microCAD-SYSTEM '92

Nemzetközi Számítástechnikai Találkozó

1992. február 25–29.

SZÁMÍTÁSTECHNIKA MŰSZAKI ALKALMAZÁSA ELŐADÁSANYAGAI I.

HEGESZTETT RÁCSOS CSŐSZERKEZETEK OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE

DR. FARKAS JÓZSEF egyetemi tanár, a müsz. tud. doktora
DR. GALÁNTAI AURÉL egyetemi docens, intézetigazgató,
a mat. tud. kandidátusa
DR. JÁRMAI KÁROLY egyetemi docens, a müsz. tud. kandidátusa
MISKOLCI EGYETEM, MAGYARORSZÁG

OPTIMUM DESIGN OF WELDED TUBULAR TRUSSES

SUMMARY

The aim of this optimum design is to determine the optimal height and optimal member sizes of a K-type truss of parallel chords with gap joints, welded from square hollow sections. Continuous variables are the widths and thicknesses of chord and brace members. The objective function is the volume (weight) of the whole truss. Constraints on overall buckling of compression members, on static strength of welded joints and geometric limitations are considered. A software based on the feasible sequential quadratic programming method and developed by Zhou and Tits is applied in an illustrative numerical example.

ÖSSZEFOGLALÁS

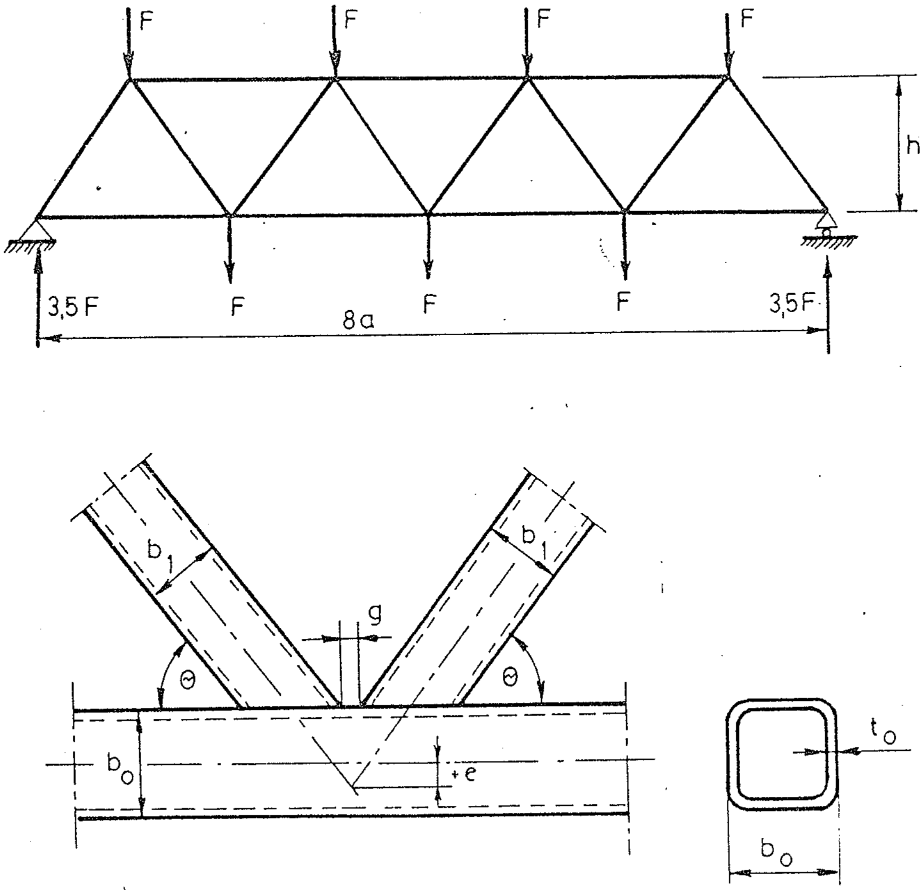
Az optimális méretezés célja meghatározni a K-rácsozásu, párhuzamos övü, hézaggal kialakitott csomópontu, négyzetes csőszelvényü rudakból hegesztett rácsos tartó optimális szerkezeti magasságát és az optimális rudszelvény-méreteket. Folytonos változók az öv- és rácsrudak szélessége és vastagsága. A célfüggvény a teljes tartó térfogata (sulya). A méretezési feltételek a nyomott rudak kihajlására, a hegesztett csomópontok statikus szilárdságára és geometriai korlátozásokra vonatkoznak. Az illusztrative számpéldában a szekvenciális kvadratikus programozási módszerre Zhou és Tits által kidolgozott szoftver került alkalmazásra.

A hegesztett csőszerkezetek korszerü és gazdaságos szerkezettipust jelentenek, alkalmazásuk igen széleskörü: tengeri olajfuró állomások szerkezetei, magasépületek vázai, rácsos térlefedő szerkezetek, rácsos hidak, jármüvázak, oszlopok, tornyok. A rácsos csőszerkezetek igen sok tipusa tervezhető a legváltozatosabb topológia, geometria, rudszelvények, csomópontok, anyagkombinációk, gyártástechnológia alkalmazásával.

A rácsos csőszerkezetek optimális méretezésénél több speciális szempontot kell figyelembe venni. Rácsos tartók optimálásánál általában a rudak keresztmetszeti területeit vesszük ismeretleneknek. A csőszerkezeteknél ez nem megfelelő, mert speciális geometriai és méretkorlátozási feltételeket - érvényességi tartományokat - kell kielégiteni, amelyek az egyes szelvények méreteire - átmérő, szélesség, vastagság - vonatkoznak. Ezért a körcsöveknél az átmérő és vastagság, a négyzetcsöveknél a szélesség és vastagság szerepel ismeretlenként.

Az 1. ábrán vázolt számpélda során meghatározandók a négyzetcsövekből hegesztett sikbeli, párhuzamos övü, szimmetrikus rácsozásu tartó optimális szelvényméretei és magassága ugy, hogy térfogata minimális legyen és feleljen meg az adott statikus terhelésre szilárdságilag.

A korlátozott szélsőérték-számitásra a Zhou és Tits által kifejlesztett FSQP - feasible sequential quadratic programming - sorozatos kvadratikus programozási módszer programcsomagját alkalmaztuk. Ez olyan egy- és többcélu - minimax - programozási feladatok hatékony megoldását teszi lehetővé, amelyekben általános egyenlőtlenség alaku és lineáris egyenlőség alaku feltételek fordulnak elő. A módszer előnye, hogy nem megengedett kezdeti megoldásból is indítható. A kvadratikus programozási részfeladatok megoldására a K. Schittkowski QLD nevü programcsomagját használja. A módszer folytonos függvényekre alkalmazható. Az eredményül kapott nem kerek méretü - nem járatos - szelvények méreteit utólagos diszkretizáló eljárással lehet járatos méretekre átszámitani, erre itt nem térünk ki.



1.ábra

Négyzetcsövekből hézagos csomópontokkal hegesztett, párhuzamos övü, szimmetrikus rácsozásu tartó

A felső és alsó övrudak $b_o x t_o$ méretü, a rácsrudak $b_1 x t_1$ méretü négyzetcsőszelvényből készülnek, a szerkezeti magasság dimenzió nélküli viszonyszáma $\omega = h/a$, tehát az optimálandó ismeretlenek b_o, t_o, b_1, t_1 és ω.

A megoldásnál a $b_o - t_o - b_1 - t_1$ négyismeretlenes feladatot számitjuk ki az ω különböző értékeire s az igy kapott megoldásokból választjuk ki a V_{min}-hez tartozó ω_{opt}-ot.

A célfüggvény - térfogat - az $A_o = 4b_o t_o$ és $A_1 = 4b_1 t_1$ keresztmetszeti területekkel

$$V = 8a\left(7b_o t_o + 4b_1 t_1 \sqrt{1 + \omega^2}\right) \qquad (1)$$

A méretezési feltételek a rudak kihajlására, a csomópontok szilárdságára és a geometriai méretkorlátozásokra vonatkoznak.

A nyomott rudak kihajlás-számitására az Eurocode 3 (1990) módszerét alkalmazzuk, megjegyezve, hogy az uj DIN 18800 Teil 2 (1990) is ezt használja.

<u>Számadatok</u>: $F = 23000$ N, a biztonsági tényező statikus terhelésre $\gamma_s = 1.5$, igy $\gamma_s F = 34500$ N a szorzott terhelő erő. Az alkalmazott acél folyáshatára $f_y = 355$ MPa, a rácsos tartó osztástávolsága $a = 3$ m, a rugalmassági modulus $E = 2.1 \times 10^5$ MPa.

<u>Övrudkihajlási feltétel</u>

$$\frac{\gamma_s F_{max.o}}{4b_o t_o} \le \chi_o f_y \qquad (2)$$

itt χ_o a kihajlási tényező, $F_{max.o}$ az övrudakban keletkező legnagyobb nyomóerő, ez a

$$F_{max.o} = 8F/\omega \qquad (3)$$

képlettel számitható. Az Eurocode 3 jelöléseivel

$$\chi_o = \frac{1}{\phi_o + \sqrt{\phi_o^2 - \bar{\lambda}_o^2}} \; ; \quad \bar{\lambda}_o = \frac{\lambda_o}{\lambda_E} \; ; \quad \chi_o \le 1 \qquad (4)$$

A rácsos tartó csomópontjai kialakithatók átlapolással vagy hézaggal. Az 1. ábra hézaggal kialakitott csomópontot mutat. Az átlapolásos csomópont szilárdsága nagyobb, viszont a hézaggal kialakitottak gyártása egyszerübb. A kétféle csomópontra vonatkozó szilárdsági ellenőrző képletek mások, mivel a csomópontok tönkremenetele is más jellegü. Az átlapolásos kötéseknél azt kell ellenőrizni, hogy a rácsrudakban a bekötéseknél fellépő egyenlőtlen feszültségeloszlás ellenére nagyobb-e a bekötés teherbirása a tényleges rácsruderőnél.

A hézaggal hegesztett csomópontoknál, négyzetes csőszelvényeknél a Design Recommendations (1989) szerint az övrudszelvények felső vizszintes övlemezrészének képlékeny teherbirását kell ellenőrizni az alábbi képlettel, melyet számos kisérletsorozat alapján állitottak össze:

$$F_{max.1} \leq 8.9 \cdot \frac{f_{yo} t_o^2}{\sin\Theta} \cdot \frac{b_1}{b_o} \sqrt{\frac{b_o}{2t_o}} \cdot f(n) \qquad (17)$$

$$\sin\Theta = \frac{\omega}{\sqrt{1+\omega^2}}$$

itt az övruderő hatását kifejező tényező

$$f(n) = 1.3 - \frac{0.4}{b_1/b_o} \cdot \frac{F_{max.o}}{A_o f_{yo}} = 1.3 - \frac{0.1}{b_1 t_o f_y} \cdot \frac{8F}{\omega} =$$

$$= 1.3 - \frac{77.746}{b_1 t_o \omega} \quad ; \text{ ha } f(n) \leq 1, \quad f(n) = 1 \qquad (18)$$

A (17) átalakitott formája

$$2x38.2181^2 b_o - t_o^4 b_1^2 f^2(n) \leq 0 \qquad (19)$$

Geometriai feltételek /érvényességi tartományok/

Az övszelvény helyi horpadási határlemez-karcsusági feltétele

$$15 \leq b_o/t_o \leq 35 \qquad (20)$$

vagy zérusra redukálva

$$-b_o + 15t_o \leq 0 \qquad (20a)$$

és

$$b_o - 35t_o \leq 0 \qquad (20b)$$

Gyárthatósági feltétel

$$0.35 \leq b_1/b_o \leq 1 \qquad (21)$$

vagy $$0.35b_o - b_1 \leq 0 \qquad (21a)$$

és $$-b_o + b_1 \leq 0 \qquad (21b)$$

A rácsrudszelvény helyi horpadási határlemez-karcsusági feltétele

$$b_1/t_1 \leq 30 \qquad (22)$$

vagy számitástechnikai okokból 100-al szorozva

$$100\,(b_1 - 30t_1) \leq 0 \qquad (22a)$$

További geometriai feltétel

$$b_1/b_o \geq 0.1 + 0.01b_o/t_o \qquad (23)$$

vagy $$0.01b_o^2 + 0.1b_o t_o - b_1 t_o \leq 0 \qquad (23a)$$

Csomóponti rácsrudbekötési külpontosság-korlátozás /nagyobb külpontosság esetén a keletkező többlet hajlitó-nyomaték már nem engedhető meg, kisebb hajlitónyomaték-többlet statikus terhelés esetén megengedhető/ /1.ábra/

$$-0.55 \leq e/b_o \leq 0.25 \qquad (24)$$

A külpontosságra $e = 0.25b_o$, a hézagra $g = 0.1b_o$ értéket felvéve a (24) feltétel alakja

$$b_1 \leq (2e + b_o)\cos\Theta - g\sin\Theta = (1.5 - 0.1\omega)\frac{b_o}{\sqrt{1+\omega^2}} \qquad (25)$$

vagy más alakban

$$-(1.5 - 0.1\omega)\,b_o + b_1\sqrt{1+\omega^2} \leq 0 \qquad (25a)$$

Mellékeljük az $\omega = 1.00$ -tól 1.35-ig 0.05-ös lépcsővel változtatott értékekre vonatkozó számitási eredmények oldalait és a programleirást. Az eredmények oldalain fel vannak tüntetve az $x_1 = b_o$, $x_2 = b_1$, $x_3 = t_o$ és $x_4 = t_1$ optimális értékei, a célfüggvény értéke és a korlátozások baloldalainak számértékei.

A 2. ábrán ábrázoltuk a célfüggvény értékeit az függvényében. Látható, hogy $\omega_{opt} = 1.25$. Az alábbi táblázatban feltüntettük az ehhez az értékhez tartozó korlátozási értékeket:

Korlátozás száma a gépi számítás szerint	Korlátozás száma a tanulmány szerint	Korlátozás értéke
10	(23a)	-133
20	(10)	-0.4×10^{-6}
30	(13)	-0.1×10^{-5}
40	(19)	-0.1×10^{-9}
50	(22a)	-2069
60	(21b)	-28
70	(25a)	-19
80	(20a)	-63
90	(20b)	-7.6
100	(21a)	-47

Az optimális $\omega = 1.25$-höz tartozó szelvényméretek:/mm/

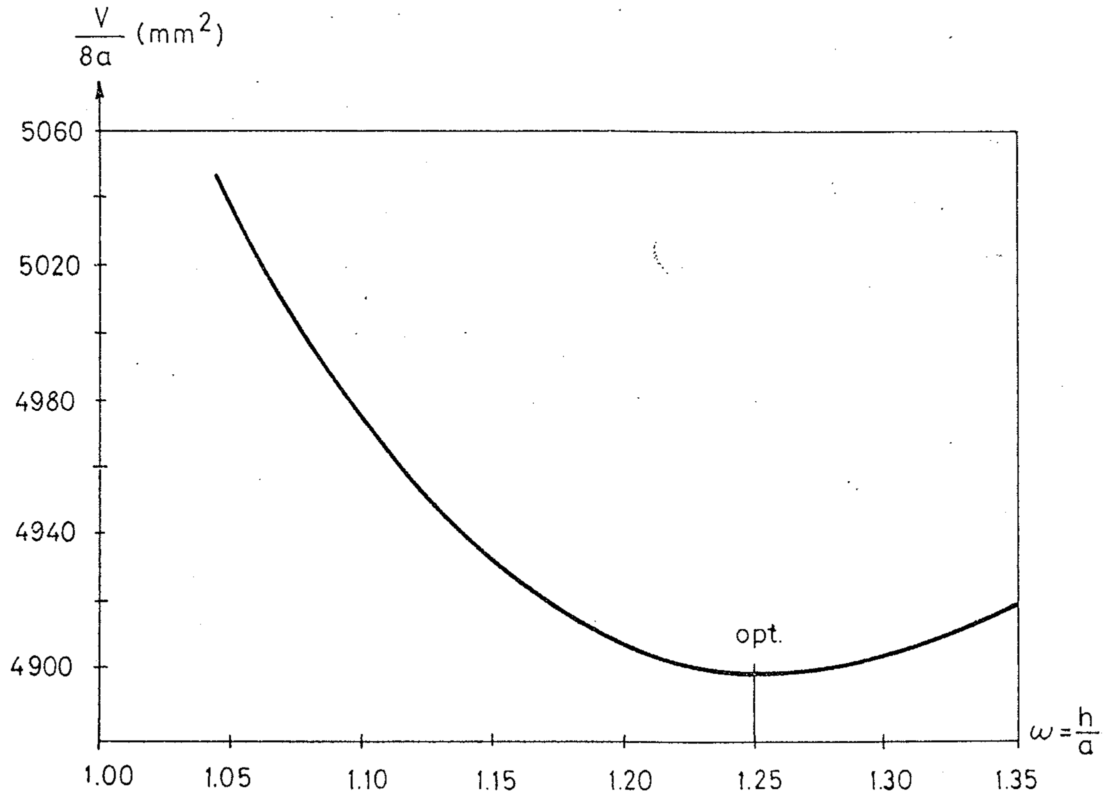
$$x_1 = b_o = 116.1$$
$$x_2 = b_1 = 87.6$$
$$x_3 = t_o = 3.54$$
$$x_4 = t_1 = 3.61$$

A célfüggvény értéke

$$\frac{V_{min}}{8a} = 4900.06 \text{ mm}^2.$$

Köszönetnyilvánitás

A tanulmány a Pro Renovanda Cultura alapitvány támogatásával készült.



2. ábra

Különböző $\omega = h/a$ viszonyszámokra optimált rácsos tartó térfogattal arányos $V/(8a)$ értékei

Irodalom

Design Recommendations for Hollow Section Joints - predominantly statically loaded. 2nd ed. 1989. IIW-XV-E Subcommittee "Tubular Structures" IIW-Doc. XV-701-89.

Farkas,J.: Fémszerkezetek. Egyetemi tankönyv. 2.kiadás. Budapest, Tankönyvkiadó, 1983.

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

Farkas,J.: Economy achieved by using higher strength steels in trusses welded from square hollow sections. "Welding of Tubular Structures. Proc. 2nd Int. Conference, Boston,Mass. 1984. Pergamon Press, Oxford, 1984." pp.137-144.

Farkas,J.: Optimum design of welded tubular trusses including fatigue constraints. "Internat. Meeting on safety criteria in design of tubular structures. Tokyo, 1986. IIW-Archit. Inst. of Japan."Paper No.29.p.1-10.

Farkas,J.: Application of the IIW recommendations to the optimum design of CHS and SHS trusses subject to fluctuating loads. IIW-Doc. XV-636-87, XIII-1253-87, Sofia.

Farkas,J.: Consideration of fabrication costs in the optimum design of welded tubular trusses. IIW-Doc.XV-677-88.Vienna.

Farkas,J.: Optimum design for fatigue of trusses welded from circular hollow sections. Acta Techn.Hung. 100/1987/No.1-2. pp.51-65.

Farkas,J.: Minimum cost design of tubular trusses considering buckling and fatigue constraints. "Internat.Symposium on Tubular Structures. Lappeenranta, Finland, 1989. Preprints P7.08." "Tubular Structures. Elsevier Appl.Sci. London-New York, 1990." pp.451-459.

Recommended fatigue design procedure for hollow section joints. IIW-Doc.XIII-1158-85/XV-582-85. 1985. Strasbourg.

Wardenier,J., Kurobane,Y. et al.: Design guide for circular hollow section /CHS/ joints under predominantly static loading. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1991.

Zhou,J.L., Tits,A.L.: FSQP Version 2.3b. Sept. 1991. Electrical Engineering Department and Systems Research Center, Univ. of Maryland, MD 20742.