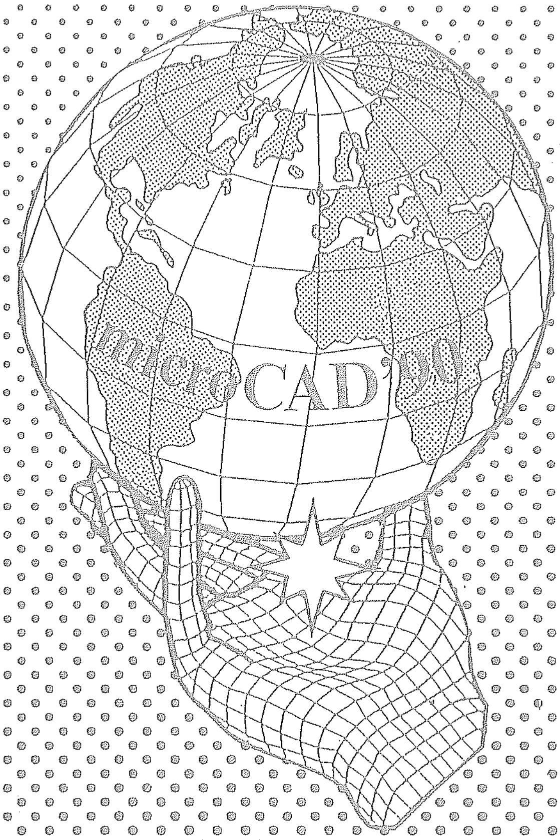


KONFERENCIÁK kiadványa

1. kötet

Nemzetközi Számítástechnikai Találkozó

Miskolc

1990. február 27 - március 3.

microCAD' 90

Számítástechnikai Találkozó előadásai

1. kötet

a Számítástechnika Műszaki alkalmazásai Konferencia anyaga

I. Mérnöki alkalmazások általános kérdései

II. Gépgyártástechnológia

III. Anyagmozgatás

IV. Automatizálás, robottechnika

V. Bányászat

NOVITAS Egyetemi Egyesület

Nehézipari Műszaki Egyetem

Miskolc, 1990. február 27 – március 3.

Felelős kiadó: Dr. Tompa Sándor
a **NOVITAS** elnöke

NOVITAS Egyetemi Egyesület
H-3515 Miskolc, Egyetemváros, Hungary
Tel.: 36/46/65111 Telex: 62223 nmemi h, Fax: 36/46/69554

NÉGYZETES SZEKRÉNYSZELVÉNYÜ NYOMOTT RUDAK SZÁMITÓGÉPES OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE

COMPUTER-AIDED OPTIMUM DESIGN OF COMPRESSED STRUTS OF SQUARE BOX SECTION

DR. FARKAS József egyetemi tanár - professor NME Miskolc
DR. JÁRMAI Károly tud. munkatárs - research fellow, MAGYARORSZÁG
TECHN. UNIV. Miskolc, HUNGARY

1. Bevezetés

A hosszbordákkal merevitett szekrényszelvények méretezésére Nakai /1986/ javasolt viszonylag egyszerü képleteket, amelyek alkalmasak az optimális méretezésre.

A Nakai /1986/ tanulmány derékszögü négyszögü szekrényszelvényeket tárgyalt, melyek az 1.a. ábra szerint szimmetrikusan elrendezett egyenlő távközü hosszbordákkal vannak merevitve és nyomásra és hajlitásra vannak igénybevéve.

A bordák és lemezelemek folyáshatára különböző lehet. A Nakai-módszer figyelembe veszi a kölcsönhatást a kihajlás és a lemezhorpadás, valamint az egyes lemezoldalak helyi horpadása között.

Az egyszerüség kedvéért az 1.b. ábrán feltüntetett keresztmetszetet vesszük figyelembe, amely négyzetesen szimmetrikus és csak négy hosszbordát tartalmaz. A rud csuklós végü és központos nyomásra van igénybevéve. A lemezek és bordák folyáshatára azonos, 235 ill. 355 MPa.

Ez esetben a lemezelemek helyi horpadásának kölcsönhatása elhanyagolható, de a kihajlás és a helyi horpadás kölcsönhatását figyelembe kell venni.

1. Introduction

Box sections with longitudinal stiffeners have been treated by Nakai /1986/ with relatively simple formulae suitable for optimum design.

Nakai /1986/ gave calculation method for rectangular box sections subject to compression and bending, symmetrically stiffened with more equally spaced longitudinal ribs as shown in Fig. 1.a.

The yield stress of plate and stiffener elements may be different. This method considers the interaction of overall and local buckling as well as the interaction of local buckling of plate elements.

For the sake of simplicity we treat here the section shown in Fig.1.b. with square symmetry, considering only four ribs. The strut is simply supported at both ends and subject to pure compression. The yield stress of plate elements and stiffeners is equal, 235 and 355 MPa, respectively.

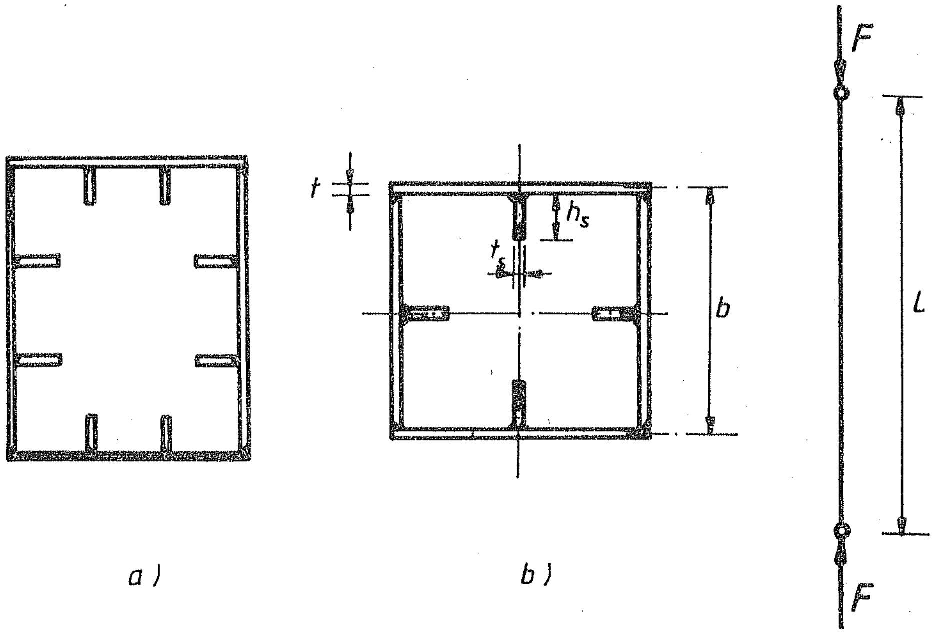
In this case the interaction of local buckling of plate elements may be neglected, but the interaction of overall and local buckling should be taken into account.

2. Célfüggvény és méretezési feltételek

Az ismeretlen b, t, h_s és t_s méreteket kell optimálni, hogy a keresztmetszet-terület /A/ minimális legyen /1.b.ábra/

2. Objective function and design constraints

The unknown dimensions b,t,h_s,t_s should be optimized /Fig.1.b/ to minimize the cross-sectional area



1.ábra. Központosan nyomott rud hosszbordás a/ derékszögü négyszögü, b/ négyzetes szekrényszelvénnyel

Fig.1.Centrally compressed strut of a/ rectangular and b/ square box section with longitudinal stiffeners

$$A = 4(bt + h_s t_s) \tag{1}$$

vagy dimenzió nélküli ismeretlenekkel

or with dimensionless unknowns

$$x_1 = 100b/L; \quad x_2 = 100t/L; \quad x_3 = 100h_s/L; \quad x_4 = 100t_s/L$$

$$10^4 A/L^2 = 4(x_1 x_2 + x_3 x_4) \tag{2}$$

és az alábbi méretezési feltételek teljesüljenek.

and to fulfil the design constraints as follows.

<u>Kihajlási feltétel</u> a biztonsági tényezővel szorzott F nyomóerőre

<u>Constraint on overall buckling for the factored compressive</u> force

$$F \leq \min \begin{cases} k R_y A & (3a) \\ k R_y A k_{int} & (3b) \end{cases}$$

ahol R_y a folyáshatár. Megjegyezzük, hogy a Japán Közuti Hidszabályzat /1987/ a 235 ill. 355 MPa folyáshatáru acélokra 140 ill. 210 MPa értékü megengedett feszültséget ad meg. Továbbá a kihajlási tényező

where R_y is the yield stress. Note that the Japanese Specifications /1987/ give for steels with yield stress 235 and 355 MPa allowable stresses 140 and 210 MPa, respectively. Furthermore, k is the overall buckling factor

$$k = 1.0 \qquad \bar{\lambda} \le 0.2 \tag{4a}$$

$$k = 1 - 0.545(\bar{\lambda} - 0.2) \qquad 0.2 \le \bar{\lambda} \le 1.0 \tag{4b}$$

$$k = 1/(0.773 + \bar{\lambda}^2) \qquad \bar{\lambda} \ge 1.0 \tag{4c}$$

ahol

where

$$\bar{\lambda}^2 = A\, R_y\, F_e\ ; \qquad F_e = \pi^2 EI/L^2 \tag{5}$$

vagy a (2) alkalmazásával átalakitva

or in transformed form using (2)

$$\bar{\lambda}^2 = \frac{10^8\, R_y\, A/L^2}{10^8\, \pi^2 EI/L^2} = \frac{10^4\, R_y}{\pi^2\, E} \cdot \frac{10^4\, A/L^2}{10^8\, I/L^2} \tag{6}$$

$$I = \frac{2b^3}{3} + \frac{h_s^3\, t_s}{6} + 2h_s t_s \left(\frac{b}{2} - t - \frac{h_s}{2}\right)^2 \tag{7}$$

A (7) figyelembevételével a (6) az alábbi alakban irható

Considering (7), (6) may be written in the following form

$$\bar{\lambda}^2 = \frac{4\mathrm{x}10^4 R_y}{\pi^2\, E} \cdot \frac{x_1 x_2 + x_3 x_4}{\frac{2}{3}\, x_1^3 x_2 + \frac{1}{6} x_3^3 x_4 + 2x_3 x_4 \left(\frac{x_1}{2} - x_2 - \frac{x_3}{2}\right)^2} \tag{8}$$

$E = 2.06\mathrm{x}10^5$ MPa, $R_y = 235$ ill. 355 MPa értékekkel

Taking $E = 2.06\mathrm{x}10^5$ MPa, R_y=235 and 355 MPa, we obtain

$$4\mathrm{x}10^4 R_y/(\pi^2 E) = 4.62339 \quad \text{ill. / and} \quad 6.98428, \text{ resp.} \tag{8a}$$

A k_{int} tényező fejezi ki a kihajlás és horpadás közötti kölcsönhatást Nakai /1986/ szerint

The factor k_{int} expresses the interaction of overall and local buckling according to Nakai/1986/

$$k_{int} = k_p + 0.2304\, \bar{\lambda}^2 \tag{9a}$$

ahol

where

$$k_p = 1.0 \qquad R \le 0.31 \tag{9b}$$

$$k_p = 1.14 - 0.454\, R \qquad 0.31 \le R \le R_{max} \tag{9c}$$

$$R = \frac{b}{n\, t} \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{k_o\, \pi^2}} \sqrt{\frac{R_y}{E}} \tag{10}$$

ahol n a bordák közötti lemezrészek száma, a mi esetünkben az 1.b. ábra szerint n = 2. $k_o = 4$, $\mu = 0.3$ és $E = 2.06 \times 10^5$ MPa értékekkel

where n is the number of panels separated by stiffeners, in our case in Fig.1.b. n = 2. With values $k_o = 4$, $\mu = 0.3$ and $E = 2.06 \times 10^5$ MPa we obtain

$$R_y = 235 \text{ MPa}: \quad R = b/(112t) = x_1/(112x_2); \quad R_{max} = 0.8 \tag{11a}$$

$$R_y = 355 \text{ MPa}: \quad R = x_1/(88x_2) \tag{11b}$$

Hosszbordák nélküli négyzetes szekrényszelvényre (n = 1)

For a box section without stiffeners (n = 1) it is

$$R_y = 235 \text{ MPa}: \quad R = x_1/(56x_2) \quad R_{max} = 1.0 \tag{11c}$$

$$R_y = 355 \text{ MPa}: \quad R = x_1/(44x_2) \tag{11d}$$

Az R értékének, vagyis a két hosszéle mentén megfogott nyomott lemezelem b/t-értékének korlátozása

Limitation of the R-value i.e. allowable b/t-ratio of a stiffened or unstiffened plate restrained along two edges

$$R \leq R_{max} \tag{12}$$

A nyomott lemezelemek helyi horpadásának feltétele

Constraint on local buckling of plate elements

$$F \leq k_p R_y A \tag{13}$$

ahol k_p-t a (9) adja meg.

where k_p is given by (9).

A hosszbordák stabilitási feltételei Nakai /1986/ és a Japán Közuti Hidszabályzat /1987/ szerint

Constraints on buckling of longitudinal stiffeners according to Nakai /1986/ and the Japanese Specifications /1987/:

$$R_y = 235 \text{ MPa}: \quad h_s/13.1 \leq t_s \tag{14a}$$

$$R_y = 355 \text{ MPa}: \quad h_s/10.7 \leq t_s \tag{14b}$$

$$I_L = \frac{h_s^3 t_s}{3} \geq \frac{bt^3}{11} \gamma_{Lreq} \quad \text{vagy / or} \quad \gamma_L = \frac{11 h_s^3 t_s}{3bt^3} \geq \gamma_{Lreq} \tag{15}$$

és

and

$$A_L = h_s t_s \geq \frac{bt}{10\,n} \tag{16}$$

A γ_{Lreq} szükséges viszonyitott hosszborda-merevséget az alábbi képletek adják meg.

The required relative longitudinal rib stiffness γ_{Lreq} is given by the following formulae.

1/ Ha

1/ When

$$\alpha = a/b \leq \alpha_o = \sqrt[4]{1 + n\,\gamma_L} \qquad (17)$$

és a keresztdiafragmák másodrendü nyomatéka

and the moment of inertia of a transverse stiffener is

$$I_T \geq \frac{bt^3}{11} \cdot \frac{1 + \gamma_{Lreq}}{4\alpha^3} \qquad (18)$$

akkor a szükséges bordamerevségi tényező

then the required rib stiffness factor

ha / for $t \geq t_o$
$$\gamma_{Lreq} = 4\alpha^2 n \left(\frac{t_o}{t}\right)^2 (1 + n\,\delta_L) - \frac{(\alpha^2 + 1)^2}{n} \qquad (19a)$$

ha / for $t < t_o$
$$\gamma_{Lreq} = 4\alpha^2 n (1 + n\,\delta_L) - \frac{(\alpha^2 + 1)^2}{n} \qquad (19b)$$

2/ az 1/-től eltérő esetekben

2/ other than 1/

ha / for $t \geq t_o$
$$\gamma_{Lreq} = \frac{1}{n}\left[\left\{2n^2 \left(\frac{t_o}{t}\right)^2 (1 + n\,\delta_L) - 1\right\}^2 - 1\right] \qquad (20a)$$

ha / for $t < t_o$
$$\gamma_{Lreq} = \frac{1}{n}\left[\left\{2n^2 (1 + n\,\delta_L) - 1\right\}^2 - 1\right] \qquad (20b)$$

ahol

where

ha / for $R_y = 235$ MPa $\quad t_o = b/(28n) \qquad (21a)$

ha / for $R_y = 355$ MPa $\quad t_o = b/(22n) \qquad (21b)$

<u>a</u> a keresztdiafragmák távolsága,

<u>a</u> is the spacing of transverse stiffeners,

$$\delta_L = \frac{A_L}{bt} = \frac{h_s t_s}{bt} = \frac{x_3\,x_4}{x_1\,x_2} \qquad (22)$$

Az <u>a</u> távolságot számitásainkban ugy választjuk meg, hogy $\alpha = \alpha_o$ legyen és feltételezzük,

The spacing <u>a</u> is taken here so that $\alpha = \alpha_o$ and it is assumed hogy a (18) teljesül, igy a (19) képletek használhatók. Ha az x_1, x_2, x_3 és x_4 dimenzió nélküli ismeretlenekkel számolunk, ezeket kell a (15) - (20) képletekbe helyettesiteni b, t, h_s és t_s helyett.

that (18) is fulfilled, thus, formulae (19) are used. When the non-dimensionalized unknowns are applied, then x_1, x_2, x_3 and x_4 should be used instead of b, t, h_s and t_s, respectively, in (15) - (20).

Méretkorlátozási feltételek:

Size constraints:

$$x_i^L \leq x_i \leq x_i^U , \qquad i = 1,\ldots,4 \qquad (23)$$

A legkisebb x_i^L ill. legnagyobb x_i^U értékek az alábbi táblázatnak megfelelően vannak felvéve /mm-ben/

The lower and upper limit values x_i^L and x_i^U resp. are taken according to the minimal and maximal values of unknowns as follows /in mm/

	min	max R_y = 235	max 355 MPa	Δ
b	50	1400	1400	10
t	2	35	35	2*
h_s	20	200	200	5
t_s	2	16	20	2

* 22 és 25 között Δ = 3.

Δ a lépcső-érték a kerekitett értékekkel végzett diszkretizáció során.

* between 22 and 25 Δ = 3.

Δ is the step value considered in the discretization to obtain rounded optimal values.

3. Optimálás és eredmények

Az optimális méreteket a Rosenbrock-féle közvetlen kereső módszeren alapuló számitógépi programmal határoztuk meg /Rosenbrock 1960, Jármai 1989/. Az optimálás matematikai módszereiről a Farkas /1984/ könyv ad áttekintést.

Előbb a kerekitetlen optimális méreteket határoztuk meg. A számitást kiegészitettük egy diszkretizáló eljárással, amellyel a kerekitett optimális méreteket határoztuk meg.

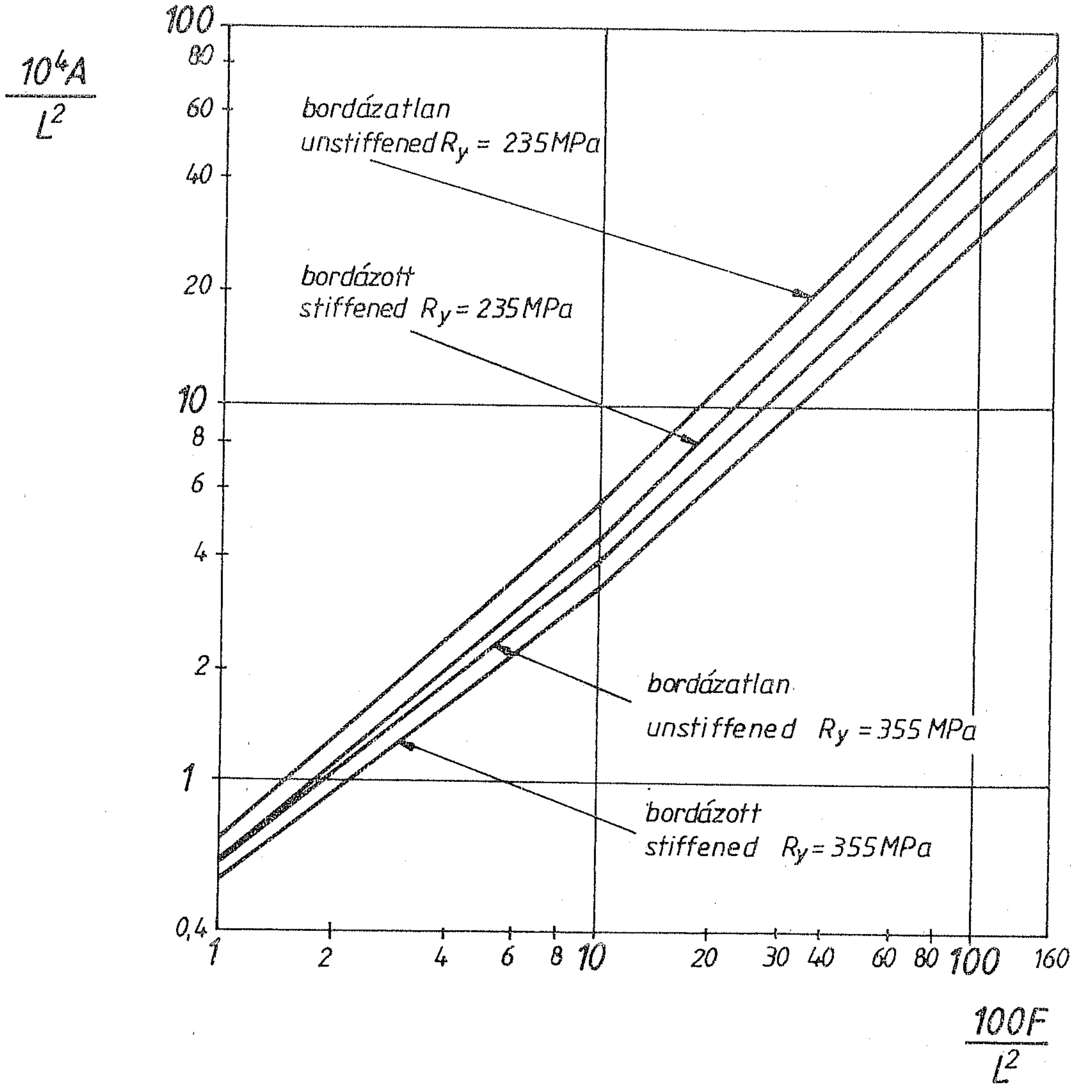
3. Optimization and results

The optimal dimensions have been computed by the use of a program developed on the basis of the Rosenbrock's direct search method /Rosenbrock 1960, Jármai 1989/. A survey of mathematical optimization methods is given in book by Farkas /1984/.

First the unrounded optimal values have been found and then the computation has been complemented by a discretization procedure to obtain rounded optimal values.

A 2. ábra mutatja az eredményeket grafikusan. Látható, hogy az A/L^2 - F/L^2 -összefüggés a kettős log-koordináta-rendszerben egyenesekkel jellemezhető.

Fig.2 shows the graphical representation of results. It can be seen that the relationships A/L^2 - F/L^2 may be characterized in a log-log coordinate-system by straight lines.



2. ábra. Optimális keresztmetszet-területek (A/L^2) az F/L^2 függvényében bordázatlan és bordázott szekrényszelvényekre, 235 ill. 355 MPa folyáshatárra

Fig.2. Optimal cross-sectional areas (A/L^2) versus F/L^2 for unstiffened and stiffened box sections with yield stress of 235 and 355 MPa, respectively

5. Következtetések

A Nakai (1986) módszer, kiegészitve a Japán Közuti Hidszabályzat (1987) képleteivel alkalmas a hosszbordás szekrényszelvényü nyomott rudak optimális méretezésére. Ez az egyedüli módszer, amely a kihajlás és horpadás kölcsönhatását bordázott szekrényszelvényeknél figyelembe veszi.

A kerekitetlen minimális szelvényterületek összehasonlitása azt mutatja, hogy

1/ a bordázott ill. bordázatlan szelvények A_{min}-jainak különbsége R_y = 235 MPa esetén 2-19% /átlagban 10%/, R_y = 355 MPa esetén 5-22% /átlagban 16%/ vagyis bordázással 10-16% sulymegtakaritás érhető el;

2/ az R_y = 235 ill. 355 MPa folyáshatáru szelvények A_{min}-jainak különbsége bordázatlan szelvényeknél 13-45% /átlagban 33%/, bordázottaknál 16-51% /átlagban 41%/, vagyis Fe 510 acél alkalmazása Fe 360 helyett 33-41%-os sulymegtakaritást eredményez. Ezt a nagy megtakaritást az okozza, hogy a feszültségek az optimális szelvényekben közel vannak a folyáshatárhoz, vagyis a kihajlás a képlékeny zónába esik, ez látható a σ ill. $\bar{\lambda}$ értékekből a táblázatokban.

Amint azt a 4. fejezetben igazoltuk, az optimális szelvényeknél k_{min} = 1, vagyis az interakció a kihajlás és horpadás között nem lép fel.

5. Conclusions

The method proposed by Nakai et al. (1986) complemented by the formulae given in the Japanese Specifications (1987) is suitable for optimum design of compressed struts of longitudinally stiffened box section. Only this method considers the interaction of overall and local buckling for stiffened box sections.

The comparisons of unrounded minimal cross-sectional areas show that

1/ the difference between A_{min} of stiffened and unstiffened sections is 2-19% /average 10%/ for R_y = 235 MPa and 5-22% /average 16%/ for R_y = 355 MPa, i.e. by use of stiffeners one can achieve savings of 10-16% in weight, respectively;

2/ the difference between A_{min} of sections with R_y = 235 and 355 MPa is 13-45% /average 33%/ and 16-51% /average 41%/ for unstiffened and stiffened sections, respectively, i.e. by use of steel Fe 510 instead of Fe 360 one can achieve savings of 33-41% in weight. These high savings are caused by the fact that the stresses in optimal sections are near the yield stress, i.e. the overall buckling lays in plastic zone, this can be seen from σ and $\bar{\lambda}$ values in tables.

As verified in Section 4, for optimal sections it is k_{min} = 1, i.e. the interaction between the overall and local buckling does not occur.

Irodalom References

Farkas,J.(1984) Optimum design of metal structures. Budapest, Akadémiai Kiadó; Chichester, Ellis Horwood.

Japanese Specifications for Highway Bridges (1987). Part 2. Steel Bridges. English Edition. Japan Road Association.

Jármai,K.(1989) Single- and multicriteria optimization as a tool of decision support system. Computers in Industry 11, p.249-266.

Nakai,H.,Kitada,T. and Miki,T. (1986) On a design criterion for checking ultimate strength of thin-walled steel frames. Mem. Fac. Eng. Osaka University 27, p.245-269.

Rosenbrock,H.H. (1960) An automatic method for finding the greatest or least value of a function. Computer J. 3, No.3.p.175-184.