

1952.11.15. Műszaki Egyesület

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



**125 éves a Budapesti Műszaki Főiskola
Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kara**

2005/2-3

130 oldal
LVI. évfolyam

TARTALOM

1. Gáti, J.; Kártyás, Gy.; Horváth, S.:

Bánki Donát emlékezete..... 4

Bánki Donát az egyik legnagyobb magyar gépészmérnök és konstruktőr 145 évvel ezelőtt született. 1954-ben a Műszaki Főiskola az ő nevét vette fel. Most a Bánki Donát Főiskola oktatói kara és diákjai a kiemelkedő tudásra emlékeznek.

2. Abrahám, Gy.; Nagy, B. I.:

A színtévesztés korrigálása és mérés technikája..... 7

A színtévesztés oka a színérzékeny csapok érzékenységi függvényeinek megváltozása. A korrigálás megfelelően tervezett színszűrők segítségével lehetséges. A korrekcióhoz ismerni kell a csapok érzékenységi függvényeit, amelyeket erre a célra szerkesztett mérőműszerekkel lehet megmérni.

3. Kovács, Z.; Patóné Szűcs, B.; Pató, G.:

Telematikai alkalmazások a logisztikában ma Magyarországon . 9

Szerzők elsőként vizsgálják Magyarországon a telematika logisztikai alkalmazását. Kérdőíves kutatásuk a Dunántúl fejlett ipari régiójára terjedt ki. Megállapításuk szerint sok alkalmazás már ma is nemzetközi szinten működik.

4. Kerekes, S.; Korondi, P.:

Egy telemanipulációs mesterszerek sűrűlódáskompenzációs módjában..... 15

A cikk rövid áttekintést ad a szerzők telemanipulációs kutatásairól, ismerteti a telemanipuláció során felmerülő legfontosabb problémákat, valamint a telemanipulációnál használt legfontosabb ember gép interface-eszközöket. Bemutatja az érzékelő kesztyű csúszómód alapú sűrűlódáskompenzációját.

5. Kégl, T.:

A puszkaporos dugattyús géptől a Bánki motorig..... 26

Az első motor, amit az angol Huygens szerkesztett, puszkaporral működött (ezért találó a robbanómotor kifejezés). Bánki Donát, a porlasztó feltalálója, fiatal korában az Ottó motorok henger kompressziójának növelésével jelentősen javította annak igen alacsony hatásfokát.

6. Gyurec, Gy.:

Genetikai algoritmus, felületek lokális hibáinak javítására..... 32

A cikk egy olyan módszert ismert, amely a fényvonalak módosításával képes javítani a hibás felületet. A javított fényvonalaknak megfelelő felület leírására genetikai algoritmust javasol. A módszer valós idejű tervezési környezetben is alkalmazható.

7. László, Z.:

Új módszer a furatok tükrösítő köszörülésében..... 36

A hagyományos köszörülés nem minden esetben elégíti ki a felülettel szemben támasztott igényeket. A tükrösítő köszörülést (electrolytic in-process dressing) ilyen esetekre fejlesztették ki. Az elektrokémiai korongszabályozás terméke, a porózus fénoxid tovább javítja a simaságot.

8. Tóth, P.:

A megszerzett tudás szerepe a problémamegoldásban – az analógiás gondolkodás..... 40

A problémamegoldásban a megszerzett tudás kritikai alkalmazása és az új tudás megszerzésére irányuló kreatív gondolkodás játszik meghatározó szerepet. A cikk az analógiás tudástranszfer bemutatása után annak fejlesztési lehetőségeit elemzi.

9. Farkas, G.; Palásti, K. B.; Czifra, Á.; Horváth, S.:

Műszaki felületek mikrogeometriai vizsgálatában alkalmazott 2D-s és 3D-s paraméterek összevetése, információtartalmuk elemzése..... 51

Két alkatrész érintkező felülete közötti sűrűlódás, kopás és kenés térbeli folyamat. A felület jellemzésére a ma használatos 2D-s vizsgálati módszerek helyett 3D-s eljárásokra (pl. az itt bemutatott 3D-s tapintótűs mérés) van szükség.

10. Kovács, T.; Dévényi, L.:

Módosított elrendezésű lokális kopásvizsgálati eljárás alkalmazhatóságának elemzése..... 60

A hagyományos golyós/ sík érintkezés elvén alapuló kopásvizsgálati eljárások kritikai elemzésével annak fő hiányosságai megállapíthatók. A vizsgálóberendezés továbbfejlesztésével a feltárt hátrányok többsége kiküszöbölhető. A javasolt módszer reprodukálhatósága kiemelkedő.

11. Szakács, T.:

A talajtömörödés csökkentésének további lehetséges módszerei 64

A mezőgazdaságban a traktorok és szállítóeszközök súlyának növekedésével a talajtömörödés régi problémája újra előtérbe került. Az új EU szabályok ismételtén ráirányították a figyelmet a talajkárosítás ellen kidolgozott megoldásokra.

12. Stépán, G.; Horváth, S.:

Pomázi Lajos 70 éves..... 70

A most 70 éves Pomázi Lajosnak 1965-ben Sub Auspiciis Rei Publicae Popularis doktori címet adományoztak Miskolcon, a Nehézipari Műszaki Egyetemen. Az Oktatási Minisztériumban eltöltött évek után 1984-től 1990-ig a Bánki Donát Műszaki Főiskola főigazgatójaként tevékenykedett.

13. Gáspár, Zs.; Rozványi, Gy.; Pomezanski, V.:

Tartószerkezetek optimális tervezése..... 80

A szerzők bemutatják, hogy egy optimálási feladatot nagyon sokféle módon lehet megoldani, és a megoldás nagyban függ a feladat pontos megfogalmazásától. Egy tartószerkezet optimalizálási példájában a SIMP eljárásához speciális büntetőtaggal kiegészített célfüggvényt ajánlanak.

14. Jármái, K.:

Fém- és szálerősítéses műanyag szerkezetek optimalizálása..... 84

A fém- és karbonszálerősítésű polimer kompozitokkal a tervezők növelhetik a mérnöki szerkezetek teherbírást és csökkenthetik a gyártási költségeket. A szerző által bemutatott megbízható optimalizálási technika minimális költség vagy súly elérését teszi lehetővé.

15. Timár, I.:

Szendvicskonstrukciók optimális méretezése..... 90

A cikk a szendvics szerkezetek optimális tervezési kérdéseivel foglalkozik. Az anyag- és gyártási költségek minimumát nemlineáris tervezési kényszerekkel határozza meg. A probléma numerikus megoldására egy nemlineáris optimalizálási módszert ismert.

16. Sapkás, Á.; Kollár, L.:

Gerendák kifordulásvizsgálata a nyírási deformáció figyelembevételével..... 93

A karcsú tartók egy kritikus hajlítónyomaték elérésekor elveszítik stabilitásukat. A kifordulás néven ismert jelenséget a nyírási deformáció is befolyásolja. A cikk ennek számítására egy egyszerű közelítő módszert ismert, ami kompozit- és szendvics tartókhoz is alkalmazható.

17. Szalai, J.:

Faszerkezeti elemek erőtanai méretezésének elméleti és kísérleti alapjai..... 97

A teherviselő faszerkezetek tervezése a fa inhomogén szerkezete és a mechanikai jellemzők anizotropiája miatt meglehetősen bonyolult feladat. A fából készült tartók szilárdsági méretezése a megengedett feszültségek alapján, vagy a határállapot koncepció szerint lehetséges.

18. Goda, T.; Váradi, K.; Friedrich, K.:

Hosszú szálerősítésű polimer kompozitok végeelemes érintkezési és szálelválási szimulációja..... 104

A cikk új végeelemes modelleket mutat be, amelyek segítségével a csúszó sűrűlódás során fellépő felületi és felület alatti károsodási mechanizmusok tanulmányozhatók. Részletesen foglalkozik a polimer kompozitok egyik legjellegzetesebb károsodási mechanizmusával, a szálelválás jelenségével.

19. Sági, G.; Csizmadia, B.:

Mérőkészülék kompozitok nyírási szilárdságának meghatározására..... 112

Az ortogonálisan anizotróp szálerősítéses kompozitok nyírási szilárdsága nehezen mérhető. A nyíróvizsgálat során a tiszta nyírási feltételeit kell biztosítani. Szerzők erre a célra egy kétrányú terheléssel működő vizsgálóberendezést fejlesztettek ki.

20. Szekrényes, A.:

Repedésterjedés és rétegközi szilárdság analitikus és kísérleti vizsgálata párhuzamos elcsúszás esetén..... 118

A cikk üvegszál erősítésű poliészter kompozitok rétegközi szilárdságának vizsgálatával foglalkozik. A vizsgálatokhoz az ún. *end loaded split* (ELS) és az *over notched flexure* (ONF) típusú próbatesteket használták. A repedésmegindulás vizsgálatához az ELS, a repedésterjedés analíziséhez az ONF próbatest alkalmasabb.

FÉM- ÉS SZÁLERŐSÍTÉSES MŰANYAG SZERKEZETEK OPTIMÁLÁSA

Dr. Jármái Károly*

ABSTRACT:

The aim of structural optimization is to consider the most important demands at the design of engineering structures, like safety (load carrying capacity), fabrication and economy. Safety and fabrication are considered with constraints, economy is reached by minimizing the cost function. The efficiency of this approach is shown on the optimum design of a stringer-stiffened shell under bending and compression and on fiber reinforced composite structures, where some measurements were made to verify the calculations. Using steel stiffeners and carbon fibers both are efficient ways to increase the strength of the structure. Using a reliable optimization technique one can find the minimum cost, or weight.

1 BEVEZETÉS

A szerkezetoptimalás lényege, hogy figyelembe vesszük a mérnöki szerkezetekkel szemben támasztott legfontosabb követelményeket: biztonság (teherbírás), gyárthatóság és gazdaságosság. A biztonságot és gyárthatóságot a méretezési és gyártási feltételekkel, a gazdaságosságot a költségfüggvény minimalálásával érjük el. Az optimalás matematikai módszerekkel végeztük el.

Az optimális méretezésnek három fő fázisa van:

előkészítés: a szóba jöhető szerkezetvariánsok kiválasztása, a szerkezet azon jellemzőinek kiválasztása, melyek változnak, a méretezési feltételek és a célfüggvény megfogalmazása,

megoldás: a feltételes szélsőértékszámítás elvégzése hatékony matematikai módszerekkel,

kiértékelés: az eredmények kiértékelése, az optimált verziók összehasonlítása, tervezési ajánlások megfogalmazása, szakértői rendszerek kidolgozása.

Az elmúlt években számos szerkezettípussal foglalkoztunk. Ezek a következők voltak:

1. A csőszerkezetek egyik fontos eleme a kör- ill. négyzet-csőszelvényű nyomott rúd, melynek optimális méretezését nemcsak normál, de rozsdamentes acélokra is kidolgoztuk [1,2].

2. A bordázott lemezek a hegesztett szerkezetek alapvető elemei. Optimális méretezésüket többféle terhelési esetre már kidolgoztuk, volt egyirányú nyo-

más, kétirányú nyomás, illetve az egyirányú nyomás és lemezsíkra merőleges megoszló terhelés kombinációja. Ezen esetekre határoztuk meg az optimális paramétereket, amelyek minimálják a költségeket [3].

3. A bordázott körhengerhéj, melynek sokféle alkalmazása ismert (tengeri olajfúró állomások teherviselő elemei, oszlopok, tornyok). Gyűrűbordás és/vagy hosszbordás körhengerhéjak optimális paramétereit határoztuk meg különféle terhelés esetén, minimalva a költségeket [4].

4. A szálerősítéses műanyagok nagy szilárdságúak. Statikus és dinamikai méréseket végeztünk és szén-szál esetén a kompozit és az alumínium összekapcsolását vizsgáltuk egy szendvicslemeznél. Elvégeztük az optimális méretezést, kimutatva, hogy a drága szén-szálás kompozit is versenyképes lehet bizonyos esetekben [5].

A következőkben a 3-as és 4-es témában elért egyes eredményeinket ismertetem részletesebben.

2 HOSSZMEREVÍTETT KÖRHENGERHÉJAK NYOMÁS ÉS HAJLÍTÁS ESETÉN

A vizsgálat célja az volt, hogy megtaláljuk a költségminimumot nemlineáris feltételek esetén. A változók a merevítő magassága h_s , a merevítők száma n_s és a héjvastagság t voltak.

2.1 MÉRETEZÉSI FELTÉTELEK

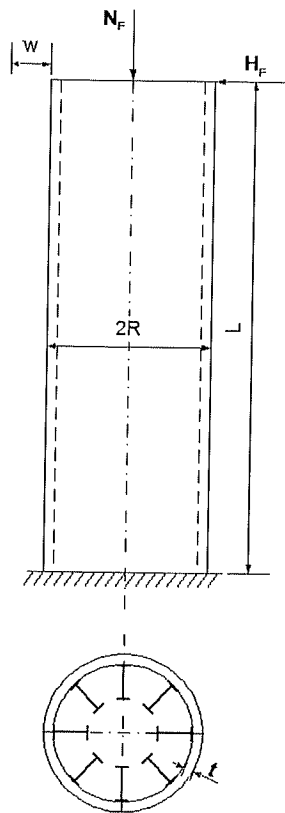
2.1.1 HÉJHORPADÁS (MEREVÍTETLEN GÖRBÜLT PANEL HORPADÁSA) DNV SZERINT [6]

A nyomás és a hajlítás által okozott feszültségek a következők:

$$\sigma_a + \sigma_b = \frac{N_F}{2R\pi t_e} + \frac{H_F L}{R^2 \pi t_e} \leq \sigma_{cr} = \frac{f_y}{\sqrt{1 + \lambda^4}} \quad (1)$$

ahol N_F a nyomóerő N-ban, H_F a hajlító erő N-ban, L a héj hossza mm-ben, R a héj sugara mm-ben, t_e a redukált héjvastagság mm-ben, f_y a folyáshatár MPa-ban.

* egyetemi tanár, DSc., Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék
Lektorált cikk.



1. ábra. A belső hosszbordával ellátott hengerháj

A λ karcsúság a következő módon számítható:

$$\lambda^2 = \frac{f_y}{\sigma_a + \sigma_b} \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{Ea}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{Eb}} \right); t_e = t + \frac{A_s}{s}; s = \frac{2R\pi}{n_s} \quad (2)$$

ahol a t hég v astagsága.

$$\sigma_{Ea} = C_a (1.5 - 50\beta) \frac{\pi^2 E}{10.92} \left(\frac{t}{s} \right)^2 \quad (3)$$

$$C_a = 4 \sqrt{1 + \left(\frac{\rho_a \xi}{4} \right)^2}; Z = \frac{s^2}{Rt} 0.9539 \quad (4)$$

$$\rho_a = 0.5 \left(1 + \frac{R}{150t} \right)^{-0.5}; \xi = 0.702Z \quad (5)$$

$$\sigma_{Eb} = C_b (1.5 - 50\beta) \frac{\pi^2 E}{10.92} \left(\frac{t}{s} \right)^2 \quad (6)$$

$$C_b = 4 \sqrt{1 + \left(\frac{\rho_b \xi}{4} \right)^2} \quad (7)$$

$$\rho_b = 0.5 \left(1 + \frac{R}{300t} \right)^{-0.5} \quad (8)$$

A hegesztési maradó feszültségi tényező $1.5 - 50\beta = 1$ amikor $t > 9$ mm.

2.1.2 A HOSSZBORDÁK KÖZÖTTI HÉJ HORPADÁSA

$$\sigma_a + \sigma_b \leq \sigma_{crp} = \frac{f_y}{\sqrt{1 + \lambda_p^4}} \quad (9)$$

$$\lambda_p^2 = \frac{f_y}{\sigma_{Ep}}; \sigma_{Ep} = C_p \frac{\pi^2 E}{10.92} \left(\frac{t}{L} \right)^2 \quad (10)$$

$$C_p = \psi_p \sqrt{1 + \left(\frac{0.5 \xi_p}{\psi_p} \right)^2}; Z_p = 0.9539 \frac{L^2}{Rt} \quad (11)$$

$$\xi_p = 0.702Z_p; \gamma_s = 10.92 \frac{I_{sef}}{st^3} \quad (12)$$

$$\psi_p = \frac{1 + \gamma_s}{1 + \frac{A_s}{s_e t}} \quad (13)$$

$$\text{Az ECCS [7] szerint } s_e = 1.9t \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (14)$$

ha $s_e < s$ akkor $s_e = s_e$

ha $s_e > s$ akkor $s_e = s$

I_{sef} az inercianyomaték az s_e szélességű hég és a merevítő figyelembevételével. Hengerelt I-szelvényű merevítő esetén ez a következő:

$$I_{sef} = I_y + A_s \left(\frac{h+t}{2} - z_G \right)^2 + s_e t z_G^2 \quad (15)$$

$$z_G = \frac{A_s (h+t)}{2(A_s + s_e t)} \quad (16)$$

2.1.3 VÍZSZINTES ALAKVÁLTOZÁS

$$w_h = \frac{ML^2}{3E\pi R^3 t_e} \leq w_{allow} = \frac{L}{\phi} \quad (17)$$

$$M = H_F L / \gamma_M; \gamma_M = 1.5; H_F = 0.1 N_F$$

Az alakváltozás határértéke $\phi = 600$.

2.2 A KÖLTSÉGFÜGGVÉNY

A költségfüggvény tartalmazza az anyag, a gyártás és a festés költségeit (Jármai & Farkas) [8]. A gyártási költséget a hozzá szükséges idő alapján számítjuk.

A gyártási sorrend a következő:

A szerkezetet 5 db merevítetlen héjelemből készítik. Egy héjelem elkészítéséhez két axiális tompavarrat szükséges CO₂ technológiával (GMAW-C) (K_{F1}). A héjelem hengeresre formázása szintén figyelembe van véve (K_{F0}).

A 5 darabból álló teljes merevítetlen hég összehegesztéséhez 4 körvarrat szükséges (K_{F2}).

A hosszmerevítők elkészítésének ideje függ a merevítő típusától. Hengerelt I-szelvények alkalmazása esetén nincs többletidő szükséglet, például trapézmerlevítőknél van.

Az n_s számú merevítő ráhegesztése a héjra kétoldali varratokkal, CO₂ védőgázzal. A sarokvarratok száma $2n_s$. (K_{F3}).

A hég és a merevítők anyagköltsége

$$K_M = k_{M1} 5 \rho V_1 + k_{M2} \rho n_s A_s L, \quad (18)$$

ahol V_1 a hég térfogata.

$$V_1 = 3000 \times 2R\pi t; \rho = 7.85 \times 10^{-6} \text{ kgmm}^{-3}.$$

A héj és a merevítő anyagköltsége lehet eltérő is.

$$k_{M1} = 1.0 \text{ \$/kg}, k_{M2} = 1.0 \text{ \$/kg}.$$

A gyártási költségek a következőképpen írhatók fel:

$$K_f = k_f \sum_i T_i, \quad (19)$$

ahol K_f [\\$] a gyártási költség, k_f [\$/min] a fajlagos gyártási költség, T_i [min] a gyártási idő. Feltételezzük, hogy a k_f tényező állandó egy adott gyártónál. Ha nem, akkor lehetőség van eltérő gyártási költség-tényezőket használni a (19) egyenletben.

A fajlagos gyártási költség a következő:

$$k_f = 1.0 \text{ \$/min}.$$

A lemezformázás a szükséges görbület eléréséhez

$$K_{F0} = k_f \Theta e^\mu; \mu = 6.8582513 - 4.527217t^{-0.5} + 0.009541996(2R)^{0.5}. \quad (20)$$

A közelítő képlet gyári adatokon alapszik.

Egy héjelem tompavarrata költsége

$$\text{A sarokvarrat mérete } a_w = 0.5t, a_{wmin} = 3 \text{ mm.} \\ V_2 = 5V_1 + n_s A_s L \quad (24)$$

A festési költség

$$K_p = k_p (4R\pi L + (2h + 3b)n_s L); k_p = 14.4 \times 10^{-6} \text{ \$/mm}^2. \quad (25)$$

Az összköltség

$$K = K_M + 5K_{F1} + 5K_{F0} + K_{F2} + K_{F3} + K_p \quad (26)$$

2.3 EREDMÉNYEK

Adatok: $N_F = 68000 \text{ kN}$, $f_y = 355 \text{ MPa}$, $R = 1850 \text{ mm}$, $L = 15 \text{ m}$.

Az optimalálás során 3 ismetlen van (h_s , n_s , t) és 3 nemlineáris feltétel (héjhorpadás, a merevítők közötti panel horpadása, a vízszintes alakváltozás). A cél-függvény a teljes gyártási költség (26 képlet). A diszkrét értékek keresésekor a lépésméret h_s -nél 10 mm, n_s -nél 1 elem és t -nél 1 mm.

Az 1. táblázat mutatja az optimumokat, melyeket a PSO (Particle Swarm Optimization) módszerével határoztunk meg, különböző populációszám esetén. Az evolúciós módszer leírása megtalálható [9]-ben. A táblázat mutatja, hogy már egy elem is képes az optimumot megtalálni. Az eljárás megbízhatósága nö-

Populációszám	Merevítő magasság [mm]	Merevítőszám	A héj vastagsága [mm]	A szerkezet költsége [\\$]
1	730	18	18	118693
2	730	20	16	116993
3	790	18	16	116975
4	760	19	16	117119
5	760	19	16	117119
10	750	19	16	115841
16	750	20	15	113424
20	750	20	15	113424
30	750	20	15	113424
60	750	20	15	113424
90	780	20	14	115266
120	780	20	14	115266
150	750	20	15	113424
300	780	20	14	115266
500	780	20	14	115266

1. táblázat. Különböző optimumok, különböző populációszám esetén

$$K_{F1} = k_f \left[\Theta \sqrt{\kappa \rho V_1} + 1.3 \times 0.1520 \times 10^{-3} t^{1.9358} (2 \times 3000) \right], \quad (21)$$

ahol Θ a bonyolultsági tényező, mely a szerkezet komplexitását mutatja és κ az összeszerelt elemek száma

$$\kappa = 2; V_1 = 2R\pi t \times 3000; \Theta = 2.$$

$$\text{Az egész merevítetlen héj összehesztési költsége} \\ K_{F2} = k_f \left(\Theta \sqrt{25 \rho V_1} + 1.3 \times 0.1520 \times 10^{-3} t^{1.9358} \times 4 \times 2R\pi \right) \quad (22)$$

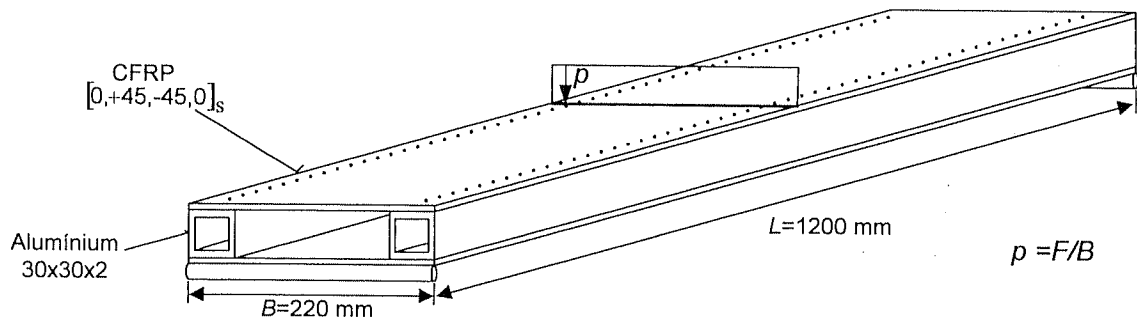
A merevítők behegesztése a héjba

$$K_{F3} = k_f \left(\Theta \sqrt{(n_s + 1) \rho V_2} + 1.3 \times 0.3394 \times 10^{-3} a_w^2 2Ln_s \right) \quad (23)$$

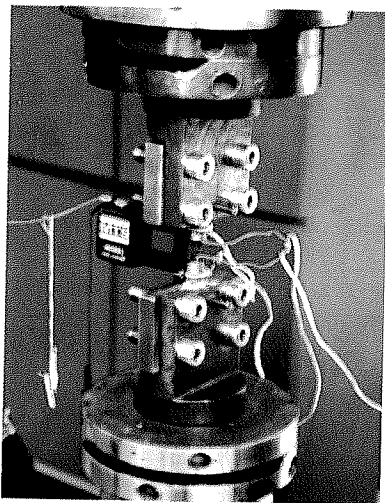
vekszik a populációszámmal, de a számítás időigénye is. A „legjobb” megoldás (vastagítva) a legkisebb populációszám, ami már megtalálja az optimumot.

3. SZÁLERŐSÍTÉSES MŰANYAG SZERKEZETEK VIZSGÁLATA, OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE

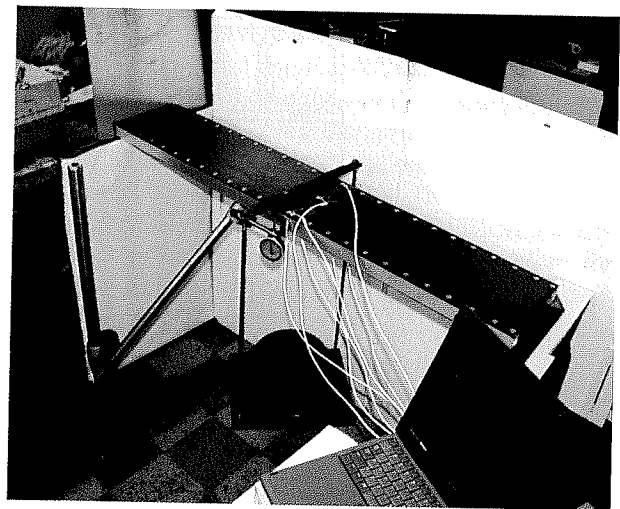
A kompozitok szálerősítéssel műanyagok, melyeknél a műgyanta általában vékony üveg, vagy szénszálakat tartalmaz. A kompozit anyagok tulajdonságait felhasznál-



2. ábra. A CFRP - Al kompozit szerkezet méretei, terhelése



3. ábra. A kompozit szakítópróbája



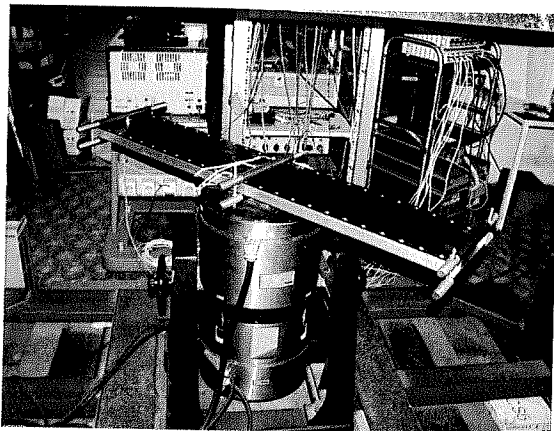
4. ábra. A kompozit szerkezet statikus hajlítóvizsgálata

lasi szempontból a fémek tulajdonságaival célszerű összehasonlítani. Adott felhasználás esetén, fémek helyett kompozitok alkalmazása jelentős súlymegtakarítást eredményezhet a kompozitok kis fajsúlyának köszönhetően. A súlycsökkentés számos iparágban kulcsfontosságú tényező, melyet az autógyártásban, a repüléstechnikában és az építőiparban ki is használnak [10].

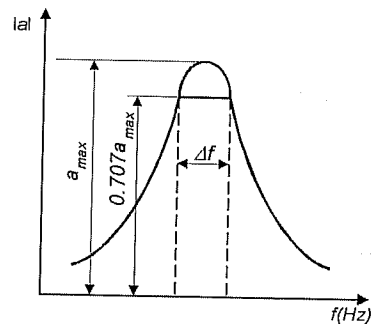
Célunk az volt, hogy olyan szálerősítéses kompozit szerkezetet alakítsunk ki optimálással, ami kihasználva az anyag nagy teherbírását, kis tömegű és nem túl drága [11]. A vizsgált szerkezet karbonszálas műanyag

(CFRP) lemezekből és alumínium AlMgSi05F22 négyzetcsövekből (Al) szegecseléssel összeállított szerkezet. A szerkezet két végén alátámasztott, középen vonalmenti erővel terhelt (2. ábra). A szerkezet fedőlemezei epoxi gyantával előimpregnált szőtt karbonszálas rétegek. A lemez 8 rétegből, $[0, +45, -45, 0]_s$ szárelrendezéssel lett összeállítva.

Először a szénaszálas műanyag anyagjellemzőit határoztuk meg (3. ábra). Utána méréssel meghatároztuk a szerkezet statikus és dinamikus viselkedését. Mértük a feszültséget, a lehajlást (4. ábra), a sajátfrekvenciát (5. ábra) a rezgéscsillapítási tényezőt (6. ábra). Külön vizsgáltuk az alumíniumot és a szénaszálas műanyagot összekapcsoló szegecsek viselkedését.



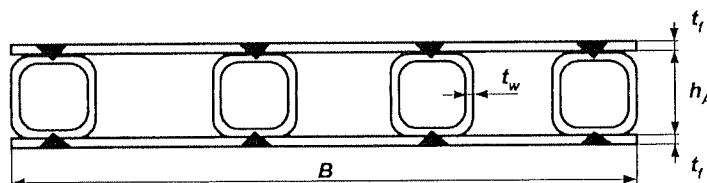
5. ábra. A szerkezet dinamikai vizsgálata



6. ábra. A csillapítási tényező meghatározása

Kidolgoztuk a kompozit szerkezet szilárdsági számítását. A mérési a számítási eredmények jó egyezést mutattak. Ezután jött a szerkezetoptimalálás, ahol anyag- és gyártási költségek és szilárdsági feltételek figyelembevételével határoztuk meg a minimális költségű tartót [12].

Az optimalálást kidolgoztuk több merevítőbordával ellátott szerkezetre is. Az eredményként kapott minimális össztömegű szerkezetet összehasonlíthatjuk egy azonos hosszúságú és szélességű ($B \times L$), valamint azonos terhelésű (p) optimált acél cellalemez (7. ábra) (Jármai et al.) [13] tömegével.



7. ábra Acél cellalemez.

2. táblázat A kompozit- és az acél szerkezet tömegének összehasonlítása.

	Optimális, szabványos szelvényméretek és bordaszám			Fedőlemez vastagság	Tömeg	Tömegarány
	h_A, h_{Al} [mm]	t_w [mm]	n_b [mm]	t_f [mm]	[kg]	[%]
Teljes acél szerkezet	40	2	6	2	517	100
Kompozit fedőlemez + Al borda	40	2,5	7	6,4	67,787	$\frac{67,787}{517} \cdot 100 = 13,11$

Jól látható, hogy az acél szerkezeti elemek helyett korszerű, modern kis fajsúlyú anyagok alkalmazásával igen jelentős súlymegtakarítás érhető el (2. táblázat). A kompozit fedőlemezes Al merevítőbordás cellalemez alkalmazásával 86,89 %-os súlymegtakarítás érhető el a homogén acél cellalemezhez képest.

A költségek vonatkozásában már más a helyzet. A kompozit anyag alkalmazásával elérhető jelentős súlymegtakarítás nagy költségárfordítással jár – 89 - 114 %-os többletköltséget jelent, a rétegek számától és a gyártási költségtől függően.

A nagymértékű súlymegtakarítás és a kedvezőtlen költségnövekedés alapján elmondhatjuk, hogy a szál-erősítéses laminátok felhasználása olyan alkalmazásokban ajánlott, ahol a súlymegtakarítás az elsődleges tervezési cél, a költség csupán másodlagos szempont (pl.: úrtechnika, légi-, vízi- és szárazföldi járművek).

KÖVETKEZTETÉS

Az elmúlt években végzett vizsgálataink és az előzőekben részletesebben ismertetett két alkalmazás is azt mutatja, hogy a szerkezetoptimalálás fent vázolt tematikájával meghatározhatók a minimális költséghez, illetve súlyhoz tartozó szerkezetvariánsok.

Hatékony optimaló módszer alkalmazásával az optimum elérhető akkor is, amikor olyan méretezési feltételek vannak, melyek erősen nemlineárisak, illetve számos lokális optimum is létezik. Az alkalmazások megmutatták, hogy egy szerkezet erősítésére több lehetőség is kínálkozik: bordák elhelyezésével a lemezek, héjak teherbírása megsokszorozódik. Szálerősítéses anyagok alkalmazásával szintén jelentős teherbírás-növekedés érhető el. Mindkettőnek azonban ára van, az első esetben a plusz varratok, a második esetben a relatíve drága anyag jelent költségnövekedést.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani a Bánki Donát Főiskolának, illetve Dr. Pomázi Lajosnak, hogy jubileumi rendezvényre előadóként meghívtak, továbbá Kovács György egyetemi tanársegédnek, volt doktoranduszának a kitartó munkájáért a szálerősítéses műanyagok területén.

A kutatás az Országos Tudományos Kutatási Alap OTKA 37941 és 38058 támogatásával történt.

IRODALOM

- [1] FARKAS, J. & JÁRMAI, K.: *Analysis and optimum design of metal structures*, Balkema Publishers, Rotterdam, Brookfield, 1997, 347 p. ISBN 90 5410 669 7.
- [2] JÁRMAI, K.: *Topology optimization of tubular structures*, June 1-6. 1998. 5 lectures, Mechanics and Design of Tubular Structures, Advanced Professional School, Coordinated by J. Farkas & K. Jármai, International Centre for Mechanical Science, CISM; Udine, Italy, Springer Verlag, Edited by K. Jármai & J. Farkas, 1998. Chapter 5. pp. 225-284. ISBN 3-211-83145-2

- [3] JÁRMAI, K., FARKAS, J., SIMÕES, L. C., VIRÁG, Z.: *Minimum cost design of longitudinally stiffened welded steel plates loaded by eccentric compression*, Eurosteel 3 Conference, Coimbra September 19-20, 2002, CMM Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista, Proceedings Vol. 1. pp. 533-540. ISBN 972-98376-3-5
- [4] FARKAS, J., JÁRMAI, K., SNYMAN, J. A. & GONDOS, GY.: *Minimum cost design of ring-stiffened welded steel cylindrical shells subject to external pressure*, Eurosteel 3 Conference, Coimbra September 19-20, 2002, CMM Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista, Proceedings Vol. 1. pp. 513-522.
- [5] KOVÁCS GY.: *Optimal design of a composite multicellular plate structure*, Journal of Computational and Applied Mechanics, A Publication of the University of Miskolc, Miskolc University Press, 2004, Vol. 5. No 1. pp. 79-88
- [6] DET Norske Veritas (DNV): *Buckling strength analysis*. Classification Notes No. 30.1 Hovik, Norway, 1995
- [7] ECCS *European Recommendations for Steel Construction, Buckling of steel shells*. No.56. European Convention for Constructional Steelwork, (1988) Brussels.
- [8] JÁRMAI, K. & FARKAS, J.: *Cost calculation and optimization of welded steel structures*. Journal of Constructional Steel Research, Vol. 50. 1999. pp. 115-135.
- [9] FARKAS, J. & JÁRMAI, K.: *Economic design of metal structures*, Millpress, Rotterdam, 2003, 340 p. ISBN 90 77017 99 2
- [10] BARBERO E. J.: *Introduction to composite materials design*, Taylor & Francis, USA, 1999, ISBN 1-56032-701-4
- [11] FARKAS J., JÁRMAI K.: *Minimum material cost design of five-layer sandwich beams*. Structural Optimization 15, 1998, pp. 215-220
- [12] KOVÁCS GY., GROENWOLD A.A., JÁRMAI K., FARKAS J.: *Analysis and optimum design of fiber reinforced composite structures*, Journal of Structural and Multidisciplinary Optimization, Vol 28. 2004, No. 2-3, pp. 170-179
- [13] JÁRMAI K., FARKAS J., PETERSHAGEN H.: *Optimum design of welded cellular plates for ship deck panels*, Welding in the World, Vol. 43, 1999, pp. 50-54

Nemzetközi Hegesztőtechnológus, valamint Hegesztőspecialista képzés a Budapesti Műszaki Főiskolán

A Budapesti Műszaki Főiskola Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kar
Anyag- és Alakítástechnológia Tanszéke
(1081. Bp. VIII. Népszínház u. 8.)
a Magyar Meghatalmazott Nemzeti Testület (ANB) akkreditációja alapján
folyamatosan indít

Nemzetközi Hegesztőtechnológus (IWT),
valamint
Nemzetközi Hegesztőspecialista (IWS)
szakképzéseket.

A 340 órás (IWT), illetve 222 órás (IWS) képzésben résztvevők
a tanfolyam elvégzése és sikeres vizsga letétele után
az MSZ EN 729-3 (IWT), illetve MSZ EN 729-4 (IWS)
szerinti szakterületeken végezhetnek munkát hegesztési felelősként.

A képzésről bővebb tájékoztatás a Főiskola honlapjáról
(www.bmf.hu/bgk), illetve közvetlenül a Tanszéktől (T:219-6310 vagy 219-6386) kapható.