

CUPOLA ATENEULUI ROMÂN DIN BUCURESCI

Corpul central al Atheneului Român din București, care formează partea principală a edificiului, este acoperită cu o cupolă.

Șarpanta acestei cupole, remarcabile prin forma și simplitatea construcției precum prin eleganța și ușurința sa este executată în oțel moale.

Proiectul și construcția au fost făcute de fabrica de poduri și construcțiuni metalice Benchelt și C-ie din Grünberg (Silesia).

Suprafața cupolei este formată prin rotațiunea unei linii generatrice în jurul axei verticale a cupolei. Generatricea se compune din o linie dreaptă și două arcuri de cerc ce se racordează tangențial (veți planșa, I. Diagrama fermei).

Șarpanta se compune din șarpanta propriu zisă a cupolei și din șarpanta lanternei de d'asupra, identică celei d'întâiu. Aceasta din urmă neprezentând nimic particular, nu ne vom ocupa de ea.

Sarpanta cupolei în forma ei generală se compune din căpriori (chevrons) inel de închidere, inele de încingere și diagonale de contraventuri.

Căpriorii în număr de 20 sunt dispuși radial. În exterior ei au forma generatricei indicată prin diagrama fermei, iar interior forma poligonală. Căpriorii se compun din două

corniere și inimă formând secția de forma **T**. Ei se razemă la partea superioară pe inelul de închidere, iar la partea inferioară pe zid.

Inelul de închidere de la partea superioară pe care se razemă căpriorii, are în plan forma circulară, și se compune din o inimă și două corniere, dispuse după cum se vede în secția transversală din planșe.

Inelele de încingere în număr de 6, sunt concentrice și au în plan forma poligonală. Ele se compune din simple corniere, care se prind la noduri între ele și de căpriori prin ajutorul unor plăci.

Diagonalele care servesc a contraventui căpriorii, sunt duble și formate din bare rotunde de oțel.

Pentru ori ce eventualitate, fie-care căprior este ancorat în zid, la adâncime de 2.^m00, la bare rotunde de 25mm diametru.

Acoperimântul care este de tablă de zinc este așezat pe o așternută de scânduri, și se razimă pe o serie de inele concentrice de lemn.

În exterioru acoperimântului, căpriorii sunt puși în evidență prin nervuri.

Plafonul este atârnat de nodurile căpriorilor prin intermediul unor bare rotunde.

Șarpanta plafonului se compune din căpriori dispuși radial în planul fermelor, inele de închidere și din inele de încingere. Căpriorii și inelele sunt formate din simple corniere.

Astereala plafonului care este de lemn, este prinsă de o serie de inele concentrice de lemn, care se sprijinesc pe căpriorii plafonului.

Temerea că tencuiala împreună cu decorația plafonului ar crăpa prin dilatația barilor de care se atârna plafonul nu s'a adevărit, lucru ce era de prevăzut din calcul.

Diametrul interior al cupolei este de 29^m16 iar înălțimea de 13,^m00.

Greutatea șarpantei împreună cu cadrile ferestrilor și altele este 42.000 k. cea ce revine la 63 k. oțel pe metru patrat de suprafață de învelit.

Montarea șarpantei cupolei, s'a făcut pe un eșafodagiū de lemn care a costat 8000 lei, din care s'a reîntrebuințat lemn de 2000 lei.

Costul părții metalice fiind de 17.000 lei iar al eșafodagiul de 6.000 lei, costul total al șarpantei cupolei este de 23.000 lei, cea ce revine în cifra rotundă la 35 lei pe metru patrat de suprafața de învelit.

Calculul static al cupolei

I. CALCULUL ANALITIC

Forțele care lucrează asupra cupolei, și care se compune din greutatea moartă și din greutatea accidentală, s'a presupus că lucrează asupra punctelor de îmbinare a căpriorilor adică la noduri.

Greutatea moartă se compune de greutatea proprie și din greutatea tavanului, iar greutatea accidentală din zăpadă și vânt.

Bazele calculului

1. Greutatea moartă

a) *Greutatea proprie a cupolei.* Pentru greutatea proprie a cupolei s'a admis o greutate uniform repartisate de 70 kg. p. m² la care s'a adaus pentru lanterna de d'asupra o greutate de 2155 kg iar pentru diferitele legături și altor de la noduri, greutatea următoare: pentru inelul II 46 kg pentru III 74 kg pentru IV 38 kg și pentru inelul V 128 kg.

b) *Greutatea tavanului.* Pentru greutatea tavanului s'a admis o greutate uniform repartisate de 40 kg pe. m² pentru zona întâia și a doua, de 50 kg pentru zona a treia

de 55 kg. pentru zona a patra și a cincea și de 50 pentru zona a șase.

2. Greutatea accidentală

a) *Zapada* Pentru greutatea zepezei s'a luat în considerație o greutate uniform repartisată de 60 kg p. m² ce-a ce corespunde cu un strat de zăpadă de 0, m 40 grosime. Dacă nu s'a luat în considerație o greutate mai mare după cum se obicinuește, este ca cupola în chestie, are o formă așa încât zăpada nu se prea ține după cum am observat. La rigoare s'ar putea chiar neglija această forță.

b) *Vântul*. S'a admis ca suprafața lovită de vânt, suprafața tangentială la noduri.

Forța vântului s'a determinat cu formula următoare :

$$V = b. a. \frac{Sv^2}{2g} \sin.^2 (d+10^\circ) = 150 \sin^2 (d+10^\circ)$$

în care s'a luat

Coefficientu b = 1. 86

Greutatea specifică a aerului a = 1.292

Suprafața lovită de vânt S = 1. 00

Vitesa aerului v = 35. 00

Gravitația g = 9.809

Inclinarea pe orizontală la nodul tangentei generatrice d.

Inclinarea pe orizont al direcții vântului s'a luat ca de obicei de 10°.

Cu ajutorul acestei formule s'au calculat pentru diferitele zone a le cupolei forțele vântului pe metru pătrat normale suprafeței tangențiale la noduri și s'au întocmit următorul tablou

d Inclinarea pe orizont a tangentei generatrice la noduri	$\sin^2 (d+10^\circ)$	V Forța vântului pe m ² nor- male suprafeței tangențiale la noduri, pentru diferitele zone
17°41'	0,2156	32,34 Kg.
25°44'	0,34107	51,16 "
34°30'	0,49127	73,69 "
44°66'	0,65892	98,84 "
71°10'	0,97642	146,46 "

A) FORȚE EXTERIOARE

Forțe verticale care lucrează asupra diferitelor zone a cupolei.

1) Greutatea proprie a cupolei.

$$\begin{aligned} \text{Zona inel. I: } p_1 &= \pi \cdot 2,26^2 \cdot 70 + 2155 = 3277,80^{\text{K}} \\ \text{• II: } p_2 &= 2 \pi \cdot \frac{2,26 + 4,60}{2} \cdot 2,42 \cdot 70 + 46 = 3695,10 \\ \text{• III: } p_3 &= 2 \pi \cdot \frac{7,06 + 4,60}{2} \cdot 2,65 \cdot 70 + 74 = 6765,40 \\ \text{• IV: } p_4 &= 2 \pi \cdot \frac{9,57 + 7,06}{2} \cdot 2,89 \cdot 70 + 38 = 10601,70 \\ \text{• V: } p_5 &= 2 \pi \cdot \frac{12,04 + 9,57}{2} \cdot 3,199 \cdot 70 + 128 = 15322,64 \\ \text{• VI: } p_6 &= 2 \pi \cdot \frac{14,01 + 12,04}{2} \cdot 3,94 \cdot 70 = 22657,31 \end{aligned}$$

2) Greutatea tavanului.

$$\begin{aligned} \text{Zona inelului I: } t_1 &= \pi \cdot 2,00 \cdot 40 = 502,40^{\text{K}} \\ \text{II: } t_2 &= 2\pi \cdot 3,00 \cdot 2,00 \cdot 40 = 1507,20 \\ \text{III: } t_3 &= 2\pi \cdot 5,00 \cdot 2,00 \cdot 50 = 3140,00 \\ \text{IV: } t_4 &= 2\pi \cdot 7,00 \cdot 2,00 \cdot 55 = 4837,00 \\ \text{V: } t_5 &= 2\pi \cdot 9,00 \cdot 2,05 \cdot 55 = 6408,00 \\ \text{VI: } t_6 &= 2\pi \cdot 11,35 \cdot 2,35 \cdot 50 = 8197,00 \end{aligned}$$

Greutățile moarte care apasă asupra diferitelor zone a cupolei sunt dar

		K
Zona inelului I :	$q_1 = p_1 + t_1 =$	3780,80
	II : $q_2 = p_2 + t_2 =$	5202,30
	III : $q_3 = p_3 + t_3 =$	10005,40
	IV : $q_4 = p_4 + t_4 =$	15438,70
	V : $q_5 = p_5 + t_5 =$	21730,64
	VI : $q_6 = p_6 + t_6 =$	30854,30

3) Greutatea zepzei

		K
Zona inel. I :	$z_1 = \pi \cdot 2,26^2 \cdot 60 =$	962,30
» II :	$z_2 = 2\pi \cdot (2,26 + 1,17) \cdot 2,34 \cdot 60 =$	3024,30
» III :	$z_3 = 2\pi \cdot (4,60 + 1,23) \cdot 2,65 \cdot 60 =$	5823,60
» IV :	$z_4 = 2\pi \cdot (7,06 + 1,25) \cdot 2,50 \cdot 60 =$	7828,00
» V :	$z_5 = 2\pi \cdot (9,57 + 1,24) \cdot 2,47 \cdot 60 =$	10060,56
» VI :	$z_6 = 2\pi \cdot (12,04 + 1,04) \cdot 2,07 \cdot 60 =$	10202,10

4] Presiunea vântului.

		K
Zona inel. I :	$v_1 = \pi \cdot 2,26^2 \cdot 30,00 =$	481,10
» II :	$v_2 = 2\pi \cdot (2,26 + 1,17) \cdot 2,34 \cdot 32,34 \cos 17^\circ 40' =$	1512,10
» III :	$v_3 = 2\pi \cdot (4,60 + 1,23) \cdot 2,65 \cdot 51,16 \cos 25^\circ 44' =$	2990,40
» IV :	$v_4 = 2\pi \cdot (7,06 + 1,25) \cdot 2,50 \cdot 73,69 \cos 34^\circ 30' =$	6013,20
» V :	$v_5 = 2\pi \cdot (9,57 + 1,24) \cdot 2,47 \cdot 98,84 \cos 44^\circ 16' =$	10183,20
» VI :	$v_6 = 2\pi \cdot (12,04 + 1,04) \cdot 2,07 \cdot 144,46 \cos 71^\circ 10' =$	11956,70

Forțele accidentale care lucrează asupra diferitelor zone a cupolei sunt dar

		K
Zona inelului I :	$P_1 = z_1 + v_1 =$	1443,00
» II :	$P_2 = z_2 + v_2 =$	4536,40
» III :	$P_3 = z_3 + v_3 =$	8814,00
» IV :	$P_4 = z_4 + v_4 =$	13841,00
» V :	$P_5 = z_5 + v_5 =$	20243,00
» VI :	$P_6 = z_6 + v_6 =$	22158,00

Forțele totale care provin din greutatea moartă și accidentală, care lucrează asupra diferitelor zone a cupolei sunt :

Zona inelului	I :	$R_1 = 5223,00$
»	II :	$R_2 = 9738,00$
»	III :	$R_3 = 18819,00$
»	IV :	$R_4 = 29280,00$
»	V :	$R_5 = 41974,00$
»	VI :	$R_6 = 53013,00$

Forțe orizontale care lucrează asupra diferitelor parcele din zonele cupolei

Toate forțele care lucrează asupra cupolei au direcția verticalei, afară de vânt a cărei direcție este oblică și care se poate discompune în componenta verticală și orizontală. Cea dintâi fiind determinată, rămâne să determinăm pe a doua.

Componentele orizontale a vântului pe m. pătrat sunt :

Zona inelului	I :		$\overset{\text{K}}{150.00}$
	II :	$32,34 \sin 17^\circ 40'$	$= 9.81$
	III :	$51,16 \sin 25^\circ 44'$	$= 22.21$
	IV :	$73,69 \sin 34^\circ 30'$	$= 41.74$
	V :	$98,84 \sin 44^\circ 16'$	$= 68.99$
	VI :	$146,46 \sin 71^\circ 10'$	$= 132.62$

Pentru zona inelului I trebuie să considerăm construcția superioară care are un diametru de $10,^m50$ și o înălțime de $5,^m00$.

Forțele orizontale ale vântului care lucrează asupra diferitelor parcele ale zonelor cupolei sunt :

$$\begin{aligned} \text{Parcela zonei inelului I : } h_1 &= \frac{\pi \cdot 10,50 \cdot 5,00 \cdot 150}{20} = \overset{\text{K}}{1201.00} \\ \text{» II : } h_2 &= \frac{0,76 + 1,44}{2} \cdot 0,584 \cdot 9,81 = 6.15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Parcela zonei inelului III : } h_3 &= \frac{1.44+2.21}{2} 0,98.22,21= 39,73 \\
 \text{„ IV : } h_4 &= \frac{2,21+2,993}{2} 1,453.41,74= 157,78 \\
 \text{„ V : } h_5 &= \frac{2,993+3.766}{2} 2,032.68,99=473,75 \\
 \text{„ VI : } h_6 &= \frac{3.766+4,415}{2} 3,35.138,62=1899,54
 \end{aligned}$$

Forțe verticale la noduri

Dacă însemnăm prin $M_1, M_2, M_3 \dots$ greutatea moarte de la noduri, prin $A_1, A_2, A_3 \dots$ greutatea accidentale de la noduri și prin $Q_1, Q_2, Q_3 \dots$ greutatea totale de la noduri avem :

$$\begin{aligned}
 \text{Nod. I: } M_1=Q_1 &= 3780, A_1=P_1=1443, Q_1=M_1+A_1= 5223 \\
 \text{„ II: } M_2=M_1+q_2 &= 8982, A_2=A_1+P_2= 5979, Q_2=M_2+A_2= 14961 \\
 \text{„ III: } M_3=M_2+q_3 &= 18987, A_3=A_2+P_3= 14793, Q_3=M_3+A_2= 33780 \\
 \text{„ IV: } M_4=M_3+q_4 &= 34426, A_4=A_3+P_4= 28634, Q_4=M_4+A_4= 63060 \\
 \text{„ V : } M_5=M_4+q_5 &= 56156, A_5=A_4+P_5= 48878, Q_5=M_5+A_5= 105034 \\
 \text{„ VI: } M_6=M_5+q_6 &= 87010, A_6=A_5+P_6= 71637, Q_6=M_6+A_5= 158047
 \end{aligned}$$

B) FORȚELE INTERIOARE

Pentru înlesnirea calculului vom considera numai forțele verticale, rămând ca în urmă să ținem cont și de forțele orizontale.

Forțe interioare în direcția pieselor

1. Calculul forțelor interioare a căpriorilor

Căpriorii ating maximul de compresiune când cupola este încărcată cu maximul de greutate.

Însemnând cu n numărul căpriorilor cu $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ unghiurile ce fac laturile poligonului cu orizontul, și cu D_1, D_2, \dots, D_n presiunile în diferitele laturi ale poligonului, avem :

$$D_n \min = \frac{\sum_1^n M}{n \sin \alpha_n}$$

$$D_n \text{ max.} = \frac{\Sigma,^n Q}{n \sin \alpha_n}$$

Cu aceste formule, luând $n=20$ s'a calculat forțele maxime și minime în diferitele laturi ale poligonului.

$$D_1 \text{ min} = - \frac{M_1}{20 \sin \alpha_1} = - \frac{3^t.78}{20 \frac{0.584}{2,416}} = -0^t.782$$

$$D_2 \text{ min} = - \frac{M_2}{20 \sin \alpha_2} = - \frac{8.982}{20 \frac{0.98}{2.651}} = -1^t.219$$

$$D_3 \text{ min} = - \frac{M_3}{20 \sin \alpha_3} = - \frac{18.987}{20 \frac{1.453}{2.893}} = -1^t.889$$

$$D_4 \text{ min} = - \frac{M_4}{20 \sin \alpha_4} = - \frac{34.426}{20 \frac{2.032}{3.199}} = -2^t.709$$

$$D_5 \text{ min} = - \frac{M_5}{20 \sin \alpha_5} = - \frac{86.156}{20 \frac{3.35}{3.94}} = -3^t.302$$

$$D_6 \text{ min} = - \frac{M_6}{20 \sin \alpha_6} = - \frac{86,01}{20 \frac{4,609}{4,1633}} = -4^t,373$$

$$D_1 \text{ max} = - \frac{Q_1}{20 \sin \alpha_1} = - \frac{5,223}{20 \frac{0,584}{2,416}} = -1^t,080$$

$$D_2 \text{ max} = - \frac{Q_2}{20 \sin \alpha_2} = - \frac{14,961}{20 \frac{0,98}{2,651}} = -2^t,024$$

$$D_3 \text{ max} = - \frac{Q_3}{20 \sin \alpha_3} = - \frac{33,780}{20 \frac{1,453}{2,893}} = -3^t,363$$

$$D_4 \text{ max} = - \frac{Q_4}{20 \sin \alpha_4} = - \frac{63,060}{20 \frac{2,132}{3,199}} = - 4', 963$$

$$D_5 \text{ max} = - \frac{Q_5}{20 \sin \alpha_5} = - \frac{105', 034}{20 \frac{3,35}{3,39}} = - 6', 177$$

$$D_6 \text{ max} = - \frac{Q_6}{20 \sin \alpha_6} = - \frac{158,047}{20 \frac{4,609}{4,633}} = - 7', 943$$

2) Calculul forțelor interioare a inelelor.

Un inel lucrează la maximum de extensiune sau la minimum de compresiune când partea cupolei din interioru inelului este încărcată maximum afară de zona care aparține inelului în chestie.

Un inel lucrează la maximum de compresiune sau la minimum de extensiune când numai zona inelului în chestie este încărcat maximum.

Insemnând cu T_1, T_2, T_3 tensiunile laturilor a ineltelor poligonale, avem :

$$T_1 \text{ maxim} = 0$$

$$T_2 \text{ max.} = \frac{Q_1 \cotang. \alpha_1 - (Q_1 + q_2) \cotang \alpha_2}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} = - 0,837$$

$$T_3 \text{ max.} = \frac{Q_2 \cotang \alpha_2 - (Q_2 + q_3) \cotang \alpha_3}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} = - 0,861$$

$$T_4 \text{ max.} = \frac{Q_3 \cotang \alpha_3 - (Q_3 + q_4) \cotang \alpha_4}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} = - 0,273$$

$$T_5 \text{ max.} = \frac{Q_4 \cotang \alpha_4 - (Q_4 + q_5) \cotang \alpha_5}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} = + 3,871$$

$$T_6 \text{ max.} = \frac{A_5 \cotang. \alpha_5 - (A_5 + q_6) \cotang. \alpha_6}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} = + 3,173$$

$$T_7 \text{ max.} = \frac{D_6 \text{ max} \cos \alpha_6}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} = \dots \dots \dots + 2,581$$

$$T_1 \text{ min.} = \frac{D_1 \cos \alpha_1}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} = \dots \dots \dots - 3,349$$

$$T_2 \text{ min.} = \frac{M_1 \cotang. \alpha_1 - (M_1 + R_2)}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} = \dots \dots \dots - 3,005$$

$$T_3 \text{ min.} = \frac{M_2 \cotang. \alpha_2 - (M_2 + R_3) \cotang. \alpha_3}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} = - 4,044$$

$$T_4 \text{ min.} = \frac{M_3 \cotang. \alpha_3 - (M_3 + R_4) \cotang. \alpha_4}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} = - 4,166$$

$$T_5 \text{ min.} = \frac{M_4 \cotang. \alpha_4 - (M_4 + R_5) \cotang. \alpha_5}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} = - 0,866$$

$$T_6 \text{ min.} = \frac{M_5 \cotang. \alpha_5 - (M_5 + R_6) \cotang. \alpha_6}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} = + 3,773$$

$$T_7 \text{ min.} = 0$$

3. Calculul forțelor interioare ale diagonalelor.

Diagonalele dintre doi căpriori lucrează maximum la extensiune când jumătatea cupolei situată de o parte a unui plan care trece prin punctele de încrucișare a diagonalelor este încărcată maximum, cea-laltă parte nefiind încărcată.

Insemnăm cu N_n tensiunea în diagonale n și cu β_n un-

ghiul ce face această diagonală cu latura poligonală corespunzătoare a căpriorului, avem :

$$N_n = \frac{R_1 + R_2 + \dots - (q_1 + q_2 + \dots + q_2)}{n \sin \alpha_n \cos \beta_n}$$

care se poate transforma în :

$$N_n = \frac{D_n \max - D_n \min}{\cos B_n}$$

formula cu care se găsește :

$$N_1 = 0,399$$

$$N_2 = 0,899$$

$$N_3 = 1,711$$

$$N_4 = 3,03$$

$$N_5 = 3,817$$

unghiurile β fiind

$$\beta_1 = 16^{\circ}3'$$

$$\beta_2 = 26^{\circ}30'$$

$$\beta_3 = 30^{\circ}31'$$

$$\beta_4 = 41^{\circ}57'$$

$$\beta_5 = 41^{\circ}60'$$

II. CALCULUL GRAFIC

1. Determinarea forțelor care lucrează în căpriori

În calculul analitic s'a vădit că căpriorii lucrează la maximum de compresiune atunci când cupola este încărcată maximum, adică când cupola este încărcată cu greutatea moartă și accidentală.

Pentru determinarea forțelor care lucrează în direcția pieselor, s'a determinat aparte forțele care rezultă din greutatea moartă și cele ce rezultă din greutatea accidentală.

În fig. 1 s'a determinat forțele în direcția pieselor care rezultă din greutatea moartă, adică forțele minime. Fie-care din aceste forțe saū obținut din descompunerea forțelor verticale de la noduri q_1 , q_2 în două componente : una ori-

zontală și una în direcția pieselor care este forța în chestie D_n min.

Tot așa s'a procedat în fig. 2 pentru determinarea forțelor în direcția pieselor însemnate cu D_a care rezultă din greutatea accidentală P , Pr ... de la noduri.

Suma forțelor D_n min. și D_a , ne dă maximul forțelor care lucrează în direcția pieselor, și care suma s'au rezumat în tabloul forțelor din planșă.

2. Determinarea forțelor care lucrează în inele

Forțele care lucrează în inele, provocate de greutatea proprie, rezultă din componentele orizontale H_r sus menționate și care componente lucrează la noduri în planul inelelor (fig. 1').

Pentru determinarea acestor forțe s'a descompus forța orizontală în două componente r_n , r_n (fig. 1) în direcția laturilor T_r , T_r a inelelor (fig. 1').

Pentru forțele care lucrează în inele ce rezultă din greutatea accidentală s'a observat modul de încărcare pentru maxime și minime după cum s'au arătat în calculul analitic.

Cercetarea pentru maxime s'a făcut în fig. 2, iar pentru minime în fig. 3. Aceste cercetări s'au făcut după cum urmează.

1. *Pentru maxime.* Să luăm pentru exemplul nodul III și să determinăm forța maximă din inelul III. Pentru aceasta s'au încărcat nodul I și II, nodul III rămânând descărcat. Forța în piesa II—III, D_2 , provocată de această încărcare se descompune în o forță D_3 în direcția piesei III—IV și în o forță orizontală H_3 care este forța orizontală maximă, și care la rîndul ei se descompune în două forțe S_3 , S_3 paralele cu T_3 , T_3 laturile inelului III (fig. 1') și care sunt forțele maxime căutate.

2. *Pentru minime.* Să luăm ca exemplul tot nodul III și să determinăm forța minimă din inelul III. Pentru aceasta cunoștem că trebuie să încărcăm numai nodul III cu greu-

tatea P_3 . Această forță se descompune în o forță d_3 în direcția piesei III—IV și în o forță orizontală h'_3 care este forța orizontală minimă și care la rëndul ei se descompune în două forțe ρ'_3 ρ'_3 paralele cu T_3 , T_3 laturile inelului III (fig. 1').

Suma forțelor $r_n + \rho'_n$ și $r_n + \rho_n$ ne dau minimul și maximul forțelor care lucrează în direcția laturilor inelurilor și care sumă s'au resumat în tabloul forțelor din planșă.

3. Determinarea forțelor care lucrează în diagonale

În calculul analitic s'au văzut că diagonalele lucrează la maximum atunci când jumătatea cupolei de o parte de planul care trece prin intersecția diagonalelor este încărcată și cea-laltă ne încărcată. Dacă $Da_n = D_n \max.$ — $D_n \min.$ și N_n este tensiunea în diagonală, avem :

$$N_n = \frac{Da_n}{\cos \beta^n}$$

Cu alte cuvinte N_n este hipotenușa unui triunghi drept unghi a cărei catetă este Da_n . Din acesta se explică construcția fig. 4 din planșă..... prin care s'a determinat tensiunile N_1 , N_2 din diagonale.

VERIFICAREA STABILITĂȚEI CUPOLEI

În ce-a ce va urmări, voi considera atât forțele care au direcția în sensul pieselor și care s'au dedus din forțele verticale cât și forțele orizontale care rezultă din vânt.

1. CAPRIORI (chevrans)

Lucrarea maximă în diferitele laturi poligonale a căpriorilor ce rezultă din forțele în direcția peselor este :

$$K' = \frac{S}{D \max.}$$

în care K' este travalul pe C^m , S secția piesei în C^m și $D \max.$ forță maximă care lucrează în direcția piesei.

Lucrarea maximă ce rezultă din forța orizontală și care lucrează asupra piesei în cestiune este :

$$K'' = \frac{M i''}{I}$$

în care K'' este lucrarea maximă pe C_m^2 în mijlocul piesei, M momentul încovoitor și egal cu $\frac{h l}{8}$, i'' distanța de la centru de greutate a secțiunii la fibra cea mai îndepărtată, I momentul de inerție al secțiunii, h forța orizontală a vântului și l proiecțiunea verticală a piesei.

Lucrarea maximă totală a piesei este dar :

$$(I) K = K' + K'' + \frac{S}{D \max.} = \frac{M i''}{I}$$

Piesele fiind presate la extremități în direcția lor, care s'au presupus libere, au tendința a se încovoia, s'a căutat a se vedea dacă secțiunile date au momente de inerție suficiente pentru a rezista cu siguranță la flexiune. Pentru aceste cercetări s'a aplicat formula :

$$(II) I_n = \frac{D \max. L^2}{400}$$

în care I_n este momentul de inerție a secțiunii, necesar de a rezista la flexiune cu o siguranță de 5, L lungimea piesei în metri și $D \max.$, forța maximă care lucrează în direcția piesei.

Cu ajutorul formulelor (I) și (II) s'au întocmit următorul tablou :

Arătarea pieselor	FORȚE		Lungimea piesei m.	Proiecțiunea verticală a piesei Cm.	Momentul de inerție a piesei I Cm ⁴	Depărtarea centrului de greutate a secției de fibra exterioară Cm	Momentul incovoator ce rezultă din vânt M K. Cm.	Secția pieselor in Cm ² S Cm ²	Lucrarea maximă pe Cm ² Kg.	Moment de inerție	
	in direcția pie- selor D max. Kg.	orizontale h Kg.								necesar in Cm ⁴	minimul a sec- țiunii Cm ⁴
I—II	1080	6,15	2,416	58,4	758	12,4	44,2	33,12	34	15,8	182,2
II—III	2024	39,73	2,651	98,2	"	"	486,6	"	69	35,5	"
III—IV	3363	157,78	2,893	145,3	941	13,4	2865,6	34,32	138	70,2	182,3
IV—V	4693	473,75	3,199	203,2	1207	14,5	12033,0	35,52	284	121,2	182,3
V—VI	6177	1899,54	3,940	235,00	79543	"	"	"	1130	239,6	"
VI—VII	7943	—	4,633	463,3	"	"	"	"	224	427,5	"

De unde se vede că lucrarea maximă a oțelului este 1130 kg. pe cm^2 iar siguranța în contra flexiunii este mai mult ca suficientă, afară de piesele V—VI și VI—VII dar dacă luăm în considerație că piesa V—VI este fixată la mijlocul ei de zid și piesa VI—VII este făcută solidară cu altă piesă, vedem că ambele aceste piese au o siguranță în contra flexiunii, mai mult ca suficientă.

2. INELELE

1) *Inelul de închidere I.* Acest inel lucrează numai la compresiune. Forțele care lucrează în el sunt :

$$T_1 = - 3349 \text{ Kg.}$$

forța deja calculată și care provine din forțele verticale, și

$$T_1' = - \frac{10 \text{ h.}}{2} \frac{1}{\cos 9^\circ} = - \frac{10.1236}{2.0,987} = - 6261 \text{ kg.}$$

Forța care provine din componenta orizontală a vântului.

Forța maximă este :

$$T = T_1 + T_1' = - 9610 \text{ kg.}$$

Lucrarea maximă a inelului pe cm^2 este :

$$K_1 = \frac{9610}{S} = \frac{9610}{40} = 242,5 \text{ kg.}$$

Momentul de inerție necesar, cu o siguranță de 5 este :

$$I_1 \text{ n} = \frac{9610.L^2}{400} = \frac{9610.0,7^2}{400} = 11,17 \text{ cm}^4$$

Momentul de inerție minimal al secției inelului fiind 192 cm^4 , siguranța la flexiune este cu mult mai mare de cât cea necesară.

2) *Inelul II.* Acest inel poate să lucreze la tracțiune sau compresiune după cum va fi încărcată cupola și după cum este considerat acest inel.

Dacă admitem cazul defavorabil că acest inel este cel din urmă al sistemului, tensiunea în el este :

$$T_2 = \frac{D^1 \max. \cos d_1}{2 \sin \frac{\pi}{n}} = \frac{1080 \cdot 2,344}{2 \cdot 0,156 \cdot 2,416} = 3102 \text{ kg.}$$

iar lucrarea maximă pe cm^2 este :

$$K_2 = \frac{3102}{S} = \frac{3102}{9,76} = 310 \text{ kg.}$$

Forțele care lucrează în inel la compresiune sunt :

$$T_2 = - 3005 \text{ kg}$$

forța deja calculată și care rezultă din forțele verticale și

$$T'_2 = \frac{10 \cdot v^2}{2,2} \frac{1}{\cos 90} = \frac{10 \cdot 6,15}{4 \cdot 0,987} = - 15,5 \text{ kg.}$$

Forța care rezultă din componentă orizontală a vântului. Forța maximă este dar :

$$T = T_2 + T'_2 = -3020,6 \text{ kg.}$$

Momentul de inerție necesar, cu o siguranță de 5 este :

$$I_{2n} = \frac{3020,6 \cdot 1,44^2}{400} = 16 \text{ cm.}$$

Momentul de inerție minimal al secțiunii fiind 16 cm, siguranța la flexiune este suficientă.

3) *Inelul III.* Dacă admitem că acest inel este cel din urmă al sistemului, în acest caz inelul lucrează la tracțiune și tensiunea lui maximă este :

$$T_3 = \frac{D^2 \max \cos d_2}{2 \sin 90} = \frac{2024 \cdot 2,463}{2 \cdot 0,156 \cdot 2,651} = 6011 \text{ kg.}$$

Lucrarea maximă ce rezultă pe Cm^2 este dar :

$$K_3 = \frac{6011}{S} = \frac{6011}{9,56} = 601 \text{ kg.}$$

Forțele care lucrează în inel la compresiune sunt :

$$T_3 = -4044 \text{ Kg.}$$

$$\text{și } T_3' = -\frac{10 \cdot v_3}{2 \cdot 2 \cos 9^\circ} = -\frac{10 \cdot 39,73}{4,0,987} = -100 \text{ Kg.}$$

Forța maximă este dar

$$T = T_3 + T_3' = -4144 \text{ Kg.}$$

Momentul de inerție necesar cu o siguranță de 5 este

$$I_3 n = \frac{4144 \cdot 2,2^2}{400} = 50 \text{ Cm}$$

Momentul de inerție minimul al secțiunii fiind 16 Cm, siguranța în contra flexiunii n'ar fi suficientă dacă sub inelul în chestie n'ar fi inelul de lemn cu care se află solidar și încă alte inele intermediare, cu toate că asemenea expedient nu este recomandabil.

4) *Inelul IV.* Presupunând că acest inel este cel din urmă al sistemului, forța maximă care lucrează la tracțiune este :

$$T_4 = \frac{D_3 \max. \cos. \alpha_3}{2 \sin 9^\circ} = \frac{3363 \cdot 2,50^2}{2 \cdot 0,156 \cdot 2,893} = 9294 \text{ Kg.}$$

Lucrarea maximă pe Cm² este dar

$$K_3 = \frac{9294}{S} = \frac{9244}{9,76} = 949 \text{ Kg.}$$

Forțele care lucrează în inel la compresiune sunt :

$$T_4 = -4166 \text{ kg.}$$

$$\text{și } T_4' = -\frac{10 \cdot v_4}{2 \cdot 2 \cos 9^\circ} = -\frac{10 \cdot 157,18}{4 \cdot 0,987} = -399 \text{ kg.}$$

Forța maximă este dar :

$$T = T_4 + T_4' = -4565 \text{ kg.}$$

Momentul de inerție necesar cu o siguranță de 5 este :

$$I_4 n = \frac{4565 \cdot 2,99^2}{400} = 102 \text{ cm.}$$

Momentul de inerție minimal a secțiunii fiind 16 cm., siguranța în contra flexiunii n'ar fi de loc suficientă dacă inelul n'ar fi solidar cu inelul de lemn ce vine d'asupra și dacă n'ar fi și alte inele intermediare.

5) *Inelul V.* Considerând acest inel ca cel din urmă al sistemului, forța maximă care lucrează la tracțiune este :

$$T_5 = \frac{D_4 \max. \cos \alpha_4}{2 \sin 9^\circ} = \frac{4963.2,472}{2.0,156.3,199} = 12\ 268 \text{ kg.}$$

Lucrarea maximă pe cm.² este :

$$K_5 = \frac{12268}{12,11} = 1012 \text{ kg.}$$

Forțele care lucrează la compresiune în inel sunt :

$$T_5 = -0,866$$

$$\text{și } T'_5 = - \frac{10.v_5}{2.2 \cos 9^\circ} = - \frac{10.473,75}{4.0,987} = -1200 \text{ kg.}$$

Forța maximă este :

$$T = T_5 + T'_5 = - 2066 \text{ kg.}$$

Momentul de inerție necesar cu o siguranță de 5 este :

$$I_{5n} = \frac{2066.3,37^2}{400} = 73 \text{ cm.}$$

Momentele de inerție minimal al secțiunii fiind 30 cm. siguranța în contra flexiunii n'ar fi suficientă dacă acest inel n'ar fi solidar cu inelul de lemn ce vine d'asupra și dacă n'ar fi și alte inele intermediare.

6) *Inelul VI.* Considerând acest inel ca cel din urmă, forța maximă la tracțiune este :

$$T_6 = \frac{D_5 \max. \cos \alpha_5}{2 \sin 9^\circ} = \frac{6177.2,074}{2.0,156.3.35} = 12223 \text{ kg.}$$

Lucrarea maximă pe cm.² este :

$$K_6 = \frac{12223}{S} = \frac{12223}{12,11} = 1009 \text{ kg.}$$

Forța care lucrează la compresiune în inel este :

$$T_6 = T_6 - \frac{10.1899.54}{2.2. \cos 90^\circ} = + 3773 - 5891 = - 1118 \text{ kg.}$$

Momentul de inerție necesar cu o siguranță de 5 este :

$$I_n = \frac{1118,442^2}{400} = 56,5 \text{ cm.}$$

Momentul de inerție minimal al secției fiind 30 cm. siguranța în contra flexiunii nu este suficientă, considerând că n'ar exista ancorarea în zid și inelele de lemn.

7) *Inelul VII.* Acest inel lucrează numai la tracțiune, forța care lucrează în el este :

$$T_7 = 2581 \text{ kg.}$$

Lucrarea maximă este dar :

$$K_7 = \frac{2581}{S} = \frac{2581}{20} = 129,5 \text{ kg.}$$

E. Radu.

