

CALCULUL SI PROIECTAREA CU AJUTORUL METODEI ELEMENTULUI FINIT A UNEI HALE INDUSTRIALE CU DESCHIDERE/INALTIME DE 18/6 M PENTRU VERIFICAREA TEHNICA A AUTOCAMIOANELOR GRELE TIR

Autor: Zlateanu Tudor, prof. univ. dr. ing. Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti

1. CARACTERISTICI TEHNICE PRINCIPALE

Hala industrială este de tip ușor fiind folosită la adăpostirea echipamentelor necesare pentru verificarea tehnică a autocamionelor grele TIR. Hala are un acoperiș ușor și fără pod rulant.

Dimensiuni principale.

- înălțime 6 m;
- deschidere hala 18 m;
- traveia (distanța dintre modulele de hala pe lungimea ei: 6 m;
- înălțimea fermei: 1,2 ... 1,5 m.

Masa fermei mari: 1067kg.

Masa fermei mici: 567kg.

Masa stalpului: 416kg.

Masa modulului de hala: 2487 kg.

Masa estimată a acoperișului : $4,96 \cdot 10^5$ N.

2. PARTI COMPONENTE

Hala se compune din următoarele părți: 4 module de hala, contravanturi orizontale, paneele și elementele ușoare de acoperiș.

Structura de rezistență a halei este modulul de hala. Acesta este compus din:

Ferma mare cu deschiderea de 12 m având ca talpa inferioară 2 profile U14, ca talpa superioară 2 profile U12 și drept diagonale 2 profile L60 x 60 x 6 solidarizate la distanțe de 1,5 m prin gusee din tablă cu grosimea de 8 mm.

Ferma mică cu deschiderea de 6 m având aceleași elemente constructive ca și ferma mare. Asamblarea celor 2 ferme se face pe șantier, prin sudură.

Stalpi sunt cu secțiune compusă din 2 profile U 22 solidarizați lateral cu placute.

Contravantuirile de stalpi, de acoperiș și paneele sunt executate din 2 profile L60 x 60 x 6.

3. BREVIAR DE CALCUL

3.1. STABILIREA MODELULUI DE CALCUL

Pentru calculul structurii schelei mobile pe calculator, s-a adoptat un model de calcul ce permite utilizarea unor softuri de analiză cu elemente finite. Având în vedere că structura utilizează profile cu pereți subțiri (sub 10 mm) și este organizată în plan, cel mai potrivit program de analiză cu elemente finite este SAP.

In acest scop nodurile si barele structurii s-au constituit, cu unele mici aproximatii geometrice, in tot atatea noduri, respectiv elemente ale modelului de calcul. Modelul de calcul prezentat in fig. 1, reda configuratia structurii in 2D, inclusiv rezemele acesteia. Fiecare element si nod al structurii este identificat printr-un numar (fig. 2). In programul de calcul, fiecarei bare a modelului i se atribuie o anumita sectiune, al carui simbol este prezentat in fig. 2. Nodurile structurii sunt date de coordonatele carteziene intr-un sistem de coordonate rectangular global xyz.

3.2. MATERIALE. SECTIUNI UTILIZATE SI CARACTERISTICILE ACESTORA

Materialul utilizat este OL 37.2, cu urmatoarele caracteristici de rezistenta:

- rezistenta la rupere la tractiune minima, $\sigma_r = 360$ MPa;
- limita de curgere minima, pentru produs cu grosimea de max 16 mm, $\sigma_c = 240$ MPa;
- tensiunea admisibila: 160 MPa;
- coeficientul de siguranta al elementelor structurii fata de limita de curgere: 1,5;
- alungirea la rupere $A = 25$ %
- rezilienta garantata la 20^0 C, $KV_{min} = 27$ J;
- sudabilitate neconditionata.

3.3 DETERMINAREA INCARCARILOR ASUPRA STRUCTURII

Evaluarea actiunilor asupra halei se face in conformitate cu reglementarile date de SR 10101/0A-77. In scopul alcatuirii unor grupari de incarcari, pentru calculul structurilor si elementelor halei, s-a reglementat clasificarea actiunilor asupra halei dupa frecventa cu care se manifesta, (tab. 1).

Tabelul 1

Categoria de incarcare		Simbol	Mod de aplicare	Precizarea actiunilor
Permanente		P	Continuu	- Greutatea proprie a elementelor constructive (portante si de inchidere)
Temporare	Cvasi-permanente	C	Intermitent	- Incarcarea cu praf industrial
	Variabile	V	Intermitent	- Actiuni datorate zapezii - Actiuni datorate vantului - Incarcari date de temperatura exterioara
Exceptionale		E	Intervin rar	- Actiuni seismice

Tabelul 2

Gruparea	Actiunile asupra halei	Coeficientii incarcarii	Elementul de hala
Fundamentala	- Greutatea proprie - Greutate acoperis - Greutate panee - Incarcari din zapada - Incarcari din variatia de temperatura ext.	Coeficientul actiunilor permanente, $n_P = 1,3$ Coeficientul actiunilor variabile, $n_V = 0,9$ (pentru 2 incarcari simultane variabile)	Ferme
Speciala	- Greutatea proprie - Greutate acoperis - Greutate panee - Incarcari din zapada - Incarcari din vant - Incarcari din variatia de temperatura exterioara - seism	Coeficientul actiunilor permanente, $n_P = 1,0$ Coeficientul actiunilor variabile, $n_V = 0,9$ (pentru 2 incarcari simultane variabile) Coeficientul actiunilor exceptionale, $n_E = 1,0$	Stalpi

La calculul elementelor si a structurii halei au fost luate in considerare combinatiile de incarcari cele mai defavorabile, posibile pe intreaga durata de exploatare a constructiei. Modul de grupare a actiunilor asupra halelor industriale este reglementat de SR 10101/0A-77. (tab. 2).

- *Greutatea proprie* a modulului de hala, greutate acoperis, greutate panele: $G = 67\,570\text{ N}$ (greutatea acoperisului, estimat la $G_{ac} = 4,96 \cdot 10^5\text{ N}$)

- *Incarcarile din zapada*, conform SR 10101/21 -92 se determina pe fiecare semiferma, in functie de aria expusa si inclinarea acoperisului si dupa o harta de precipitatii zonala; ea se aplica in nodurile fermei si are valorile calculate de:

- pentru ferma cu panta mai mica, repartizata pe 8 noduri: $F_{110} = 7\,253\text{ N}$

- pentru ferma cu panta mai mare, repartizata pe 4 noduri: $F_{120} = 6\,786\text{ N}$

- *Incarcarile din vant*, conform SR 10101/20 -90 se determina pe fiecare stalp, in functie de aria expusa si inclinarea acoperisului si dupa o harta de precipitatii zonala; ea se considera orizontala si se aplica uniform distribuit pe stalpii fermei:

- pentru vantul care bate normal pe deschiderea halei: $q_{1ns} = 1,961\text{ N/mm}$, si este preluat de contravantuirile dintre stalpi pe lungimea halei;

- pentru vantul care bate paralel cu deschiderea halei: $q_{1ps} = 1,042\text{ N/mm}$ si este preluat de fiecare stalp.

- *Incarcari din variatia de temperatura exterioara* sunt neinsemnate si se neglijeaza;

- *Incarcari din actiunile seismice* fac parte din categoria actiunilor exceptionale. Incarcările seismice se considera forte aplicate static, calculul structurii se face in domeniul elastic, iar fortele aplicate sunt forte de inertie orizontale datorate oscilatiilor seismice. Punctele de aplicare a fortelor seismice coincid cu punctele de aplicare a fortelor gravitationale (centre de masa).

In cazul halelor industriale cu un nivel, rezultanta incarcărilor seismice orizontale se determina considerand modul fundamental de vibratie, cu relatia:

$$S = c \cdot G$$

unde: G – incarcările gravitationale provenite din: incarcările gravitationale permanente, P (invelitoare, pane, ferma, contravanturiri, stalp, si pereti) si incarcările gravitationale variabile, V datorate zapezii care se iau in calcul numai cu fractiunile de lunga durata, obtinute prin multiplicare cu un coeficient $n^d = 0,4$ (conform SR 10101/0A-77).

c – coeficientul seismic global al fortei taietoare de baza, (norma P100-81 admite $c=0,064$);

Rezulta: $S = 4\,325\text{ N}$.

In fig. 1 este prezentat modelul de calcul si incarcările care actioneaza asupra modului de hala.

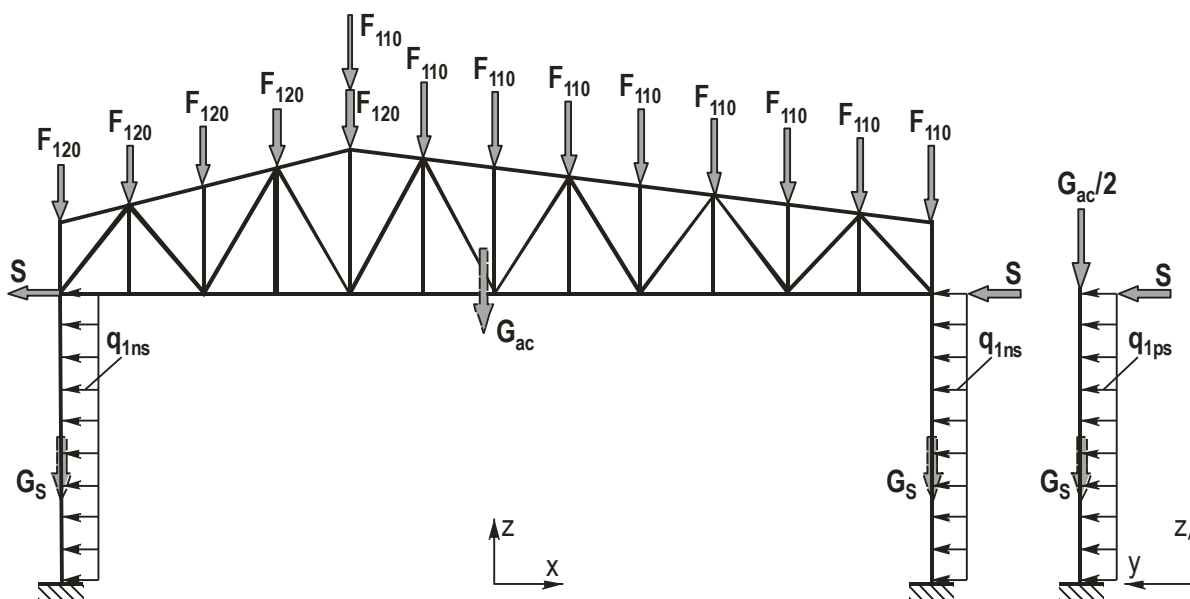


Fig. 1 Modelul de calcul si incarcările care actioneaza asupra modului de hala

3.4. CALCUL DE REZISTENTA AL STRUCTURII

Pentru calculul de rezistenta al structurii schelei, se impune verificarea pentru : talpi, montanti, diagonale si stalpi.

In urma analizei structurii utilizand metoda elementului finit rezulta pentru intreaga structura urmatoarele digrame globale de eforturi (torsiunea si fortele taietoare se neglijeaza):

- diagrama de forte axiale, N , [N];
- diagrama de momente de incovoiere, directia 3-3, M_{33} , [Nmm].

Calculul utilizat este un calcul de verificare, utilizand pentru aceasta metoda tensiunilor admisibile.

Fig. 3, 4 indica diagrame globale de eforturi (pentru intreaga structura de rezistenta).

Tensiunea nominala de calcul la stabilitate elastica pentru o sectiune plina cu 2 axe de simetrie supusa la compresiune axiala si incovoiere pe o directie, se determina cu relatia (cf SR 10108/0-78, tinand seama si de deformata de ordinul II):

$$\sigma_{st\ el} = \frac{N}{\varphi_x \cdot A} + \frac{c_x \cdot M_x}{\varphi_g \cdot \left(1 - \frac{N}{A \cdot \sigma_E}\right) \cdot W_x} \leq \sigma_{ai}$$

in care: N – afortul axial aplicat in centrul de greutate al elementului de ferma , [N];

A – aria sectiunii transversale a stalpului, [mm²];

φ_x – coeficient minim de flambaj in functie de sveltetea stalpului calculata pe directia x;

M_x – momentul incovoietor maxim pe directia x-x;

c_x – coeficientul de corectie al raportului $\frac{M_x}{1 - \frac{\sigma_{nc}}{\sigma_E}}$, stabilit in functie de aliura diagramei de

momente incovoietoare in lungul stalpului. Valoarea lui se determina din tab.28, SR 10108/0-78.

σ_E – tensiunea critica de flambaj, determinata cu relatia lui Euler, $\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$,

corespunzator planului in care se face incovoierea, si care se adopta din tab.26, SR 10108/0-78;

in care: E - modulul de elasticitate longitudinal;

λ – lungimea de flambaj, calculata cu relatia: $\lambda = \mu \cdot l$;

φ_g – coeficient in functie de valoarea $\lambda_{tr} = \gamma \cdot \frac{\mu \cdot l}{i_y}$;

in care: l - lungimea fizica a stalpului;

i_y – raza de giratie (inertie) a sectiunii stalpului in raporta cu axa y-y;

μ – multiplicatorul de flambaj;

γ – coeficient care se adopta din tab.26, SR 10108/0-78, in functie de valoarea $\frac{l^2 \cdot I_r}{h^2 \cdot I_y}$;

in care: I_r – momentul de inertie de rasucire;

h – inaltimea sectiunii stalpului;

I_y – momentul de inertie in raport cu axa y-y

W_x – modul de rezistenta calculat fata de axa x-x.

Tensiunea nominala de calcul pentru cazul in care solicitarea elementului de ferma are loc pe o singura directie, din conditia de rezistenta se determina cu relatia:

$$\sigma_n = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{W_x} \leq \sigma_{ai}$$

in care: M_x – valoarea maxima a momentului incovoietor pe directia de calcul.

Pe aceasta metodologie se pot calcula elementele fermei: montanii, diagonalele, talpa inferioara si talpa superioara. Calculele sunt efectuate tabelar in EXCEL (tab. 3, 4).

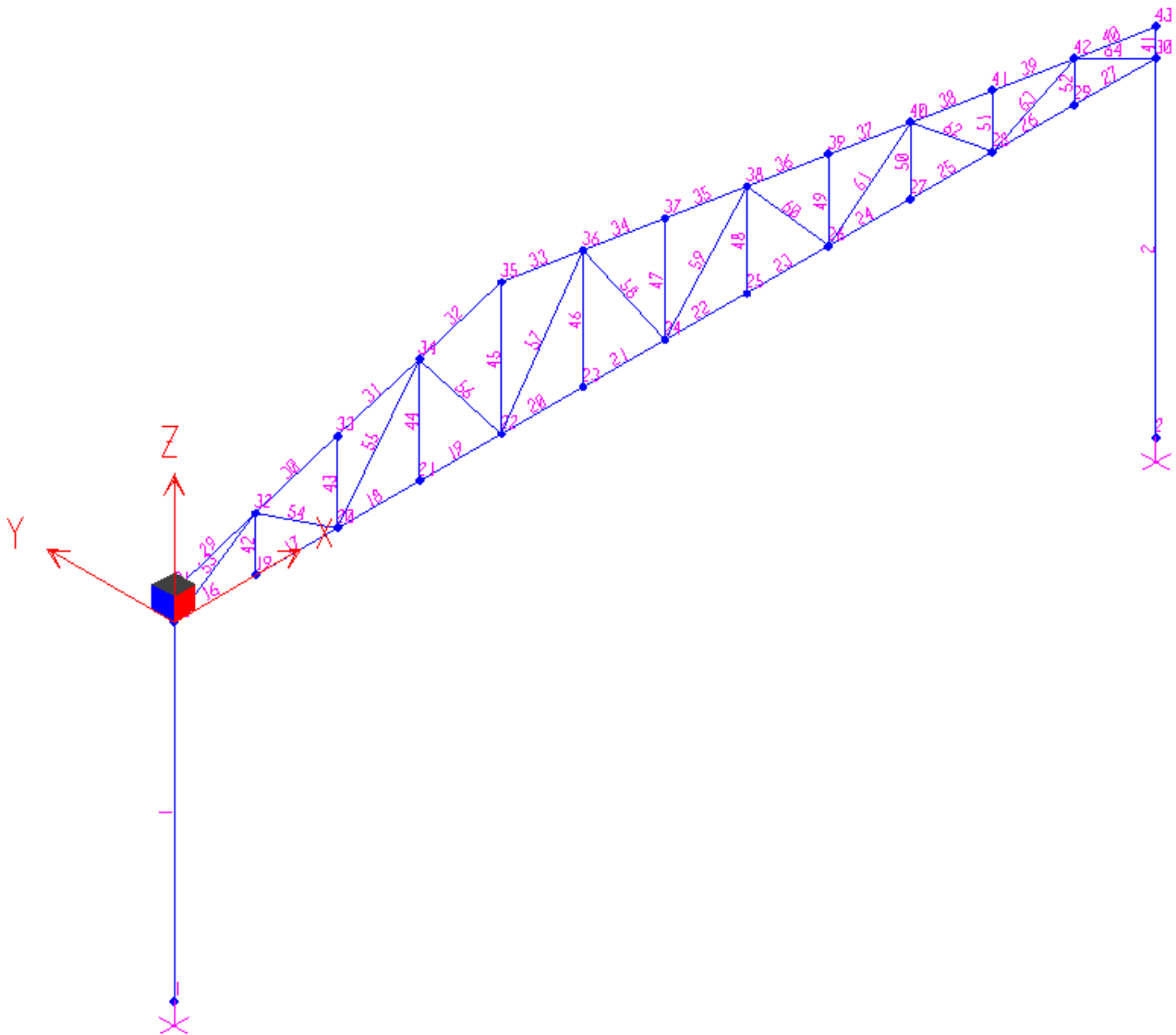


Fig. 2 Identificarea elementelor si nodurilor

Pentru simularea pe computer a comportarii in serviciu a structurii schelei, utilizand programul de simulare SAP s-a procedat astfel:

- s-a reprezentat structura reala utilizand elemente spatiale de tipul FRAME;
- s-au identificat elementele finite si nodurile structurii;
- s-au identificat sectiunile elementelor utilizand simboluri;
- s-au pus condiile la limita;
- s-a incarcat structura in conformitate cu combinatia de incarcari cea mai defavorabila;
- s-a determinat raspunsul structurii la actiunile exterioare: diagramele de eforturi, elementele susceptibile de a realiza un coeficient de siguranta cel mai apropiat de coeficientul de siguranta admisibil (prescris), stabilitatea generala si deformata cu deplasarea fiecarui punct al structurii fata de structura nedeformata (fig. 5).

In fig. 6 este reprezentat modulul de hala industrială, iar in fig. 7 deformata întregii hale.

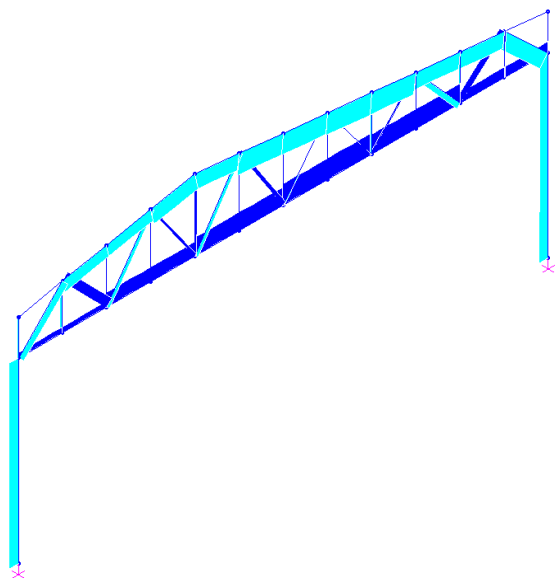


Fig. 3 Diagrama de forte axiale

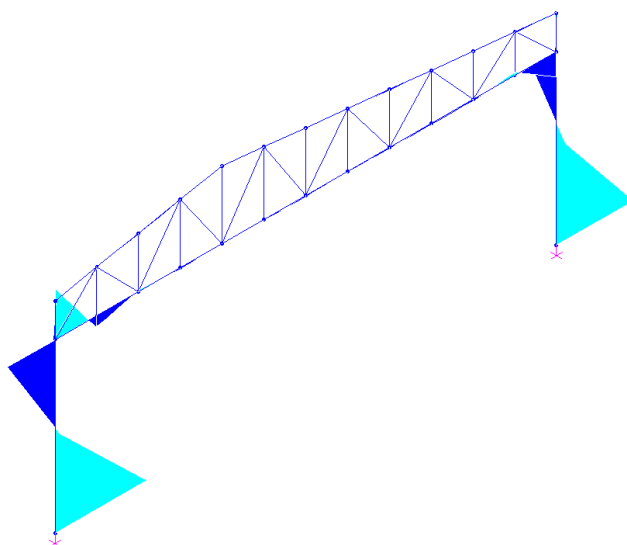


Fig. 4 Diagrama de momente incovoietoare (axa 3-3)

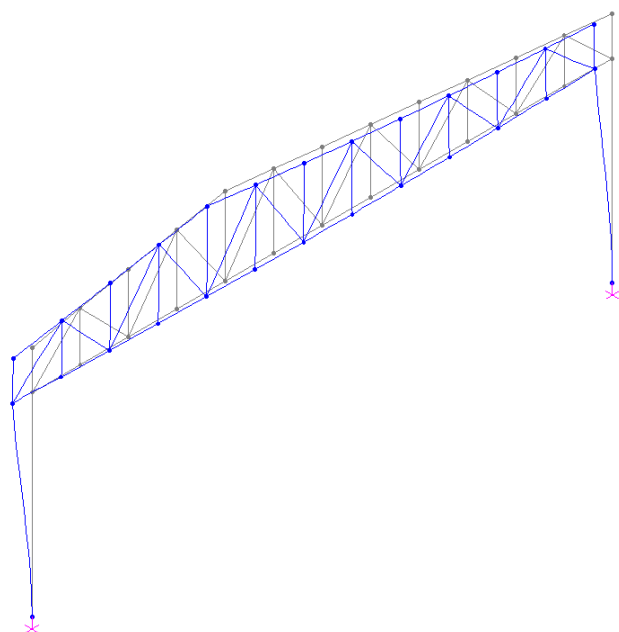


Fig. 5 Deformata modulului de hala

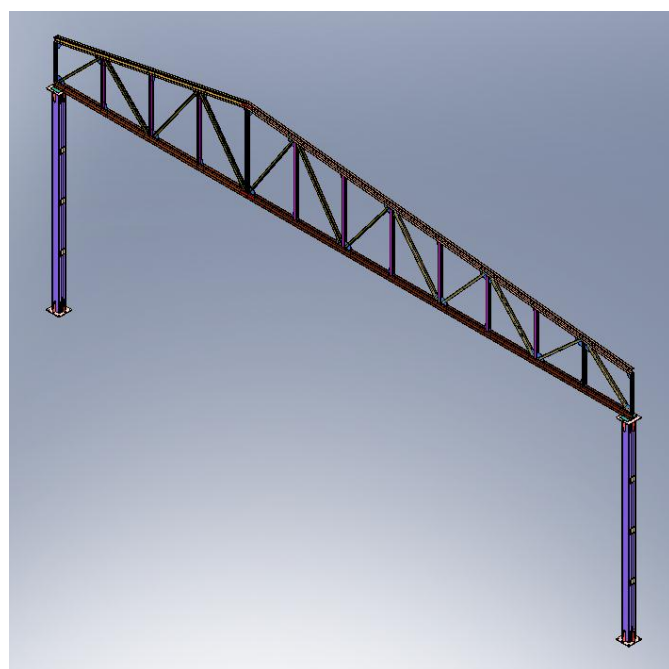


Fig. 6. Modulul de hala industrială (prioectare 3D)

Tabelul 3

Calculul de verificare talpa inferioara (elemente intinse)

Element de tapla inferioara	N	M_1	M_2	M_x	W_x	A	$\sigma_N = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{W_x}$	σ_a
	[N]	[Nmm]	[Nmm]	[Nmm]	[mm ³]	[mm ²]	[MPa]	[MPa]
16	34000	-2.26E+07	5.38E+06	2.26E+07	172860	4080	138.96	160
17	34000	4.98E+06	-6.66E+05	4.98E+06	172860	4080	37.14	160
18	86000	-700000	687000	700000	172860	4080	25.13	160
19	86000	651000	-99000	651000	172860	4080	24.84	160

22	126000	492000	433000	580000	172860	4080	34.24	160
23	126000	567000	422000	615000	172860	4080	34.44	160
24	116000	586000	464000	623000	172860	4080	32.04	160
25	116000	769000	512000	788000	172860	4080	32.99	160
26	64000	-1.71E+06	971000	1.71E+06	172860	4080	25.55	160
27	64000	1.13E+07	-166000	1.13E+07	172860	4080	80.91	160

Tabelul 4

Calculul de verificare a talpii superioare (elemente comprimate)

Element de tapla superioara	N	M_1	M_2	M_x	$\frac{M_2}{M_1}$	c_x	l_f	i_{min}	λ
	[N]	[Nmm]	[Nmm]	[Nmm]	-	-	[mm]	[mm]	-
30	-73000	313000	-159000	313000	-0.508	0.417	750	25.6	29.30
31	-73000	382000	244000	409000	0.639	0.823	750	25.6	29.30
32	-97000	-387000	363000	387000	-0.938	0.434	750	25.6	29.30
33	-96000	-418000	346000	418000	-0.828	0.418	750	25.6	29.30
34	-122000	474000	203000	474000	0.428	0.725	750	25.6	29.30
35	-122000	442000	55000	442000	0.124	0.595	750	25.6	29.30
36	-127000	506000	31000	506000	0.061	0.571	750	25.6	29.30
37	-127000	514000	135000	514000	0.263	0.652	750	25.6	29.30
38	-98000	277000	226000	346000	0.816	0.909	750	25.6	29.30
39	-98000	378000	371000	469000	0.981	0.991	750	25.6	29.30

Continuare tabelul 4

Calculul de verificare a talpii superioare

Element de tapla superioara	φ_x	σ_E	A	$\frac{N}{A \cdot \sigma_E}$	$1 - \frac{N}{A \cdot \sigma_E}$	W_x	$\sigma_N = \frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{M_x}{W_x}$	σ_a
	-	[MPa]	[mm ²]	-	-	[mm ³]	[MPa]	[MPa]
0	1	2	3	4	5	6	7	8
30	0.931	2412.33	3400	0.0089	1.009	121333	25.64	160
31	0.931	2412.33	3400	0.0089	1.009	121333	26.43	160
32	0.931	2412.33	3400	0.0118	1.012	121333	33.83	160
33	0.931	2412.33	3400	0.0117	1.012	121333	33.77	160
34	0.931	2412.33	3400	0.0149	1.015	121333	42.45	160
35	0.931	2412.33	3400	0.0149	1.015	121333	42.18	160
36	0.931	2412.33	3400	0.0155	1.015	121333	44.29	160
37	0.931	2412.33	3400	0.0155	1.015	121333	44.36	160
38	0.931	2412.33	3400	-0.0119	1.012	121333	33.81	160
39	0.931	2412.33	3400	-0.0119	1.012	121333	34.83	160

Observatie: Deoarece contributia termenului de ordinul II este neglijabila (col. 5 si 6), verificarea elementelor talpii superioare se face numai la conditia de rezistenta (col. 7)

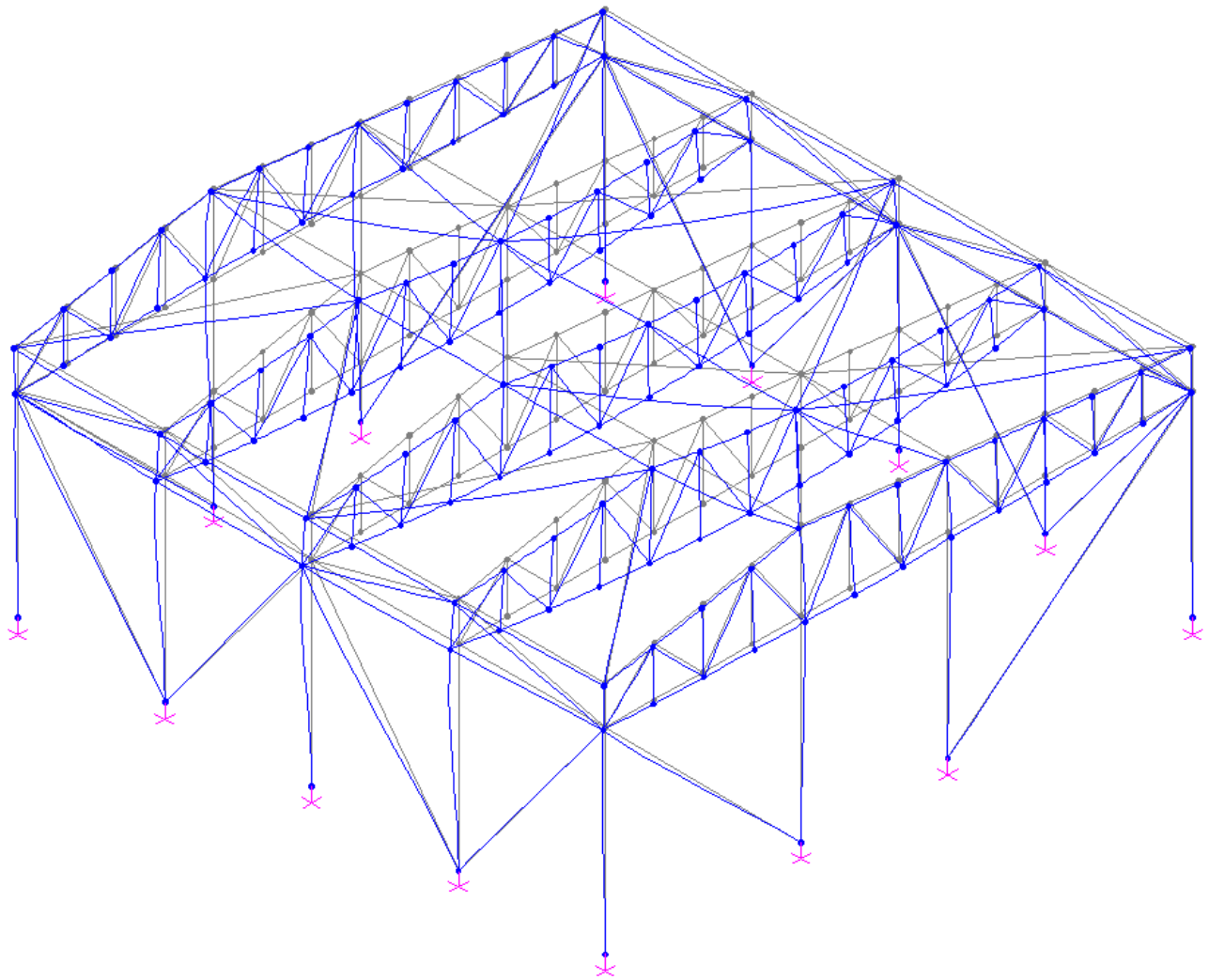


Fig. 7. Deformata halei industrială de tip ușor cu deschiderea / înălțimea / travee de 18 / 6 / 6 m

BIBLIOGRAFIE

1. Serbanescu, C., s.a. – Alcatuirea și calculul structurilor metalice pentru hale industriale. Editura tehnica. Bucuresti, 1987
2. Mateescu, D., s.a. – Construcții metalice. Editura tehnica. Bucuresti, 1980
3. *** 767/0–88 – Construcții din oțel. Condiții tehnice de calitate.
4. *** 768–66 – Construcții din oțel sudate – Prescripții de execuție.
5. *** SR 10101/0A-77 - Acțiuni în construcții
6. *** SR 10101/24A -78 - Acțiunile provenite din variațiile de temperatură exterioară.
7. *** SR 10108/0-78 – Calculul elementelor din oțel.
8. *** SR 10101/21 -92 –Încărcări date de zăpadă.
9. *** SR 10101/20 -90 –Încărcări date de vânt.