

# GÉP

## A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

műszaki, vállalkozási, befektetési, értékesítési, kutatás-fejlesztési, piaci információs folyóirata

### SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám

**elnök**

Vesza József

**főszerkesztő**

Dr. Jármai Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

**főszerkesztő-helyettesek**

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kulcsár Béla

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Rittinger János

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

A szerkesztésben közreműködött:

Dr. Jármai Károly

### KEDVES OLVASÓ!

A Gép folyóirat második számában folytatjuk a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával megvalósuló azon kutatásokat ismertetését, melyek a 4-es Kiválósági Központ keretében Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák címmel folynak a Miskolci Egyetemen. A Kiválósági Központ a kutatás, a fejlesztés, az innováció és az oktatás szolgálatában áll. A központ célja a kutatási potenciál fejlesztése olyan kutatásokkal, amelyek innovatív modellezést, tervezést és technológiai folyamatokat valósítanak meg. Ez összhangban van az Európai Unió azon törekvésével, amely az innováció serkentésére, a leg-hatékonyabb környezetbarát technológiák alkalmazására, fejlesztésére irányul.

A Kiválósági Központ hét tudományos műhelyre tagozódik, melyek egy-egy tanszék köré szerveződnek. Ezek a következők: Mechanikai Technológiai, Gépgyártástechnológiai, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek, Vegyipari Gépek, Mechanikai, Gép- és Terméktervezési, valamint az Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék. Az itt dolgozó oktatók BSc, MSc és doktorandusz hallgatókat is bevonnak a kutatásokba, amelyek így jó lehetőséget biztosítanak arra, hogy a fiatalok megismerkedjenek a tudományos munkával. A háromnegyed éve működő központ programjához kapcsolódva nem egy hallgató nyújtott már kiemelkedő teljesítményt, illetve készített színvonalas TDK dolgozatot.

Felvetődik az, hogy hol jelennek meg az eredmények, az eddigi eredmények alkalmazása hol történhet? A Tudományos Műhelyeken belül működő húsz K+F téma nagyon szerteágazó. Néhány közülük az alap kutatásokhoz közelít, míg mások inkább a gyakorlatban alkalmazhatók, egyesek már most látványos eredményt hoztak, mások távlati eredményekkel kecsegtetnek. Annak érdekében, hogy ezeket az eredményeket a szakmai közönség is megismerhesse, a műhely kutatói jelentős számú publikációt készítettek el és jelentettek meg hazai és külföldi konferenciákon, hazai és külföldi szakmai folyóiratokban. Természetesen az oktatásba is beépítésre kerülnek az eredmények. Ez a cikkgyűjtemény is ezt a célt szolgálja, bemutatva a Kiválósági Központ Tudományos Műhelyeinek leg-újabb tudományos eredményeit.

*Prof. Dr. Jármai Károly*

egyetemi tanár, a Kiválósági Központ vezetője

A szerkesztésért felelős: Vesza József. A szerkesztőség címe: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.

Telefon/fax: +36-46/379-530, +36-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Kiadja a Gépipari Tudományos Egyesület, 1027 Budapest, Fő u. 68. Levélcím: 1371 Bp. Pf.: 433.

Telefon: 202-0656, fax: 202-0252, e-mail: a.gaby@gteportal.eu, internet: www.gte.mtesz.hu

A GÉP folyóirat internetcíme: <http://www.gepujsag.hu>

Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: Dr. Igaz Jenő ügyvezető igazgató.

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Tel.: (46) 379-530, e-mail: gazdasz@chello.hu.

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Rt. Hírlap Üzletága 1008 Budapest, Orczy tér 1.

Előfizethető valamennyi postán, kézbesítőknél, e-mailen: [hirlapelofizetes@posta.hu](mailto:hirlapelofizetes@posta.hu), faxon: 303-3440. További információ: 06 80/444-444

Egy szám ára: 1260 Ft. Dupla szám ára: 2520 Ft.

Külföldön terjeszti a Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat,  
H-1389 Budapest, Pf. 149. és a Magyar Média, H-1392 Budapest, Pf. 272.

Előfizethető még közvetlenül a szerkesztőségben is.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

**A megjelent cikkek lektoráltak.**

# TARTALOM

## 1. Kamondi L.

**Innovatív gépészeti termékfejlesztés..... 3**  
A műszaki termékek számos olyan alapfunkciókkal rendelkeznek, melyeket tervezési szempontból újra kell gondolni ahhoz, hogy a termék-megfelelőséget a kor pillanatnyi követelményeinek biztosítani tudják. A cikk a fejlesztési módszertannal és a funkció-megoldással foglalkozik, melyek lehetőséget nyújtanak az alkalmazásra és a fejlesztők orientálására.

## 14. Ecsedi I., Baksa A.

**Egy egydimenziós állandósult állapotú hővezetési feladat analitikus megoldása ..... 9**  
Egy egydimenziós, állandósult állapotú hővezetési feladat analitikus megoldását ismerteti a tanulmány. A vizsgálat tárgyát képező szerkezeti elem egyenes és körív középvonalú rudak láncszerű, elágazás mentes összekapcsolásával van kialakítva. Villamos ellenállás fűtés következtében beálló stationárius hővezetést vizsgálunk. A fajlagos ellenállás hőfok függésével is számol a tanulmány.

## 3. Daróczy L., Jármai K.

**Acélvázak szerkezetek tervezésének automatizálása topológiai optimalizálással ..... 13**  
Az új megközelítés alapötlete az, hogy a topológiai optimalizálás eredményét kizárólag az optimális topológia meghatározásához használjuk fel. A program automatikusan detektálja szerkezetet, és a végeredményt egy méretezési feladathoz használja fel bemenetként. Az alábbi megközelítés kifejezetten a nagyméretű acélvázak szerkezetekre fókuszál. A cikkben javasolt eljárás nem csak gyors és megbízható, de viszonylag egyszerűen implementálható, a 2D-s és 3D-s tesztek során gyorsnak is bizonyult.

## 4. Dül R., Palotás Á.B., Jármai K., Barkóczy P.

**Égési levegőt előmelegítő hőcserélő fejlesztése kandallóhoz ..... 19**  
A kutatás célja, hogy egy házi használatú, fatüzelésű, hegesztett acél szerkezetű kandalló hatásfokát növelik meg a kandalló kilépő füstcsonkjára helyezhető hőcserélő segítségével. Az általuk kifejlesztett berendezés feladata az, hogy a primer és szekunder égési levegőt is előmelegítve növeljük a kandalló hatásfokát. A fejlesztési folyamathoz áramlástan szimulációt (CFD) használtunk.

## 5. Farkas J., Jármai K.

**Csőszelvényű rácsos tartó térfogat- és költség minimálása elmozdulás-korlát esetén ..... 23**  
Az optimalizációs probléma a következő: megtalálni az optimális geometriát és a rudak keresztmetszeti területeit, amelyek minimalizálják a szerkezet térfogatát vagy költségét egy kéttámaszú rácsos csőszelvényű, nem-párhuzamos övek és szigorú lehajlási feltétel esetén.

## 6. Jármai K., Farkas J.

**Egyirányú nyomással terhelt cellalemez tervezése költségminimumra..... 29**  
A cellaszerkezetű lemezek két fedőlemezről és a köztük hegesztett bordarácsból állnak. Kettévágott I-szelvényeket használunk merevítőül gyártási okokból. A cellák nagyon merevek csavarás szempontjából. Az egyirányú nyomás kihaj-

lási hatását a Huber-egyenlet megoldásából határozhatjuk meg. Két optimáló algoritmust alkalmaztunk, a Részecskecsoport módszert és a Válaszfelületek módszerét.

## 7. Kota L.

**Genetikus programozás és tabu keresés összehasonlítása műszaki felügyeleti és karbantartó rendszerek optimalizációs feladatainál ..... 33**  
Ebben a cikkben bemutatásra kerül a már előzőleg publikált, a fix végpontú több körjáratos többszörös utazó ügynökös probléma megoldására (mmTSP) kifejlesztett egyfázisú genetikus programozási algoritmus valamint a tabu keresés algoritmusának összehasonlítása. A cikk számos tesztproblémán keresztül mutatja be a genetikus programozási algoritmus előnyét a tabukereséshez képest

## 8. Kovács Gy.

**Kompozit szendvicsszerkezet optimális tervezése ..... 37**  
Egy új szerkezeti modell szerkezet-optimalizációs módszere került bemutatásra. A szerkezet laminált karbonszál-erősítéses fedőlemezekből (CFRP) és különböző típusú polisztirol szigetelő rétegekből (EPS) ragasztással lett összeállítva. A tervezés során az ideális rétegszámú CFRP fedőlemezekből, valamint az ideális típusú és vastagságú EPS belső rétegből összeállított optimális szendvicsszerkezet került meghatározásra, mely szerkezet biztosítja a minimális költséget és minimális tömeget.

## 9. Virág Z., Jármai K.

**Bordázott lemezek fáradás vizsgálata különböző bordatípusokra..... 41**  
A cikkben az egyirányban nyomott bordázott lemezek vizsgálatát mutatják be különböző merevítők alkalmazásával költségszámítás mellett. A Nemzetközi Hegesztési Intézet ajánlásai alapján vizsgálják a nyomott lemezt. Az optimalizálásnál a merevítők száma ismeretlen. A trapézbordás merevítők bizonyultak a legjobbnak.

## 10. Mannheim V.

**Komplex modell bevezetése pop tartalmú hulladékok termikus ártalmatlanítási technológiáinak mérlegetésére ..... 45**  
Vannak „zöld kémia” módszerek és más kezelési módszerek a szerves ipari hulladék mennyiségének csökkentésére, de jelenleg termikus kezelési eljárás a legnépszerűbb alternatíva. Ez a cikk összefoglalja a termikus kezelési eljárásokat, összehasonlítja a különböző technológiákat, hangsúlyozva a befolyásoló tényezőket az alkalmazhatóság és működési megbízhatóság szempontjából.

## 11. Venczel G., Szepesi G., Siménfalvi Z.

**Hőátadási tényezők közvetett meghatározása duplikatúrás készülékek köpenyterében ..... 49**  
A hőátviteli folyamatok számítása során a hőátadási tényezők kritériális egyenletekből határozhatók meg, amennyiben a szükséges geometriai és műveleti adatok, valamint az anyag tulajdonsági jellemzők rendelkezésre állnak. A cikkben egy olyan számítási eljárást ismertetünk, amely segítségével a mért üzemi adatokból meghatározhatóak a hőátadási tényezők.

# Egyirányú nyomással terhelt cellalemez tervezése költségminimumra

## Minimum cost design of a cellular plate under unidirectional compression

Dr. Jármai Károly\*, Dr. Farkas József\*\*

### ABSTRACT

Cellular plates consist of two cover plates and stiffeners between them. Half I-beams employed as stiffeners for fabrication purposes. The cells are very rigid, due to their high torsional rigidity. In case of unidirectional compression overall buckling constraint comes from the Huber equation. The classical critical stress should be considered with the initial imperfection and the residual stresses. The cost function consists of material and welding costs. The unknowns of optimization are the thickness of the two cover plates, the stiffener height and the number of stiffeners in both directions. Two optimization methods have been used, the PSO, Particle swarm optimization and the IOSO, response surface methods.

### BEVEZETÉS

A cellaszerkezetű lemezek két fedőlemezből és a közéjük hegesztett bordarácsból állnak. Ha a két fedőlemez közti távolság (magasság) egy méternél kisebb, akkor legalább az egyik fedőlemezt meg kell szakítani, hogy kívülről is hegeszthető legyen. Az egy méternél nagyobb magasságú cellalemezeket főleg kettős hajófeneknél lehet alkalmazni.

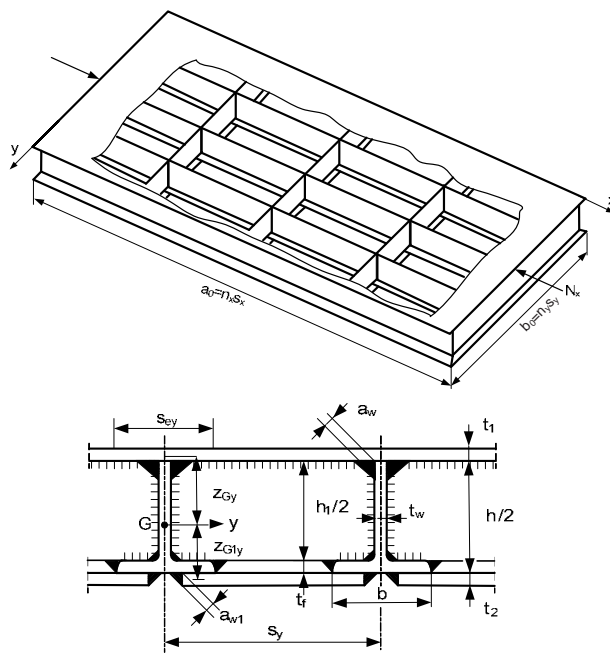
A cellalemezek a cellák nagy csavarási merevsége miatt sokkal szilárdabbak, mint az egy oldalt nyitott szelvényű bordákkal hegesztettek. Másik előnyük, hogy a varratok szimmetriája miatt kicsi a varratsugorodásból keletkező vetemedésük. Kimutatható, hogy izotrópként számíthatók, vagyis a keletkező feszültségek és alakváltozások az izotróp lemezekre ismert képletekkel határozhatók meg [1].

Előnyeik miatt sokfajta szerkezetben alkalmazhatók, például födémekben, tartálytetőkben, hidakban, gépszerkezetekben. Speciális cellalemez típus alkalmazható hajófödémekben [2]. Ezeknél bordákként négyzetes vékonyfalú csöveket használtunk, a fedőlemezeket mindkét oldalon ívpont-hegesztéssel rögzítettük.

Az egyik legjobban kivitelezhető gyártási módszert tárgyaljuk, amely szerint bordákként félbevágott hengerelt I szelvényeket alkalmazunk, melyek gerinclemezét a folytonos felső fedőlemeze hegesztjük,

az alsó fedőlemezszerkezetet pedig kívülről sarokvarratokkal erősítjük a bordák övlemezéhez (1. ábra).

Főként hegesztett szerkezetekre előnyösen alkalmazható költség-számítási módszert fejlesztettünk ki [2,3,4]. Ezzel az adott szerkezet típus gazdaságossága jól jellemezhető és a különböző szerkezet típusok gazdaságossága jól összehasonlítható. A minimálendő költségfüggvény tartalmazza az anyag-, összeállítási, és hegesztési költségeket és a gyártási sorrendnek megfelelően van megfogalmazva.



1. ábra. Két irányban bordázott cellalemez térbeli képe és keresztmetszete

### A CELLALEMEZEK ALAPVETŐ KÉPLETEI

Az ortotrop lemezek  $w(x,y)$  lehajlásaira vonatkozó Huber egyenlet  $N_x$  egyirányú nyomás esetére

$$B_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + B_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

$$\text{ahol } H = B_{xy} + B_{yx} + \frac{\nu}{2}(B_x + B_y) \quad (2)$$

\* egyetemi tanár, DSc. Miskolci Egyetem, GEIK, ALT

\*\* professzor emeritus, DSc, Miskolci Egyetem, GEIK, ALT

az ortotrop lemez csavarási merevsége,  $\nu = 0.3$  a Poisson szám.

A megfelelő hajlítási és csavarási merevségek

$$B_x = \frac{E_1 I_y}{a_y}; B_y = \frac{E_1 I_x}{a_x}; E_1 = \frac{E}{1-\nu^2} \quad (3)$$

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

Cellalemezekre  $G$  nyírési modulusal

$$B_{xy} = \frac{GI_y}{a_y}; B_{yx} = \frac{GI_x}{a_x}; G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (4)$$

$$H = B_{xy} + B_{yx} + \frac{\nu}{2}(B_x + B_y) = \frac{E_1}{2} \left( \frac{I_y}{a_y} + \frac{I_x}{a_x} \right)$$

Az (1) egyenlet megoldása

$$N_E = \frac{\pi^2}{b_0^2} \left[ B_x \left( \frac{b_0}{a_0} \right)^2 + 2H + B_y \left( \frac{a_0}{b_0} \right)^2 \right] \quad (5)$$

### A TELJES CELLALEMEZRE VONATKOZÓ KIHAJLÁSÁRA FELTÉTEL

A kihajlási feltétel

$$\frac{N_x}{n_y A_{ey}} \leq \sigma_{cr} = \frac{f_y}{\sqrt{1+\lambda^2}}, \quad \lambda = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_E}}, \sigma_E = \frac{N_E S_y}{A_{ey}} \quad (6)$$

A  $\sigma_E$  klasszikus kritikus feszültséget a fenti módon csökkenteni kell, mert az nem tartalmazza a kezdeti alakpontatlanság és hegesztési maradó feszültségek hatását. Ezt a csökkentési módot a Det Norske Veritas (DNV) tervezési irányelvei alkalmazzák [5].  $f_y$  a folyási határ.

### A CELLALEMEZ GEOMETRIAI JELLEMZŐI

A fedőlemezek helyi horpadását együtdolgozó lemezszélességgel vesszük figyelembe (1. ábra,  $s_{ey}$ ). Az egy bordával számított hasznos keresztmetszeti területek a cellalemez mindkét ( $x, y$ ) irányában

$$A_{ey} = \frac{h_1 t_w}{2} + bt_f + s_{ey1} t_1 + s_{ey2} t_2 \quad (7)$$

$$A_{ex} = \frac{h_1 t_w}{2} + bt_f + s_{ex1} t_1 + s_{ex2} t_2 \quad (8)$$

$$h_1 = h - 2t_f \quad (9)$$

$$s_y = \frac{b_0}{n_y}, s_x = \frac{a_0}{n_x} \quad (10)$$

ahol  $n_y$  és  $n_x$  az  $y$  és  $x$  irányú bordaosztások száma.

Az együtdolgozó fedőlemez-szélességeket az Eurocode 3 Part 1-5 [6] szerint számítjuk

$$s_{ey1} = \rho_{y1} s_y, s_{ey2} = \rho_{y2} s_y, s_{ex1} = \rho_{x1} s_x, s_{ex2} = \rho_{x2} s_x \quad (11)$$

ahol

$$\rho_{y1} = \frac{\lambda_{py1} - 0.22}{\lambda_{py1}^2} \quad \text{ha} \quad \lambda_{py1} = \frac{s_y}{56.8 \epsilon_1} \geq 0.673, \quad (12a)$$

$$\rho_{y1} = 1 \quad \text{ha} \quad \lambda_{py1} < 0.673 \quad \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (12b)$$

A többi  $\rho$  képlete hasonló.

A súlyponti tengely-távolságok

$$z_{Gy} = \frac{1}{A_{ey}} \left[ \frac{h_1 t_w}{2} \left( \frac{h_1 + t_1}{4} + \frac{t_1}{2} \right) + bt_f \left( \frac{h_1 + t_f + t_1}{2} \right) + s_{ey2} t_2 \left( \frac{h_1 + t_f + t_1 + t_2}{2} \right) \right] \quad (13a)$$

$$z_{Gx} = \frac{1}{A_{ex}} \left[ \frac{h_1 t_w}{2} \left( \frac{h_1 + t_1}{4} + \frac{t_1}{2} \right) + bt_f \left( \frac{h_1 + t_f + t_1}{2} \right) + s_{ex2} t_2 \left( \frac{h_1 + t_f + t_1 + t_2}{2} \right) \right] \quad (13b)$$

és az ezekre vonatkozó másodrendű nyomatékok

$$I_y = s_{ey1} t_1 z_{Gy}^2 + \frac{h_1^3 t_w}{96} + \frac{h_1 t_w}{2} \left( \frac{h_1 + t_1}{4} + \frac{t_1}{2} - z_{Gy} \right)^2 + I_{y1}$$

$$I_{y1} = bt_f \left( \frac{h_1 + t_f + t_1}{2} - z_{Gy} \right)^2 + s_{ey2} t_2 \left( \frac{h_1 + t_f + t_1 + t_2}{2} - z_{Gy} \right)^2 \quad (14)$$

$$I_x = s_{ex1} t_1 z_{Gx}^2 + \frac{h_1^3 t_w}{96} + \frac{h_1 t_w}{2} \left( \frac{h_1 + t_1}{4} + \frac{t_1}{2} - z_{Gx} \right)^2 + I_{x1}$$

$$I_{x1} = bt_f \left( \frac{h_1 + t_f + t_1}{2} - z_{Gx} \right)^2 + s_{ex2} t_2 \left( \frac{h_1 + t_f + t_1 + t_2}{2} - z_{Gx} \right)^2 \quad (15)$$

### GYÁRTÁSI FELTÉTEL

A gyártási feltétel azt fejezi ki, hogy a bordák övei között minimum 300 mm távolságnak kell lennie. Ez biztosítja, hogy a bordák gerinclemezeit megfelelő hozzáféréssel lehessen a fedőlemezhez hegeszteni.

$$s_{y,x} - b \geq 300 \text{ mm} \quad (16)$$

### A KÖLTSÉGFÜGGVÉNY

Az alábbiakban az anyagköltséget ( $K_M$ ) és hegesztési költséget ( $K_W$ ) számítjuk.

$$K_M = k_M \rho V \quad (17)$$

ahol  $k_M = 1.0$  \$/kg,  $\rho = 7.85 \times 10^{-6}$  kg/mm<sup>3</sup>,  $V$  a térfogat.

A hegesztési költség általános képlete [2,3,4]

$$K_w = k_w \left( C_1 \Theta \sqrt{\kappa \rho V} + 1.3 \sum_i C_{wi} a_{wi}^n C_{pi} L_{wi} \right) \quad (18)$$

ahol  $k_w$  [\$/min] a hegesztési költségtényező,  $C_1$  összeállítási költségtényező, egységnyinek vesszük  $C_1 = 1$  min/kg<sup>0.5</sup>,  $\Theta$  az összeállítás bonyolultságát figyelembe vevő tényező. Az első tag az összeállítási időt számítja,  $\kappa$  az összeszerelendő szerkezeti elemek száma,  $\rho V$  az összeszerelt egység tömege, a második tag a hegesztési időt számítja,  $C_w$  és  $n$  a varrat alakjától és a hegesztési módszertől függő állandók,  $C_p$  a hegesztési helyzetét jellemző tényező (vályúhelyzetre 1, függőlegesen 2, fejtűre 3).



$L_w$  a varrathossz, az 1.3 szorzó a járulékos hegesztési időket veszi figyelembe (gyökfaragás, varrat salaktalanítás, elektród-csere).

A hegesztési költségeket a gyártási sorrendnek megfelelően fogalmazzuk meg.

(a) A felső fedőlemez hegesztése SAW tompavarratokkal (Submerged Arc Welding = fedett ívű hegesztés). A varrathossz  $L_{w1} = 3(a_0 + b_0)$ , a szerkezet tömeg  $V_1 = a_0 b_0 t_1$ ,  $\Theta_1 = 2$ , az elemek száma  $\kappa_1 = 16$ .  $k_w = 1.0$  \$/min.

$$\text{Ha } t_1 \geq 15 \text{ mm } C_w a_w^n = 0.1346 \times 10^{-3} t_1^2 \quad (19a)$$

$$\text{ha } t_1 < 15 \text{ mm } C_w a_w^n = 0.1033 \times 10^{-3} t_1^{1.94} \quad (19b)$$

$$K_{w1} = k_w \left( \Theta_1 \sqrt{\kappa_1 \rho V_1} + 1.3 C_w a_w^n L_{w1} \right). \quad (20)$$

(b) A hosszbordák gerinclemezeinek hegesztése a felső fedőlemezhez kettős SAW sarokvarratokkal  $L_{w2} = 2a_0(n_y + 1)$ ,  $\kappa_2 = n_y + 2$ ,  $V_2 = V_1 + a_0(b t_f + h_1 t_w / 2)(n_y + 1)$ ,  $a_w = 0.4 t_w$ ,  $\Theta_2 = 3$ .

$$K_{w2} = k_w \left( \Theta_2 \sqrt{\kappa_2 \rho V_2} + 1.3 \times 0.2349 \times 10^{-3} a_w^2 L_{w2} \right). \quad (22)$$

(c) A keresztirányú bordák hegesztése a felső fedőlemezhez és a hosszbordákhoz, a gerinceket kettős sarokvarratokkal (GMAW-C = CO<sub>2</sub>-védőgáz hegesztés), az öveket tompavarratokkal.

$$V_3 = V_2 + b_0(b t_f + h_1 t_w / 2)(n_x + 1), \quad \kappa_3 = 1 + n_y(n_x + 1), \\ L_{w3} = (n_x + 1)(2b_0 + n_y(h_1 + b)) \quad (23)$$

$$K_{w3} = k_w \left( \Theta_2 \sqrt{\kappa_3 \rho V_3} + 1.3 \times 0.3394 \times 10^{-3} a_w^2 L_{w3} + 1.3 C_{wf} t_f^n L_{wf} \right) \quad (24)$$

$$\text{Ha } t_f \geq 15 \text{ mm } C_{wf} t_f^n = 0.1496 \times 10^{-3} t_f^{1.9029}, \quad (25a)$$

$$\text{ha } t_f < 15 \text{ mm } C_{wf} t_f^n = 0.1939 \times 10^{-3} t_f^2. \quad (25b)$$

$$L_{wf} = 2b n_y(n_x + 1) \quad (26)$$

(d) Az alsó fedőlemez-elemek hegesztése a bordák öveihez SAW sarokvarratokkal

$$V_4 = V_3 + a_0 b_0 t_2, \quad \kappa_4 = 1 + n_x n_y, \quad L_{w4} = 2(a_0 n_y + b_0 n_x), \quad a_{w1} = 0.7 t_2, \quad (27)$$

$$K_{w4} = k_w \left( \Theta_1 \sqrt{\kappa_4 \rho V_4} + 1.3 \times 0.2349 \times 10^{-3} a_{w1}^2 L_{w4} \right). \quad (28)$$

A teljes költség

$$K = K_M + K_{w1} + K_{w2} + K_{w3} + K_{w4}. \quad (29)$$

## SZÁMADATOK, VÁLTOZÓK

$b_0 = 8$  m,  $a_0 = 24$  m,  $N_x = 3 \times 10^7$  [N],  $f_y = 355$  MPa.

Az optimalizálható változók:  $x_1 = t_1$  felső fedőlemez vastagság,  $x_2 = t_2$  alsó fedőlemez vastagság,  $x_3 = h$  az I szelvényű bordák magassága,  $x_4 = n_x$  az  $x$  irányú borda-osztások száma,  $x_5 = n_y$  az  $y$  irányú borda-osztások száma.

## A RÉSZECSEKCSOPORT MÓDSZER

A Részecskecsoport Módszer (Particle Swarm Optimization PSO) az evolúciós módszerek egy viszonylag új osztálya, mely alkalmas lehet az

optimális megoldás  $x^*$  megkeresésére általános optimalizálási feladatnál. Az eredeti PSO algoritmus, melyet Kennedy és Eberhardt javasolt 1995-ben [7], a nagy csoportokban élő élőlények szociális viselkedésén, egymásra-hatásán alapszik. A PSO különösen csapatviselkedéseket szimulál, amelyek legjobban madárcsapat, halraj, méhraj esetén érzékelhetőek.

Ahhoz, hogy végrehajtsunk egy optimalizálást a többdimenziós térben, a PSO irány vektorokat és sebességeket ad meg minden elemnek (részecskének) a csoportban az ő konkrét pozíciójában. Minden részecske ezután „mozog”, vagy „repül” a vizsgálati térben a részecske megadott sebességével, melyet módosíthat irányában és nagyságában a többi részecske a környezetében. Ezek a helyi hatások a szomszédos részecskéknél terjednek el végig a teljes csoporton és ezáltal kerül a csoport kedvezőbb helyzetbe, közelebb a probléma megoldásához. A határok, melyeken belül a részecskék hatni tudnak a többire az a „fitness”, a megfelelés mértéke, mely azt mutatja, hogy az adott részecske mennyire jó, a többi részecske „jóságához” képest. Az evolúciós elv „survival of the fittest” (természetes kiválasztódás) játszik szerepet csakúgy, mint a részecskék szociális viselkedése a „kövesd a helyi vezetőt” hatása, a kiemelkedő minta hatása.

Továbbá az egyes egyedek tanulnak másoktól, különösen a legjobbtól közülük. Minden egyed a csoportban egy elem a többdimenziós térben a pozíciójával és a sebességével. Ezen egyedek repülnek a hipertérben és emlékeznek a korábbi legjobb pozíciójukra. A rajban lévő egyedek kommunikálnak egymás között és igazítják a pozíciójukat és sebességüket a jobb pozíciókhoz.

Új sebességek és részecske pozíciók meghatározása:

Minden  $i=1,2,\dots,M$ :

$$\mathbf{v}_i^{k+1} := \mathbf{v}_i^k + c_1 r_1 (\mathbf{p}_i^b - \mathbf{x}_i^k) + c_2 r_2 (\mathbf{g}^b - \mathbf{x}_i^k) \quad (30)$$

$$\mathbf{x}_i^{k+1} := \mathbf{x}_i^k + \mathbf{v}_i^{k+1} \quad (31)$$

ahol  $r_1$  és  $r_2$  egymástól függetlenül generált véletlen számok az [0,1] intervallumon, és  $c_1$ ,  $c_2$  megfelelően választott paraméterek.  $F_i^b = F(\mathbf{x}_i^b)$  és  $\mathbf{p}_i^b = \mathbf{x}_i^k$  {a legjobb pont az  $i$  pályagörbén}

$F(\mathbf{x}_i^k) \leq F^g$  akkor legyen  $F^g = F(\mathbf{x}_i^k)$  és  $\mathbf{g}^b = \mathbf{x}_i^k$  {legjobb globális pont}

A módszer nem igényel deriváltakat és képes a célfüggvény globális optimumát meghatározni. A méretezési feltételek a büntetőfüggvények módszerével kezelhetők. Egy operátor, az „őrült madár” újra bevezetésre került a dinamikus változó maximális sebességek és inercia bevezetése mellett [8].

A folytonos optimalizálási módszert alkalmazva adaptív módon, a tervezési változók diszkrét jellegét figyelembe véve kapjuk meg a szerkezet optimális méreteit.

PSO alkalmazásra került számos szerkezetoptimalizációs feladatnál, mint például két-irányban bordázott merevített lemezek költségoptimalizációja, merevített héjak optimalizációja, szélturbina torony optimalizációja, bordázott héjak optimalizációja, tűzvédelmi számításokra.

## AZ IOSO TECHNOLÓGIA FŐBB JELLEMZŐI

Az IOSO eljárás a válaszfelszín-technológián alapul. Ezért különbözik stratégiája jelentősen az optimalizációs jól ismert más megközelítéseitől. Nagyon hatékony és az alap algoritmus széles alkalmazhatóságú. Fő előnye, hogy az IOSO Technology nagyon összetett optimalizációs feladatokat is képes megoldani [9].

Az IOSO módszer válaszfelszín-módszerek és evolúciós szimulációs-elvek alapján egy feltételes optimalizációs algoritmus. IOSO mindegyik iterációja két lépésből áll. Az első lépés a célfüggvény közelítésének a létrehozása. Mindegyik iteráció ebben a lépésben a kezdeti közelítés dekompozícióját jelenti egy egyszerű közelítésfüggvény rendszerbe. A végső válaszfüggvény egy többszintes grafikon.

A második lépés ennek a közelítő-függvénynek az optimalizációja. Ez a közelítés számításba veszi a szerkezetönjavításait és a válaszfelszín közelítési paramétereit. Ennek a megközelítésnek a megkülönböztető jegye a rendkívül alacsony számú vizsgált pont, hogy inicializálja az algoritmust, (30-50 pont az optimalizációs problémánál a majdnem 100-zal rendelkező változószám esetén).

A kapott válaszfüggvényt használja a többszintes optimalizációs eljárásaiban a szimuláció szint adaptív változtatásával, mind az egy, mind a többszintes analízis során. Az IOSO mindegyik iteráció alatt a válaszfüggvény optimalizálását végrehajtják az aktuális keresőterületen belül [10].

Ezt a lépést követi a vizsgált pontból a matematikai modell meghívása. Az információ, ami a célfüggvény viselkedésére vonatkozik a szélsőérték közelében, tárolásra kerül és a válaszfüggvény erre a keresőterületre lesz pontosabbá.

Így mindegyik iteráció alatt a közelítő-függvények sorozatát építi be az optimalizációs feltételbe. Ezek a függvények különböznek egymástól mind a szerkezet, mind az érvényességi kör vonatkozásában. Az adott közelítő-függvények következő optimalizációja lehetővé teszi számunkra, hogy meghatározzuk az optimális változókat egy készlet vektorát, amit arra használnak, hogy javuljon a közelítés az egyes iterációk során.

## EREDMÉNYEK

Az 1. táblázat mutatja a diszkrét optimumok értékeit a PSO és az IOSO módszerek alkalmazásával. A merevítők száma  $x$  irányban relatív kicsi. A számítások azt mutatják, hogy mindkét eljárás nagyon hatékony az optimum megkeresésében.

1. táblázat A cellalemez optimális méretei mm-ben, költsége USD-ben

Módszer	$x_1=t_1$	$x_2=t_2$	$x_3=h$	$x_4=n_x$	$x_5=n_y$
	[mm]	[mm]	[mm]		
PSO	6	5	533.1	2	12
PSO	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>454.6</b>	<b>2</b>	<b>13</b>
IOSO	11	4	454.6	2	11
IOSO	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>454.6</b>	<b>2</b>	<b>14</b>

Módszer	Költség [USD]	Iterációszám	Egyedek száma
PSO	46043.97		50
PSO	<b>44849.55</b>		<b>500</b>
IOSO	45867.42	211	
IOSO	<b>43769.13</b>	<b>522</b>	

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az OTKA 75689 program támogatásával készült. A kutatás a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## IRODALOM

- [1] Farkas, J., Jármái, K. (2006) Optimum design and cost comparison of a welded plate stiffened on one side and a cellular plate both loaded by uniaxial compression. *Welding in the World*, 2006; 50: No.3-4, 45-51.
- [2] Farkas, J., Jármái, K. (2003) *Economic design of metal structures*. Millpress, Rotterdam
- [3] Farkas, J., Jármái, K. (1997) *Analysis and optimum design of metal structures*. Balkema, Rotterdam-Brookfield
- [4] Farkas, J., Jármái, K. (2008) Design and optimization of metal structures. Horwood, Chichester, UK
- [5] Det Norske Veritas (DNV) (1995) *Buckling strength analysis*, Classification Notes No.30.1. Høvik, Norway.
- [6] Eurocode 3 (2006) Design of steel structures. Part 1-5: Plated structural elements.
- [7] Kennedy, J. & Eberhart, R.C. (1995) Particle swarm optimization. *Proc. IEEE Int'l Conf. on Neural Networks*, IV, 1942-1948. IEEE service center, Piscataway, NJ, 1995. 1942-1948
- [8] Fourie, P.C. & Groenwold, A.A. (2000) Particle swarm in size and shape optimisation, *International Workshop on Multidisciplinary Design Optimization*, 7-10, Aug. 2000, Pretoria, South Africa, Proceedings 97-106.
- [9] Egorov, I.N. (1998) Indirect Optimization Method on the Basis of Self-Organization, *Proceedings of Optimization Techniques and Applications (ICOTA'98)*, 2, 683-691, Curtin University of Technology, Perth, Australia.
- [10] Egorov, I.N. and Kretinin, G.V. (1992) Multicriterion Stochastic Optimization of Axial Compressor, *Proceedings of ASME COGEN-TURBO-VI*, Houston, Texas