de ecuatii sint folosite pentru a obtine alte marimi derivate din necunoscutele primare, ca de exemplu tensiuni si deformatii specifice.

6.2.3 Formularea directa a metodei elementului finit.

Dupa discretizarea structurii reale intr-o structura compusa din elemente discrete, urmeaza sa se determine matricea de rigiditate a acestor elemente [MD72]

Determinarea relatiei forte-deplasari. Daca se considera un element finit elastic supus unei serii de n forte generalizate la noduri

$$\{Q\} = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}^T \quad (6.1)$$

pe directia carora deplasarile generalizate corespunzatoare sint

$$\{d_n\} = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}^T \quad (6.2)$$

relatia forte-deplasari se scrie

$$\{Q\} = [k] \times \{d_n\} \quad (6.3)$$

reprezentind ecuatia fundamentala a metodei elementului finit, in care $[k]$ reprezinta matricea de rigiditate a elementului finit studiat. Determinarea acestei matrici se poate face utilizind una din metodele care s-au prezentat si discutat anterior, obtinindu-se:

$$[k] = \int_v [B]^T \times [D] \times [B] dv \quad (6.4)$$

in care:

$[D]$ este matricea elasticitatii si contine proprietatile materialului;

$[B]$ este matricea de influenta a deplasarilor exterioare asupra deformatiilor.

In general, matricea $[B]$ se poate determina numai aproximativ. Gradul de aproximare depinde de modul in care sint satisfacute fie ecuatiile de compatibilitate (caz in care modelul poarta numele de modelul de deformatii sau compatibil) fie de echilibru (caz in care modelul poarta numele de model de tensiuni sau de echilibru). Matricea rigiditatii elementului finit $[k]$ contine caracteristicile geometrice si elastice ale elementului fiind o matrice patrata si simetrica. Ordinul ei depinde de numarul deplasarilor nodale ale elementului finit. Aceasta matrice este raportata la sistemul de coordonate local specific fiecarui element finit.

In relatia (6.3) vectorul $\{Q\}$ grupeaza toate fortele care actioneaza asupra elementului:

- forte aplicate pe suprafata elementului;
- forte masice;
- forte nodale initiale;

forte nodale date de tensiunile initiale.

Numarul componentelor Q_i este deci egal cu cel al gradelor de libertate admise pentru elementul studiat. Toate aceste forte generalizate trebuie sa fie in echilibru static si ca urmare nu sint liniar independente, aspect care face ca matricea de rigiditate $[k]$ sa fie singulara si sa nu pota fi inversata pentru calculul deplasarilor (deoarece determinantul sau este nul). Eliminarea acestei dependente se face prin legarea elementului de exterior, adica fixind un numar de deplasari egal cu numarul gradelor de libertate ale elementului admis

drept corp rigid si luind in considerare numai vectorul redus al deplasarilor necunoscute si vectorul redus al fortelor generalizate independente asociate. Prin urmare $[k]$ reprezinta de fapt matricea redusa nesingulara, obtinuta prin suprimarea in matricea completa a liniilor si coloanelor corespunzatoare deplasarilor fixate.

Matricea de rigiditate a structurii. Stabilirea matricei de rigiditate a structurii necesita asamblarea tuturor matricelor de rigiditate ale elementelor finite fata de un sistem de referinta global. Trecerea de la sistemul de referinta local la sistemul global se face prin intermediul matricei de transformare $[R]$. Aceasta se obtine exprimind deplasarile nodale din sistemul de axe de coordonate local (d_n) in functie de deplasarile nodale din sistemul de axe de coordonate globale ($d_n^{(i)}$) pentru elementul finit (i), in care d reprezinta proiectiile pe axele de coordonate ale vectorului deplasare n . Se obtine astfel

$$\{d_n^{(i)}\} = [R^{(i)}] \times \{d_n\} \quad (6.5)$$

Matricea $[R^{(i)}]$ este o matrice ortogonala care contine cosinusurile directe $[R_0]$, intre sistemul de axe de coordonate local si sistemul de axe global. Aceasta matrice se poate obtine sub forma generala astfel

$$[R^{(i)}] = \begin{bmatrix} I & [R_0] & \text{zerouri} & I \\ I & & [R_0] & \\ I & \text{zerouri} & & [R_0] & I \end{bmatrix} \quad (6.6)$$

in care numarul elementelor este egal cu numarul deplasarilor nodale. Cu aceste precizari ecuatia fundamentala a metodei elementului finit, pentru elementul i apare sub forma

$$\{Q^{(i)}\} = [k^{(i)}] \times \{d_n^{(i)}\} \quad (6.7)$$

Matricea de rigiditate a elementului finit in sistemul global de referinta are expresia

$$[k^{(i)}] = [R^{(i)}]^T \times [k^{(i)}] \times [R^{(i)}] \quad (6.8)$$

iar vectorul forțelor nodale echivalente

$$\{Q^{(e)}\} = [R^{(e)}]^T \times \{Q_e\} \quad (6.9)$$

Ecuatia (6.7) se poate generaliza pentru toata structura discretizata in elemente finite astfel

$$\{Q\} = [K] \times \{D\} \quad (6.10)$$

in care s-a notat

$$\{Q\} = \{\{Q^{(1)}\}, \{Q^{(2)}\}, \dots, \{Q^{(n)}\}\}^T$$

si (6.11)

$$\{D\} = \{\{d_n^{(1)}\}, \{d_n^{(2)}\}, \dots, \{d_n^{(n)}\}\}^T$$

iar matricea diagonala a rigiditatii elementelor

$$[K] = \begin{bmatrix} I [k^{(1)}] & & \text{zerouri} & I \\ I & [k^{(2)}] & & I \\ & \text{zerouri} & [k^{(n)}] & \\ I & & \text{zerouri} & I \end{bmatrix} \quad (6.12)$$

Deplasarile pot fi acum calculate sub forma

$$\{D\} = [K]^{-1} \times \{Q\} \quad (6.13)$$

si in care inversa matricei $[K]$ poarta denumirea de matrice de flexibilitate a structurii iar elementul (i,i) a acesteia matricea de flexibilitate a elementului (i) .

Matricele globale se obtin prin asamblarea matriciilor elementare (ale elementelor finite) pentru elementele finite de tip bara dreapta care fac parte din structuri plane si spatiale. Aceste matrici s-a implementat in programele realizate de autor. In fig 6.3 se prezinta in forma generala organigrama unui program de calcul a structurilor care au la baza un algoritm construit cu ajutorul MEF.

6.3 Caracteristicile algoritmilor de calcul utilizati in metoda elementelor finite.

Se prezinta in continuare stocarea in banda a matricei de rigiditate, procedeu care a fost implementat in programele de calcul realizate in cadrul prezentei lucrari.

6.3.1 Stocarea in memorie a matricei de rigiditate.

Analizind structura si continutul termenilor din matricea de rigiditate [K] se remarca existenta unui numar mare de termeni nuli, care initiali pot fi dispusi mai mult sau mai putin ordonat.

Aceasta situatie se explica prin faptul ca in sistemul de baza adoptat fiecare din necunoscutele deplasarii produce o deplasare locala limitata la elementele finite interconectate in nodul in care actioneaza. Ca rezultat, in sistemul ecuatiilor de echilibru, in afara termenilor situati pe diagonala principala, mai sint nenuli numai aceia care se refera la nodurile elementelor finite care au in componenta lor nodul pentru care s-a scris ecuatiia respectiva. Densitatea matricei de rigiditate scade pe masura ce structura este mai dezvoltata.

Daca se analizeaza, spre exemplu, o retea de n grinzi incarcata normal pe planul ei pentru care numarul total al deplasarilor este de $(n+1)^2$, respectiv numarul termenilor k_{ij} ai matricei de rigiditate este de $(n+1)^4$, din care nenuli $(n+1)^2$, densitatea elementelor diferite de 0 se exprima prin raportul

$$d = \frac{(3n+1)^2}{(n+1)^4} \quad (6.19)$$

Valoarea acestui raport este sub 20% pentru o retea de 5 X 5, sub 7% pentru una de 10 X 10 si de numai 2% pentru o retea de 20 X 20. Este evident, deci, ca matricea [K] are o structura neeconomica, cu precadere in cazul structurilor cu dimensiuni mari, si ca, trebuie gasite modalitati pentru

ALGORITHM GENERAL DE CALCUL A METODEI ELEMENTELOR FINITE

```

CITESTE caracteristicile structurii
  Numar de noduri si coordonatele acestora;
  Numar de elemente finite, topologia structurii;
  Caracteristici geometrice sectionale;
  Numar de ipoteze si GDL blocate;
  Caracteristici elastice ale materialului;
=====
GENEREAZA matricile elementare
  Matricea de rigiditate      [k];
  Matricea masei              [m];
  Matricea geometrica        [kgr];
  Vectorul fortelor nodale    (Q);
=====
CITESTE incarcările
  Forte si momente la noduri;
  Forte distribuite pe bare;
  Mase de translatie si mase de rotatie la noduri;
=====
ASAMBLEAZA
  Matricea de rigiditate a structurii [K];
  Matricea de rigiditate geometrica [Kgr];
  Matricea maselor;
=====
GENEREAZA sistemul de ecuatii
  Vectorul fortelor nodale
  1. Analiza statica [K] X (D)=(Q);
  2. Analiza de stabilitate
     ([K]+ [Kgr]) X (D)=(Q);
  3. Analiza dinamica [K]+ [M]=0;
=====
INTRODUCE conditiile de rezemare
  Elimina GDL blocate;
  Elimina GDL suplimentare;
=====
REZOLVA sistemul de ecuatii
  1. (D)=[K]-1 X (Q)
  2. ([K]+ [Kgr])=0
  3. ([K]-[K]-1 X [M])=0
=====
CALCULEAZA rezultatele finale
  Eforturi sectionale sau tensiuni;
  Forte critice si forma proprie de pierdere a
  stabilitatii;
  Vectori si valori proprii;
=====

```

Fig. 6.3 Algoritm general de calcul al metodei elementelor finite.

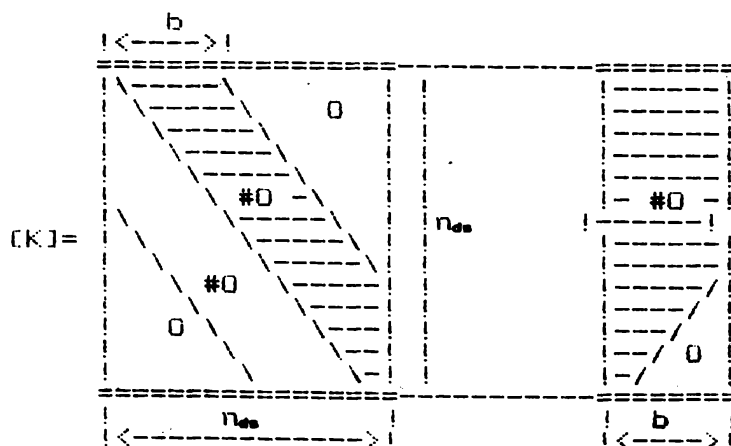


Fig 6.4

stocarea ei in memorie intr-o forma condensata.

In acest scop este necesar sa se analizeze gruparea elementelor nenule din matricea de rigiditate in raport cu diagonala principala. Repartizarea acestor elemente este direct influentata de ordinea de numaratoare a nodurilor structurii, precum si de aceea a deplasarilor nodale elementare. Numaratoarea nodurilor retelei de discretizare trebuie aleasa astfel incit **semibanda** matricei de rigiditate respectiv **profilul** acesteia, sa fie minim. In cazurile simple **minimizarea latimii semibenzii** se realizeaza prin numaratoarea nodurilor pe directia scurta a structurii, respectiv pe directia numarului mai redus de noduri.

In cazul unei numerotari corecte, sistemul de ecuatii

$$[K] X \{D\} = \{Q\}$$

va avea o structura banda. Acest fapt constituie unul din avantajele esentiale ale MEF pe baza caruia s-au elaborat procedee de rezolvare a sistemului de ecuatii si de condensare a matricei de rigiditate. In baza acestei proprietati din matricea $[K]$ de forma patrata cu rangul $n_n \times n_n$ (unde n_n este dat de produsul dintre δ - numarul GDL - si numarul de noduri care apar in urma discretizarii structurii) se obtine o matrice dreptunghiulara de rang $n_n \times b$ fig 6.6, unde b este **latimea semibenzii** si, in care, elementele principale ocupa prima coloana, in celelalte coloane fiind continute elementele secundare nenule.

Un element k_{ij} din matricea $[K]$ va ocupa in matricea banda pozitia $k_{i,j-i}$. Latimea b a semibenzii elementelor nenule din matricea de rigiditate depinde de diferenta maxima dintre indicii i si j ai nodurilor elementelor finite in care s-a discretizat structura.

$$b = n_n(\text{Max}(i-j)+1) \quad (6.20)$$

unde prin n_n sau notat GDL pe nod.

In cadrul algoritmilor de calcul implementati se determina latimea b a semibenzii matricei de rigiditate cu ajutorul vectorilor de localizare.

Minimizare latimii semibenzii matricei de rigiditate este deosebit de importanta pentru utilizarea eficienta a memoriei calculatorului. In cazul unei matrice banda simetrice, asa cum apare in analiza structurilor cu MEF, in memoria calculatorului

se stocheaza numai elementele din matricea dreptunghiulara din fig. 6.6, a carui dimensiune este $n_{ee} \times b$. Este de remarcat faptul ca si in cadrul acestui tablou vor exista elemente nule, numarul lor fiind de $b(b-1)/2$. Eliminarea acestora din urma a constituit obiectul unei proceduri speciale de optimizare a spatiului de memorie utilizata, care s-a implementat in unele variante ale programelor de calcul.

6.3.2 Introducerea conditiilor de rezemare.

In algoritmi implementati conditiile de legatura pentru care corespund deplasari nule se introduc in calcule prin eliminarea din matricea de rigiditate a structurii a liniilor si coloanelor aferente acestor deplasari anulate. Pentru precizarea conditiilor de rezemare se foloseste un cod de blocare cu care se construiesc vectori de blocaj nodali caracteristici fiecarui element finit. Prin asamblarea acestora se obtine matricea de blocaj sau matricea de legaturi a structurii care se defineste printr-un tablou (VB).

Prin codul de blocare o deplasare nodala posibila se defineste cu cifra zero, iar una blocata prin cifra 1.

In general, elementele finite utilizate in analiza structurilor au cel mult 6 GDL pe nod, 3 translatii si 3 rotiri si, prin urmare vectorul de blocaj (VB), va avea 6 componente - exceptie fac elementele finite de bara cu pereti subtiri la care apare si al saptelea GDL, reprezentat prin deplanarea sectiunii transversale.

Dupa precizarea topologiei structurii si numerotarea nodurilor, fiecarui nod i se aloca 6 numere corespunzatoare celor 6 GDL posibile. Pentru o structura cu N noduri, vor exista $6N=n_{ee}$ numere. Parcurgind succesiv nodurile, se analizeaza pentru fiecare nod vectorul de blocaj retinand pentru fiecare GDL cifra de cod corespunzatoare. In momentul rezolvarii sistemului de ecuatii

$$[K] \times \{D\} = \{Q\}$$

se vor lua in considerare numai ecuatiile de echilibru in nodurile structurii dupa directiile gradelor de libertate

nefixate, termenii care se refera la gradele de libertate fixate se pot elimina intrucit deplasariile respective sînt nule (se elimina liniile si coloanele corespunzatoare deplasariilor blocate). Dezavantajul procedeului consta in faptul ca reactiunile in reazeme nu pot fi calculate direct, intrucit ecuatiile corespunzatoare au fost eliminate.

6.4 Caracteristicile sistemului de calcul.

Sistemul de calcul pe care s-au implementat programele realizate este de tip **QL SPECTRUM**. Sistemul face parte din clasa microcalculatoarelor personale profesionale, fiind destinat utilizarii individuale in aplicatii profesionale de dezvoltare a programelor de baza si a aplicatiilor acestora, sau, ca sistem functional, pentru aplicatii specializate de complexitate ridicata.

Caracteristici tehnico-profesionale.

Modulul de baza este un calculator monoplaca cu urmatoarele resurse:

- Unitatea centrala este bazata pe un microprocesor pe 16 biti de tip Motorola 68008;
- Memoria interna este de 640 KO RAM, la care se adauga 32 KO PROM in care este rezident sistemul de operare. Din cei 640 KO RAM, un numar de 32 KO sînt utilizati ca memorie video. Memoria permite adaugarea de module de cite 16 KO PROM care contin biblioteci Fortran, Pascal etc.;

Echipamentele periferice sînt formate din:

- tastatura de tip QWERTY care genereaza un numar de 66 X 2 coduri de scanare fiind prevazuta cu un mare numar de taste functionale;
- ecran, acesta poate fi un monitor cu intrare video, televizor color sau monitor RGB. Pe ecran in regim de lucru alfanumeric pot fi scrise un numar de 24 linii de 80 caractere, iar in regim de lucru grafic sînt prezente doua moduri de lucru: inalta rezolutie (512 X 256 puncte puncte/4 culori) si joasa rezolutie (256 X 256 puncte/ 8 culori);
- doua unitati de microdiscuri. Perifericele au un caracter special prin faptul ca suportul de informatie este

reprezentat de o banda magnetica continua cu o capacitate de aproximativ 200 Ko care este sectorizat ca un suport de tip disc magnetic flexibil, permitind utilizarea fisierelor atat cu organizare secventiala cit si directa;

- imprimanta seriala;
- interfata RS-232C pentru comunicatii seriale;

Sistemul de operare QDOS este rezident intr-o memorie PROM de 32 KO, fiind similar cu sistemul de operare CP/M. Include urmatoarele facilitati:

- utilitarele sistemului de operare pentru interfata cu operatorul, gestiunea si intretinerea fisierelor, functii de baza accesibile prin program, programe de test etc.;
- interpret SuperBASIC cu extensii pentru prelucrari grafice si lucrul cu fisiere;
- facilitati de executie si depanare a programelor.

Suplimentar sistemul dispune de limbaje de programare de nivel inalt (Pascal, Fortran77, Lisp etc), ca si de programe de aplicatii pentru prelucrari grafice, editarea si prelucrarea textelor, culegerea si validarea datelor, crearea bazelor de date s.a.m.d. Aceste programe sint rezidente pe microdiscuri, unele dintre ele necesitind in plus prezenta unei biblioteci specifice care este prezenta intr-o memorie PROM care se ataseaza in momentul utilizarii.

6.5 Caracteristicile programelor.

Programul pentru calculul static al sistemelor articulate spatiale.

Programul s-a scris in Fortran77. Datorita caracteristicilor problemelor, care impun prin insasi natura lor un volum mare de memorie operativa, a devenit necesara extinderea spatiului utilizator. O prima modalitate de rezolvare este data de utilizarea in calitate de memorie externa a microdiscurilor. Datorita inasa, capacitatii de stocare mici ca si al accesului la informatie de citeva ori mai mare decit in cazul unui disc magnetic utilizare microdiscurilor QL prezinta inconveniente serioase atunci cind se pune problema extinderii memoriei operative. Acest impediment s-a simtit cu acuitate in procesul de construire a programul de calcul a structurilor spatiale din

Algoritmul de calcul

Programul prezinta urmatoarele caracteristici:

- Limbaj : Fortran77
- Lungime cod : 30 Ko
- Lungime date : 540 Ko
- Linii sursa : 470
- Periferice : o unitate microdisc
- Performante : Calculeaza structuri spatiale din bare articulate formate di maxim 200 noduri X 1500 bare X 4 ipoteze de calcul

Program Calcul structuri spatiale din bare articulate

```

* STRUCTURA DE DATE
  tablou x(200),y(200),z(200) ; coordonate noduri
  tablou ni(1500),nj(1500) ; topologie bare
  tablou f(600,4),fnb(600,4) ; incarcari in noduri
  tablou tab(600,150) ; rigiditate structura
  tablou a(1500) ; sectiuni bare
  tablou bl(600) ; noduri blocate
  tablou v(600,4) ; deplasari
  inregistrare tip coordonate-nod
  | numar-nod 1
  | coordonate-nod 1
  | numar-nod 2
  | deplisari-pe-directiile x,y,z
  | cod-de-generare
  ###
  inregistrare tip bara-1
  | numar-bara 1
  | topologie-bara 1
  | numar-bara 2
  | sectiune-transversala
  | cod-de-generare
  ###
  inregistrare tip bara-2
  | numar-bara 1
  | topologie-bara 1
  | numar-bara 2
  | sectiune-transversala
  | cod-de-generare 1, cod-de-generare 2
  ###
  inregistrare tip incarcari-nod
  | numar-nod
  | incarcari la nod dupa x,y,z
  ###
  inregistrare tip nod-blocat
  | numar-nod
  | blocari la nod dupa directiile x,y,z
  ###

* CITIRE DATE
  Initializeaza cu 0 tablourile utilizate
  Citeste numar-noduri
  Citeste numar-bare
  Citeste numar-ipoteze, numar-combinatii
  Citeste nume fisier date-de-intrare
  Deschide fisier date-de-intrare
  Repeta
  | Citeste din fisier date-de-intrare, coordonate-nod
  | Genereaza structura cuprinsa intre nod 1 - nod 2
  pina cind numar nod-1 < 0
  | Pentru i=1,numar-noduri executa
  | | Scrie coordonate-nod i
  | ###
  Repeta
  | Citeste din fisier date-de-intrare, bara-1
  | Genereaza structura cuprinsa intre bara 1-bara 2
  pina cind numar-bara 1 < 0
  | Pentru i=1,numar-bare executa
  | | Scrie topologie bara i
  | ###
  Repeta
  | Citeste din fisier date-de-intrare, bara-2

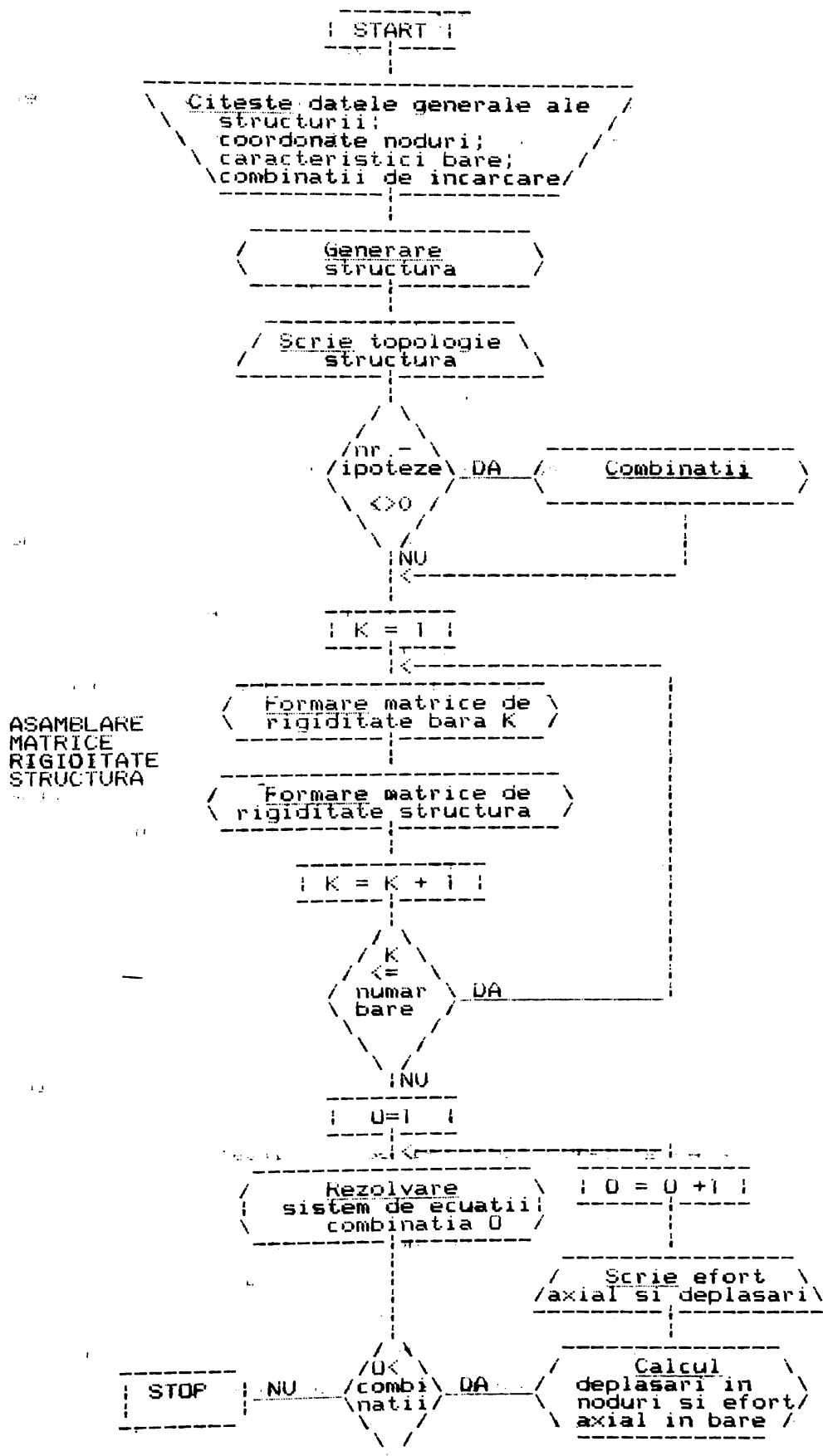
```

```

: Genereaza structura cuprinsa intre bara 1-bara 2
pina cind numar-bara i < 0
Pentru i=1,numar-bare executa
! Scrie topologie bara i
###
Citeste modulul-de-elasticitate
Pentru o=1,numar-ipoteze executa
Citeste numar-noduri-incarcate
Pentru i=1,numar-noduri-incarcate executa
Citeste din fisier date-de-intrare
incarcari-nod
Scrie nod, incarcari-nod
###
###
Daca numar-ipoteze <> 0 atunci executa COMBINATII
* ASAMBLARE MATRICE RIGIDITATE
Pentru w=1,numar-bare executa
Calculeaza lungime-bara
Calculeaza cosinusi directori pentru bara w
Calculeaza matrice rigiditate bara w (relatia 6.15)
Amplaseaza matricea rigiditate bara w in
matricea rigiditate structura (relatia 6.12)
###
Citeste numar-noduri-blocate
Pentru i=1,numar-noduri-blocate executa
Citeste din fisier date-de-intrare nod-blocat
Scrie nod, nod-blocat
###
* REZOLVAREA SISTEMULUI DE ECUATII
Pentru o=1,numar-ipoteze executa
Atribuire p = 3 * numar-noduri
Rezolva sistemul [tab(p X p)]*[v(p X o)] = [f(p X o)]
Pentru i=1,numar-noduri executa
! Scrie i, forte la nodul i dupa x,y,z ipoteza o
###
###
* TIPARIRE REZULTATE
Pentru o=1,numar-ipoteze executa
Pentru i=1,numar-noduri executa
! Scrie i,deplasari dupa directiile x,y,z
! Retine nodul cu deplasare maxima si minima
###
Scrie nodul cu deplasare minima / maxima
Pentru w=1,numar-bare executa
! Calculeaza efortul axial in bara w
! Scrie w, efortul axial in bara
###
###
stop
* COMBINATII
Pentru o=1,numar-ipoteze executa
Citeste numar-combinatii
Scrie numar-combinatii
###
Pentru o=1,numar-ipoteze executa
Pentru i=1,numar-noduri * 3 executa
Pentru oo=1,numar-combinatii executa
! Recalculeaza incarcarea-la-nod.
###
###
###
sfirsit

```

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



bare articulate atunci cind s-a pus problema depasirii numarului de 200 noduri si 1000 bare pentru structura de calculat. Din acest motiv microdiscul s-a utilizat numai pentru stocarea datelor de intrare: coordonatele nodurilor, topologia barelor, configuratia incarcarilor la noduri, cofiguratia de blocari in noduri ca si ipotezele si combinatiile de calcul. In acest context s-au realizat doua variante de calcul. In prima care permite calculul unor structuri de maxim 200 noduri si 1000 bare nu s-a procedat la optimizarea memoriei utilizate, fapt care face ca executia sa fie deosebit de rapida pentru acest tip de calculator (pentru structura maxima timpul de calcul este de aproximativ 20 minute). In cea de a doua varianta de calcul, care permite calculul unor structuri care depasesc 500 noduri si 2000 bare s-a construit un algoritm special de optimizare a memoriei folosite, [NR83, MD72] atunci cind se construiesc matricea de rigiditate a structurii, ca si in etapa de rezolvare a sistemului de ecuatii care rezulta. Utilizarea acestui algoritm a permis ca toate structurile care au trebuit calculate sa poata fi rezolvate cu acest tip de microcalculator.

Valorile mici obtinute pentru timpul de executie reprezinta o adevarata performanta, ceea ce scoate in evidenta eficacitatea algoritmului de calcul a structurilor, dar mai ales a algoritmului de gestiune a memoriei interne, ambele constituind o contributie originala si majora la realizarea unor algoritmi de calcul implementabili pe sisteme mici.

In fig 6.5, se prezinta caracteristicile programului si in pseudocod algoritmul de calcul corespunzator variantei cu memorie neoptimizata care implementeaza metoda prezentata in capitolul VI, ca si structurile de date aferente. In fig 6.6 este prezentata si schema logica a aceluiasi program.

Optimizarea stocarii matricei de rigiditate

Dupa cum s-a specificat, matricea de rigiditate este stocata in memorie sub forma unei matrice care contine numai semibanda matricei de rigiditate. Trebuie de remarcat, ca desi se obtine o imbunatatire sensibila a modului in care este utilizata memoria, totusi procedeul nu permite depasirea unui numar de 200 noduri si 1500 bare in cazul unei cantitati de 540 KB memorie disponibila. Din acest motiv, s-a procedat la construirea unui numar de doi algoritmi de gestiune a spatiului

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	IX!	IX!	!	I	!	!	!	!	!	!
2	!	IX!IX!	!	!	I	!	!	!	!	!
3	IX!	IX!	IX!	IX!	!	I	!	!	!	!
4	!	!	IX!IX!	IX!	IX!	!	IX!	!	!	!
5	!	!	IX!	IX!	IX!	!	!	I	!	!
6	!	!	!	IX!	IX!	!	!	!	!	I
7	!	!	!	!	X	!	IX!	IX!	!	I
8	!	!	!	IX!	!	!	IX!	!	!	I
9	!	!	!	!	!	!	IX!	IX!	IX!	!
10	!	!	!	!	!	!	!	!	!	IX!

MATRICE
RIGIDITATE

Memorie ocupata

- matrice-semibanda (10 linii X 5 coloane) X 4 = 200 octeti

	VALOARE	MATRICI	POZITIE
1	IX!IX!	!	1 !1!3! !
2	IX!IX!	!	2 !2!3! !
3	IX!IX!IX!	!	3 !3!4!5!
4	IX!IX!IX!	!	4 !4!6!8!
5	IX!IX!	!	5 !5!7! !
6	IX! ! !	!	6 !6! ! !
7	IX!IX!	!	7 !7!9! !
8	IX! ! !	!	8 !8! ! !
9	IX!IX!	!	9 !9!10 !
10	IX! ! !	!	10 !10 ! !

Memorie ocupata

- matrice-valoare (10 linii X 3 coloane) X 4 = 120 octeti

- matrice-pozitie (10 linii X 3 coloane) X 1 = 30 octeti

Total = 150 octeti

Fig. 6.5 ECONOMIE 50 octeti

MATRICE VALOARE

IXX!XX!XXX!XXX!XX!X!XX!X!XX!X!

MATRICE POZITIE

!1 3!2 3!3 4 5!4 6 8!5 7!6!7 9!8!9 10!10!

MATRICE NUMAR ELEMENTE

!2!2!3!3!2!1!2!1!2!1!

Memorie ocupata

- matrice-valoare 19 elemente X 4 = 76 octeti

- matrice-pozitie 19 elemente X 1 = 19 octeti

- matrice-nr. elemente 10 elemente X 1 = 10 octeti

Total = 105 octeti

Fig. 6.6 ECONOMIE 95 octeti

de memorie. Ambii se bazeaza pe faptul ca in matricea semibanda a matricei de rigiditate sint prezente numeroase elemente zero.

Primul algoritm consta in impartirea matricei care contine semibanda in doua matrici; in care prima contine numai elementele diferite de zero (numita matrice-valoare), iar cea de a doua, pozitia in cadrul unei linii de matrice semibanda a pozitiei elementului (numita matrice-pozitie). Principiul de lucru este prezentat in fig.6.7. Economia de memorie, rezulta din faptul ca matricea pozitie-element este de tip octet. Fata de cazul initial economia de memorie merge pina la 30%, ceea ce s-a concretizat in marirea la 300 noduri a posibilitatilor programului de calcul a structurilor.

Cel de al doilea algoritm construit a plecat de la observatia ca in cazul precedentului algoritm mai apar multe elemente zero, atat in matricea-valoare cit si in matricea-pozitie (datorita faptului ca nu este posibila definirea de matrici cu latimi variabile in cadrul fiecarei linii). Plecind de la aceasta observatie, s-a procedat la transformarea celor doua matrici precedente in matrici linie, la care s-a mai adaugat o a treia matrice linie care contine numarul de elemente de pe fiecare linie a matricei-pozitie. Toate elementele din aceasta matrice se trec una dupa cealalta, eliminindu-se astfel pozitiile neocupate. Principiul este prezentat in fig. 6.8. Ca urmare, apar deci trei matrici:valoare, pozitie si numar elemente (in care ultimile doua sint de tip octet). Economia de memorie este fata de cazul initial mai mare cu 50%, ceea ce a permis marirea la peste 500 noduri si 2000 bare a structurilor care se pot calcula. Este evident ca cei doi algoritmi implementati maresc timpul de executie, acesta fiind mai mare pentru cel de al doilea.

7. CONCLUZII SI CONTRIBUTII ORIGINALE.

In prezent exista un numar foarte mare de hangare in diverse sisteme constructive (o sistematizare a acestor tipuri s-a efectuat in capitolul 1). Cu toate acestea in literatura de specialitate nu s-au efectuat studii comparative referitoare la eficienta unor tipuri in raport cu altele, precum si studii privind dimensiunile optime ale fiecarui tip constructiv in parte. De fapt, realizarea lor este destul de dificila, din cauza numarului mare de parametri care trebuie luat in considerare. De aceea, in general comparatiile care se efectueaza se refera in special la consumul specific de otel si la costul total, ultimul criteriu fiind decisiv in tarile dezvoltate.

Lucrarea abordeaza intr-o maniera originala problematica legata de stabilirea structurii optime, din punctul de vedere al consumului de material si al manoperei, a structurilor pentru hangarele cu deschideri mari. Pornind de la scopul si obiectivele acestei lucrari se pot scoate in evidenta urmatoarele contributii originale:

1. Realizarea unei sinteze a principalelor probleme referitoare la caracteristicile constructive legate de specificul structurilor utilizate in constructia hangarelor.

2. Efectuarea unei clasificari originale a tuturor structurilor cu deschideri mari specifice hangarelor si realizarea de studii comparative privind eficienta unui tip constructiv fata de altul.

3. Stabilirea unor criterii de baza, justificate din punctul de vedere al inginerului proiectant, pentru a fi utilizate la o alegere eficienta din punctul de vedere tehnico-economic.

4. Alegerea unor tipuri de structuri constructive reprezentative, care s-au folosit apoi la un studiu detaliat, efectuat pe baza criteriilor de eficienta propuse.

5. Propunerea unor structuri constructive originale, care includ solutii ce nu s-au utilizat pina in prezent si nu sint tratate in literatura de specialitate. Fiecare din structurile originale prezentate s-a justificat prin calcule comparative cu structurile similare existente in prezent, scotindu-se in

evidenta avantajele tehnico-economice pe care acestea le prezinta.

6. Elaborarea unor recomandari si criterii privind modul de alegere a structurii. Acestea se refera la urmatoarele tipuri de structuri:

a) **Structuri de rezistenta perpendiculare pe planul portii si rezemate pe un cadru.**

- Acest tip de structuri reprezinta solutia care conduce la consum minim de otel. Consumul cel mai mic, in cadrul acestei categorii, apare atunci cind cadrul de sustinere este retras spre interior fata de planul portii, iar cele doua momente, din cimp si de pe reazem date de incarcările transmise prin grinzile secundare, sint egale, situatie care corespunde unei distante de retragere cuprinse intre $[L/3.4 \quad L/3.6]$ din adincimea hangarului. Acest tip de structura devine mai avantajos pentru deschideri cuprinse intre 120 si 140 m. Dintre dezavantaje lui sint de remarcat:

- dificultatile care apar in realizarea imbinarilor intre grinzile secundare si cadrul de sustinere;
- necesitatea unor contravintuiri puternice in planul acoperisului, inclusiv in planul peretilor. Solutia s-a utilizat pentru structura discutata in cadrul tezei, unde grinzile de sustinere sint rezemate pe stilpi pendulari;
- o data cu cresterea deschiderii creste si inaltimea riglei cadrului, ceea ce conduce la cresterea volumului constructiei.

b) **Cadre in consola.**

- Prin corelarea formei structurii cu eforturile existente se obtine o reducere de 30% fata de cazul in care aceasta corelare nu este efectuata.

- Alegerea structurii care urmeaza sa fie calculata, dintr-o multitudine de alte structuri asemanatoare, se poate face plecind de la observatia ca greutatea barelor este proportionala cu efortul din bare si cu lungimea lor. Observatia, poate reprezenta un criteriu de selectie simplu si eficient, utilizabil inainte de efectuarea calculelor de dimensionare.

- Stabilirea formei consolei cu zabrele este determinanta pentru asigurarea unei repartitii uniforme a eforturilor in lungul acesteia.

- Prin introducerea contrafisei la cadrul plan se reduce

consumul de material cu aproximativ 32% fata de cazul in care nu sint prevazute contrafise (avind totodata loc si o reducere simtitoare a sagetii).

- Consumul de otel este mai mare pentru cadrele spatiale cu sectiune triunghiulara, comparativ cu cele plane, cu aproximativ 43%. Cresterea este cauzata de faptul ca diagonalele si montanti talpii inferioare a grinzii spatiale, sint solicitati la eforturi cu valori foarte mici, avind numai rolul de asigurare a rigiditatii nodurilor si a reducerii lungimii de flambaj a celor doua bare ale acestei talpi.

- Consumul de otel cel mai scazut pentru cadrele plane, in cadrul conditiilor de rezistenta si stabilitate, apare atunci cind inaltimea consolei, la nivelul de incastrare cu stilpul, este cuprinsa intre $[L/5.3 \quad L/5.5]$ din lungimea consolei. In cazul cind este pusa conditia de rigiditate, consumul minim se obtine cind inaltimea consolei la nivelul de incastrare cu stilpul apartine domeniului $[L/4.8 \quad L/5]$ din lungimea acesteia.

- In cazul utilizarii consolelor plane cu incastrari rigide, consumul de material este mai mic cu 23% fata de cazul utilizarii incastrarii elastice.

- In urma pretensionarii cadrelor plane in consola, rezultatele calculelor efectuate au arata ca se obtine o reducere a eforturilor si a consumului de material cu 53.4% fata de cazul cadrelor plane nepretensionate. De asemenea s-a obtinut o reducere a sagetilor la capatul consolei.

c) Cadre suspendate.

- Pentru cadrele cu dimensiunile studiate in teza, suspendarea riglei cadrului in doua puncte este mai avantajoasa decit o suspendare in trei puncte, din punctul de vedere al consumului de otel.

- Pozitiile optime de prindere a celor doua cabluri sint situate la distante de $L/2$ si respectiv la $L/10$ din lungimea consolei, fata de poarta.

- Inaltimea optima a stilpului de sustinere este cuprinsa intre $[L/1.66 \quad L/1.8]$ din lungimea consolei.

- Utilizarea riglei cadrului cu sectiune chesonate este necesara pentru a mari greutatea proprie in scopul inlaturarii efectelor succiunii.

- Solutia de prindere prin articulatie a riglei cadrului in

stîlp este mai eficientă decît cea a unei prinderi rigide.

- Inclinația stîlpului este optimă, atunci cînd rezultanta eforturilor din cabluri este dirijată după axa acestuia. Ea corespunde unei abateri a stîlpului de la verticală cu un unghi cuprins între 13 și 18 grade.

- Prin introducerea contrafisei în spre exterior, se obține o reducere a valorii momentului încovoietor și a valorii forței tăietoare în stîlp cu 93% față de cazul cînd nu se utilizează contrafisa. Rezultatul imediat constă în reducerea consumului de oțel pe ansamblul structurii.

d) Structuri reticulate.

a) Cu deschideri mari de peste 60 metri.

- Folosirea structurilor cu talpa inferioară rară este mai avantajoasă din punctul de vedere al consumului de oțel în special atunci cînd se depășește deschiderea de 90 m.

- Utilizarea formei cotate, cu rezemare pe un cadru spațial, nu este avantajoasă din punctul de vedere al consumului de oțel, îndeosebi cînd deschiderea depășește 90 m., deoarece valorile eforturilor din rigla cadrului spațial cresc foarte mult.

- Utilizarea formei drepte în cele trei variante de rezemare:

(1) continuă pe contur la T1, fără suspendare;

(2) rezemată continuu, pe 4 laturi la T1 și suspendată în mijlocul structurii;

(3) rezemată pe 3 laturi, liberă pe a patra în dreptul porții și suspendată în două puncte;

a condus la obținerea soluției optime pentru structuri cu deschideri de 60 m. Aceasta este dată de varianta (2) de

rezemare, deoarece prezintă o reducere a consumului de oțel de 22% față de varianta (1) și de 11% față de varianta (3). O dată cu schimbarea dimensiunilor structurii, această ordine se schimbă. Astfel, varianta (3) devine cea mai avantajoasă din punctul de vedere al consumului de material, în timp ce varianta (1) devine cea mai avantajoasă din punctul de vedere al manoperei (motivul este datorat unei împărțiri a structurii din varianta (1) în zone a căror construcție cere o manoperă mai mică față de variantele (2) și (3), unde datorită rezemelor intermediare se impune o manoperă suplimentară).

b) Cu deschideri medii, cuprinse între 30 și 60 metri

- Soluția constructivă propusă în cadrul acestei categorii, se justifică printr-un consum de oțel și manoperă mai redus decât în cazul soluțiilor clasice, ca și printr-un grad de prefabricare mai mare.

- Rezemarea optimă se obține atunci când ea se realizează atât la talpa inferioară cât și la talpa superioară.

- Varianta de alcatuire a talpilor cu corniere este mai eficientă dacă se utilizează pentru deschideri și regimuri de încărcare mici. În schimb, utilizarea profilelor de tip II devine eficientă pentru dimensiuni mai mari și încărcări mai puternice.

7. Definirea unor algoritmi de calcul eficienți, și implementarea acestora în Fortran 77 și SuperBASIC pe calculatoare de capacitate mică de calcul.

8. Elaborarea unui număr de 3 proceduri originale de optimizare a memoriei operative a calculatorului, în funcție de dimensiunile structurii.

În concluzie, în lucrare se abordează, pentru prima dată, în mod unitar, comportarea de ansamblu a structurilor pentru hangare, care sînt privite din punctul de vedere al eficienței tehnico-economice. În felul acesta, lucrarea reprezintă un instrument eficient de lucru pentru ingineri proiectanți, cărora li se pun la dispoziție criterii de stabilire a celor mai eficiente soluții constructive, cât și un număr de structuri originale, care pot reprezenta soluții de referință în domeniul construcției hangarelor, și care pot fi extinse și în alte domenii.

8. BIBLIOGRAFIE.

1. AA84 Avram C., Anastasescu D. : "Space Structures", Elsevier, Amsterdam 1984.
2. AD84 Alain R., Duchamp M. : "Mathematiques sur micro-ordinateur", EYROLLES, Paris 1984.
3. Ba81 Banut V. : "Calculul neliniar al structurilor", Ed. Tehnica, Bucuresti 1981.
4. Be77 Belenia I. "Prestressed Load-Bearing Metal Structures", MIR Publisher, Moscow 1977.
5. Bl83 Bia C., Ilie V., Soare V. : "Rezistenta materialelor si teoria elasticitatii", Ed. Didactica si Pedagogica, Bucuresti 1983.
6. Bo89 Bob C. : "Verificarea calitatii, sigurantei si durabilitatii constructiilor", Ed. Facla Timisoara 1989.
7. BP75 Banut V., Popescu H. : "Stabilitatea Structurilor Elastice", Ed. Academiei, Bucuresti 1975.
8. BP79 Balan S., Petcu V. : "Calculul Structurilor in Domeniul Plastic - Optimizari", Ed. Academiei, Bucuresti 1979.
9. BP88 Balut N., Pacoste C., Moldovan A. : "Matricile de rigiditate de ordinul II ale barelor cadrelor metalice spatiale", 5-th Conference on Metal Structures, Timisoara 22-sept-1988 vol. 1 pag. 20-28.
10. BR70 S. Baar, M. Raskin, : "No etuds de structures tubulaires spatiales", Station d'essais et recherches de la construction metallique, Belgique 1970.
11. Br88 Bryan D., "Structures for architects", Langman Hong-Kong 1988.
12. BS71 Buttner O., Stenker H., "Metalleichtbauten" band 1, VEB Verlag, Berlin 1971.
13. Bu80 Buzdugan Gh. : 'Rezistenta Materialelor', Ed. Tehnica, Bucuresti 1980.
14. Ca77 Caracostea A. si colectiv : "Manual pentru calculul Constructiilor", vol I Ed. Tehnica 1977.
15. CB84 Catarig A., Banut V. : "Statice, Stabilitatea si Dinamica Constructiilor. Calcul practic" ;

- Ed. Dacia, Cluj-Napoca 1984.
16. CC89 Cuteanu E., Caraba I., Petru M., Grecea D.:
"Proiectarea asistata de calculator a grin-
zilor metalice cu zabrele pentru hale in-
dustriale", Buletin IPT - constructii, tom
34 pag.31-39, 1989.
17. CD88 Caraba I., Druzenco V.: "Studii asupra unor pro-
prietati geometrice si mecanice la o sectiune
mecanica dublu conexa", 5-th Conference on
Metal Structures, Timisoara 22-sept-1988 vol 1
pag. 231-238.
18. CH78 Y.K.Cheung, M.F.Yea, : "A practical introduction
to finite element analysis", Pitman, USA 1978.
19. CM80 Cuteanu E, Marinov R.: "Metoda elementelor fi-
nite in proiectarea structurilor", Ed. Facia
Timisoara 1980.
20. DC88 Danilescu A., Caraba I., Ciomocos D., Belekics G
"Expertiza si consolidarea unor hangare", 5-th
Conference on Metal Structures, Timisoara
22-sept-1988 vol. 3 pag. 199-205.
21. DJ83 Dalban S., Juncan N., Varga Al., Serbesc C.,
Dima A.: "Constructii metalice", Ed. Didactica
Bucuresti 1983.
22. DP88 Dubina D., Pacoste C.: "New approaches to single
layer grids", 5-th Conference on Metal
Structures, Timisoara 22-sept-1988 vol. 3,
pag. 19-26.
23. Do88a Dorin T., "Citeva aspecte ale geometriei si
topologiei structurilor planare cu bare rare
in fata inferioara", 5-th Conference on Metal
Structures, Timisoara 22-sept-1988 vol. 3,
pag. 99-107.
24. Do88b Dorin T., "Proiectarea unui acoperis in structu-
ra planara pentru Casa Tineretului-Baia Mare",
5-th Conference on Metal Structures, Timisoara
22-sept-1988 vol. 3, pag. 113-117.
25. Du86 Dubina D. : Teza de doctorat, Institutul
Politehnic Timisoara 1986.
26. FC88 Florescu D., Cuteanu E., Grecea D.: "Proiectarea
interactiva cu ajutorul minicalculatorului a

- panelor la hale metalice industriale", 5-th Conference on Metal Structures, Timisoara 22-sept-1988 vol. 1, pag. 264-270.
27. Fe78 Fener Roger T.:"Computing for Engineers"
Mac. Millan Press Ltd., London 1978.
28. FI88 Fleseriu I. : "Statica constructiilor"
vol 2, Institutul Politehnic "Traian Vuia"
Timisoara 1988.
29. FM87 Filimon I., Mihaescu A. si colectiv : "Beton
Armat si Precomprimat - programe de calcul
pentru proiectarea asistata de calculator",
Institutul Politehnic Timisoara 1987.
30. Ga74 Gheorghiu A. : "Statica Stabilitatea si Dina-
mica Constructiilor", Ed. Tehnica,
Bucuresti 1974.
31. Ga75 Gheorghiu A. : "Conceptii Moderne in Calculul
Structurilor", Ed. Tehnica, Bucuresti 1975.
32. Gh80 Gheorghiu A.:"Statica Constructiilor", Ed.
Tehnica, Bucuresti 1980.
33. GI83 Gioncu V., Ivan M. : " Bazele calculului struc-
turilor la stabilitate", Ed. Facla 1983.
34. GI84 Gioncu V., Ivan M. : "Teoria Comportarii
Critice si Postcritice a Structurilor
Elastice ", Ed. Academiei, Bucuresti 1985.
35. GI85 Gioncu V. : " Instability Problems in Space
Structures", Space Structures vol.1 No.3
pag. 169-183 1985.
36. GK87 Gadeanu L., Konrad C. : "Constructii metalice",
IPT "Traian Vuia" 1987.
37. GR89 Gadeanu L., Regep Z., Mercea Ghe.:"Constructii
metalice", IPT 1989.
38. ID87 Ivan M., Dubina D.:"Proceduri numerice in
rezolvarea problemelor de valori proprii in
analiza structurilor cu metoda elementelor
finite", Buletin IPT - constructii, tom 32,
pag. 1-9, 1987.
39. Iv85 Ivan Marin : "Bazele calculului liniar al
structurilor", Ed. Facla, Timisoara 1985.
40. Iv88 Ivan M.:"Matricea de rigiditate tangenta in
calculul neliniar", 5-th Conference on Metal

- Structures, Timisoara 22-sept-1988 vol.1
pag.13-20.
41. 1189 Ivan M., Ivan A.: "O abordare noua a verificarii stabilitatii structurilor de constructii", Buletin IPT - constructii, tom 34, pag. 45-51, 1989.
42. IV82 \ Ivan M., Vulpe A., Banut V. : "Statistica, Stabilitatea si Dinamica Constructiilor", Ed. Didactica si Pedagogica Bucuresti 1982.
43. Ja62 Jawert D: "Some counter stressed doud cable structures proceedings", I.A.S.S., Paris 1962.
44. JJ88 Jucan N., Jucan M.: "Calculul grinzelor cu zabrele pretensionate prin metoda sectiunii sectiunii echivalente", 5-th Conference on Metal Structures, Timisoara 22-sept-1988 vol. 1 pag.28-35
45. Ju89 * Juncan N. : "Sisteme cu zabrele static nedeterminate", in Constructii Metalice pretensionate, pag. 293-310, Ed. Academiei 1989.
46. KM75 Kopchenova N., Maron I.: "Computational Mathematic", Mir Publishers, Moscow 1975.
47. Ma70 - Makowski Z., "Construction de la toutore du hangar de la BOAC la Heathrow", Acier no.2 1970.
48. Ma80 Makowski Z., "RAUMFACHWERKE", University of Surrey Space Structures Research Centre, DXsseldorf 1980.
49. MD72 Massonnet G., Deprez G., "Calculul structurilor la calculatoarele electronice", Ed. Tehnica, Bucuresti 1972.
50. Ma85 Marmureanu Ghe.: 'Rezistenta Postcritica', Ed. Academiei, Bucuresti 1988.
51. Ma87 Makowski Z. "Analyses Design and construction of braced barrel vaults", University of Surrey Space Structure Research Centre, DXsseldorf 1980.
52. Ma88a Mateescu D. : "Vorgespannte raumliche Fachwerkplatten", RFG 1988.
53. Ma88b Marinescu G.: "Studiu Geometric Comparativ Asupra Structurilor Reticulate Planare", 5-th Conference on Metal Structures, Timisoara

- 22-sept-1988 vol. 3 pag. 187-192
54. Ma87 Marinescu Gh.: "Probleme de analiza numerica rezolvate cu calculatorul", Ed. Academiei Bucuresti 1987.
55. MB88 Mateescu D., Balut N., Caraba I.: "Calculul Plan si Spatial ai Grinzilor Cailor de Rulare Executate din Otel", Ed. Academiei, Bucuresti 1988.
56. MC80 Mateescu D., Caraba I.: "Constructii metalice", Ed. Tehnica, Bucuresti 1980.
57. MC88 Marinescu G., Cretu D., Rey S.: "Studiu Teoretic si Experimental Privind Structura Planara Triunghiular-Hexagonala Reciproca" 5-th Conference on Metal Structures, Timisoara 22-sept-1988 vol. 3 pag. 192-198.
58. MG89 Mercea Ghe., Gadeanu L., Regep Z.: "Constructii metalice", Institutul Politehic Timisoara 1989.
59. Mi83 Mihai z.: "Contributii privind studiul acoperisurile suspendate pe cablu", Ed. Facla, Timisoara 1983.
60. Mi88 Michailow W.W.: "Uber Effektivitatserhohung durch Vorspannung im Sthlbau", Rfg 1988.
61. MI88 Mercea Gh., Iosip M.: "Studii comparative intre consumul de otel la o structura pentru acoperisul unui bazin de inot cu retele de grinzi cu inima plina si cu zabrele", 5-th Conference on Metal Structures, Timisoara 22-sept-1988, vol. 2 pag. 30-39.
62. Mo88 Moldovan A.: "Relatii pentru calculul coeficientului lungimii de flambaj la stilpii cadrelor metalice necontravintuite", 5-th Conference on Metal Structures, Timisoara 22-sept-1988, vol 1 pag. 215-219.
63. MN85 Makowski Z., Nooshin H., "Space structures an International Journal ", vol.1, No. 3, 1985.
64. MS84 Mosley W.H., Spencer W.J.: "Microcomputer Applications in Structural Engineering", Mac. Millan Press Ltd., London 1984.
65. Mu73 Munteanu I.: "Calculul Structurilor Spatiale in

- Formulare Matriceala', Ed. Facia, 1973.
66. Mu83 Munteanu I.: 'Structuri pentru Constructii Teorie si Practica', Ed. Academiei, 1983.
67. NR83 Neculai A., Rasturnoiu C.: "Matrici rare si aplicatiile lor", Ed. Tehnica, Bucuresti 1983.
68. Ow85 Owen R.: "Essence Books on Building", MACMILLAN PUBLISHERS LTD,, London 1985.
69. Pa85 Pascariu I.: 'Elemente Finite', Ed. Militara, Bucuresti 1985.
70. PF84 Poterasu F., Florea N. : "Practica Optimizarii Structurilor", Ed. Junimea, Iasi 1984.
71. PD88a Pacoste C., Dubina D., Waari G., "New Approaches to double-layer grids", 5-th Conference on Metal Structures, Timisoara 22-sept-1988 vol. 3 pag. 27-35.
72. PD88b Pacoste C., Dubina D., Stoian V. : "Aplicatii ale microcalculatoarelor in mecanica structurilor", Constructii no. 1-2 pag.55-66, 1988.
73. PM88 Patrinoche N., Manea G., Diacu I., Georgescu E. : "Structura Cilindrica reticulata 'OMEGA'", 5-th Conference on Metal Structures Timisoara 22-sept-1988 vol. 3, pag. 181-186.
74. PM89 Petcu V., Mircea S., Svasta C.: 'Automatizarea Calculului de Rezistenta in Constructii programe BASIC', Ed. Tehnica, Bucuresti 1989.
75. PP87 Popescu V., Patrinoche N., Chesaru E.: 'Calitatea si Siguranta Constructiilor', Ed. Tehnica, Bucuresti 1987.
76. PD88 Patrinoche N., Diacu I., Manea Gh., Coveianu M "Calculul geometric nelinier al structurilor Spatiale din bare articulate imperfecte", 5-th Conference on Metal Structures, Timisoara 22-sept-1988 vol. 1 pag. 260-264.
77. PS82 Patrinoche N., Siminea P.: "Constructii metalice Ed. Didactica si Pedagogica, Bucuresti 1982.
78. PS88 Pacoste C., Stoian V., Dubina D.: "Metode moderne in mecanica structurilor", Ed. Stiintifica si Enciclopedica 1988.
79. Re86 Redy J.N.: "An introduction to the finite

- element method", McGraw-Hill, USA 1986.
80. Ro75 Robert E.: "Building Construction", New York 197
81. Ra82 Rafiroiu M.: 'Modele de Simulare in Constructii
Ed. Facla, Timisoara 1982.
82. RP76 Richard N., Peter G., Robert G.: "Structural
Engineering", John Wiley & Sons, New York 1976
83. RS81 Reitman I., Sapiro S.: 'Metode de Proiectare
Optima a Corpurilor Deformabile', Ed. Tehnica
Bucuresti 1981.
84. Ru66 Rubinstein F.: 'Matrix Computer Analysis of
Structures', Prentice-Hall, Inc. New Jersey 196
85. Sa75 Sandi H.: 'Metode Matriceale in Mecanica
Structurilor', Ed. Tehnica, Bucuresti 1975.
86. Sa88 Sabir A.B.: "Stress concentrations in flat pla-
tes with unreinforced and reinforced circular
holes", 5-th Conference on Metal Structures,
Timisoara 22-sept-1988, vol1 pag. 155-161.
87. SM84 Serbescu C., MZhlbacher R., Amariei C.,
Pescaru V. : "Probleme speciale in constructii
metalice", Ed. Tehnica, Bucuresti 1984.
88. SR88 Soare M., Raduica N.: "Eficienta structurala a
unor noi tipuri de cupole reticulate", 5-th
Conference on Metal Structures, Timisoara,
22-24 sept. 1988, vol2 pag. 235-241.
89. St88 Stematu D.: 'Calculul structurilor hidroteh-
nice prin METODA ELEMENTELOR FINITE', Ed.
Tehnica, Bucuresti 1988.
90. VG86 Visan I., Georgescu C.: "Depanarea programe-
lor FORTRAN", Ed. Militara, Bucuresti 1986.
91. TP88 Toader I., Pope A.: "Two latticed structures",
5-th Conference on Metal Structures, Timi-
soara 22-24 sept. 1988, vol2 pag. 30-39.
92. TY84 Timoshenko S.P., Young D.H.: "Theory of Struc-
tures", McGRAW-HILL, London 1985.
93. Wa88 Waari G.: "Consideratii privind alcatuirea
structurilor de rezistenta a hangarelor",
A V-a Conferinta de Constructii Metalice,
Timisoara 1988.
94. **72 PRISMA, Buletin al ambasadei RFG, Bucuresti
No. 5 1972.
95. **73 MERKBLATT-200, Fluozeeuhallen 1973

96. **74 "Die Aua-Werfthalle am Flughafen Wien
-Schwechat", STAHLBAU Rundschau no.42, pag.
8-10 martie 1974.
97. **76 PRISMA, Buletin al ambasadei RFG, Bucuresti
98. **77 MERO-Raumstruktur GmbH &Co. Wurzburg, 1976.
99. **79 "Hangar Amman, Jordanien" STAHLBAU Rundschau,
No.53, pag. 28-29, oktober 1979.
100. **80 "Hangar und Hangartor der neuen AUA-Werft 2"
STAHLBAU Rundschau, No.54, pag. 16-18,
april 1980.
101. **83 QL User Guide. Sincler Research Limited 1983.
102. **84 FORTRAN/77. User Guide. QL Sincler Research
Limited 1984.
103. **85 Bulletin of the international Association
for Shell and Spatial Structures, vol XXV-1/2
April-August 1984/1985, Madrid Spania.
104. **88 Prestressed Concrete Products and Services
by SIMON BBRV, Simonbuild Limited Stockport
England 1988.
105. **89 "Programarea Calculatoarelor 1-FORTRAN,
2-BASIC", curs, Ed. IPT, Timisoara 1989.