

Gazdaságos síkbeli daruzott keretszerkezet rugalmas méretezése

DR. J Á R M A I K Á R O L Y*

A cikk IBM PC/AT számítógépre kifejlesztett interaktív döntésszámítási programrendszer alkalmazásaként mutatja be gazdaságos síkbeli keretszerkezet méretezését három célfüggvény bevezetése mellett. Az optimáláshoz végeselemes alprogramot illeszt a változó geometriájú keret igényberételei és alakváltozása meghatározására. Vizsgálja növelt folyáshatású acélok alkalmazásának gazdaságosságát.

A gazdaságos szerkezetméretezést az [1]-ben részletesen ismertetett interaktív döntésszámítási programrendszer alkalmazásával valósítottuk meg. A programrendszerbe hat különféle egyélcélű és hét különféle többélcélű optimálási algoritmus került beépítésre. A méretezés a programrendszernek a gazdaságos szerkezetméretezés [2]-ben ismertetett műveleti struktúrájába történt illesztésével valósult meg.

A probléma megfogalmazása

Adott fő geometriai méretek, anyagjellemzők és terhelések esetén kidolgozandó síkbeli daruzott csarnokkeret gazdaságos méretezése, különös tekintettel a fesztávvaltoztatás lehetőségére.

A cél meghatározása

A síkbeli csarnokkeret esetében a minimális tömegű szerkezetet, valamint az 1 m² alapterületre eső minimális acélszerkezeti tömeghányadú szerkezetet és az anyag-, hegesztési és felületelőkészítési költségekből számított minimális összköltségű szerkezetet választjuk célnak.

A kerethez egyféle anyagminőség kerül felhasználásra, állandó sűrűséggel, ezért a minimális térfogatú keret egyben a minimális tömegűt is jelenti. Mivel a keretállás távolsága állandó, ezért adott fesztáv esetén a szelemenek és a héjazat tömege azonosak a terhelésben figyelembe véve, tehát magát a kerettömeget tekintjük célfüggvénynek.

$$f_1(\bar{x}_i) = \sum_{i=1}^n \rho A_i L_i \quad \text{a tömeg}$$

ahol ρ az acél sűrűsége, n a rúdelemek száma, A_i a rúdelem keresztmetszete, L_i a rúdelem hossza.

A másik célfüggvény a következő:

$$f_2(\bar{x}) = \frac{f_1(\bar{x}_i)}{K_T \cdot x_{10}}$$

ahol K_T a keretállások távolsága, x_{10} a fesztáv, mint változó.

A keret összköltsége a harmadik célfüggvény

$$f_3(\bar{x}) = k_a f_1(\bar{x}) + k_h \sum_i L_i A_i \rho_i + k_f \sum_i A_i$$

ahol k_a az acél fajlagos anyagköltsége, Ft/kg,
 k_h a varratok fajlagos költsége, Ft/kg,
 k_f a felületelőkészítés, festés fajlagos költsége, Ft/m²,
 L_i, A_i , a varratok hossza és a keresztmetszeterület, a felületrészek nagysága, m².

Modellalkotás

A keret csuklós megtámasztású, síkbeli, egyhajós, daruzott sarokmerev keretváz. Az oszlopok és a gerendák lineárisan változó gerincmagasságú és állandó övszélességű hegesztett I tartók.

— Kapcsolatok: oszlop-gerenda: talplemezes csavarkapcsolat.

— Gerendaelemek: homlokplemezes csavarkapcsolat.

— Oszlop-alapszerelvény: csuklós kapcsolattal jól modellezhető hengeres csap.

A keretvázra vonatkozó további tervezési paraméterek:

— 0—20% tetőlejtéssel,

— 4—12 m-es intervallumon belüli legkisebb magassággal,

— 20—30 m-es fesztávval,

— 37-es 52-es acélminőséggel,

— MSZ 15024—85, MSZ 15021—86, BS 5950 szerint méretezve,

— 24 tonnás kétfőtartós futódaru jelent függőleges terhelést és koncentrált nyomatókót az oszlopokra, valamint vízszintes terhelést ad a macska fékezése.

Analízis fázis

Az optimálás során változóknak tekintjük a következő méreteket:

$x(1)$ oszlop gerincmagasság az I. pontban (1. ábra),

$x(2)$ oszlop gerincvastagság,

$x(3)$ oszlop övszélesség,

$x(4)$ oszlop övvastagság,

$x(5)$ oszlop gerincmagasság a II. pontban,

$x(6)$ gerenda gerincmagasság a III. pontban,

$x(7)$ gerenda gerincvastagság,

$x(8)$ gerenda övvastagság,

$x(9)$ gerenda gerincmagasság a IV. pontban,

$x(10)$ a keret fesztávolsága.

Az oszlop és a gerenda övszélessége megegyezik. A keretesomópontok koordinátái, a peremfeltételek helye és jellege, a koncentrált erő és megoszló terhelés helye és nagysága bemenő, ismert adatként szerepel.

Az MSZ 15021/1—86 alapján határoztuk meg az önsúly, a szélterhelés és a hőterhelés biztonsági tényezőit, a megoszló hőterhelés, továbbá a torló-

* Nehézipari Műszaki Egyetem Szállítóbereendezések Tanszéke.

nyomás és az alakító tényezők értékeit szélterhelés esetén.

Méretezési feltételek az MSZ 15021—85, MSZ 15024—86 és a BS 5950 alapján

Statikus feszültségellenőrzés (rugalmas méretezés)

$$\text{hajlításból } \sigma_b = \frac{M_b}{K_x}$$

ahol M_b az adott keresztmetszetben a hajlító nyomaték,

K_x a keresztmetszeti tényező,

$$\text{nyomásból } \sigma_c = \frac{N}{A}$$

ahol N az adott keresztmetszetben az axiális erő, A a keresztmetszetterület,

$$\text{nyírásból a befogás mellett } \tau_Q = \frac{Q}{A_g}$$

ahol a Q a nyíróerő, A_g a gerinclemez területe, nyírásból a tartó egy tetszőleges pontján

$$\tau_Q = \frac{QS_x}{I_x t}$$

ahol S_x a vizsgált pont feletti szelvényrész statikai nyomatéka,

I_x a szelvény inercianyomatéka,

t a vizsgált pontban a falvastagság.

Az ellenőrzési képlet: $\sigma_r = \sqrt{(\sigma_b + \sigma_c)^2 + 3\tau_Q^2} \leq \sigma_H$

az MSZ 6280 szerinti 37 B, 37 C anyagra $\sigma_H = 200$ MPa.

Az MSZ 15024—85 szerint átlagos nyomófeszültség: $\sigma_A = \sigma_b + \sigma_c$ tiszta hajlítási feszültség: $\sigma_B = 0$

$$\sigma_A \leq \varphi'_b \sigma_H$$

$$\bar{\lambda}'_0 = \frac{\lambda'_0}{\lambda_E}$$

$$\lambda'_0 = \frac{3 \cdot 3}{\sqrt{k_A}} \cdot \frac{b}{t} \text{ a lemez karcsúsági tényezője,}$$

$$\lambda_E = \pi \sqrt{\frac{E}{R_y}}$$

ahol b az övlemez szélessége, t az övlemez vastagsága, 37 B acél esetén $R_y = 240$ MPa, $E = 206$ GPa, $\lambda_E = 93,01$, a k_A horpadási tényező értéke

$$k_A = 4, \text{ ha } \alpha_1 \geq 1$$

$$k_A = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \alpha_1 \right)^2 \text{ ha } \alpha_1 < 1$$

ahol $\alpha_1 = \frac{a_d}{b^*}$, a_d diafragmatávolság, b^* lemezmagasság.

Mivel a diafragmák távolsága nagy a lemezmagassághoz képest, ezért $k_A = 4$ érték vehető fel:

ha $\bar{\lambda}'_0 \leq 0,75$ akkor $\varphi'_b = 1$,

ha $0,75 < \bar{\lambda}'_0 \leq 1,12$ akkor $\varphi'_b = 1 - 0,54(\bar{\lambda}'_0 - 0,75)$,

ha $\bar{\lambda}'_0 \geq 1,12$ akkor $\varphi'_b = \frac{1}{\bar{\lambda}'_0}$

Gerinclemez horpadása

Átlagos nyomófeszültség: $\sigma_A = \sigma_C$

Tiszta hajlítási feszültség: $\sigma_B = \sigma_{b1}$

Nyírófeszültség: $\tau = \tau_Q$; $\sigma_r = \sqrt{(\sigma_A + \sigma_B)^2 + 3\tau_Q^2}$

$$\sigma_r \leq 1,1 \varphi_b \sigma_H$$

ahol $\varphi_b = 1$ ha $\bar{\lambda}_0 \leq 0,85$

$$\varphi_b = 1 - 0,74(\bar{\lambda}_0 - 0,85) \text{ ha } 0,85 < \bar{\lambda}_0 \leq 1,12$$

$$\varphi_b = \frac{1}{\bar{\lambda}_0^2} \text{ ha } \bar{\lambda}_0 > 1,12$$

$$\bar{\lambda}_0 = \frac{\lambda_0}{\lambda_E}$$

$$\lambda_0 = \frac{3 \cdot 3}{\sqrt{k_r}} \frac{b^*}{t^*} \text{ a lemez karcsúsági tényezője,}$$

b^* lemezmagasság, t^* lemezvastagság, k_r redukált horpadási tényező

$$k_r = \frac{\sigma_r}{\frac{\sigma_A}{2k_A} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_A}{2k_A}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_B}{k_B}\right)^2 + \left(\frac{\tau_Q}{k_\tau}\right)^2}}$$

A horpadási tényezők k_A értéke az övlemezhorpadásnál megadott képletekkel a gerinclemez méreteivel számítható.

$$k_B = 23,9, \text{ ha } \alpha_1 \geq \frac{2}{3}$$

$$k_B = 15,87 + \frac{1,87}{\alpha_1^2} + 8,6 \alpha_1^2, \text{ ha } \alpha_1 < \frac{2}{3}$$

$$k_\tau = 5,34 + \frac{4}{\alpha_1^2}, \text{ ha } \alpha_1 \geq 1$$

$$k_\tau = 4 + \frac{5,34}{\alpha_1^2}, \text{ ha } \alpha_1 < 1$$

ahol $\alpha_1 = \frac{a_d}{b^*}$, a_d diafragmatávolság, b^* lemezmagasság.

A keretsaroknál az oszlop és a gerenda kifordulását a BS 5950 alapján vizsgáltuk, mivel változó gerincmagasságú tartók esetén is használható összefüggéseket ad.

A kifordulási határfeszültség: $p_b = \frac{M_b}{K_{xK}}$

M_b a kifordulási határnyomaték.

A képlékeny keresztmetszeti tényező:

$$K_{xK} = \frac{x(5)^2 \cdot x(2)}{4} + x(3) \cdot x(5) \cdot x(4) \text{ oszlopra}$$

$$K_{xK} = \frac{x(6)^2 \cdot x(7)}{4} + x(3) \cdot x(6) \cdot x(8) \text{ gerendára}$$

$$M_b = \frac{M_E M_p}{\varphi_B + (\varphi_B^2 - M_E M_p)^{1/2}}$$

ahol $M_p = R_y K_{xK}$ a képlékeny nyomatéki teherbí-

rás, folyáshatár $R_y = 235$ MPa, $M_E = \frac{M_p \pi^2 E}{\lambda_{LB}^2 R_y}$ a

rugalmas nyomatók hegesztett szelvényekre az ún. Perry-együttható

$$\eta_{LT} = 2\alpha_b \lambda_{L0}$$

$\eta_{LT} \leq 2\alpha_b(\lambda_{LB} - \lambda_{L0})$ kell legyen

$$q_{II} = \frac{M_p + (\eta_{LT} + 1)M_E}{2}$$

$\eta_{LT} > \alpha_b(\lambda_{LB} - \lambda_{L0})$ kell legyen, $\alpha_b = 0,007$

$\lambda_{L0} = 0,4 \left(\frac{\pi^2 E'}{R_y} \right)^{1/2}$ a határ egyenértékű kacsúság,

$\lambda_{LB} = n_{ULVIC} \lambda$ az egyenértékű kacsúság.

Az elem terhelése és megfogási viszonyaira vonatkozó tényező $n_t = 1$ oszlopra, $n_t = (1,5 - 0,5 R_f) \geq 1$, R_f az övlemezterületek aránya a minimális és maximális nyomatókú pontokban. Jelen esetben az övlemez méretei a rúdelemknél nem változnak, így $R_f = 1$.

A horpadási paraméter: $u_L = 1$, lineáris változás esetén a kacsúság:

$$\lambda = \frac{L}{i_y}$$

ahol $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$, A a keresztmetszetterület, I_y

az inercianyomaték, az elcsavarodási index:

$$x_e = 0,566 h \left(\frac{A}{J} \right)^{1/2}; J = \frac{1}{3} \sum_i t_i^3 b_i$$

ahol t_i és b_i a lemezelemek vastagsága és szélessége.

$$c = 1 + \frac{3}{x_e - 9} (R - 1)^{2/3} q^{1/2}$$

ahol $q = \frac{L_T}{L}$, L a rúdelem hossza, L_T a lineáris

változó gerineű szakasz hossza, $q = 1$ az oszlopok-

nál, $R = \frac{d_{\max}}{d_{\min}}$, h_{\max} a legnagyobb, h_{\min} a leg-

kisebb gerinemagasság

$$v_U = \left[\frac{\frac{4 - a_e}{h}}{1 + \left(\frac{2a_e}{h} \right)^2 + \frac{1}{20} \left(\frac{\lambda}{x_e} \right)^2} \right]^{1/2}$$

ahol a_e a tartóra ható terhelés és a súlyvonal excentricitása, jelen esetben a gerinemagasság fele. Az ellenőrzési összefüggés mind az oszlopra, mind a gerendára a következő

$$\frac{F}{A} + \frac{M}{K_{xK}} \leq p_b$$

ahol F és M az axiális erő és a hajlítónyomaték az adott rúdelemen.

A gerenda nyomott öveinek kifordulása MSZ 15024 szerint

A szelemenek távolsága: L_s

nem kell részletesebb vizsgálat, ha $L_s \leq \frac{\lambda_E}{2} i_y$

ahol $\lambda_E = \pi \sqrt{\frac{E}{R_y}}$

37-es acélra $\lambda_E = 93,01$, $R_y = 235$ MPa,

52-es acélra $\lambda_E = 75,68$, $R_y = 355$ MPa,

az inerciásugár

$$i_y = \sqrt{\frac{I_{y0}}{A}} = \sqrt{\frac{b_f^3 t_f}{12 b_f t_f}} = \frac{b_f}{\sqrt{12}}$$

ahol b_f az övszélesség, t_f az övvastagság.

Ha az egyenlőtlenség nem teljesül, akkor övme-

$$M_{\max} = 1,2 q \sigma_{II}$$

$W_{nyomó}$

ahol $\bar{W}_{nyomó} = \frac{I_x}{h/2 + t_f}$ a rugalmas keresztmetszeti tényező,

a kacsúsági tényező:

$$\lambda_y = \frac{L_{yS}}{i_y}; q = \beta \sqrt{\beta^2 - \frac{1}{\bar{\lambda}^2}}$$

ahol

$$\beta = \frac{1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2}{2\bar{\lambda}^2}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_y}{\lambda_E} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{R_y}{E'}}$$

c jelű kihajlási görbe esetén $\alpha = 0,49$

ha $\lambda \leq 0,2$ akkor $q = 1$

A határfeszültségek 37-es acélra $\sigma_{II} = 200$ MPa,

52-es acélra $\sigma_{II} = 280$ MPa.

Az alakváltozás korlátozása

A keret taréjpontjának függőleges és vállpontjának vízszintes elmozdulása kisebb legyen, mint a keretfeszítáv 1/300-ad, illetve 1/150-ed része. Az alakváltozás értéke végelesleges alprogramból adódik a rúdezők, a nyíróerők és a nyomatók mellett.

Méretkorlátozási feltételek

A tíz változóra érvényesnek kell lennie a következő egyenlőtlenségek:

$$x_i^L \leq x_i \leq x_i^U \quad i = 1, 2, \dots, 10$$

x_i^L a változó alsó értéke, x_i^U a változó felső értéke.

Vagyis a geometriai méretek csak bizonyos előre megadott sávban értelmezettek.

A feltételek összegzése

Az optimalálás során a számítógépi programban 35 feltétel szerepel, sorrendben:

- 1— 2. gerinemagasság-korlátozás a csuklónál,
- 3— 4. gerinevastagság-korlátozás az oszlopnál,

- 5—6. övvezélesség-korlátozás az oszlopnál,
- 7—8. övvastagság-korlátozás az oszlopnál,
- 9—10. gerincmagasság-korlátozás az oszlopnál a vállpontban,
- 11—12. gerincmagasság-korlátozás a gerendánál a vállpontban,
- 13—14. gerincevastagság-korlátozás a gerendánál,
- 15—16. övvastagság-korlátozás a gerendánál,
- 17—18. gerincmagasság a taréjpontnál,
- 19—20. fesztáv mérete,
21. feszültségkorlátozás a csuklónál,
22. feszültségkorlátozás az oszlopnál a vállpontban,
23. feszültségkorlátozás a gerendánál a vállpontban,
24. feszültségkorlátozás a gerendánál a taréjpontra felé eső nyomatóéki maximum helyén,
25. övhorpadás az oszlopnál a vállpontban,
26. övhorpadás a gerendánál a vállpontban,
27. gerinchorpadás a csuklónál,
28. gerinchorpadás az oszlopnál a vállpontban,
29. gerinchorpadás a gerendánál a vállpontban,
30. gerinchorpadás a gerendánál a taréjpontra felé eső nyomatóéki maximum helyén,
31. oszlopszelvény-kifordulás a vállpontban,
32. gerendaszelvény-kifordulás a vállpontban,
33. gerenda nyomott övlemez kifordulása,
34. vízszintes alakváltozás-korlátozás a vállpontban,
35. függőleges alakváltozás-korlátozás a taréjpontra.

Különböző terhelésváriációk alapján határoztuk meg a maximális igénybevételt. Megvizsgáltunk kétféle szélterhelést

($c = 0,8$, $C_1 = 0,4$, $c_2 = 0$, $c_3 = 0,4$, valamint $c_1 = 0,4$, $c_2 = -0,4$, $c_3 = 0,4$), a futómacska három helyzetét (középen és a két szélén), a futómacska fékezését két irányban. A maximális igénybevétel az első szélterhelés esetén adódott bal oldalon a szélén

álló macska esetén, amint jobbra mozogva fékez (lásd 1. ábra).

A végeleemes alprogramban lineárisan rugalmas, ideálisan képlékeny anyagmodell mellett síkbeli, sarokmerek keretelemeket alkalmaztunk. Az egyenletrendszerből adódó, tartóelem és rúdelem merevségi mátrixaiból összegzett merevségi mátrix és a külső terhelések ismeretében a klasszikusnak tekinthető $\{q^0\} = [K^0] \{u\}$ mátrixegyenlet megoldásával határoztuk meg a csomóponti alakváltozásokat [3].

$\{q^0\}$ a külső terhelés vektora (síkbeli koncentrált erők, koncentrált nyomatóékok),

$[K^0]$ a szerkezet merevségi mátrixa,

$\{u\}$ csomóponti alakváltozások (kétirányú elmozdulás, elfordulás).

A merevségi mátrix invertálását a *Choleski*-féle módszerrel végeztük el a négyzetes, pozitív definit, szimmetrikus mátrix esetén

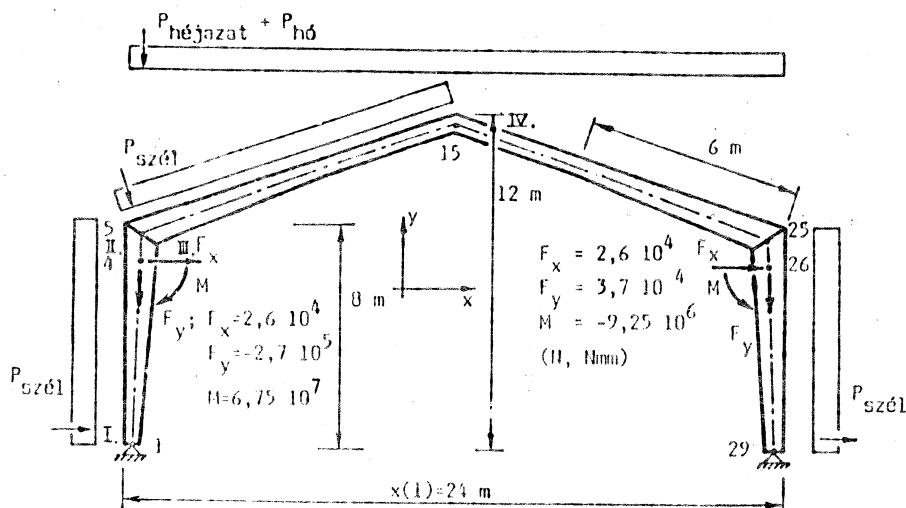
$$\{u\} = [(K^0)^{-1}] \{q^0\}$$

A szimultán algebrai egyenletrendszer megoldását a *Gauss*-elimináció alapuló *Wilson*-féle módszerrel végeztük, amely különösen hatékony szimmetrikus mátrixok esetében.

Az analízis fázisban a végeleemes alprogram, mint eszköz szerepel, hogy információkat adjon a változó topológiájú (feszítávú) keretszerkezet igénybevételéről és alakváltozásáról, a lineárisan változó gerincmagasságú elemet szakaszosan állandó gerincmagasságú elemmel helyettesíti.

Alapvető bemenő adatok a keretszerkezethez:

— anyagminőség:	37-es,
— vállpontmagasság:	8000 mm,
— taréjpontmagasság:	12 000 mm,
— lineárisan változó gerenda hossza	
a válltól:	6000 mm,
— keretállások távolsága:	6000 mm,
— szelemenek távolsága:	2000 mm,



1. ábra. Egyhajós daruzott csarnokkeret 24 m-es fesztáv esetén adódó darupályaterheléssel

- egyenletesen megoszló függőleges terhelés: 0,4 kN/m²,
- szélterhelés alaktényezői: 0,8; 0,4; 0; —0,4
- tengerszint feletti magasság: 200 m,
- csomópontok száma: 29,
- keretelemek száma: 28,
- a megtámasztás csuklós az 1-es és 29-es pontokban

A vizsgált keret a 1. ábrán látható 24 m fesztáv esetén adódó terheléssel.

Az egyes változókra beadott diszkrét értéksorok a következők:

Változó	Alsó határ (mm)	Felső határ (mm)	Lépésméret (mm)
x(1)	230	900	10
x(2)	5	20	1
x(3)	200	600	10
x(4)	5	20	1
x(5)	230	900	10
x(6)	230	900	10
x(7)	5	20	1
x(8)	5	20	1
x(9)	230	800	10
x(10)	22 000	28 000	150

A daru tömegének változását adott teherhírás mellett a fesztáv függvényében a 2. ábra mutatja.

Szintézis

Adaptálva a 10 változós, 35 egyenlőtlenségi feltételtől 3 célfüggvényes feladatot az interaktív döntéshozatali programrendszerbe, elvégeztük a szerkezet optimális méreteinek meghatározását az egyes célfüggvények figyelembevételével.

Optimum önsúlyminimum esetén

Oszlopméretek:

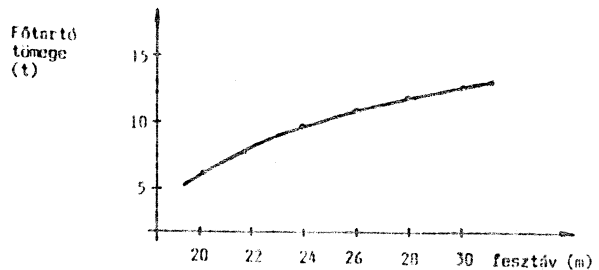
- gerincmagasság a csuklópontban: 320 mm,
- gerincvastagság: 6 mm,
- öv szélesség: 220 mm,
- övvastagság: 14 mm,
- gerincmagasság a vállpontban: 740 mm

Gerendaméretek:

- gerincmagasság a vállpontban: 710 mm,
- gerincvastagság: 9 mm,
- övvastagság: 15 mm,
- gerincmagasság a taréjponban: 510 mm
- Fesztáv: 22 550 mm
- A keret tömege: 5127,5 kg

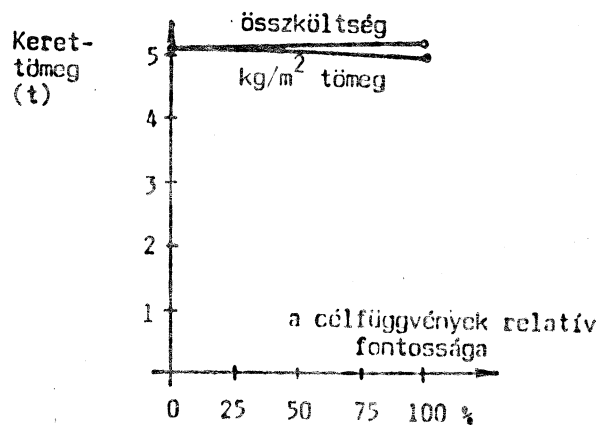
A különféle többcélűfüggvényes optimálási módszerek alkalmazásával kapott eredményeket az 1. táblázat mutatja, a HILL algoritmus alkalmazásával.

A programrendszer síkbeli keretszerkezetekre történő alkalmazásakor 2 segédprogramra volt szükség. Az egyik a keret alap geometriai adatainak, anyagminőségének, valamint megoszló, koncentrált erő és nyomatéki terhelésének beadására szolgált. Ezt az alprogramot mind a célfüggvények, mind a feltételek meghatározását végző szubrutinok felhasználják. A másik segédprogram pedig a végelemes alprogram, amely az optimáláshoz illesztés



G 336-2

2. ábra. A daru hőtartójának tömege a fesztáv függvényében



G 336-3

3. ábra. A kerettömeg változása

révén megadja a változó topológiájú keret igénybevételeit és deformációit.

Lehetőség van a programrendszerhez illeszteni más végelemes alprogramokat is, például a keret sajátfrekvenciáinak meghatározására, azonban ez a számítás időigényének jelentős meghosszabbodásával jár.

Megjegyezzük, hogy a keretoptimalizálást ezen feltételrendszer mellett egy célfüggvény esetén elkészítettük Microsoft QuickBASIC programnyelven is a 4,0-ás verzió alatt, a végelemes alprogrammal együtt. Így módunk volt összehasonlítani a program kifejlesztéséhez szükséges időt és a futásidőket. A programkészítés kényelmesebb és gyorsabb a QuickBASIC-kel, mivel az általa egyidejűleg biztosított szövegszerkesztési, futtatási és hibakövetési lehetőségek nagyon előnyösek.

Nagyobb programok, így az ismert programrendszer esetén is, amikor a programrészeket egyszerűen nem tudja kezelni a BASIC rendszer, akkor ez az előnye csökken. Futásidő vonatkozásában 20% körüli eltérés volt a Fortran javára. A számítás pontosságában nem volt számottevő eltérés. Grafikus ábrázolás jóval könnyebb BASIC esetén. Előny azonban, hogy a Microsoft Fortran 4,0 és a QuickBASIC 4,0 már összekapcsolható object-file szinten.

	x(1)	x(2)	x(3)	x(4)	x(5)	x(6)	x(7)	x(8)	x(9)	x(10)	Keret-tömeg kg	1 m ² -re jutó ke- rettömeg kg/m ²	Keret- költség Ft×10 ⁴
1 célf.	320	6	220	14	740	710	9	15	510	22 550	5127,2	37,8	9,215
2 célf.	280	6	220	14	680	680	6	14	560	26 600	4945,9	30,9	8,908
3 célf.	280	6	220	14	740	720	9	15	510	22 550	5131,8	37,9	9,222
min-max global 1	290	7	220	15	680	680	6	14	560	26 600	5035,3	31,5	9,070
exp: 1	280	8	220	14	700	700	9	15	490	22 550	5149,0	38,05	9,259
exp: 2	280	7	220	14	700	700	8	15	500	22 550	4907,9	36,27	8,818
global 2													
exp: 3	430	6	230	14	702	690	6	14	690	22 850	4697,0	34,26	8,474
exp: 10	290	6	230	14	660	640	7	14	450	25 250	4908,9	32,4	8,802
súlyozott min-max w ₃ =0,6; w ₄ =0,2	370	9	220	14	710	690	7	14	640	22 700	4861,2	35,6	8,783
w ₁ =0,2; w ₂ =0,4	280	7	220	15	680	680	6	14	560	26 600	5032,0	31,5	9,064
w ₁ =0,2; w ₂ =0,3; w ₃ =0,7	380	8	220	14	702	690	7	14	640	22 700	4818,2	35,3	8,699
w ₁ =0,2; w ₂ =0,35; w ₃ =0,45	310	10	220	14	700	710	9	15	540	24 800	5778,8	38,8	10,41
Súlyozott globál w ₁ =0,2; w ₂ =0,3; w ₃ =0,5	280	7	220	14	700	700	8	15	500	22 550	4907,9	36,2	8,81
w ₁ =0,2; w ₂ =0,4; w ₃ =0,4	280	9	220	14	700	730	8	14	690	22 550	5154,4	38,09	9,31
w ₁ =0,2; w ₂ =0,5; w ₃ =0,5	390	8	220	14	710	680	6	14	660	22 700	4593,3	33,72	8,30
w ₁ =0,1; w ₂ =0,8; w ₃ =0,1	290	6	220	14	690	690	6	14	705	26 600	4976,4	31,1	8,967
Egyszerű súlyozás w ₁ =1; w ₂ =0,01; 100	280	6	220	15	740	720	9	15	510	22 550	5173,0	38,23	9,292
Normál súlyozás w ₁ =0,2; w ₂ =0,6; w ₃ =0,2	280	9	220	14	700	710	9	15	520	22 550	5258,2	38,86	9,467
w ₁ =0,1; w ₂ =0,7; w ₃ =0,2	280	7	220	14	700	700	8	15	500	22 400	4881,2	36,31	8,771
w ₁ =0,05; w ₂ =0,0; w ₃ =0,05	280	6	220	14	680	680	6	14	560	26 600	4945,9	30,98	8,908

Értékelés

Elvonatkoztatás, általánosítás

A számítási eredmények alapján bizonyos összefüggések kiemelhetők. A tömegminimumra optimálás során az algoritmus természetesen minimális feszítávú keret kialakítására törekszik. Ezzel ellentétesen hat a második célfüggvény ilyen vonatkozásban, mert egységnyi alapterületre eső minimális tömegre törekedve a feszítávot a maximumig igyekszik növelni.

A hegesztett I szelvények esetében a lemezvastagságok a minimumhoz közel vannak, lényegesen csak akkor térnek el, ha csökken a gerincmagasság és/vagy az övszélesség értéke, és az inercianyomaték csökkenését ellensúlyozni kell.

Az eredmények azt mutatják, hogy az ismertett többcélű függvényes optimáló programrendszer az alkalmazott segédprogramokkal alkalmas ezen szerkezet típusok optimális méretezésére a célfüggvények külön-külön, illetve együttesen történő figyelembevételével.

Természetesen az eredmények jelentősen függenek a keret fő geometriai adataitól, peremfeltételeitől, a terhelésektől és az anyagminőségtől. A változó

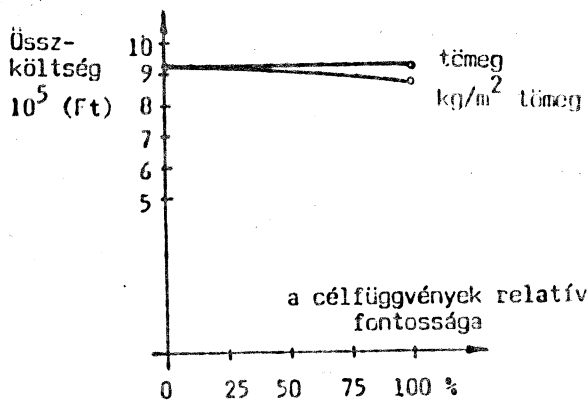
gerincmagasságú hegesztett I tartók jelentős tömegmegtakarítást tesznek lehetővé a prizmatikus tartókhoz képest [5].

Lehetőség van a méretezés során növelt folyáshatárú 52-es acél alkalmazására is.

Általában ilyen szerkezetnél, ahol a merevségi és a horpadási feltételek aktívak, az elért tömegcsökkenés mértéke kisebb, mint a költség növekedésé.

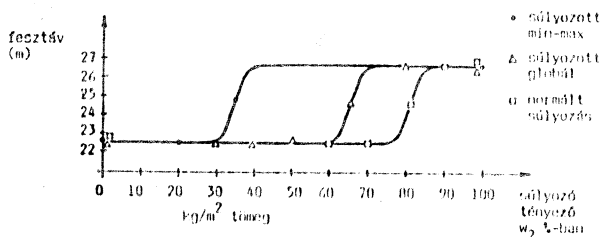
Összehasonlítás

Az egyes célfüggvényekkel, illetve a különböző többcélű függvényes optimáló algoritmusokkal és súlyozó tényezőkkel kapott eredmények kiterjedt összehasonlítás elvégzésére adnak lehetőséget. A 3. ábra mutatja az első célfüggvény értéke változását a másik két célfüggvény fontosságának függvényében, a 4. ábra pedig a keret költségének változását. Látható a diagramokból, hogy az össztömeg és a költség nincs jelentős hatással egymásra: viszont az 1 m²-re jutó tömeg célfüggvénye kismértékben csökkenti mind a kerettömeget, mind a költséget. Az 5. ábra mutatja, hogy az egyes módszerek esetében a súlyozás változásával hogyan változik a feszítáv nagysága.



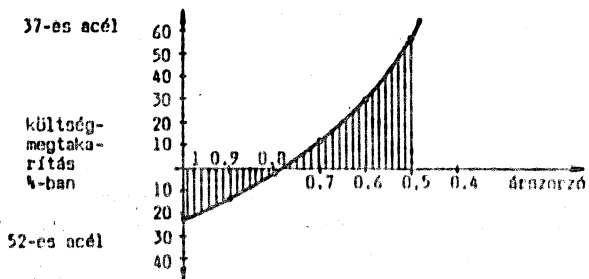
G 336-4

4. ábra. A keretköltség változása



G 336-5

5. ábra. A súlyozásos módszerek összehasonlítása



G 336-6

6. ábra. A növelt folyáshatárú acél alkalmazásának gazdaságossága

Látható, hogy a súlyozott globális kritérium módszere a súlyozott min-max eljárás és a normált súlyozás módszerei között helyezkedik el, érzékenységét tekintve egy belső tartományról ad információt.

Fontos még megvizsgálni az anyagminőség hatását. Növelt folyáshatárú, 52-es acél alkalmazása esetén jelentős szerepe van az acél költség tényezőjének [5]. Azért, hogy kikerüljük a költség tényező változásának hatását, a 2. táblázatban a homogén 37-es, illetve 52-es acélból készült keret anyagköltség arányát adjuk meg az árszorító függvényében ahol

$$\xi = \frac{K_1 \text{ kg 37 es acél}}{K_1 \text{ kg 52 es acél}}$$

Látható, hogy $\xi = 0,8$ esetén, tehát amikor $K_1 \text{ kg 52-es acél} = 1,25 K_1 \text{ kg 37-es acél}$, akkor a két szerkezet költsége is megegyezik.

Kisebbségi költségkülönbség esetén az 52-es, nagyobb költségkülönbség esetén 37-es acél alkalmazása előnyös (6. ábra).

2. táblázat

Az 52-es acél alkalmazásának gazdaságossága

	ξ árszorító					
	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
$K_{\text{keret 52-es}}$	0,78	0,87	0,98	1,12	1,30	1,56
$K_{\text{keret 37-es}}$						

További összehasonlítási lehetőség még a lineárisan változó gerincmagasságú és az állandó gerincmagasságú keretek tömegének vizsgálata. Teljesen azonos terhelések esetén 37-es acél alkalmazása mellett az általunk vizsgált feszítáv tartományon az állandó gerincmagasságú keretek átlagosan 18%-kal nagyobb tömegűek. Ennek oka részben az, hogy csuklós megtámasztás esetén ezen szerkezet az oszlop alsó részén jelentősen túlméretezett, ami más peremfeltétel, például befogás esetén, amikor nyomatékot is vesz fel, nem olyan nagymértékű.

A daruzott csarnokkeret és a futódaru hídfőtartó optimalizálása az összetettebb szerkezet többszintes optimalizálását jelenti, ami szintén elterjedt módszer [6].

A döntéselőkészítési folyamat végén a tervező számára az eddigiekben ismertett információk a szerkezetre vonatkozólag rendelkezésre állnak. A döntésben azonban szerepet játszhatnak további, nem tervezési szempontok is, például helyigény a csarnokon belül az üzemeltető szempontjából, a berendezések hely- és magasságigénye, a környezetbe való beilleszkedés esztétikai oldalról, például a magasság szempontjából stb. A bemenő adatok, a feltételek, valamint a célfüggvények könnyű és gyors változtatása szükség esetén a gyors újrafuttatás lehetőségét teremti meg.

IRODALOM

- [1] Jármai K.: Interaktív döntésszámítógépes programrendszer gazdaságos fémszerkezetek méretezésére, alkalmazás futódaruhídnál. GÉP, 1988/8. sz. 308—315. old.
- [2] Jármai K.: Gazdaságos fémszerkezetek méretezése. Kandidátusi értekezés, 1988. 187. old.
- [3] Hinton, E.—Owen, D. R. J.: Finite element programming. Academic Press, London, 1977.
- [4] Ross, C. F. T.: Finite element methods in structural engineering Ellis Horwood Limited, Chichester 1985.
- [5] Jármai K.: Optimum design of plane frames using the FEM in personal computer. 15. th. National Conference on Steel Structures, Praha, 1988. CSVTS, Proceedings. Vol. 2. pp. 221—224.
- [6] Svensson, B.: A substructuring approach to optimum structural design. Computers and Structures. Vol. 25. No 2. 1987. pp. 251—258.
- [7] BS 5950: Structural use of steelwork is building. Part 1. 1985. British Standard Institution.