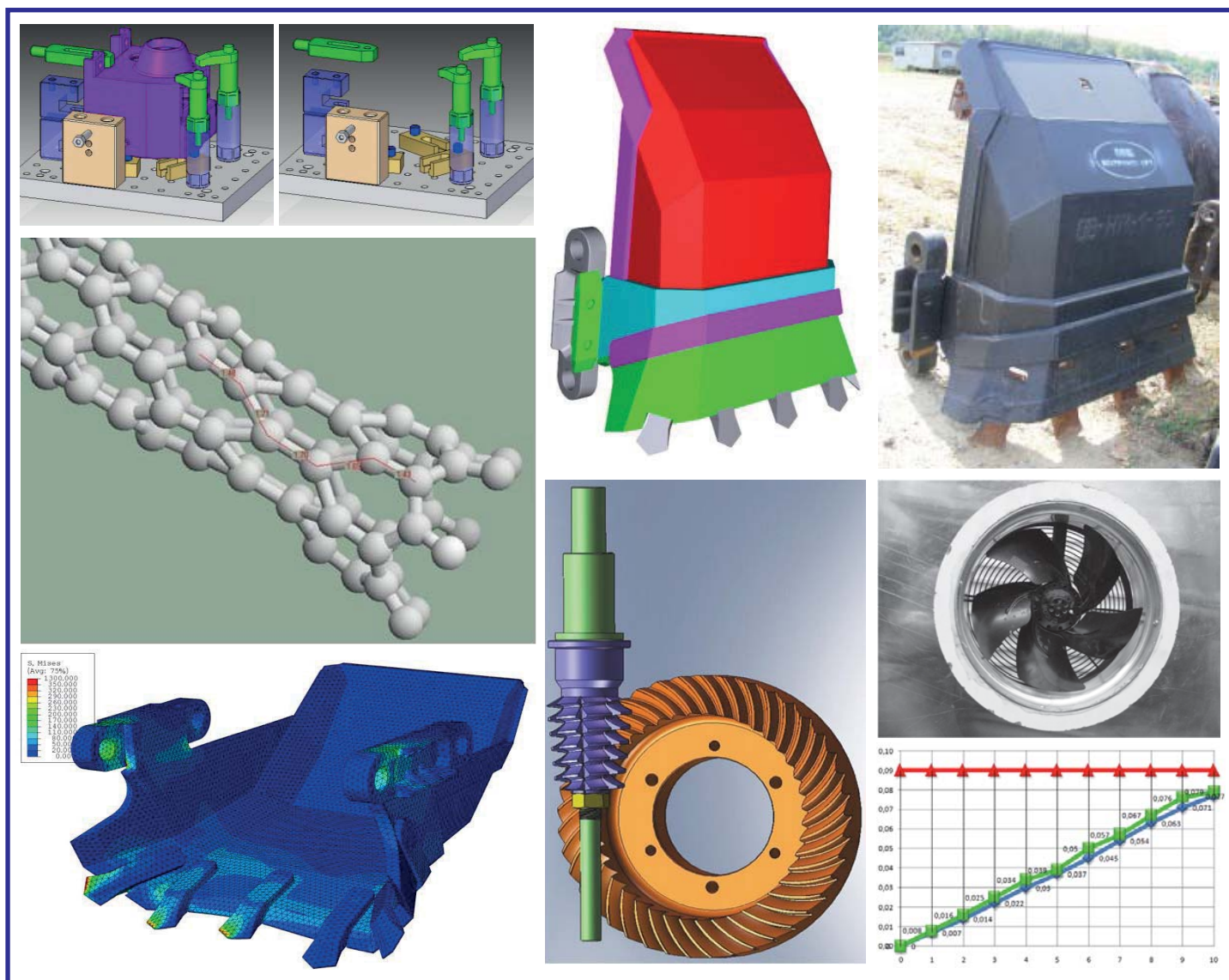


GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



4. TM Innovatív gépészeti termékfejlesztés

A tudományos műhely vezetője: **Dr. Kamondi László**
e-mail: machkl@uni-miskolc.hu
tel: +3646 565 111, 1272 m.

Az innovatív gépészeti termékfejlesztés tudományos műhely kutatási tevékenységét a termékek fejlesztésmetodikájára, funkcióinak megvalósítására és a termék megfelelőségnek részbeni ellenőrzésére fókuszálja. Ennek területei:

1. Tervezési algoritmusok fejlesztése, a környezettudatos tervezés irányelveinek kutatása.
2. Természeti analógiák alkalmazása a termékfejlesztésben.
3. Műszaki termékek energialáncát fentartó hajtásláncok pl. szabadonfutók, fogazott tengelykapcsolók tervezésmetodikájának fejlesztése, megfelelőséget biztosító mérések kidolgozása.
4. A hajtásláncok mozgásleképező elemeinek, pl. foghézaggal rendelkező fogazott elempárok kinematikai és dinamikai vizsgálata, nem szimmetrikus fogazatok alkalmazhatóságának szilárdsági viselkedésének kutatás, műanyag fogaskerekek méretezési elveinek és vizsgálatának kutatása, a nagy attételű hajtóművek (hullám és dörzs) fejlesztése.
5. Virtuáli- és valós termékek optimalizálási elveinek és módszereinek kutatása, alkalmazási lehetőségek bemutatása.



Görgős teljesítménymérő fékgép



Akusztikai labor

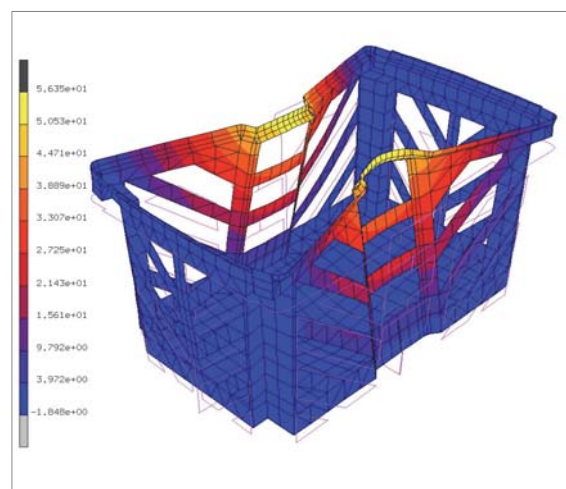
Végeselemes modellezés és szimuláció

A tudományos műhely vezetője: **Dr. Bertóti Edgár**
e-mail: edgar.bertoti@uni-miskolc.hu
Tel.: +36 46 565 162

A Miskolci Egyetem Mechanikai Tanszékén működő tudományos műhely elméleti és alkalmazott mechanikai kutatásokat folytat többek között az alábbi témákban:

- szerkezeti elemek (acél, műanyag, kompozit, gumi) szilárdsági és dinamikai analízise;
- érintkezési, kopási problémák modellezése és végeselemes megoldása;
- talaj- és kőzetmechanikai folyamatok numerikus szimulációja és végeselemes modellezése;
- új modellek és számítási eljárások kidolgozása.

A numerikus szimulációk során részben saját fejlesztésű, részben kereskedelmi szoftvereket alkalmazunk.



Vékonyfalú szerkezetben terhelés hatására kialakuló deformáció és feszültségeloszlás

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

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

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám

elnök

Vesza József

főszerkesztő

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

főszerkesztő-helyettesek

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czítán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Szűcs Edit

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Zobory István

Tisztelt Olvasó!

Tavaly lezárult a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt, melynek keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósultak meg azok a kutatások, melyek a 4-es Kiválósági Központ keretében **Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák** címmel folytak a Miskolci Egyetemen. A központ célja volt a kutatási potenciál fejlesztése olyan kutatásokkal, amelyek innovatív modellezést, tervezést és technológiai folyamatokat valósítanak meg, összhangban az Európai Unió azon törekvésével, amely az innováció serkentésére, a leghatékonyabb környezetbarát technológiák alkalmazására, fejlesztésére irányul.

A Kiválósági Központ hét tudományos műhelyre tagozódott, melyek akkor egy-egy tanszék köré szerveződtek. Közben intézetek alakultak a karon es ezek a következők: Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai, Gyártástudományi, Energetikai és Vegyipari Gépészeti, Műszaki Mechanikai, Gép- és Terméktervezési, valamint a Logisztikai Intézet. Az itt dolgozó oktatók BSc, MSc és doktorandusz hallgatókat is bevontak a kutatásokba, amelyek így jó lehetőséget biztosítottak arra, hogy a fiatalok megismerkedjenek a tudományos munkával. A közel két évig működő központ programjához kapcsolódva nem egy hallgató nyújtott már kiemelkedő teljesítményt, illetve készített színvonalas TDK dolgozatot, PhD értekezést.

Az egyes tudományos műhelyek témái nagyon sokrétűek, interdiszciplináris jellegűek, sokszor még egy adott témán belül is. A tervezés témakörében olyan tervezési, modellező eljárásokat fejlesztettek ki, amelyek hatékonyabban és megbízhatóbban modellezik a szerkezeteket és jelenségeket, jobb tervezési megoldásokat adnak. Foglalkoztak szerkezetek és rendszerek optimális méretezésével. Vizsgálták a termékéletpályát, a műszaki rendszerek hajtáslánc felépítését, a környezettudatos elvekhez és az alternatív üzemanyag használatához is kapcsolódókat kutatások, valamint áramlás és hőtechnikai laboratóriumi és numerikus modellezéshez is számos kutatás kötődött. A gépészeti technológiák területén a környezetbarát, szerves vegyipari, illetve a folyamatos technológiák vizsgálata és energiaraionalizálás történt. Jelentősek a professzionális mechanikai anyagvizsgálatok, valamint a számítógéppel segített technológiai folyamattervezés és modellezés, valamint a befejező precíziós megmunkálások, és a nagyszilárdságú acélok hegesztése területén elért eredmények is.

A Tudományos Műhelyeken belül működő húsz K+F téma nagyon szerteágazó. Néhány közülük az alapkutatásokhoz 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 legújabb tudományos eredményeit.

A Kiválósági Központ tovább tevékenykedik, szeretnénk az elért eredményeket továbbfejlesztetni, újakkal bővíteni. A 2014-2020-as időszakra, a formálódó GINOP és EFOP pályázatokra számos témajavaslatot dolgoztunk ki. Remélhetőleg ezek beépítésre kerülnek az elkövetkező pályázati kiírásokba.

Az első 4 cikk a 4KK kutatóinak eredménye, a következők a társegységek kutatóinak eredményét mutatja be.

Prof. Dr. Jármái Károly

Stratégiai és fejlesztési rektorhelyettes, a Kiválósági Központ vezetője

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

Telefon/fax: 06-46/379-530, 06-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

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

Telefon: 06-1/202-0656, fax: 06-1/202-0252, 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. Telefon: 06-46/379-530 • 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, faxon: 06-1/303-3440. 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.

A kiadvány a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával jelenik meg.

TARTALOM

1. Kovács György, Jármái Károly

KOMPOZIT SZENDVICSSZERKEZET OPTIMÁLIS TERVEZÉSE RÉSZECSEKCSOPORT OPTIMÁLÓ MÓDSZERREL5

Egy új szerkezeti modell szerkezetoptimalizációs módszere került bemutatásra. A szerkezet laminált karbonszál-erősítéses fedőlemezekből és Al merevítőkből szegecseléssel került összeállításra. A tervezés során az optimális bordaszám és borda geometria, valamint az optimális kompozit fedőlemez rétegszám került meghatározásra, mely szerkezet biztosítja a minimális költséget és/vagy tömeget amellet, hogy teljesíti a megfogalmazott méretezési feltételeket is.

2. Rétfalvi Attila, Dr. Stampfer Mihály, Dr. Szegh Imre

FEATURE-ALAPÚ TECHNOLÓGIAI MODELL LÉTREHOZÁSA AUTOMATIZÁLT KÉSZÜLÉKTERVEZÉSHEZ9

Ebben a cikkben a technológiai feature-alapú munkadarab modell létrehozásához szükséges lépések kerültek bemutatásra. A technológiai feature egyrészt a készüléktervezés másrészt a megmunkálás tervezés automatizálását teszi lehetővé. A munkadarab CAD modelljéből a lokális (a feature-re jellemző) és a globális (a helyzetre és irányra vonatkozó) geometriai adatok kinyerhetők, míg a megmunkálási igényekre és a pontosságra vonatkozó adatokat a bemutatott rendszerrel interaktív módon kell megadni. Egy hajtóműház példáján keresztül szemléltettük, hogyan használhatók a technológiai feature-ök automatizált készüléktervezés során.

3. Szirbik Sándor

FESZÜLTÉGSZÁMÍTÁS A SÍKRUGALMASSÁGTAN DUÁL RENDSZERÉBEN A HIPERSZINGULÁRIS INTEGRÁLEGYENLETEK MÓDSZERÉVEL15

A jelen tanulmány a síkrugalmasságtan duál rendszerében kidolgozott peremelem-módszer integrálegyenleteinek felhasználásával eljárást dolgozott ki a perem menti feszültségek pontos számítására. Az eljárás alap gondolata, hogy a feszültségeket a perem elvben pontosan megadó és hiperszinguláris integrálokat tartalmazó képletek részint analitikusan, részint pedig numerikusan nagyon kis hibával számíthatóvá tehetők. A számítási eredmények azt bizonyítják, hogy a módszer alapján kifejlesztett kóddal lényegesen javítható a számítások numerikus pontossága már alacsony elemszám esetén is.

4. Virág Zoltán

MÉRITÉKLÉTRÁS KOTRÓ ÚJ HEGESZTETT MERÍTÉK ÉS BONTÓFOG KOPÁSÁNAK TAPASZTALATAI21

Az új merítékek technológiai és üzemeltetési előnyei gyakorlati és gazdasági szempontból is nagyon hamar felismerhetők. A nagyobb szilárdságú merítékeknel kevésbé várható káros deformáció, várhatóan kisebb lesz az ebből adódó műszaki meghibásodás. Az új bontófogon fellépő kisebb fajlagos vágóerő kisebb hajtásteljesítményt igényel, továbbá mivel kisebbek az oldalérok, kisebb lesz a fordítási teljesítmény igénye. A bontófogak élettartama megfelelő időben történő helycserével és felhegesztett élvédelemmel tovább növelhető.

5. Sábitz László, Prof. Dr. Zobory István

TUSKÓS FÉKEZÉSŰ VASÚTI TÖMBKERÉK TERMOELASZTIKUS FOLYAMATAINAK VIZSGÁLATA VÉGES ELEMES MÓDSZERREL - I.25

A cikk egy olyan FEM bázisú számítási eljárást mutat be, amely alkalmas a vasúti kerekekben fellépő termikus folyamatok meghatározására. A módszerrel azt vizsgálták, hogy a vasúti kerekek fékezésekor létrejönnek-e a martensitképződés szükséges feltételei.

6. Pataki Tamás, Dr. Kári-Horváth Attila

MŰANYAG ALKATRÉSZEK ERŐSÍTÉSÉNEK MÓDSZEREI SZÉN NANOSZERKEZETEKSEL30

Napjainkban a szén nanocsöveket műanyag mátrixú kompozitok szilárdságának növelésére alkalmazzák. A cikk a nanocsövekkel erősített szerkezetek tulajdonságait mutatja be. A szerkezetek gyenge pontjait a Brenner féle potenciálfüggvényre épülő algorit-mussal vizsgálják.

7. Bodzás Sándor, Dr. Dudás Illés

TENGELYMETSZETBEN ÍVELT PROFILÚ KÚPOS CSIGAHAJTÁS TÁNYÉRKERÉK LEFEJTŐMARÓJÁNAK GYÁRTÁSGEOMETRIAI ELEMZÉSE34

A szerzők által szabadalmaztatott geometriájú csigahajtás tányérkerékének gyártásához használt lefejtőmaró újra-lezhetőségének vizsgálatára matematikai modellt állítottak fel. A számítógépes analízissel megállapították, hogy az újra-lezési határszög öt fokra tehető.

8. Tvardovska Sofiya

ELEKTROLIT OLDATTAL TELÍTETT PORÓZUS ANYAG JELLEMZŐINEK BEFOLYÁSA A MECHANOELEKTROMÁGNESES HULLÁMOK ELOSZLÁSÁRA KÜLSŐ ELEKTROMOS MEZŐ HATÁSAKOR38

A cikk a mechanoelektromágneses hatásnak kitett, elektrolit oldattal telített porózus anyag fizikai és mechanikai tulajdonságainak a hullásterjedésre gyakorolt hatásáthatását elemzi. A szerző az oldat koncentrációjának hullám paramétereit és a közeg porozitását és permeabilitását számszerűsíti. Az eredmények azt mutatják, hogy az elsőrendű mechanoelektromágneses fázissebesség csökken a frekvencia és a koncentráció növekedésével. Az eredmények a földkéreg szerkezetének tanulmányozásához alkalmazhatók.

9. Bihari János

KISMÉRETŰ MŰANYAG FOGASKEREKES HAJTÁSOK HIBÁI42

A kisméretű, olcsó fogaskerekkel szerelt hajtóművek problémáit okozó tényezők felismerése időnként bonyolult feladat. Ez a cikk néhány hibajelenséget, valamint a hibák okait kutató vizsgálatokat és elemzéseket mutat be.

10. Dömötör Csaba

A TERMÉSZETI INTUÍCIÓ HATÁSA A TERMÉKFEJLESZTÉS GYAKORLATÁRA46

A gépek és termékek formaterveiben már a kezdetektől jelen vannak a természet alkotó elvei és megoldásai. Ezen természetes konstrukciók jól alkalmazhatók a mérnöki gyakorlat különböző területein. A cikk ezen analógiák fellelési útja és tudatossága szerinti osztályozást és az így kapott típusok eloszlását mutatja be.

11. Tóth Bence

AXIÁLIS ÁTÖMLÉSŰ VENTILÁTOR ÁRAMLÁS-TECHNIKAI VIZSGÁLATA LAPÁTRÁCS-MÉRÉSI ADATOK ALAPJÁN50

A cikk egy egyszerűsített módszert mutat be, amely axiális ventilátorok áramlástani jellemzőinek számítására szolgál.

KOMPOZIT SZENDVICSSZERKEZET OPTIMÁLIS TERVEZÉSE RÉSZECSCSOPORT OPTIMÁLÓ MÓDSZERREL

OPTIMAL DESIGN OF A COMPOSITE SANDWICH STRUCTURE BY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION METHOD

Kovács György*, Jármai Károly**

ABSTRACT

This study shows the optimization method of a new complex structural model [laminated carbon fiber reinforced plastic (CFRP) deck plates with aluminium (Al) stiffeners] which is depicted in Figure 1. The structure was designed for both minimal cost and minimal weight taking into consideration 7 design constraints.

1. BEVEZETÉS

A kompozitok több szempontból fontos anyagok a mérnöki gyakorlatban, a műszaki célú szerkezeti anyagok legkorszerűbb családját képezik. A tulajdonságok olyan széles skálájával rendelkeznek, melyek más anyagokkal elérhetetlenek, mint például a nagy szilárdság, kis sűrűség, korrózióval és vegyi anyagokkal szembeni ellenállás, kedvező hajlítási merevség, jó rezgéscsillapítás, esztétikus megjelenés. A kompozitokat – ezen tulajdonságaiknak köszönhetően – jelenleg is számos iparágban (űrkutató, hadiipar, járműipar, építőipar, gépipar, vegyipar, egészségügy) alkalmazzák.

A jelenlegi tanulmányban vizsgált többcellás kialakítású tartó a szendvicsszerkezet és a cellalemez kombinációja (1. ábra). A szendvicsszerkezetek fém, vagy szálerősítéses műanyag fedőlemezekből állnak, a közbenső réteg pedig általában hab, vagy méhsejtváz. Ezzel szemben a cellalemezeket fém fedőlemezek és a közéjük hegesztett fém merevítők alkotják.

A megalkotott új szerkezeti modell 2 CFRP (carbon fiber reinforced plastic, szálerősítéses műanyag) fedőlemezről, és köztük több alumínium üreges négyzet szelvényű hosszmerítő csőből áll. Így a megalkotott új modell az anyagok, merevítők és a gyártási technológiák kombinációja.

Számos szakirodalom foglalkozik szendvicsszerkezetek, bordázott lemezek és cellalemezek vizsgálatával, tervezésével és alkalmazásával, mint például [1, 3, 4, 6-10].

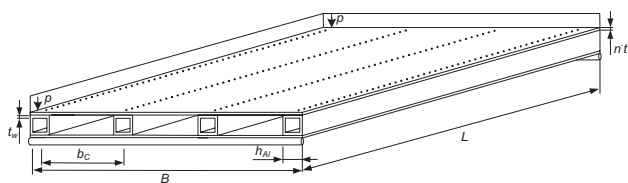
A dolgozat célja az új szerkezet optimálási módszerének kidolgozása. A kidolgozott célfüggvények költség- és tömeg-célfüggvények. A számítás során a teljes szerkezet középlehajlására, a kompozit lemezek

horpadására, az Al merevítő cső gerinchorpadására, a kompozit lemezben ébredő maximális feszültségre, az Al csőben keletkező maximális feszültségre, a szerkezet sajátfrekvenciájára vonatkozó méretezési feltételek, valamint a fedőlemez rétegszámára (n), az alkalmazott bordaszámra (n_s) és a borda geometriájára (h_{Al} , t_w) vonatkozó méretkorlátozási feltételek lettek figyelembe véve.

A többcélfüggvényes optimálás során a normált súlyozásos részecskecsoport (Particle Swarm Optimization) módszer került alkalmazásra.

2. AZ ÚJ TÖBBCELLÁS SZENDVICSSZERKEZET

A vizsgált többcellás szendvicsszerkezet az 1. ábrán látható. A CFRP fedőlemezek laminált réteges szerkezetek. Az egyes kompozit rétegek szál térfogat aránya 61%, a mátrix térfogat aránya pedig 39%. Az egyes rétegekben a karbonszál erősítés hosszirányban került elhelyezésre. A fedőlemezek szegecseléssel lettek az alumínium négyzet keresztmetszetű merevítő bordák (SHS) alsó és felső övlemezéhez rögzítve.



1. ábra. Többcellás cellalemez

Az optimálás célja egy $L = 2250$ mm hosszúságú, $B = 2000$ mm szélességű, $p = 3,5 \cdot 10^{-3}$ N/mm² felületen megoszló ($p = 7$ N/mm vonalmenti) terhelésű cellalemez optimális szerkezeti méreteinek meghatározása.

A fedőlemezek összeállítása során felhasznált előimpregnált CFRP rétegek anyagjellemzői az alábbiak: az egyes rétegek vastagsága $t^* = 0,2$ mm, a rugalmassági modulus hosszirányban $E_x = E_c = 120$ GPa, keresztirányban pedig $E_y = 9$ GPa. A nyíró modulusok a következők: $G_{xy} = G_{yz} = G_{xz} = 4,4$ GPa. A CFRP réteg fajlagos tömege $\rho_c = 180$ g/m², Poisson tényezői $\nu_{xy} = 0,25$ és $\nu_{yx} = 0,019$.

* egyetemi docens, ** egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet

3. CÉLFÜGGVÉNYEK ÉS MÉRETEZÉSI FELTÉTELEK

3.1. Költséggüggvény, mint célfüggvény

Általában a leggyakoribb követelmény, hogy a szerkezet gazdaságos legyen, vagyis törekedni kell a költségminimumra. A költségüggvény a vizsgált többcellás kompozit lemez esetén az anyag és a gyártási költségek összegeként írható fel [2]:

$$f(x) = K = K_{CFRP} + K_{Al} + K_{hőkezelés} + K_{gyártás}$$

$$K (\text{€}) = 2 \cdot (n \cdot 31,047) + k_{Al} [n_s (\rho_{Al} 4 h_{Al} t_w L)]$$

$$+ 2 \cdot n \frac{525}{528} + k_f [n \cdot 14_{\min} + n_s \cdot 26_{\min} + 110_{\min}] \quad (1)$$

ahol n a CFRP rétegek számát jelenti, n_s a merevítő bordák száma, ρ_{Al} az Al profilok sűrűsége, h_{Al} az Al profilok magassága és szélessége, t_w pedig a falvastagsága, min pedig a percben kifejezett gyártási folyamatok.

A szerkezet anyagköltségének jelentős részét a kompozit fedőlemezek teszik ki. Esetünkben ez a költség a 31,047 €/réteget jelenti. Az Al bordák költsége 4,94 €/kg. A fajlagos gyártási költség $k_f = 0,6$ €/min. A hőkezelés költsége a kezelendő fedőlemezek méretétől és a mátrixgyanta típusától függ. Esetünkben ezen költségkomponens a fedőlemez rétegszám és méret üggvényeként számítható. Egy általunk már korábban legyártott 220x1200x2mm méretű CFRP fedőlemez költségét ismerjük, mely alapján a számítási példában szereplő méretű lemez költsége már származtatható az (1) egyenletben látható módon.

A teljes gyártási költség (mint az idő üggvénye [min]) a CFRP lemezek gyártásához szükséges idő ($n \cdot 14_{\min} + 110_{\min}$), az Al bordák vágási idő ($n_s \cdot 6_{\min}$), valamint a szerkezet összeállítási idő ($n_s \cdot 20_{\min}$) költségének összegeként adódik. A CFRP lemezek gyártásához szükséges idő magába foglalja a présformák előkészítésének, az egyes rétegek leszabásának és a rétegek összeállításának időtartamait. A szerkezet összeállításának ideje a CFRP rétegek és az Al merevítők fűrészből és össze-szegecseléséből tevődik össze. A furatok elkészítésének ideje a rétegszám üggvénye.

Az optimizálható paraméterek az Al borda geometriája (h_{Ab} , t_w), a CFRP fedőlemezek rétegeinek száma (n), valamint a merevítő bordák száma (n_b). A szálirány valamennyi rétegben (0°), mint az már korábban is meg lett adva.

3.2. Szerkezzetömeg, mint célfüggvény

A szerkezet teljes tömege a CFRP és az Al komponensek tömegének összegeként írható fel:

$$m = 2 \rho_c [B L (n t^*)] + n_s \rho_{Al} [L (4 h_{Al} t_w - 4 t_w^2)] \quad (2)$$

ahol: t^* az egyes rétegek vastagsága, a fedőlemez sűrűsége $\rho_c = 180 \cdot 10^{-9}$ kg/mm², az alkalmazott AlMgSi05 négyzetcső sűrűsége pedig $\rho_{Al} = 2,7 \cdot 10^{-6}$ kg/mm³.

3.3. Méretezési feltételek

3.3.1. A szerkezet középlehajlása

$$w_{\max} = \frac{5p L^4}{384(E_c I_c + E_{Al} n_s I_{Al})} + \frac{5\Delta M L^2}{48(E_c I_c + E_{Al} n_s I_{Al})} \leq \frac{L}{200} \quad (3)$$

ahol: I_c és I_{Al} a kompozit lemez és az Al borda inerciája, E_c és E_{Al} a CFRP laminát redukált rugalmassági modulusa, valamint az Al borda rugalmassági modulusa. A szerkezet teljes lehajlásának számításánál számolnunk kell a szerkezeti elemek relatív elmozdulásból adódó járulékos lehajlással is. A $\Delta\sigma$ feszültségkülönbségből adódóan ΔM nyomatékkülönbség is jelentkezik. A szerkezet teljes lehajlása tehát a számított elsődleges lehajlás és a szerkezeti elemek relatív elmozdulásából adódó lehajlás összegeként írható fel.

3.3.2. A kompozit lemez horpadása [1]

$$\left(\frac{b_c}{n t^*}\right) \leq \sqrt{\frac{\pi^2}{6\sigma_{\max}(1-\nu_{xy}\nu_{yx})} [\sqrt{E_x E_y + E_x \nu_{xy} + 2G_{xy}(1-\nu_{xy}\nu_{yx})}]} \quad (4)$$

ahol b_c : a bordák közötti lemezszélesség, σ_{\max} : a kompozit laminátban a terhelés hatására ébredő maximális feszültség, E_x , E_y , G_{xy} : a kompozit laminát modulusai, ν_{xy} , ν_{yx} : Poisson tényezők.

3.3.3. Az Al cső gerinchorpadása [2]

$$\frac{h_{Al}}{t_w} \leq 42 \sqrt{\frac{235 E_{Al}}{240 E_{Steel}}} \quad (5)$$

ahol: E_{Al} , E_{Steel} az alumínium és az acél rugalmassági modulusa.

3.3.4. Feszültségi feltétel a kompozit lemezre

A szerkezetre ható terhelésből adódó nyomaték megoszlik a szerkezet CFRP és Al teherviselő komponensei között. $X_c M$ a teljes nyomaték kompozit lemezre eső része, az $X_{Al} M$ pedig a merevítőre eső rész.

$$\frac{X_c M}{I_c} \cdot \frac{h_{Al} + n t}{2} \leq \sigma_{Call} \quad (6)$$

ahol: $M = \frac{p L^2}{8}$; $\sigma_{Call} = \frac{\sigma_T}{\gamma_c}$ a megengedett feszültség;

$X_c M$ a kompozit lemezre eső nyomaték; σ_T a kompozit laminát szakító szilárdsága; γ_c a biztonsági tényező ($=2$). A merevítő bordák nagy számából adódóan az optimális során a keresztirányú hajlításból származó feszültséggel nem kell számolni.

3.3.5. Feszültségi feltétel az Al csőre

$$\frac{X_{Al}M}{n_s I_{Al}} \cdot \frac{h_{Al}}{2} \leq \sigma_{Alall} \quad (7)$$

$$X_{Al} = \frac{E_{Al} n_s I_{Al}}{E_{Al} n_s I_{Al} + E_c I_c}; \quad \sigma_{Alall} = \frac{f_y}{\gamma_{Al}}$$

ahol: a megengedett feszültség; $X_{Al}M$ az Al merevítőre eső nyomaték; f_y az Al folyáshatára; γ_{Al} a biztonsági tényező (=2).

3.3.6. Sajátfrekvencia feltétel

$$f_1 = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{10^3 (E_{Al} I_{Al} + E_k I_k)}{m}} \geq f_0 \quad (8)$$

m : tömeg/folyóméter [kg/m]; f_0 : korlátozás a sajátfrekvenciára (50 Hz).

3.3.7. Méretkorlátozási feltételek

$$\begin{aligned} 10 &\leq h_{Al} \leq 100 \\ 2 &\leq t_w \leq 6 \\ 16 &\leq n \leq 32 \\ 7 &\leq n_s \leq 20 \end{aligned} \quad (9)$$

A fenti méretkorlátozási feltételek gazdaságossági és gyárthatósági szempontok alapján kerültek meghatározásra, valamennyi változó dimenziója [mm].

3.4. Normált Súlyozásos Részecskecsoport Módszer (Particle Swarm Optimization)

A vizsgált szerkezet többcélűfüggvényes (költség- és tömeg-célűfüggvényes) optimalása a normált súlyozásos részecskecsoport módszer (Particle Swarm Optimization, PSO) alkalmazásával lett elvégezve.

A részecskecsoport módszer az evolúciós módszerek egy viszonylag új osztálya, mely alkalmas lehet az optimális megoldás x^* megkeresésére általános optimalási feladatoknál. Az eredeti PSO algoritmus – melyet Kennedy és Eberhardt [5] javasolt 1995-ben – a nagy csoportokban élő élőlények szociális viselkedésén, egymásra hatásán alapszik. A PSO csapatviselkedéseket szimulál, amelyek legjobban madárcsapat, halraj, méhraj esetén érzékelhetőek. Bebizonyosodott az alkalmazások során, hogy egyszerre gyors és hatékony, főként erősen nemlineáris optimalási problémáknál előnyös az alkalmazása. A PSO módszer különösen hasznos paraméteres optimalásra folytonos, többdimenziós térben.

A normált súlyozás módszere kikerüli azt a problémát, amit az egyszerű súlyozás módszerénél a célfüggvények nominális értékei közötti nagy különbség jelent, vagyis hogy az egyes célfüggvények súlyozó tényezőinek nincs hatása az optimumra. A normált súlyozás módszerénél a w_i súlyozó tényezők jól meghatározzák az adott célfüggvény fontosságát.

$$f(x) = \sum_{i=1}^r w_i f_i(x) / f_i^0 \quad (10)$$

ahol $w_i \geq 0$, $\sum_{i=1}^r w_i = 1$, továbbá feltételezzük, hogy $f_i^0 \neq 0$.

4. TÖBBCÉLŰFÜGGVÉNYES OPTIMÁLÁS NUMERIKUS EREDMÉNYEI

A többcélűfüggvényes optimalás során a fent bemutatott normált súlyozásos részecskecsoport módszer került alkalmazásra.

Érzékenységvizsgálatot is végeztünk abból a célból, hogy a szerkezet kialakítása, vagyis az optimális szerkezet méretei milyen érzékenyen változnak az egyes paraméterek változásakor. Számos paraméter különböző értékei esetében vizsgáltuk az optimális szerkezet geometriai méreteinek változását.

Először is 20, 22, 24 és 26 rétegszámú fedőlemezek esetében vizsgáltuk a tervezési változók alakulását.

Számos paraméter vizsgálatának eredményeképpen elmondható, hogy a tervezési változók változtatása nincs jelentős hatással a célfüggvény értékére.

A fajlagos gyártási költség (k_f) változása azonban nagy hatással van az optimális kialakítású szerkezetre.

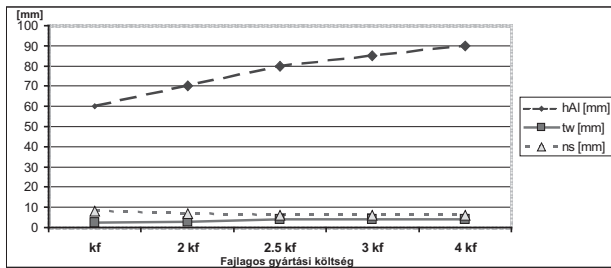
Az 1. táblázat az optimális szerkezetváltozatokat mutatja 26 rétegszámú fedőlemez alkalmazásakor különböző fajlagos gyártási költség értékek (1; 2; 2,5; 3 és 4-szeres), illetve a költség- és tömeg célfüggvények különféle súlyozási értékei esetén.

1. táblázat Particle Swarm Optimáló módszerrel történt többcélűfüggvényes optimalás eredménye

	célfüggvények súlyai	h_{Al} [mm]	t_w [mm]	n_s [mm]
k_f [€/min]	100-0%	60	2,5	8
$2k_f$ [€/min]	0-100%	50	3	9
	50-50%	50	3	9
	80-20%	50	3	9
	90-10%	55	3	8
	95-5%	60	3	8
100-0%	70	3	7	
$2,5k_f$ [€/min]	100-0%	80	4	6
$3k_f$ [€/min]	100-0%	85	4	6
$4k_f$ [€/min]	100-0%	90	4	6
költség-tömeg célfüggvények				

A táblázat második oszlopában szereplő számpárok első tagjai a költség-, a második tagjai a tömeg-

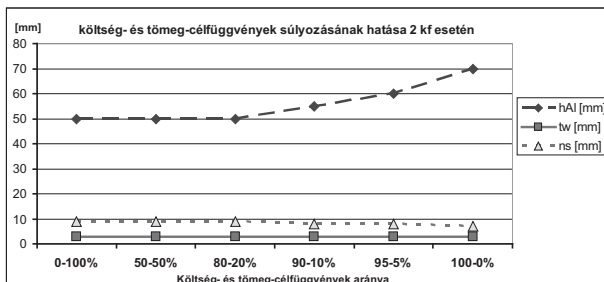
célfüggvények súlyait mutatja a többcélfüggvényes optimalítás esetében.



2. ábra A bordaszám és a bordageometria alakulása különböző nagyságú fajlagos gyártási költséggel számolva egycélfüggvényes költségoptimalítás esetén

A 2. ábra a bordaszám és a bordageometria alakulását mutatja a fajlagos gyártási költség alakulásának függvényében egycélfüggvényes költségoptimalítás (100-0%) esetén.

Jól látható, hogy a minimális költségű szerkezet bordaszáma (n_s) csökken, a bordageometria (h_{Al} , t_w) pedig nő a fajlagos gyártási költség növekedésével.



3. ábra A bordaszám és a bordageometria alakulása a költség- és a tömeg-célfüggvény eltérő súlyozása esetén 2 k_f fajlagos gyártási költség mellett

A 3. ábra a bordaszám és a bordageometria alakulását mutatja a költség- és a tömeg-célfüggvény eltérő súlyozása esetén 2 k_f fajlagos gyártási költség mellett. A %-os arány párok első tagjai a költség-, a második tagjai a tömeg-célfüggvények súlyait mutatják a kétcélfüggvényes optimalítás esetében.

Megfigyelhető, hogy a költség-célfüggvény súlyának növelésével a bordaszám csökkenése, valamint a bordageometria növekedése következik be. Továbbá látható az is, hogy a tömeg-célfüggvény súlyának növelésével pedig a bordaszám növekszik, míg a bordák geometriai méretei csökkennek.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Egy új szerkezeti modell szerkezetoptimalizációs módszere került bemutatásra. A szerkezet laminált karbonszál-erősítéses fedőlemezekből és Al merevítőkből szegeccseléssel került összeállításra. A tervezés során az optimális bordaszám és borda geometria, valamint az

optimális kompozit fedőlemez rétegszám került meghatározásra, mely szerkezet biztosítja a minimális költséget és/vagy tömeget amellet, hogy teljesíti a megfogalmazott méretezési feltételeket is.

A szerkezet többcélfüggvényes optimalítása során a normált súlyozásos részecskecsoporthoz módszer (Particle Swarm Optimization) került alkalmazásra.

Továbbá érzékenységvizsgálatot is végeztünk abból a célból, hogy a szerkezet kialakítása, vagyis az optimális szerkezet méretei milyen érzékenyen változnak az egyes paraméterek változásakor. Számos paraméter különböző értékei esetében vizsgáltuk az optimális szerkezet geometriai méreteinek alakulását.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

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, valamint az OTKA T 109860 projektek támogatásával valósult meg.

IRODALOM

- [1] Barbero E. J. (1999) *Introduction to composite materials design*, USA: Taylor & Francis
- [2] Farkas, J.; Jármái, K. (1997) *Analysis and optimum design of metal structure*, Balkema: Rotterdam-Brookfield.
- [3] Farkas, J.; Jármái, K. (1998) *Minimum material cost design of five-layer sandwich beams*. Structural Optimization 15 No.3-4, pp.: 215-220
- [4] Jármái, K.; Farkas, J.; Petershagen, H. (1999) *Optimum design of welded cellular plates for ship deck panels*, Welding in the World 43 No.1, pp.: 51-54
- [5] Kennedy, J.; Eberhart, R. (1995) Particle swarm optimization, *Proc. of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, 4, pp.:1942-1948
- [6] Noor, A. K.; Burton, W.S.; Bert, C. W. (1996) *Computational models for sandwich panels and shells*, Appl. Mech. Rev. 49 No. 3, pp.: 155-199
- [7] Vinson, J. R. (2001) *Sandwich structures*, Appl. Mech. Rev. 54 No. 3, pp.: 201-214
- [8] Virág, Z. (2006) *Optimum design of stiffened plates*, Pollack Periodica, Vol. 1, No. 1, HU ISSN 1748-1994, pp. 77-92
- [9] Virág, Z. (2004) *Optimum design of stiffened plates for different loads and shapes of ribs*, Journal of Computational and Applied Mechanics, Volume 5, Number 1, HU ISSN 1586-2070, pp. 165-179
- [10] Zenkert, D. (1995) *An introduction to sandwich construction*, W Midlands: EMAS Publ.

CONTENTS

1. György Kovács, Károly Jármai

OPTIMAL DESIGN OF A COMPOSITE SANDWICH STRUCTURE BY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION METHOD 5

This study shows the optimization method of a new complex structural model [laminated carbon fiber reinforced plastic (CFRP) deck plates with aluminium (Al) stiffeners]. The structure was designed for both minimal cost and minimal weight taking into consideration 7 design constraints.

2. Attila Rétfalvi, Dr. Mihály Stampfer, Dr. Imre Szegh

CREATING TECHNOLOGICAL FEATURE-BASED MODEL FOR AUTOMATED FIXTURE DESIGN 9

During the fixture planning there are many often recurring tasks. If we could automate these tasks, we could save the process engineer of a tiring and often time consuming activity. In order to we can automate the fixture planning we need the CAD model of the workpiece and the fixture elements, and the feature-based model of the workpiece. In this paper those steps are introduced that are needed for conversation of the CAD model into feature-based model.

3. Sándor Szirbik

HYPERSINGULAR INTEGRAL EQUATION METHOD FOR STRESS COMPUTATION IN THE DUAL SYSTEM OF PLANE ELASTICITY 15

In this paper the hypersingular integral equation method in the dual system of elasticity is applied to some boundary value problems. The accuracy of stress computations on the boundary is greatly increased if one applies hypersingular integral equations instead of utilizing the traditional computational techniques of the boundary element method. It is a further advantage of applying the dual formulation that the stress components can be computed directly by taking the derivatives of the stress functions of order one.

4. Zoltán Virág

EXPERIENCE OF WEARING OF THE NEW WELDED BUCKET AND CUTTING TOOTH OF BUCKET LADDER EXCAVATOR 21

The description of the rock cutting process is very complex. Thus the investigation of the effect of lateral forces was complicated through cutting tests. A finite element analysis of cutting tooth was presented in which the linear increase of the lateral force is taken into consideration. The simulation results have shown that the maximum stresses decrease if the lateral force increases. Operative results show the correctness of the simulation.

5. László Sábitz, Prof. Dr. István Zobory

FINITE ELEMENT INVESTIGATION OF THE THERMO-ELASTIC PROCESSES OF A TREAD-BRAKED MONOBLOCK RAILWAY WHEEL 25

Authors present a FEM based computing method suitable for determination of the thermal processes arising in railway wheels during braking. It was investigated whether the necessary conditions of martensite formation are satisfied in railway wheels.

6. Tamás Pataki, Dr. Attila Kári-Horváth

PLASTIC PARTS GAIN METHODS WITH CARBON NANOTUBES STRUCTURES 30

Carbon nanotubes are applied for strengthening of different composites containing polymer matrix. Paper describes the properties of polymer structures reinforced by nanotubes. Based on the application of Brenner's potential function an algorithm was developed for finding the weakest point of the structure.

7. Sándor Bodzás, Dr. Illés Dudás

GEOMETRIC ANALYSIS OF FACE GEAR HOB OF CONICAL WORM GEAR DRIVE HAVING ARCHED PROFILE IN AXIAL SECTION 34

Authors developed a mathematical model for the analysis of resharping of conical worm used for manufacturing of a face gear built in their newly patented worm gear drive. It was found by the computer analysis that the resizing limit degree is approximately five degrees.

8. Tvardovska Sofiya

INFLUENCE OF CHARACTERISTICS OF POROUS MEDIUM SATURATED BY ELECTROLYTE SOLUTION TO DISTRIBUTE OF MECHANOELECTROMAGNETIC WAVES UNDER THE EXTERNAL ELECTRIC FIELD 38

The results researches of the influence of the physical and mechanical properties of a porous medium saturated with electrolyte solution on mechano-electromagnetic waves parameters presented in the paper.

9. János Bihari

TROUBLESHOOTING OF SMALL PLASTIC GEAR DRIVES 42

Causes of troubles and failures of cheap small plastic gears are sometimes hard to recognize. This paper introduces some faults and the troubleshooting methods.

10. Csaba Dömötör

IMPRESSION OF NATURAL INTUITION TO PRACTICE OF PRODUCT DEVELOPMENT 46

The design rules and solutions of nature have been present in the machine and product design since their beginning. Engineers can use these natural constructions in different fields of technical practice. This paper focuses on the classification of these analogies and probability distribution according to direction and consciousness of using.

11. Bence Tóth

INVESTIGATION ON AXIAL FLOW FAN AERODYNAMICS ON THE BASIS OF CASCADE MEASUREMENT DATA 50

A method is presented that allows the simplified calculation of aerodynamic characteristics of axial flow fans.

GÉP

INFORMATIVE JOURNAL

for Technics, Enterprises, Investments, Sales, Research-Development, Market of the Scientific Society of
Mechanical Engineering

Dr. Döbröczöni Ádám

President of Editorial Board

Vesza József

General Editor

Dr. Jármai Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

Deputy

Dr. Barkóczy 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. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Szűcs Edit

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Zobory István

Dear Reader,

The research project, which elaborated in the 4th Centre of Excellence, entitled *Innovative Mechanical Engineering Design and Technologies* at the University of Miskolc was made in the framework of the TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 project supported by the European Union and co-funded by the European Social Fund has been finished. The Centre aim was to develop the research potential by research in which innovative modelling, design and technological processes are implemented. This was in line with the European Union's drive to encourage innovation in the most efficient way, using environmentally friendly technologies and improve them.

The Centre of Excellence was divided into seven Scientific Workshops, which are department related at that time. On the faculty institutes have been formed and they are as follows: Material Design and Material Technology, Manufacturing Sciences, Energy and Chemical Engineering, Technical Mechanics, Machine & Product Planning and Logistics Institute. The teachers involved BSc, MSc and PhD students into the research, so that they provide a good opportunity to young people to familiarize themselves with the scientific work. During the nearly two years of operation of the Centre of Excellence, several students already provided outstanding performance and quality of so called TDK (Science Student Team) works and PhD thesis.

The scientific topics covered by the Scientific Workshops are very complex and interdisciplinary in nature. Within the design themes there can be found a new design and modelling procedures, which are developed to model the structures more efficiently and reliably and to give a better design solution. Dealing with optimization of structures and systems several optimization techniques employed. To examine the product life cycle, technical systems, powertrain architecture, principles of environmental and alternative fuel use is related to research, as well as flow and thermal laboratory and numerical modelling is linked to a number of studies. The engineering of environmentally friendly technologies, organic chemistry, as well as continued testing technologies and Energy rationalization occurs. Mechanical material tests and modelling are significant for the professional and technical computer-aided process design, as well as the precision finishing manufacturing of high strength steels. We have highlighted only some of the research topics from the different disciplines.

Within the Scientific Workshops there are twenty R & D topics, which are very diverse. Some of them approached the basic research, while others are more applicable in practice, some results were already visible, while others promise long-term results. In order to make these achievements to professional audiences available a considerable number of publications produced by researchers and reported in national and international conferences, national and international professional journals. The results are incorporated into the education of course. These articles in this journal serve the purpose showing the Scientific Centre of Excellence Workshops' latest scientific results.

The Centre of Excellence continues its activity. We want to further improve on the results obtained, the new ones to expand. For the period 2014-2020's, the emerging GINOP and EFOP calls we proposed a range of topics to be developed. Hopefully these will be built into the forthcoming tenders.

The first 4 articles are the research results of the 4th Center of Excellence, the followings are the results of the researchers at other universities.

Prof. Dr. Károly Jármai

Vice rector for strategy and development, leader of the Center of Excellence

Managing Editor: Vesza József. Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.
Postage-address: 3501. Pf. 55. Phone/fax: (+36-46) 379-530, (+36-30) 9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1027 Budapest, Fő u. 68.
Postage-address: 1371, Bp, Pf. 433
Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: a.gaby@gteportal.eu, Internet: www.gte.mtesz.hu
Responsible Publisher: Dr. Igaz Jenő Managing Director

<http://www.gepujsag.hu>

Printed by Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67.

Price per month: 1260 Ft.

Distribution in foreign countries by Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat H-1389
Budapest, Pf. 149. and Magyar Média H-1392 Budapest, Pf. 272.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

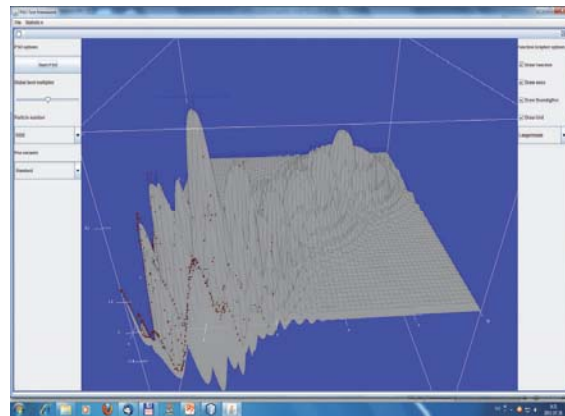
All articles are peer reviewed.

6. TM Fémszerkezetek optimális modellezése, új algoritmusok alkalmazása

A tudományos műhely vezetője: **Dr. Jármai Károly**
e-mail: altjar@uni-miskolc.hu
tel: +3646 565 111, 2028 m.

A Fémszerkezetek optimális modellezése, új algoritmusok alkalmazása tudományos műhelyben folyó kutatások fő célkitűzései röviden az alábbiakban foglalhatók össze.

1. Hegesztett szerkezetek analízise és optimalása: bordázott lemezek, bordázott héjak, cellalemezek, rácsos tartók, keretszerkezetek (hegesztett, csavarozott), hajlított-nyírt tartók.
2. Alkalmazások: rácsos szalaghidak optimalása, keretek optimalása földrengésre, présgépek, állványok tervezése, silók, bunkerek, kandalló tüzterek, hőcselők méretezése. Méretezés tűzvédelemre.
3. Rezgés- és zajscsökkentés hegesztett szerkezeteknél. Számítások és mérések a rezgésalak, a sajátfrekvenciák, a rezgéscsillapítási tényező meghatározására (Brüel & Kjaer műszer család).
4. Optimaló algoritmusok fejlesztése, költségcsökkentés hegesztett szerkezeteknél. Topológiai optimalás.



A részecskecsoport optimaló módszer futása



A Brüel & Kjaer műszer család közepe a mérőasztallal

Innovatív környezetbarát technológiák fejlesztése és az energiahatékonyság növelése a vegyiparban

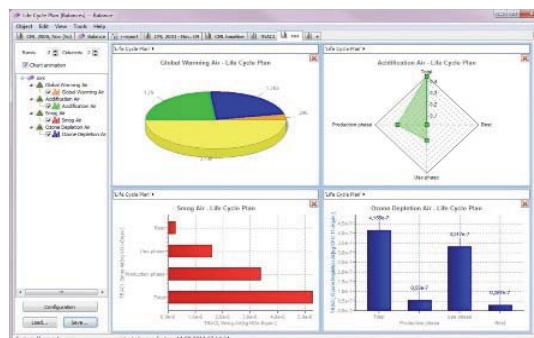
A tudományos műhely vezetője: **Dr. Siménfalvi Zoltán**
e-mail: simenfalvi@uni-miskolc.hu
tel: +3646 565 168

Az innovatív környezetbarát technológiák fejlesztése és az energiahatékonyság növelése a vegyiparban tudományos műhelyben és Vegyipari Gépek Tanszékén folyó főbb kutatási területek az alábbiak:

- Innovatív környezetbarát technológiák és zöld kémia alkalmazása a vegyipar területén
- Energiahatékonyság növelése a vegyiparban
- Vegyipari műveletek
- Por- és gázrobbanási jelenségek vizsgálata, robbanás elleni védelem tervezése, rendszerbiztonságtechnika, veszélyanalízis, túlnyomás elleni védelem
- Nyomástartó edények, csővezetékek, tárolótartályok tervezése, vizsgálata analitikai, szabványi és szimulációs eszközökkel
- Kompresszor vezetékben kialakuló akusztikus lengések vizsgálata
- Vegyipari hulladékok kezelése, POP tartalmú hulladékok ártalmatlanítását megvalósító technológiák vizsgálata
- Környezetmenedzsment
- Életciklus-elemzés (Life Cycle Assessment) a környezetvédelem és a hulladékgazdálkodás területén



Por- és gázrobbanás vizsgáló cella



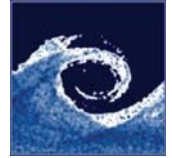
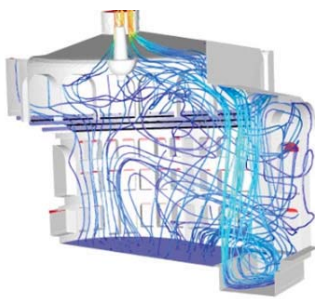
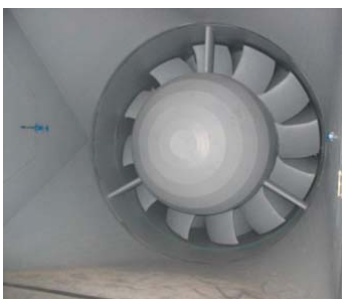
GaBi 5 LCA elemző szoftver

BME ÁRAMLÁSTAN TANSZÉK

- Elkötelezettség a színvonalas áramlástanai oktatás, a gyakorlat-orientált mérnökképzés iránt
- Áramlástanai alapkutatás és alkalmazott K+F tevékenység, a nemzetközi irányvonalakhoz és az ipari igényekhez illeszkedően
- A hazai és nemzetközi ipar által elismert szakértői tevékenység



- Atmoszférikus áramlási folyamatok
- Szennyezőanyag-terjedés, városklíma
- Épület-aerodinamika
- Szélnek kitett testekre ható erők
- Járműáramlástan



- Áramlástechnikai gépek, berendezések, rendszerek tervezése, üzemvitelének javítása
- Áramlás belső terekben
- Ipari technológiai folyamatok hatékonyságnövelése
- Hibadiagnosztika
- Járműipari K+F
- Akusztikai, rezgéstani vizsgálatok

Méréstechnika
numerikus áramlástan
numerikus aero-akusztika
www.ara.bme.hu

