

# ACÉLSZERKEZETEK

Magyar Acélszerkezeti Szövetség lapja – Journal of the Hungarian Steel Structure Association



## A TARTALOMBÓL:

- *A „SZÁZLÁBÚ” híd átépítése*
- *Hegesztett szerkezetek káresetei és tanulságok*
- *A kibővített Árpád híd 30 éves*
- *Acélszerkezetek tervezése és kivitelezése a hengerművek új fejlesztésének tükrében*
- *Napjaink acélszerkezetei Franciaországban*
- *A Haßmersheimi Neckar folyó hídja*
- *Pályázati felhívások: NÍVÓDÍJ - DIPLOMADÍJ*
- *A hegesztéstechnológia bevezetése és fejlődése a hazai acélszerkezet-építésben VII. részét technikai okok miatt a 2015/1. számban közöljük.*

## TÁJÉKOZTATÓ AZ ELNÖKSÉGI ÜLÉS RŐL

A MAGÉSZ elnöksége 2014. szeptember 24-én a KÉSZ Ipari Gyártó Kft.-nél tartotta a barmadik negyedévi rendes elnökségi ülését. Jelen voltak az elnökség tagjai: Honti Ferenc, Aszman Ferenc, Duma György, Markó Péter, Papp Zoltán, Dr. Csapó Ferenc. Meghívott: Ifj. Boros László termelési igazgató (KÉSZ Ipari Gyártó Kft.). Az ülést Honti Ferenc elnök vezette.

A levezető elnök üdvözölte a megjelenteket és megállapította, hogy az elnökség határozatképes. Javasolta, hogy az elnökség a meghívó szerinti napirendi pontokat tárgyalja. Egyéb felvetés nem lévén, az elnökség a javaslatot elfogadta.

### Napirendi pontok tárgyalása a meghívó szerint:

1. Ajánlások megfogalmazása a következő év munkatervének elkészítéséhez.
2. Egyebek.
3. A KÉSZ Ipari Gyártó Kft. tájékoztatása.

### AJÁNLÁSOK MEGFOGALMAZÁSA A KÖVETKEZŐ ÉV MUNKATERVÉNEK ELKÉSZÍTÉSÉHEZ

#### ➔ A tagdíj mértéke 2015-ben

A tagdíj mértékén az alábbiak szerint változtattunk 2012-ben, és ma is ez van érvényben:

**Tagvállalatoknak az előző év nettó árbevételének függvényében:**

500 M Ft alatt a tagdíj	180 E Ft
500–1000 M Ft között	240 E Ft
1000–2000 M Ft között	420 E Ft
2000–4000 M Ft között	480 E Ft
4000 M Ft felett	600 E Ft

az évi tagdíj mértéke.

Egyéni tagoknak	15 000 Ft/év
Nyugdíjasoknak	0 Ft/év
Pártoló tagoknak	180 000 Ft/év
Társult tagoknak	50 000 Ft/év

#### Elnökségi határozat

Az elnökség egyhangú szavazással úgy döntött, hogy a tagdíj mértékén a 2015. évben nem változtattunk.

#### ➔ Programok a 2015. évre

##### • ELNÖKSÉGI ÜLÉSEK:

- 2015. március 18., BME Nívódíj és diplomadíj értékelése és a közgyűlés előkészítése.
- 2015. június 17. RUTIN Kft. vagy MSc Kft.
- 2015. szeptember 23. Későbbi döntés függvénye
- 2015. december 2. BME Hidak és Szerkezetek Tanszék

- 2015. április 15.: **KÖZGYŰLÉS** Évi rendes közgyűlés. Tisztségviselők választása nem lesz.

- 2015. május 20–21. (szerda-csütörtök): **XIII. ACÉLSZERKEZETI KONFERENCIA, Dunaújváros**

##### Gondolatok a szervezéshez:

- Az időpontot módosíthatja a terem és a szállás rendelkezésre állása.
- Előadókra/előadásokra javaslat: Az elnökség előzetes programot tárgyal meg és döntött abban is, hogy előadásra a MAGÉSZ tagjait kérjük fel.
- Az elnökség később dönt azon személyekről, akiket vendégként meghívunk.

- 2015. október 15. (csütörtök) **19. sz. FÉMSZERKEZETI KONFERENCIA** (MKE – MAGÉSZ rendezésében)

- 2015. december 2. **ÉVZÁRÓ RENDEZVÉNY** BME Hidak és Szerkezetek Tanszék

- **Munkaterv 2015** Részletezésére a következő elnökségi ülésen kerül sor.

# TARTALOM CONTENTS

Szövetségi hírek	1
Association News	1
Hírek	2
News	2
In Memoriam Dr. Seregi György (1927–2015)	3
A MAGÉSZ pályázati felhívása	4
Beszámoló az Eurosteel 2014 konferenciáról	6
50 esztendő az Erzsébet kábelhid	7
Arefos társaság, Bemutatók a KÉSZ Ipari Gyártó Kft. acélszerkezet-gyártó központja	27
A Kerepesi úti „Százlábú” híd átépítése	28
Ankét a hegesztett mérnöki szerkezetek biztonságáról	34
A 18. Fém szerkezeti Konferencia	38
Harmadik évi helyeztek forgalomba a készletheztelt Árpád híd	40
Helyreigazítási kérés	48
A hegesztési varratok faradási szilárdságának növeléséről	50
Napjaink acélszerkezetei Franciaországban	58
Acélszerkezetek tervezése és kivitelezése a hengerművek új fejlesztésének tükrében	68
Hegesztési szimpózium a Linde Gáz Magyarország Zrt. rendezésében	72
A Halmersheimi Neckar folyó hidjának építése	79
Construction of Neckar bridge at Halmersheim	79
Hegesztett cellalemezés szekrénytartó szállítószalaghid tervezése minimális költségre	86
Belt-conveyor bridge design as a box beam with welded cellular walls for minimum cost	86
Integrált gerendás födémrendszer profillemes ösvérfödémének tervezése	92
Design of the composite slab of a slum-floor system	92
A vasárosnaményi II. Rákóczi Ferenc Tisza-híd – avagy katalizátor az anyagtudományok hidtervezési alkalmazásához	100
Dr. Korányi Imre emléktáblájának avatási ünnepsége	102
Hegesztett szerkezetek káresetei és tanulságai	104
20 éves a Normandia híd	110
Megjelent a PED-2014, azaz az 2014/68/EU Irányelv	112
Végét ért a FOCUSban a művészet 2014 Hegesztési Verseny	114
Fókuszban a stadionépítés, Beszámoló a Könnyűszerkezetes Akadémia őszi programjáról	116
Nagyot emelnek!	117
Boldog születésnapot, Dunagép Zrt.!	119
Eposzigyanta alapú tűzvédő bevonatrendszerek alkalmazása. II. rész. Sika Unitherm Platinium gyártóművi feldolgozásának tapasztalatai	121

# HEGESZTETT CELLALEMEZES SZEKRENYTARTÓJÚ SZÁLLÍTÓSZALAGHÍD TERVEZÉSE MINIMÁLIS KÖLTSÉGRE

## BELT-CONVEYOR BRIDGE DESIGN AS A BOX BEAM WITH WELDED CELLULAR WALLS FOR MINIMUM COST

Kéttámaszú, hajlított szekrénytartó esetén, ha szigorú lehajláskorlátozás van előírva, a hegesztett, bordázatlan szekrényoszlop lemeztvastagságai olyan nagyokra adódnak, hogy hegesztésük nem valósítható meg. A cellalemezes szekrénytartó ezzel szemben kis lemeztvastagságokkal és kis önsúllyal tervezhető. Az önsúlyon és hasznos terhen kívül hőterhet is figyelembe veszünk. A minimálendő költségfüggvény tartalmazza az anyag-, összeállítási, hegesztési és festési költségeket. A lehajlási feltételen kívül további tervezési és gyártási feltételeket is figyelembe veszünk. Az optimálendő keresztmetszeti méreteket MathCAD programmal, szisztematikus kereséssel számítjuk ki.

Belt-conveyor bridges are important structures in heavy industry. Their welded steel structures can be designed as cylindrical circular shells or box beams. Consider a numerical problem of a simply supported box beam of span length  $L = 120$  m. In order to ensure a sufficient rigidity a vertical deflection constraint of  $w_{\max} = L/1000$  is prescribed.

The calculations show the followings:

- (1) To satisfy the deflection constraint, a simple unstiffened welded box beam should have thick (over 50 mm) flanges and webs, which would be unsuitable for welding.

### 1. BEVEZETÉS

A (Farkas and Jármai 2008) könyvben tárgyaltuk a bordázott körhenger-héj keresztmetszetű szállítószalaghidak optimális méretezését. E tanulmányban bemutatjuk a hegesztett cellalemezes szekrénytartójú híd optimalizálását.

A számszerű problémában a kéttámaszú tartó támaszköze  $L = 132$  m. A szállítószalagok zavartalan üzemre szempontjából szükséges tartóerevséget azzal biztosítjuk, hogy korlátozzuk a legnagyobb lehajlást  $w_{\max} = L/1000 = 132$  mm értékben.

Az előzetes számítások szerint

- (1) az adott számszerű körülmények között a bordázatlan szekrényoszlop lemeztvastagságai 50 mm fölöttiekre adódnának, ez a megoldás hegesztés szempontjából kedvezőtlen,
- (2) a feszültségi feltétel passzív,
- (3) a vízszintes alakváltozást nem szükséges figyelembe venni, mert a szélteher hatása elhanyagolható.

(2) The stress constraint is inactive.

(3) It is unnecessary to consider the horizontal displacement, since the effect of wind load can be neglected.

Thus, it can be concluded that the box beam should have stiffened plate elements. We use cellular plates, since they have some advantages over the plates stiffened on one side.

Cellular plates consist of two face plates and a grid of stiffeners welded between them. We use longitudinal welded T-shape stiffeners, since their web can be much thinner than that of halved rolled I-profiles.

The unknowns to be optimized are as follows: height and width of box beam, thicknesses of flanges and webs, numbers and dimensions of T-stiffeners for flanges and webs.

The cost function to be minimized consists of costs of material, assembly, welding and painting of a 12 m long beam element. Note that the whole beam can be assembled from 10 equal elements using bolted connections. The cost of these connections is not treated.

An efficient mathematical optimization method is used to determine the most economic structural version.

A cellalemezes falak előnyösebbek az egyoldalt bordázottaknál, mert kisebb szerkezeti magasságok adódnak és a sík felületek kisebb festési költséget igényelnek.

### 2. A BORDÁZATLAN SZEKRENYOSZLOP TARTÓ OPTIMÁLÁSA

#### 2.1 Terhek

Állandó teher (szalagok, görgők, kezelőjárda) 4.09 N/mm, biztonsági tényezővel 4.5 N/mm

Hasznos teher (két szalagra) 8.0 N/mm, biztonsági tényezővel 12.0 N/mm

Hőteher az EN1991-1-3 (2005) szerint

$$s = \mu C_e C_t s_k \quad C_e = C_t = 1,$$

$$\mu = 0.8, \quad s_k = 4.0 \text{ kN/m}^2 \quad s = 3.2 \text{ kN/m}^2$$

$$sb = 3.2 \times 10^{-3} b \quad (b \text{ tartószélesség mm-ben}).$$



A gyakori teherkombinációra az EN 1990 (2005) ad meg együtthatókat, itt egyénileg veszünk fel ilyen szorzókat.

A teherkombinációra felvett hőteher  $0.5sb = 1.6 \times 10^{-3}b$ , biztonsági tényezővel  $1.5 \times 1.6 \times 10^{-3}b$

A szélterhet az EN1991-1-4 (2007) szerint lehet számítani, de itt ezt elhanyagoljuk.

Mivel az előzetes számítások szerint a feszültségi feltétel passzív, ezért csak a lehajlási feltételt vesszük figyelembe.

## 2.2 A lehajlási feltétel előkészítése

Teher

$$p_{VD} = 12.09 + \rho_1 A_D + 1.6 \times 10^{-3} b \quad (1)$$

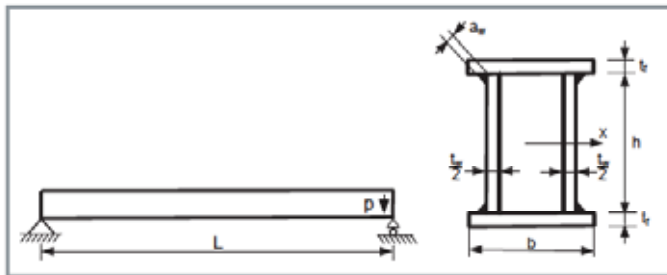
Keresztmetszeti terület (1. ábra)

$$A_D = ht_w + 2bt_f \quad (2)$$

Aktív helyi horpadási feltételek alapján a határlemezkarcsúságok az EN 1993-1-1 (2009) szerint (D index – deflection – a lehajlást)

$$\frac{t_w}{2} = \beta_D h, \quad t_f = \delta_D b, \quad \frac{1}{\beta_D} = 69 \varepsilon_D, \quad (3)$$

$$\frac{1}{\delta_D} = 42 \varepsilon_D, \quad \varepsilon_D = \sqrt{\frac{235}{\sigma_D}}$$



1. ábra: Kéttámaszú, hegesztett szekrényszelvényű tartó

A fentiekkel

$$A_D = 2\beta_D h^2 + 2\delta_D b^2 \quad (4)$$

Legnagyobb feszültség hajlításból a lehajlási feltételhez

$$\sigma_D = \sigma_{DV} + \sigma_{DH} = \frac{p_{VD} L^2}{8W_{xD}} + \frac{p_{HD} L^2}{8W_{yD}} \quad (5)$$

## 2.3 Geometriai jellemzők a lehajláshoz

Másodrendű nyomaték

$$I_{xD} = \frac{h^3 t_w}{12} + 2bt_f \left(\frac{h}{2}\right)^2 = \frac{\beta_D h^4}{6} + \delta_D b^2 \frac{h^2}{2} \quad (6)$$

Keresztmetszeti tényező

$$W_{xD} = \frac{2I_{xD}}{h} = \frac{\beta_D h^3}{3} + \delta_D b^2 h \quad (7)$$

Látható, hogy a  $\sigma_D$  miatt iterációra van szükség.

## 2.4 Lehajlási feltétel

(A V index – vertical – a függőleges lehajlásra utal)

$$w_V = \frac{5p_{VD} L^4}{384EI_{xD}} \leq \frac{L}{1000} \quad (8)$$

## 2.5 Az optimalálás eredménye

Az 1. táblázat mutatja a szisztematikus keresés eredményeit.

1. táblázat

$h$ mm	$b$ mm	$A_D \times 10^{-6}$ mm <sup>2</sup>	$\sigma_D$ MPa
9050	6000	2286	73
9330	5500	2260	76
9630	5000	2260	80
9950	4500	2287	83

A bordázatlan szekrényszelvény optimális méreteit vastag betűk jelzik. Minden esetben a tartó lehajlása közel 132 mm

Az optimális méretek  $h = 9630$  és  $b = 5000$  mm. Ezekhez a lemezvastagságok  $t_w/2 = 81$  és  $t_f = 69$  mm. Ezek kedvezőtlenek hegesztés szempontjából, ezért bordázott lemezes szekrényszelvényre van szükség.

Megemlítjük, hogy az önsúlynak nagy szerepe van abban, hogy ilyen nagy szekrényszelvény adódott. Az optimális szelvény esetén az önsúly  $\rho_1 A_D = 1774$  kg/mm, ez a többi teherhez képest egy nagyságrenddel nagyobb.

## 3. CELLALEMEZES SZEKRENYTARTÓ TERVEZÉSE KÖLTSÉGMINIMUMRA

### 3.1 Bevezetés

A cellalemezek két fedőlemez közé hegesztett bordarácsból állnak. A bordák lehetnek félbevágott, hengerelt I szelvényűek vagy hegesztett T szelvényűek. Jelen esetben a lehajlási feltétel aktív és ez kis normál feszültségekkel jár, ezért a hegesztett T szelvényű bordák gerincvastagsága sokkal kisebb lehet, mint a hengerelt szelvényűé. Ezért a hegesztett T szelvényű bordákat alkalmazzuk.

Lehajlási feltétel esetén a szekrényszelvény optimális magasság/szélesség viszonya nagyobb, ezért korlátozni kell a szélességet. Ezt 2000 mm-ben határozzuk meg.

Tervezési feladat a szekrényszelvény sarkainak megfelelő kialakítása. Jelen esetben a negyed köríves megoldást alkalmazzuk (2. ábra).

Az optimalizálható változók: a szekrényszelvény magassága és szélessége  $H_0$  és  $B_0$ , lemezvastagság  $t$ , a cellalemez magassága  $h$ , a hegesztett T szelvény gerincvastagsága  $t_w$ , övlemez-szélessége  $b$  és vastagsága  $t_f$ , bordatávolság a szekrényszelvény övlemezeiben illetve gerinclemezeiben:  $n_x$  és  $n_y$ .

Méretezési feltételek: tartólehajlás korlátozása, bordák gerinclemezeinek horpadása, fedőlemezek horpadása, sarki körívhejak horpadása, bordák övlemez minimális távolságának előírása a gerinclemezek megfelelő hegesztésének biztosítása céljából.

A költségfüggvény tartalmazza az anyag-, összeállítási, hegesztési és festési költségeket és a gyártási sorrendnek megfelelően van megfogalmazva. A költségeket egy 12 m hosszú tartóelemre számítjuk ki. Minden tartóelem két véglemezhez van hegesztve és a teljes tartó a 11 tartóelem összecsavározásával keletkezik. A csavarozások költségeit nem vesszük figyelembe.

### 3.2 Adatok

Tartó-támaszköz  $L = 132$  m (11  $L_0 = 12$  m hosszú tartóelem).

Egyenletesen megoszló függőleges teher

$$\begin{aligned} p_{vd} &= 12.09 + \rho_1 A + 1.6 \times 10^{-6} B_0 \\ \rho_1 &= 7.85 \times 10^{-5} \text{ kg/mm}^3 \end{aligned} \quad (9)$$

Folyáshatár  $f_y = 355$  MPa,

rugalmassági modulus  $E = 2.1 \times 10^5$  MPa,

Poisson szám  $\nu = 0.3$ .

### 3.3 Geometriai jellemzők

Egy T szelvényű borda keresztmetszeti területe (2. ábra)

$$A_s = h_0 t_w + b t_f, \quad h_0 = h - t - t_f, \quad h_{01} = h_0 - t_f \quad (10)$$

súlyponti távolság

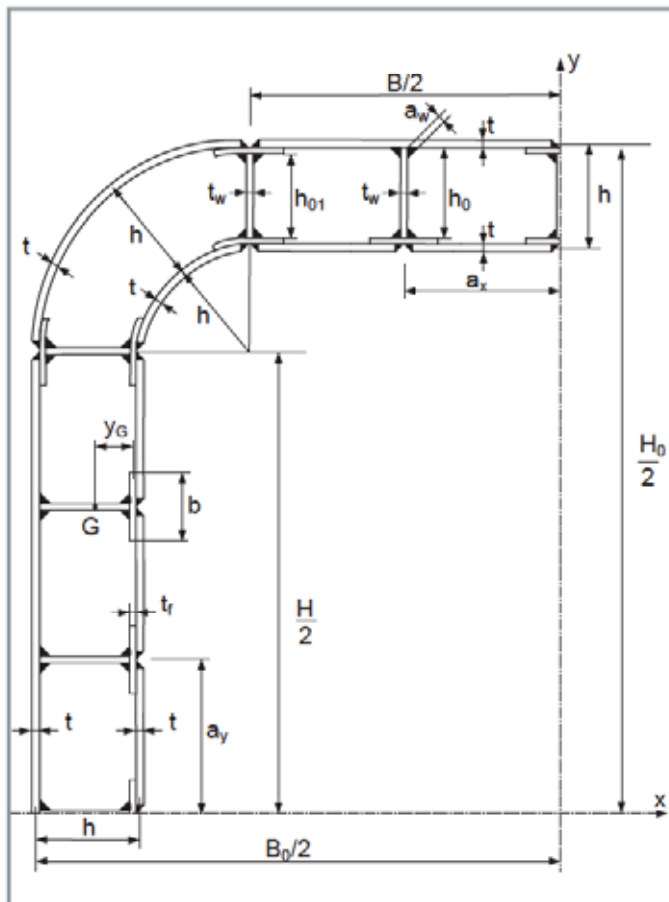
$$y_G = \frac{h_0 t_w}{A_s} \left( \frac{h_0 + t_f}{2} \right) \quad (11)$$

másodrendű nyomaték

$$I_s = \frac{h_0^3 t_w}{12} + h_0 t_w \left( \frac{h_0 + t_f}{2} - y_G \right)^2 + \frac{b t_f^3}{12} + b t_f y_G^2 \quad (12)$$

A sarkok köríves héjелеmeinek sugara: külső héjelem  $2h$ , belső héjelem  $h$ . Így a szekrénytartó öveinek illetve gerinceinek szélessége illetve magassága

$$B = B_0 - 4h = n_x a_x, \quad H = H_0 - 4h = n_y a_y \quad (13)$$



2. ábra: A cellatartó kettős szimmetriájú keresztmetszetének egynegyede

Egy szekrénytartó-öv másodrendű nyomatéka az  $x$  tengelyre

$$\begin{aligned} I_{x1} &= \frac{Bt^3}{6} + Bt \left( 2h + \frac{H}{2} \right)^2 + Bt \left( h + \frac{H}{2} \right)^2 \\ &+ (n_x - 1) \left[ I_s + A_s \left( y_G + h + \frac{H}{2} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (14)$$

ahol  $n_x$  és  $n_y$  a bordaosztások száma,  $a_x$  és  $a_y$  a bordatávolságok.

Egy szekrénytartó-gerinc másodrendű nyomatéka

$$I_{x2} = \frac{H^3 t}{6} + I_{s1} \quad (15)$$

$$I_{s1} = \left( \frac{b^3 t_f}{12} + \frac{h_0 t_w^3}{12} \right) \frac{(n_y^2 - 1) H^2}{48 n_y} \quad (16)$$

Két sarok negyed-köríves héjelemet egy félköríves elemként számítva, a külső sarokívek másodrendű nyomatéka

$$I_{x3} = \frac{(2h)^3 \pi t}{2} \left( 1 - \frac{8}{\pi^2} \right) + 2h \pi t \left( \frac{4h}{\pi} + \frac{H}{2} \right) \quad (17)$$

és a belső félköríves héjelemeké

$$I_{x4} = \frac{h^3 \pi t}{2} \left( 1 - \frac{8}{\pi^2} \right) + h \pi t \left( \frac{2h}{\pi} + \frac{H}{2} \right) \quad (18)$$

A sarokívek kapcsolatát az övekkel illetve gerinccel 8 hegesztett I tartóval oldottuk meg. A függőleges I tartók másodrendű nyomatéka

$$I_{ST1} = \frac{h_0^3 t_w}{12} + 2 \left[ \frac{b t_f^3}{12} + b t_f \left( \frac{h-t}{2} \right)^2 \right] + A_{s1} \left( \frac{3h}{2} + \frac{H}{2} \right)^2 \quad (19)$$

és a vízszintes I tartóké

$$I_{ST2} = \frac{h_0 t_w^3}{12} + \frac{b^3 t_f}{6} + A_{s1} \left( \frac{H}{2} \right)^2 \quad (20)$$

$$A_{s1} = h_0 t_w + 2b t_f \quad (21)$$

az összes kapcsoló I tartóké

$$I_{x5} = 4(I_{ST1} + I_{ST2}) \quad (22)$$

A teljes tartókeresztmetszeté

$$I_x = 2I_{x1} + 2I_{x2} + 2I_{x3} + 2I_{x4} + I_{x5} \quad (23)$$

A teljes tartó-keresztmetszeti terület

$$\begin{aligned} A &= 4Bt + 2(n_x - 1)A_s + 4Ht + 2(n_y - 1)A_{s1} \\ &+ 6h \pi t + 8A_{s1} \end{aligned} \quad (24)$$

### 3.3 A lehajlási feltétel

$$w_{\max} = \frac{5 p_{vd} L^4}{384 E I_x} \leq \frac{L}{1000} \quad (25)$$

A bordák gerinclemeze  $t_w$  vastagságának számításához szükség van a normál feszültség értékére

$$\sigma_d = \frac{p_{vd} L^2}{8 W_{sd}}, \quad W_{sd} = \frac{2 I_x}{H_0} \quad (26)$$

Ez a feszültség kicsi, mert a lehajlási feltétel aktív.



### 3.4 A bordák gerinclemezének horpadási feltétele

$$t_{w\min} = \delta_d h_0, \quad \delta_d = \frac{1}{42\varepsilon_d}, \quad \varepsilon_d = \sqrt{\frac{235}{\sigma_d}} \quad (27)$$

### 3.5 A bordák közötti lemezrészecskék horpadási feltételei

$$n_{x,\max} = \frac{B}{42\varepsilon_d t}, \quad \varepsilon_d = \sqrt{\frac{235}{\sigma_d}} \quad (28)$$

$$n_{y,\max} = \frac{H}{42\varepsilon_{d1} t}, \quad \varepsilon_{d1} = \sqrt{\frac{235}{\sigma_{d1}}}, \quad \sigma_{d1} = \sigma_d \frac{H}{H_0} \quad (29)$$

### 3.6 A sarkok külső negyed-köríves héjelemeinek horpadási feltétele

A DNV (2002) szerint egy bordázatlan köríves héjpanelre

$$\sigma_d \leq \sigma_s = \frac{f_y}{\sqrt{1+\lambda_s^4}}, \quad \lambda_s = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_E}},$$

$$\sigma_E = C \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{s}\right)^2, \quad s = h\pi \quad (30)$$

$$C = \psi \sqrt{1 + \left(\frac{\rho_0 \xi}{\psi}\right)^2}, \quad \psi = 4,$$

$$\rho_0 = 0.5 \left(1 + \frac{R}{150t}\right)^{-0.5}, \quad R = 2h \quad (31)$$

$$\xi = 0.702 Z_s, \quad Z_s = \frac{s^2 \sqrt{1-\nu^2}}{Rt} \quad (32)$$

### 3.7 Költségfüggvény

Adatok:

$$k_w = 1.0 \text{ \$/min},$$

$$\Theta = 2, \quad \Theta_1 = 3,$$

$$\rho = 7.85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$$

(1a) Az egyik öv külső fedőlemezének hegesztése SAW tompavarratokkal, méretek szélesség  $B$ , hossz  $L_0$  (a külső fedőlemezek száma 2).

Feltételezzük, hogy a lemezeket 6000 mm hosszú, 1500 mm-nél keskenyebb lemezrészecskékből hegesztjük össze. A lemezrészecskék száma  $q_1 = B/1500$  egész számra felfelé kerekítve. Az összeszerelt elemek térfogata, varrathossza és száma

$$V_{11} = BtL_0, \quad L_{w11} = B + (q_1 - 1)L_0, \quad \kappa_{11} = 2q_1, q_1 = 2 \quad (33)$$

$B$ -t minimum 2000 mm-re korlátozzuk, hogy legyen elegendő hely a szállítószalagokra és kezelő személyekre. A hegesztési költség

$$K_{w11} = k_w (\Theta \sqrt{\kappa_{11} \rho V_{11}} + 1.3 C_w t^n L_{w11}) \quad (34)$$

$$\text{ha } t < 11 \quad C_w = 0.1346 \times 10^{-3} t^2$$

$$\text{ha } t > 11 \quad C_w = 0.1033 \times 10^{-3} t^{1.909}$$

(1b) Az (1a)-hoz hasonlóan hegesztjük a gerincek  $H$  szélességű és  $L_0$  hosszúságú külső fedőlemezeit (számuk 2)

$$V_{12} = HtL_0, \quad L_{w12} = H + (q_2 - 1)L_0,$$

$$\kappa_{12} = 2q_2, \quad q_2 = H/1500 \text{ kerekítve} \quad (35)$$

$$K_{w12} = k_w (\Theta \sqrt{\kappa_{12} \rho V_{12}} + 1.3 C_w t^n L_{w12}) \quad (36)$$

(2a) Az  $R = 2h$  sugarú külső körhenger-héjak alakítási költsége 3000 mm hosszban, számuk 4.

$$K_{F1} = k_w \Theta e^{\mu_1},$$

$$\mu_1 = 6.8582513 - 4.527217t^{-0.5} + 0.009541996(4h)^{0.5} \quad (37)$$

(2b) A 4 körhenger-héj hegesztése SAW tompavarratokkal

$$V_2 = 4h\pi L_0 t, \quad L_{w2} = 3 \times 4h\pi, \quad \kappa_2 = 4 \quad (38)$$

$$K_{w2} = k_w (\Theta \sqrt{\kappa_2 \rho V_2} + 1.3 C_w t^n L_{w2}) \quad (39)$$

Ezeket a héjakat szétvágjuk, hogy a négy sarok elemeiként szolgáljanak, a vágási költséget elhanyagoljuk.

(3) Lemezsávok hegesztése SAW tompavarratokkal a belső fedőlemezekhez, bordaövekhez és bordagerincekhez.

(3a) Lemezsávok a szekrénytartó öveihez (számuk  $2n_x$ )

$$V_{31} = a_x t L_0, \quad L_{w31} = a_x, \quad \kappa_{31} = 2, \quad a_x = B/n_x \quad (40)$$

$$K_{w31} = k_w (\Theta \sqrt{\kappa_{31} \rho V_{31}} + 1.3 C_w t^n L_{w31}) \quad (41)$$

(3b) Lemezsávok a tartó gerinceihez (számuk  $2n_y$ )

$$V_{32} = a_y t L_0, \quad L_{w32} = a_y, \quad \kappa_{32} = 2, \quad a_y = H/n_y \quad (42)$$

$$K_{w32} = k_w (\Theta \sqrt{\kappa_{32} \rho V_{32}} + 1.3 C_w t^n L_{w32}) \quad (43)$$

(3c) Az  $R = h$  sugarú belső körhenger-héjak alakítási költsége 3000 mm hosszban, számuk 4.

$$K_{F2} = k_w \Theta e^{\mu_2},$$

$$\mu_2 = 6.8582513 - 4.527217t^{-0.5} + 0.009541996(2h)^{0.5} \quad (44)$$

A 4 körhenger-héj hegesztése SAW tompavarratokkal

$$V_3 = 2h\pi L_0 t, \quad L_{w33} = 3 \times 2h\pi, \quad \kappa_3 = 4 \quad (45)$$

$$K_{w33} = k_w (\Theta \sqrt{\kappa_3 \rho V_3} + 1.3 C_w t^n L_{w33}) \quad (46)$$

(3d) Lemezsávok a bordagerincekhez [számuk  $(2n_x - 2 + 2n_y - 2)$ ]

$$V_{34} = h_0 t_w L_0, \quad L_{w34} = h_0, \quad \kappa_{34} = 2 \quad (47)$$

$$K_{w34} = k_w (\Theta \sqrt{\kappa_{34} \rho V_{34}} + 1.3 C_w t^n L_{w34}) \quad (48)$$



- (3e) Lemezsávok a bordaövekhez  
[számuk  $(2n_x - 2 + 2n_y - 2 + 16)$ ]  
(16 az átmeneti I tartók öveinek száma)

$$V_{35} = bt_f L_0, L_{w35} = b, \kappa_{35} = 2 \quad (49)$$

$$K_{w35} = k_w \left( \Theta \sqrt{\kappa_{35} \rho V_{35}} + 1.3 C_w t^n L_{w35} \right) \quad (50)$$

- (3f) Lemezsávok az átmeneti I tartók gerincéhez  
[számuk 8]

$$V_{36} = (h_0 - t_f) t_w L_0, L_{w36} = h_0 - t_f, \kappa_{36} = 2 \quad (51)$$

$$K_{w36} = k_w \left( \Theta \sqrt{\kappa_{36} \rho V_{36}} + 1.3 C_w t^n L_{w36} \right) \quad (52)$$

- (4) A külső fedőlemezről és bordákból álló tartóövek hegesztése SAW sarokvarratokkal (az övek száma 2)

$$V_4 = BtL_0 + (n_x - 1)A_S L_0, \quad (53)$$

$$L_{w4} = 4(n_x - 1)L_0, \kappa_4 = 1 + 2(n_x - 1)$$

$$K_{w4} = k_w \left( \Theta \sqrt{\kappa_4 \rho V_4} + 1.3 \times 0.2349 \times 10^{-3} a_w^2 L_{w4} \right) \quad (54)$$

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

- (5) A külső fedőlemezről és bordákból álló tartógerincek hegesztése (a gerincek száma 2)

$$V_4 = HtL_0 + (n_y - 1)A_S L_0, \quad (55)$$

$$L_{w5} = 4(n_y - 1)L_0, \kappa_5 = 1 + 2(n_y - 1)$$

$$K_{w5} = k_w \left( \Theta \sqrt{\kappa_5 \rho V_5} + 1.3 \times 0.2349 \times 10^{-3} a_w^2 L_{w5} \right) \quad (56)$$

- (6) Eredetileg a sarkokon a köríveket még  $45^\circ$ -ban is merevítőbordákkal erősítettük. A horpadásvizsgálatok szerint ez felesleges, így ezek hegesztése is elmarad.  
 $K_{w6} = 0$

- (7) Az átmeneti hegesztett I szelvényű bordák hegesztése SAW sarokvarratokkal (számuk 8)

$$V_7 = A_{S1} L_0, L_{w7} = 4L_0, \kappa_7 = 3 \quad (57)$$

$$K_{w7} = k_w \left( \Theta \sqrt{\kappa_7 \rho V_7} + 1.3 \times 0.2349 \times 10^{-3} a_w^2 L_{w7} \right) \quad (58)$$

- (8) A szekrényszelvény teljes külső részének összeállítása és hegesztése SAW sarokvarratokkal

$$V_8 = 2V_4 + 2V_5 + 4V_6 + 8V_7, V_8 = hntL_0, \quad (59)$$

$$L_{w8} = 16L_0, \kappa_8 = 16$$

$$K_{w8} = k_w \left( \Theta \sqrt{\kappa_8 \rho V_8} + 1.3 \times 0.2349 \times 10^{-3} a_w^2 L_{w8} \right) \quad (60)$$

- (9) A szekrényszelvény teljes külső részének hegesztése a két oldalsó összekötő lemezhez GMAW sarokvarratokkal

$$V_9 = V_8, \quad (61)$$

$$L_{w9} = 2B + 2H + 4h\pi + 4(h_0 + b)(n_x + n_y - 2) + 8(h_{01} + 3b),$$

$$\kappa_9 = 3$$

$$K_{w9} = k_w \left( \Theta \sqrt{\kappa_9 \rho V_9} + 1.3 \times 0.3394 \times 10^{-3} a_w^2 L_{w9} \right) \quad (62)$$

- (10) A belső fedőlemez sávok hegesztése a bordák övéhez SAW sarokvarratokkal

$$V_{10} = V_9 + 2t(B + H)L_0 + 2h\pi t L_0, \quad (63)$$

$$L_{w10} = 4(n_x + n_y + 2)L_0, \kappa_{10} = 1 + 4 + 2(n_x + n_y)$$

$$K_{w10} = k_w \left( \Theta \sqrt{\kappa_{10} \rho V_{10}} + 1.3 \times 0.2349 \times 10^{-3} a_w^2 L_{w10} \right) \quad (64)$$

- (11) A szekrényszelvény teljes belső kerületének hegesztése a két oldalsó összekötő lemezhez

$$V_{11} = V_{10}, L_{w11} = 2(2B + 2H + 2h\pi), \kappa_{11} = 1 \quad (65)$$

$$K_{w11} = k_w \left( \Theta \sqrt{\kappa_{11} \rho V_{11}} + 1.3 \times 0.2349 \times 10^{-3} a_w^2 L_{w11} \right) \quad (66)$$

Anyagköltség

$$K_M = k_M \rho V_{10}, k_M = 1.0 \text{ \$/kg} \quad (67)$$

Festési költség (csak a teljes külső és belső felületeket vesszük figyelembe)

$$K_P = k_P S, S = L_0(4B + 4H + 4h\pi + 2h\pi), \quad (68)$$

$$k_P = 28.8 \times 10^{-6} \text{ \$/mm}^2$$

Sarokhéjak ívesítési költsége

$$K_F = K_{F1} + K_{F2} \quad (69)$$

Hegesztési összköltség

$$K_w = 2(K_{w11} + K_{w12}) + K_{w2} + K_{w3} + 2(K_{w4} + K_{w5}) + 8K_{w7} + K_{w8} + 2K_{w9} + K_{w10} + K_{w11} \quad (70)$$

ahol

$$K_{w3} = 2n_x K_{w31} + 2n_y K_{w32} + K_{w33} + (2n_x + 2n_y - 4)K_{w34} + K_{w36} \quad (71)$$

és

$$K_{w36} = (2n_x + 2n_y + 12)K_{w35} + 8K_{w36}, \quad (72)$$

$$k_w = 1.0 \text{ \$/min}$$

A teljes költség

$$K = K_M + K_P + K_w + K_F \quad (73)$$

### 3.8 Az optimalálás eredményei

Az optimalizálható ismeretlenek:  $B_0, H_0, t, t_w, t_f, h, b, n_x, n_y$

#### Gyártási korlátozások

- (1)  $B = B_0 - 4h = 2000$  mm a belső tér biztosítása a szállítószalagok és kezelők részére
- (2) legkisebb lemezvastagság  $t = t_w = t_f = 4$  mm,
- (3) legkisebb bordaméret  $h = 150, b = 200$  mm,
- (4) a  $t_{w\min}$  horpadási feltétel passzív, mert a normálfejtés nagyon kicsi,
- (5) az  $n_x$  és  $n_y$  bordaosztás-számokat a fedőlemezrészek aktív horpadási feltétele meghatározza (a) a bordák közötti külső lemezrész horpadási feltétele meghatározza a bordaosztások maximumát ( $a_{x\max}$  és  $a_{y\max}$ ), (b) a bordagerinceknek a külső fedőlemezhez való hegesztés kényelmes hozzáférését biztosítjuk a bordaövek távolságának minimalizálásával: ( $a_x - b$ ) és ( $a_y - b$ ) minimuma 300 mm.



2. táblázat: Számítási eredmények. Az optimumot vastag betűkkel jelöltük. Méretek mm-ben, feszültség MPa-ban, költségek \$-ban, térfogat  $10^9$  mm<sup>3</sup>-ben, a megengedett lehajlás  $w_{allow} = 132$  mm

<i>B</i>	<i>B</i> <sub>0</sub>	<i>H</i> <sub>0</sub>	<i>t</i>	<i>n</i> <sub>x</sub>	<i>n</i> <sub>y</sub>	<i>σ</i> <sub>d</sub>	<i>w</i>	<i>V</i> <sub>10</sub>	<i>K</i> <sub>w</sub>	<i>K</i> <sub>p</sub>	<i>K</i>
2200	2800	3190	4	4	5	24	131.8	1.492	13940	7598	33740
<b>2000</b>	<b>2600</b>	<b>3165</b>	4	4	5	24	<b>131.6</b>	<b>1.449</b>	<b>13830</b>	<b>7288</b>	<b>32980</b>
2000	2600	3240	5	4	5	25	131.7	1.719	14510	7391	36010

Ezekkel a korlátozásokkal csak egy ismeretlen marad,  $H_0$ -t a lehajlási feltétel alapján határozzuk meg. Hogy bemutassuk, ezek a korlátozott méretek tényleg költségminimumot adnak, kiszámítjuk a költségeket  $t = 5$  mm és  $B_0 = 2800$  ( $B = 2200$  mm) esetére. Az eredményeket a 2. táblázat adja meg.

#### 4 KÖVETKEZTETÉSEK

A cellalemezes szekrénytartó megfelelő szerkezet-variáns, ha erős lehajlási feltételt kell teljesíteni és a bordázatlan hegesztett szekrényshellvénnyel szükséges nagy lemezvastagságai miatt nem kivitelezhető.

A cellalemezes szekrénytartó a sok horpadási és gyártási feltétel miatt aránylag könnyen optimálható.

Az 1. és 2. táblázat összehasonlítása mutatja, hogy a cellalemezes tartó magassága sokkal kisebb, mint a bordázatlané. Ennek a nagy önsúly-különbség az oka. Egy 12 m hosszú tartórész keresztmetszeti területe bordázatlan esetben  $A = 2.26 \times 10^6$  mm<sup>2</sup>, cellalemezes esetben  $A = 1.449 \times 10^9 / (12 \times 10^3) = 0.1207 \times 10^6$  mm<sup>2</sup>, továbbá az önsúlyok  $7.85 \times 1.2 = 9.42$  kg/mm<sup>2</sup>, illetve 177.4 kg/mm<sup>2</sup>.

A költségek a gyártási sorrendben vannak számítva, ami 10 részből áll (a 11-ből egy felesleges). A költségeket egy 12 m hosszú tartórészre számítottuk ki. A 132 m hosszú teljes tartó 11 ilyen részből áll, amelyeket oldalsó összekötő lemezekkel csavarozhatunk össze.

Az előzetes számítások azt mutatták, hogy a szélteher hatása elhanyagolható.

Az erős lehajlási feltétel miatt a hajlításból származó normál feszültségek kicsik, így a minimális 4 mm-es lemezvastagság alkalmazható minden szerkezeti résznél. 3 mm-es sarokvarratokat alkalmaztunk ehhez a lemezvastagsághoz.

A 2. táblázat mutatja, hogy a hegesztési költség a cellalemezes tartónál magas, mert sok hosszvarratot igényel.

Az egyszerűség kedvéért kettősen szimmetrikus keresztmetszeteket alkalmaztunk.

#### Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg. A kutató munka részben a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválósági Központ keretében valósult meg, valamint az OTKA T 109860 projekt támogatásával.

#### Irodalom

- DNV Det Norske Veritas (2002) Buckling strength of shells. Recommended practice RP-C202. Høvik, Norway.
- EN 1990 (2005) Eurocode: Basis of structural design
- EN 1991-1-3 (2005) Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-3: General actions. Snow loads
- EN 1991-1-4 (2007) Eurocode 1: Actions on structures: Wind actions
- EN 1993-1-1 (2008) Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- Farkas, J., Jármai, K. (2008) Design and optimization of metal structures. Chichester, UK, Horwood. Publ.



Magyar Acélszerkezeti Szövetség

www.magesz.hu

