

Tipična hala od čelnih diskova, okvira i krovne konstrukcije s limovima

Riko Rosman

Ključne riječi

hala,
okvir, zid,
krovna konstrukcija,
trapezni lim,
posmična greda,
vlastita vibracija

Key words

hall,
frame, wall,
roof structure,
trapezoidal sheet,
shear beam,
system's vibration

Mots clés

halle,
cadre, mur,
toiture,
tôle trapézoïdale,
vibration propre

Schlüsselworte:

Halle,
Rahmen, Wand,
Dachkonstruktion,
Trapezblech,
Schubanken,
eigene Schwingung

R. Rosman

Izvorni znanstveni rad

Tipična hala od čelnih diskova, okvira i krovne konstrukcije s limovima

Prikazan je izvod jednostavnih obrazaca za odzivne veličine tipične hale od čelnih zidova ili rešetki, unutarnjih poprečnih okvira te krovne konstrukcije od trapezoidnih limova i pojaseva. Opterećenje je u poprečnom smjeru hale. Uzeta je u obzir prostorna interakcija navedenih elemenata konstrukcije. Izrađena su dva brojčana primjera. Dani su i obrasci za osnovni period vlastitih bočnih vibracija sustava. Ističe se doprinos postizanju ekonomičnih i estetski povoljnih rješenja.

R. Rosman

Original scientific paper

Typical hall made of frontal disks, frames and metal-sheet roof structure

The author presents derivation of simple models for determining response values of a typical hall composed of frontal walls or lattices, cross frames and the roof structure assembled using trapezoidal sheets and chords. The load is oriented in the transverse direction of the hall. The spatial interaction between the cited structural elements is taken into account. Two numerical examples have been prepared. Models for basic period of lateral vibration of the system itself are also provided. The contribution to the achievement of economical and esthetically favorable solutions is emphasized.

R. Rosman

Ouvrage scientifique original

Halle type en disques frontaux, cadres et toiture avec tôles

L'article décrit quelques formules simples pour les grandeurs de réponse d'un hall type en murs frontaux ou treillis, cadres intérieurs transversaux, avec une toiture en tôles trapézoïdales et membrures. La halle est chargée dans le sens transversal. On prend en considération l'interaction spatiale des éléments cités de la construction. Deux exemples numériques ont été établis. On donne aussi les formules pour la période de base des vibrations latérales propres du système. Les résultats obtenus permettent de trouver des solutions avantageuses sur le plan économique et esthétique.

R. Rosman

Wissenschaftlicher Originalbeitrag

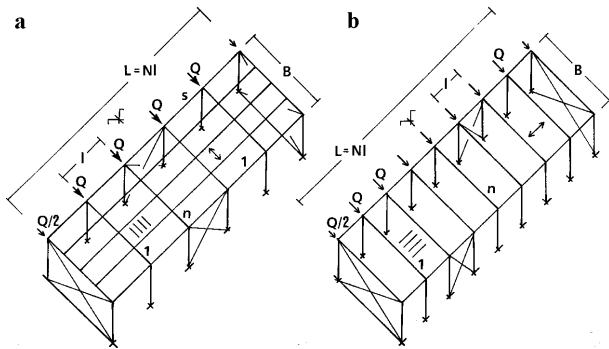
Typische Halle aus Frontal disken, Rahmen und Dachkonstruktion mit Blechen

Dargestellt ist die Ausführung einfacher Formeln für die Abrufgrößen einer typischen Halle aus Frontalwänden oder Fachwerken, inneren Querrahmen und Dachkonstruktion aus Trapezblechen und Gurten. Die Belastung wirkt in Querrichtung der Halle. Die räumliche Interaktion der angeführten Konstruktions-elemente ist in Betracht genommen. Dargestellt sind zwei Zahlenbeispiele. Präsentiert sind Formeln für die Grundperiode der eigenen seitlichen Schwingungen des Systems. Hervorgehoben wird der Beitrag zur Erzielung wirtschaftlich und ästhetisch günstiger Lösungen.

Autor: Akademik prof. dr. sc. **Riko Rosman**, dipl. ing. građ., Zagreb, Šenoina 8

1 Opis zadaće

Analizira se odziv nosive konstrukcije tipične hale od čelnih i unutarnjih poprečnih diskova, krovne konstrukcije i uzdužne ukrute na bočno opterećenje u poprečnom smjeru hale. Čelni diskovi su primjerice zidovi ili rešetke, a unutarnji npr. bezzglobni ili dvozglojni, eventualno četverozglobni okviri. Krovna konstrukcija sastoji se od poprečno orijentiranih trapeznih limova te rubnih i unutarnjih pojasa oslonjenih na poprečne diskove (slika 1.a) ili od uzdužno orijentiranih trapeznih limova te rubnih pojasa oslonjenih na poprečne diskove (slika 1.b). Značenje je oznaka:



Slika 1. Tipične hale s krovnom konstrukcijom od a) poprečno i b) uzdužno orijentiranih trapeznih limova

N , l , L broj polja, dužina jednog polja i dužina hale; n broj okvira s jedne strane poprečne ravnine simetrije hale uključiv u sustav s parnim N i okvir u toj ravnini; B , s širina hale i broj pojasa krovne konstrukcije.

Brojevi n i N povezani su relacijom $N = 2n$ ako je N paran odnosno $N = 2n + 1$ ako je N neparan.

Opterećenje je jednoliko podijeljeno duž hale intenziteta q , a simulira ga se čvornim silama Q odnosno $Q/2$.

Pri tradicionalnom rješenju opisane zadaće zanemaruje se krutost krovne konstrukcije hale u njezinoj ravnini i time njezina sposobnost prenošenja dijela opterećenja uzduž hale na čelne diskove, pa se smatra da opterećenje u cijelosti preuzimaju poprečni diskovi. Napose u području jačih potresnih uzbuda i time znatnoga bočnog opterećenja okviri onda moraju imati znatne presjeke da bi zadovoljili kriterije čvrstoće i krutosti.

Kako krovna konstrukcija ionako postoji zbog zatvaranja prostora, adekvatnim detaljiranjem i ostvarenjem mogućnosti da ona uzduž hale djeluje kao disk ili greda oslonjena na čelne diskove, može se

znatno rasteretiti okvire te postignuti ekonomičnija i ljepša rješenja.

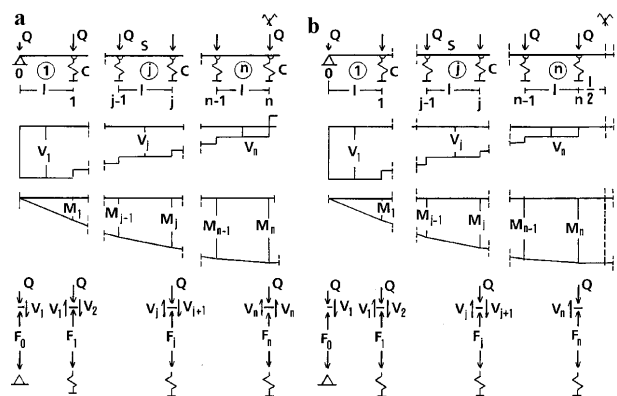
Analizom deformabilnosti panoa od trapeznih limova u njihovoj ravnini [1 - 4] utvrđeno je da je ona dominantno posmična, tj. uzrokovana pretežno utjecajem poprečne sile, dok je utjecaj momenta savijanja znatno manji.

U ovome radu razrađuje se postupak iznalaženja odzivnih veličina sustava vodeći računa o prostornoj interakciji krovnog diska, čelnih diskova i okvira. Utvrđivanje podatljivosti panoa od trapeznih limova i bočne krutosti okvira smatra se poznatim iz literature pa se ovdje ne tretira. Pokazano je i iznalaženje osnovnog perioda vlastitih bočnih vibracija sustava, kako bi se sukladno relevantnim propisima moglo adekvatno utvrditi maseno opterećenje zbog potresa.

Srodan tip hale kada se krutost krovnog diska u njegovoj ravnini ostvaruje uzdužnim spregom, npr. rešetkom, analiziran je u [5]. Deformabilnost krovnog diska onda je dominantno fleksijska, dakle određena savijanjem, pa je formulacija rješenja zadaće složenija, jer su konstitucijske jednadžbe, dakle jednadžbe koje povezuju unutarnje sile i deformacije, pri fleksijskom djelovanju složenije nego pri posmičnom.

2 Mehanička shema sustava

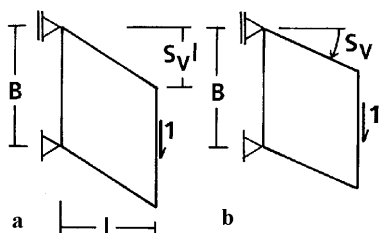
S mehaničkog aspekta sustav je posmična greda, tj. greda kod koje je deformacija dominantno određena utjecajem poprečne sile, zglobno oslonjena na 2 nepomična ležaja na krajevima i $N - 1$ unutarnjih elastičnih ležaja koji simuliraju okvire (slika 2.).



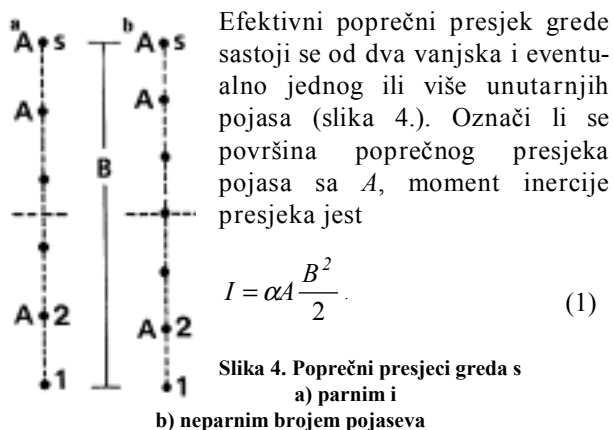
Slika 2. Mehanička shema sustava sa a) parnim i b) neparnim brojem polja, dijagrami poprečne sile i momenta savijanja, isječeni čvorovi i sile koje na njih djeluju te akcije na vanjske i unutarnje ležajeve greda

Posmična podatljivost panoa, $S_V l$ (dužina/sila), krovne konstrukcije dužine l i visine B definira se

kao relativni pomak poprečnih krajeva panoa poradi jedinične poprečne sile (slika 3.a), a utvrđuje se na osnovi teorije profiliranih limova i/ili eksperimentalnih istraživanja. Posmična podatljivost grede, S_V (1/sila), jest nagib progibne linije zbog jedinične poprečne sile (slika 3.b), a u mehanici materijala odgovara recipročnoj vrijednosti produkta modula smicanja i posmične površine njezinog poprečnog presjeka. - Izraz "podatljivost" ovdje se rabi umjesto uobičajenijeg izraza "fleksibilnost" - jer ona nije određena savijanjem.



Slika 3. Definicije posmične podatljivosti a) panoa i b) grede



Efektivni poprečni presjek grede sastoji se od dva vanjska i eventualno jednog ili više unutarnjih pojaseva (slika 4.). Označi li se površina poprečnog presjeka pojasa sa A , moment inercije presjeka jest

$$I = \alpha A \frac{B^2}{2} \quad (1)$$

Slika 4. Poprečni presjeci grede s a) parnim i b) neparnim brojem pojaseva

Pritom je $AB^2/2$ moment inercije odgovarajućeg presjeka koji ima samo vanjske pojase, a bezdimenzionalni amplifikacijski koeficijent

$$\alpha = \frac{s(s+1)}{6(s-1)} \quad (2)$$

uvodi u račun doprinos unutarnjih pojaseva. Npr. za $s = 2$ (slika 1.b) je $\alpha = 1$, a za $s = 5$ (slika 1.a) je $\alpha = 1,25$.

U izvodu obrasca za α pretpostavljena je linearna raspodjela normalnih napona duž visine presjeka, a doprinosi vlastitog momenta inercije pojaseva nisu uzeti u obzir jer su u usporedbi s doprinosom prema Steineru zanemarivi.

Relativno mali utjecaj savijanja na progibe grede može se približno uzeti u obzir uvođenjem pojma njezine ukupne posmične podatljivosti. Progib u

polovištu raspona posmično-fleksijske proste grede raspona L , dakle grede pri kojoj i smicanje i savijanje pridonose progibima, opterećene jednoliko podijeljenim opterećenjem intenziteta q , iznosi

$$W = w_V + w_M = S_V M + \frac{L^2 M}{9,6EI} \quad (3)$$

gdje je $M = qL^2/8$ moment savijanja u polovištu raspona a E modul elastičnosti pojasa.

Uz oznaku

$$S_M = \frac{L^2}{9,6EI} \quad (4)$$

za ekvivalentnu posmičnu krutost (1/sila) kojom se u račun uvodi utjecaj savijanja na progibe, ukupni se progib može zapisati u obliku

$$w = SM, \quad (5)$$

gdje je

$$S = S_V + S_M \quad (6)$$

ukupna posmična podatljivost (1/sila) grede.

Bočna krutost okvira, C (sila/dužina), definirana je kao bočna sila na koti prečke koja uzrokuje jediničan pomak prečke u ravni okvira.

Greda je napregnuta poprečnim silama $V_j, j = 1..n$. Iz poprečnih sila slijede ležajni momenti savijanja

$$M_0 = 0, \quad M_j = I \sum_{i=1}^j V_i \quad (j = 1..n) \quad (7)$$

Momenti savijanja ostvaruju se uzdužnim silama u pojasevima, a najveće su u vanjskim pojasevima,

$$P_j = \frac{M_j}{\alpha B} \quad (j = 1..n) \quad (8)$$

Reakcije su grede i time njezine akcije na čelne diskove i okvire

$$F_0 = V_1 + \frac{Q}{2}, \quad (9)$$

$$F_j = V_{j+1} - V_j + Q, \quad (j = 1..n-1)$$

$$F_n = -2V_n + Q, \quad (\text{paran } N) \quad (10)$$

$$F_n = -V_n + Q, \quad (\text{neparan } N)$$

3 Sustav jednadžbi kompatibilnosti

Jednadžbe kompatibilnosti deformacije mogu se izvesti metodom sila ili primjenom principa o minimumu komplementarne energije. Stupanj

hiperstatičnosti jednak je broju n okvira s jedne strane poprečne ravnine simetrije sustava.

Komplementarne su energije grede i elastičnih pera

$$U_V = St \sum_{j=1}^n V_j^2, \quad (11)$$

$$U_C = \frac{1}{C} \left(\sum_{j=1}^{n-1} F_j^2 + \frac{F_n^2}{2} \right), \quad (\text{paran } N) \quad (12)$$

$$U_C = \frac{1}{C} \sum_{j=1}^n F_j^2. \quad (\text{neparan } N)$$

Uz oznaku

$$t = SIC \quad (13)$$

za bezdimenzionalni parametar krutosti sustava i korištenjem jednadžbe (10) za C -struku komplementarnu energiju sustava dobije se konačni izraz

$$CU = t \sum_{j=1}^n V_j^2 + \sum_{j=1}^{n-1} (V_{j+1} - V_j + Q)^2 + \frac{1}{2} (-2V_n + Q)^2. \quad (\text{paran } N) \quad (14)$$

$$CU = t \sum_{j=1}^n V_j^2 + \sum_{j=1}^{n-1} (V_{j+1} - V_j + Q)^2 + (-V_n + Q)^2. \quad (\text{neparan } N)$$

Uvjetne jednadžbe

$$\frac{\partial(CU)}{\partial V_j} = 0 \quad (j=1..n) \quad (15)$$

principa o minimumu komplementarne energije daju sustav jednadžbi kompatibilnosti

$$\begin{aligned} (1+t)V_1 - V_2 &= Q, \\ -V_{j-1} + (2+t)V_j - V_{j+1} &= 0 \quad (j=2..n-1) \\ -V_{n-1} + (3+t)V_n &= 0, \quad (\text{paran } N) \\ -V_{n-1} + (2+t)V_n &= 0, \quad (\text{neparan } N) \end{aligned} \quad (16)$$

Radi bolje preglednosti i jednostavnosti zapisa poprečne se sile izraze kao produkt bezdimenzionalnog koeficijenta poprečne sile i čvorne sile,

$$V_j = v_j Q, \quad (j=1..n) \quad (17)$$

pa sustav jednadžbi poprečnih sila postaje sustavom jednadžbi njegovih koeficijenata,

$$\begin{aligned} (1+t)v_1 - v_2 &= 1, \\ -v_{j-1} + (2+t)v_j - v_{j+1} &= 0, \quad (j=2..n-1) \\ -v_{n-1} + (3+t)v_n &= 0 \quad (\text{paran } N) \\ -v_{n-1} + (2+t)v_n &= 0 \quad (\text{neparan } N) \end{aligned} \quad (18)$$

Prva i posljednja jednadžba sustava (18) sadrže po dvije, a unutarnje po tri nepoznanice. Apsolutni članovi svih jednadžbi osim prve jednaki su nuli. Zbog specifičnog oblika matrice koeficijenata i vektora apsolutnih članova lako se može formulirati opće rješenje sustava. Na osnovi n -te jednadžbe v_{n-1} se izrazi s pomoću v_n , na osnovi $(n-1)$ -te jednadžbe v_{n-2} opet s pomoću v_n , itd., i konačno se na osnovi prve jednadžbe v_1 izrazi kao funkcija čvorne sile Q . U sljedećem poglavlju daju se opća rješenja za dvopoljne do devetopoljnih sustava.

4 Koeficijenti poprečnih sila dvopoljnih do devetopoljnih sustava

Dvopoljni sustav ($n=1, N=2$):

$$v_1 = \frac{1}{2+t}. \quad (19)$$

Tropoljni sustav ($n=1, N=3$):

$$v_1 = \frac{1}{1+t}. \quad (20)$$

Četveropoljni sustav ($n=2, N=4$):

$$\begin{aligned} D_4 &= 2 + 4t + t^2; \\ v_1 &= \frac{3+t}{D_4}, v_2 = \frac{1}{D_4}. \end{aligned} \quad (21)$$

Petopoljni sustav ($n=2, N=5$):

$$\begin{aligned} D_5 &= 1 + 3t + t^2; \\ v_1 &= \frac{2+t}{D_5}, v_2 = \frac{1}{D_5}. \end{aligned} \quad (22)$$

Šestopoljni sustav ($n=3, N=6$):

$$\begin{aligned} D_6 &= 2 + 9t + 6t^2 + t^3; \\ v_1 &= \frac{5+5t+t^2}{D_6}, v_2 = \frac{3+t}{D_6}, v_3 = \frac{1}{D_6}. \end{aligned} \quad (23)$$

Sedmpoljni sustav ($n=3, N=7$):

$$\begin{aligned} D_7 &= 1 + 6t + 5t^2 + t^3; \\ v_1 &= \frac{3+4t+t^2}{D_7}, v_2 = \frac{2+t}{D_7}, v_3 = \frac{1}{D_7}. \end{aligned} \quad (24)$$

Osmopoljni sustav ($n=4, N=8$):

$$\begin{aligned} D_8 &= 2 + 16t + 20t^2 + 8t^3 + t^4; \\ v_1 &= \frac{7+14t+7t^2+t^3}{D_8}, \end{aligned} \quad (25)$$

$$v_2 = \frac{5 + 5t + t^2}{D_8}, v_3 = \frac{3 + t}{D_8}, v_4 = \frac{1}{D_8}.$$

Devetopoljni sustav ($n = 4, N = 9$):

$$D_9 = 1 + 10t + 15t^2 + 7t^3 + t^4;$$

$$v_1 = \frac{4 + 10t + 6t^2 + t^3}{D_9}. \tag{26}$$

$$v_2 = \frac{3 + 4t + t^2}{D_9}, v_3 = \frac{2 + t}{D_9}, v_4 = \frac{1}{D_9}.$$

5 Odzivne veličine i njihove ekstremne vrijednosti

Pošto su proračunani koeficijenti v_j odrede se poprečne sile,

$$V_j = v_j Q, \tag{27} \quad (j = 1..n)$$

momenti savijanja

$$M_j = l \sum_{i=1}^j V_i = m_j Q l, \tag{28} \quad (j = 1..n)$$

te progibi i nagibi

$$w_j = SM_j, \quad w'_j = SV_j \quad (j = 1..n) \tag{29}$$

krovnog diska u njegovoj ravnini. w - i M -krivulje su dakle affine; prva se dobije iz druge množenjem s podatljivošću S grede.

Akcije su na čelne diskove i okvire

$$F_0 = f_0 \frac{Q}{2}, \tag{30}$$

$$F_j = Cw_j = SCM_j. \tag{31} \quad (j = 1..n)$$

Bezdimenzionalni su koeficijenti momenta savijanja i akcija

$$m_j = \sum_{i=1}^j v_i = m_{j-1} + v_j, \tag{32} \quad (j = 1..n)$$

$$f_0 = 2v_1 + 1. \tag{33}$$

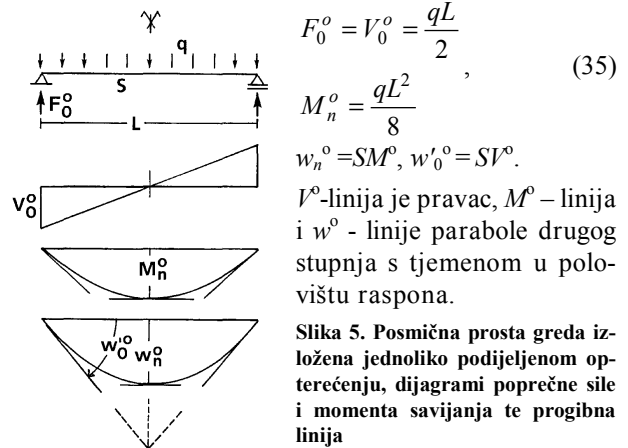
U fazi preliminarnog projekta hale čelne diskove treba shema sustava prema tradicionalnoj analizi, akcije na poprečne diskove i poznavati samo ekstremne vrijednosti u odzivnih veličina,

$$\begin{aligned} \max V &= V_1 = v_1 Q, \\ \max M &= M_n = m_n Q l, \\ \max w &= w_n = SM_n, \\ \max w' &= w'_1 = SV_1; \\ \max F &= F_n = Cw_n = SCM_n \end{aligned} \tag{34}$$

te akciju F_0 na čelne diskove (30).

6 Uvid u rasterećujući utjecaj okvira na krovni disk i rasterećujući utjecaj krovnog diska na okvire

Uvid u rasterećujući utjecaj okvira na krovni disk može se steći time da se izvedeni rezultati za mjerodavne odzivne veličine (30) i (34) usporede s rezultatima odgovarajućeg sustava u kojem je bočna krutost C okvira jednaka nuli (slika 5). Ti su očito



Uvid u rasterećujući utjecaj krovnog diska na okvire može se steći tako da se izvedeni rezultati za mjerodavne odzivne veličine (30) i (34) usporede s rezultatima tradicionalne analize sustava u koje se smatra da krovni disk ne djeluje kao greda raspona jednakog razmaku čelnih diskova nego kao niz prostih greda koje opterećenje svakog polja prenose isključivo na susjedne poprečne diskove (slika 6). Onda su akcije na poprečne diskove i progibi:

$$F_0^* = \frac{Q}{2},$$

$$F_j^* = Q, \quad (j = 1..n) \tag{36}$$

$$w_j^* = \frac{Q}{C} \quad (j = 1..n)$$

7 Bočne vibracije sustava

Osnovna perioda vlastitih bočnih vibracija krovnog diska u njegovoj ravnini lako se može odrediti približnom energetsom metodom. Primjenom postupka opisanog u [6] dobije se

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N-1} w_{Gk}^2}{\sum_{k=1}^{N-1} w_{Gk}}}, \quad (37)$$

gdje $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ označuje ubrzanje sile zemljine teže, a w_{Gk} progib čvora k zbog bočnog opterećenja diska čvornim silama G brojčano jednakima vlastitoj težini uvećanoj za primjeren dio "korisnog" opterećenja na krovu na odnosnoj površini Bl . Sume se odnose na sve unutarnje čvorove grede. Vrijednost multiplikatora ispred velikog korijena je $2,01 \text{ s}/\sqrt{\text{m}}$. Progibi moraju se izraziti u metrima pa se period dobiva u sekundama.

Ako su prethodno proračunani progibi w poradi sila Q , npr. vjetra, obrazac (37) može se napisati i u obliku

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{G \sum_{k=1}^{N-1} w_k^2}{Q \sum_{k=1}^{N-1} w_k}}, \quad (38)$$

Za granični sustav u kojem okviri nisu bočno kruti ($C = 0$) vrijedi poznati rezultat [7] za posmičnu prostu gredu,

$$T = 2L \sqrt{\frac{GS}{gl}}, \quad (39)$$

gdje je G/l gravitacijsko opterećenje po jedinici dužine krovne konstrukcije.

8 Primjer hale s poprečno orijentiranim trapeznim limovima i okvirima bez bočne krutosti

Opći podaci

Za halu prema slici 1.a je $L = 30,0 \text{ m}$, $B = 10,0 \text{ m}$, $N = 5$, $s = 5$, $S_V l = 0,2123 \text{ mm/kN}$, $A = 965 \text{ mm}^2$, $E = 207 \text{ kN/mm}^2$, $q = 1,79 \text{ kN/m}$.

Podatljivosti

$S_V = 3,538 \cdot 10^{-5} \text{ kN}^{-1}$; $\alpha = 1,25$, $I = 0,06031 \text{ m}^4$, $S_M = 7,510 \cdot 10^{-6} \text{ kN}^{-1}$, $S = 4,289 \cdot 10^{-5} \text{ kN}^{-1}$. Doprinos smicanja progibima i nagibima je dakle $35,38/7,51 \cong 4,7$ -puta veći od doprinosa savijanja.

Mjerodavne odzivne veličine

$F_0 = V_1 = 26,85 \text{ kN}$, $M_n = 201,4 \text{ kNm}$, $P_n = 16,1 \text{ kN}$; $w_n = 8,64 \text{ cm}$, $w'_0 = 0,00115$. Rezultati se podudaraju s rezultatima u [2] koji su tamo dobiveni na drugi složeniji način.

9 Primjer hale s uzdužno orijentiranim trapeznim limovima i bočno krutim okvirima

Opći podaci

Za halu prema slici 1.b je $L = 36,0 \text{ m}$, $B = 20,0 \text{ m}$, $N = 8$, $s = 2$, $S_V l = 0,0672 \text{ mm/kN}$, $A = 1000 \text{ mm}^2$, $E = 207 \text{ kN/mm}^2$, $C = 378,8 \text{ kN/m}$, $q = 2,45 \text{ kN/m}$. $G = 135 \text{ kN}$. Primjer je preuzet iz [2] koji je tamo riješen na složeniji i ne tako kompletan način.

Pomoćne veličine, podatljivosti i parametar krutosti

$l = 4,50 \text{ m}$, $Q = 11,025 \text{ kN}$, $Ql = 49,61 \text{ kNm}$; $S_V = 1,493 \cdot 10^{-5} \text{ kN}^{-1}$, $\alpha = 1$, $I = 0,200 \text{ m}^4$, $S_M = 3,261 \cdot 10^{-6} \text{ kN}^{-1}$, $S = 1,819 \cdot 10^{-5} \text{ kN}^{-1}$; $t = 0,03101$. Doprinos smicanja progibima i nagibima je dakle $14,93/3,261 \cong 4,6$ -puta veći od doprinosa savijanja.

Koeficijenti odzivnih veličina

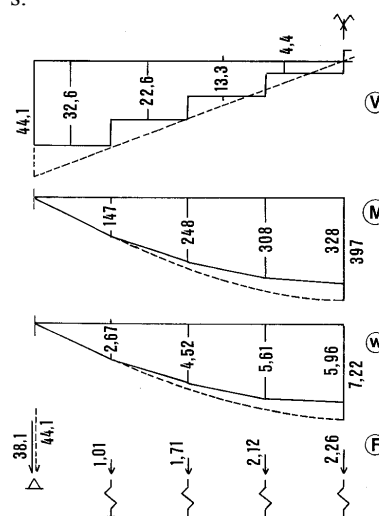
$v_1 = 2,958$, $v_2 = 2,050$, $v_3 = 1,205$, $v_4 = 0,3975$; $m_1 = 2,958$, $m_2 = 5,008$, $m_3 = 6,212$, $m_4 = 6,610$; $f_0 = 6,916$.

Mjerodavne odzivne veličine i osnovni period

$F_0 = 38,1 \text{ kN}$; $V_1 = 32,6 \text{ kN}$; $M_4 = 328 \text{ kNm}$, $P_4 = 16,4 \text{ kN}$, $F_4 = 2,26 \text{ kN}$, $w_4 = 5,96 \text{ mm}$, $w'_1 = 0,000593$. - Dijagrami odzivnih veličina prikazani su na slici 7. punim crtama. $T = 0,491 \text{ s}$.

Mjerodavne odzivne veličine i osnovni period odgovarajućeg sustava kojega okviri nisu bočno kruti

$F_0^0 = V_0^0 = 44,1 \text{ kN}$, $M_4^0 = 397 \text{ kNm}$, $P_4^0 = 19,9 \text{ kN}$, $w_4^0 = 7,22 \text{ mm}$, $w'_1^0 = 0,000802$. - Dijagrami odzivnih veličina prikazani su na slici 7. isprekidanim crtama. $T = 0,537 \text{ s}$.



Slika 7. Dijagrami poprečne sile (kN), momenta savijanja (kNm) i progiba (mm) krovnog diska te akcije (kN) na poprečne

diskove u brojčanog primjera. Isprekidane crte odnose se na granični sustav u kojeg okviri nemaju bočne krutosti

Mjerodavne odzivne veličine odgovarajućeg sustava kojega krovna konstrukcija nije kruta u svojoj ravnini.

$F^* = 11,025 \text{ kN}$, $w^* = 29,1 \text{ mm}$.

Analiza utjecaja krutosti krovnog diska u njegovoj ravnini i bočne krutosti okvira

Uzimanjem u obzir bočne krutosti okvira maksimalna se poprečna sila krovnog diska smanjuje od 44,1 na 32,6 kN, maksimalni moment savijanja od 397 na 328 kNm, maksimalni progib od 7,22 na 5,96 mm, akcija na čelne diskove od 44,1 na 38,1 kN, a osnovna se perioda skraćuje od 0,537 na 0,491 s. - Uzimanjem u obzir krutosti krovnog diska u njegovoj ravnini akcije na okvire smanje se od 11,0 na maksimalno 2,26 kN, a progibi od 29,1 na maksimalno 5,96 mm.

10 Zaključak

Analizirano je mehaničko ponašanje tipične hale od čelnih vertikalnih diskova, obično zidova ili rešetki, unutarnjih poprečnih okvira te krovne konstrukcije od trapeznih limova i pojasa vodeći računa o prostornoj interakciji navedenih elemenata.

LITERATURA

- [1] Federolf, S.: *Stahltrapezprofile für Dach, Wand und Decke - einige Grundlagen und Beispiele zur Dimensionierung*. Stahlbau 50 (1981) 11, 321.-327.; 12, 363.-372.
- [2] Davies, J.; Bryan, E.: *Manual of Stressed Skin Diaphragm Design*. Granada, London, 1982.
- [3] Androić, B.; Dujmović, D.: *Djelovanje trapeznih limova kao zamjena za spregove kod stabilizacije čeličnih konstrukcija*, Zbornik radova Prvog kongresa DGKH, II-16, 1984.
- [4] Zarić, B.; Stipanić, B.: *Sadejstvo dijafragmi od profilisanih limova u čeličnim konstrukcijama zgrada*, Izgradnja 39 (1985) 7, 13.-20.
- [5] Rosman, R.: *Tragverhalten des Dachverband-Rahmen-Wände-Systems typischer Hallen*, Stahlbau 67 (1998) 12, 926.-935.
- [6] Rosman, R.: *Ein praktisches Verfahren zur Lösung von Aufgaben der Baudynamik*, Beton- und Stahlbetonbau 64 (1969) 7, 161.-168.
- [7] Rogers, G.: *Dynamics of Framed Structures*. Chapman & Hall, London, 1959.

Prikladnim izborom hiperstatičkih veličina izvedeni su jednostavni obrasci za odzivne veličine zbog poprečnoga bočnog opterećenja, konkretno poprečne sile i momenta savijanja krovnog diska i uzdužne sile u njegovim pojasima, akcije na vertikalne čelne diskove i okvire te progibe i nagibe krovnog diska u njegovoj ravnini. Radi adekvatnog utvrđivanja seizmičkog opterećenja izvedeni su i obrasci za osnovni period vlastitih bočnih vibracija sustava.

Dva brojčana primjera ilustriraju praktičnu primjenu.

Stečenim uvidom u mehaničke karakteristike sustava i primjenom izvedenih obrazaca omogućeno je da se u fazi preliminarnog projekta lakim uspoređivanjem više varijanti nađe ekonomski i estetski povoljno rješenje, a onda bez primjene računala izradi u smislu uobičajenih pretpostavki točan konačni elaborat.