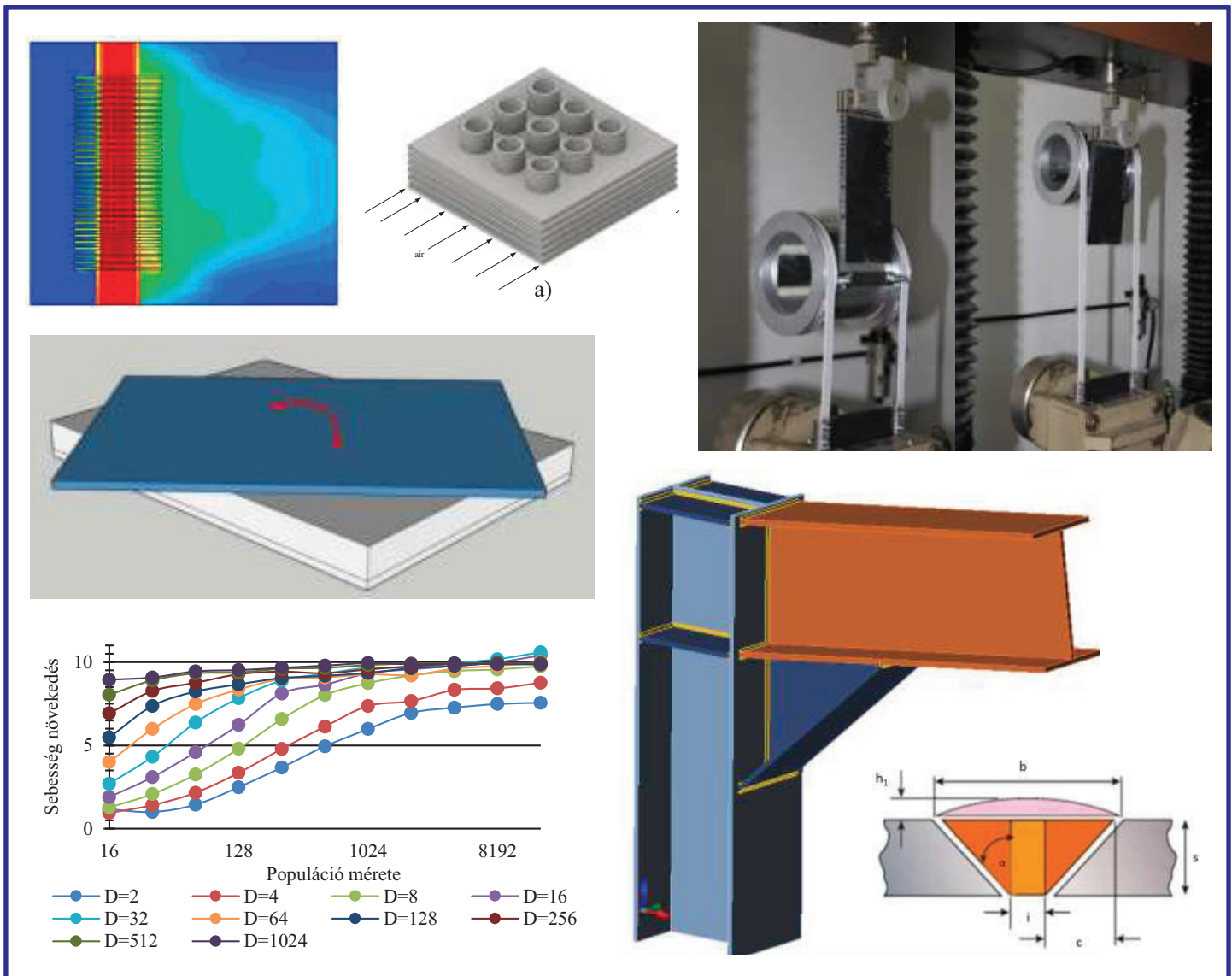


GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



TARTALOM

1. *Hazim Nasir Ghafil, Dr. Jármái Károly*
A RÉSZECSCKE CSOPORT ÉS A MESTERSÉGES MÉHCSALÁD MÓDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA 5
Ebben a munkában a részecske csoport optimalálás és a méhcsalád algoritmusai közötti összehasonlítást mutatjuk be különböző vizsgálati módszerekkel. Minden algoritmust részletesen ismertetünk, és bemutatjuk a matematikai modelljüket. Megállapítást nyert, hogy a részecske csoport optimalálás jobb, mint a mesterséges méhcsalád, módszer és egy speciális tesztfüggvény esetében a mesterséges méhcsalád nem tudott megfelelő megoldást találni.
2. *Erdős Antal, Dr. Jármái Károly*
NYOMÁSTARTÓ EDÉNY HEGESZTÉSI KÖLTSÉG SZÁMÍTÁSA 9
A nyomástartó edények manapság fontos szerepet töltenek be a mérnöki tevékenységben. Ezért a hozzájuk kapcsolódó költségek minimalálása kulcsfontosságú lehet a termelési költségek vagy a működési költségek szempontjából. Ezeket a szerkezeteket általában hegesztik. Ezért a helyes hegesztési technológia és a töltőanyag kiválasztása fontos szempont a költségek megtakarításában. Működési oldalról a karbantartás költsége és a ciklusok száma fontos, mert fáradás adódhat a szerkezetnél.
3. *Nagy Szilárd, Dr. Jármái Károly*
FPA ALGORITMUS IMPLEMENTÁLÁSA MASSZÍVAN PÁRHUZAMOS ARCHITEKTÚRÁRA 16
Az evolúciós algoritmusok hatékony eszközök a nemlineáris, többdimenziós optimalálási problémák megoldására. A nagyméretű problémák megoldása gyakran időigényes. A GPU-k (grafikus feldolgozó egység) evolúciója az elmúlt években lehetővé teszi számukra, hogy általános célú számításokra használják őket. Ebben a tanulmányban bemutatjuk az FPA (Virág megporzás algoritmus) algoritmusának GPU-n való megvalósítását és az elért eredményeket.
4. *Szűcs Renáta, Galambos József, Dr. Virág Zoltán és Dr. Jármái Károly*
EMELŐASZTAL TERVEZÉSE, BASIC ENGINEERING 20
Ebben a munkában az emelőasztal-konstrukciók csoportjában bemutattuk az alaptéchnikát. Ezeket az asztalokat kisebb vagy nagyobb tömegek emelésére használják. A platform hossza és szélessége nagyon eltérő lehet. A függőleges vagy vízszintes irányban az ollók száma nagyban befolyásolja az alkalmazhatóságot és a terhelést. A vizsgálat azt mutatja, hogy a minimális tömegű, vagy költségű szerkezet kialakítása érdekében végzett innovatív tervezés nem könnyű, sok variáns lehet.
5. *Petrik Máté, Dr. Szepesi Gábor, Dr. Jármái Károly*
BORDÁSCSÖVES HŐCSERÉLŐ HŐÁTADÁSI FOLYAMATÁNAK VIZSGÁLATA CFD-VEL 27
Ez a tanulmány a kompakt autó hűtők áramlás dinamikája számításával (CFD) foglalkozik és az ezzel történő hőteljesítményének paraméteres elemzését célozza meg. Az elemzést különböző levegősebességeken hajtottuk végre különböző hűtőbordák modellezésével, mint például valódi hűtőbordák és porózus közegek alkalmazása. A vizsgálathoz használt CFD szoftver SC-Tetra volt.
6. *Kászonyi Gábor – Dr. Jármái Károly*
HEGESZTETT CSARNOKKERET OPTIMÁLÁSA TÖMEGRE ÉS KIHASZNÁLTSÁGRA 32
Ebben a tanulmányban az optimalálást egy hegesztett I-szelvényű elemekből álló keretszerkezeten mutatjuk be. Figyelembe vettük a szerkezeti feszültséget, a stabilitási korlátokat, a keret erősséget és a teherbíró képességeket. A szerkezet teherbíró képességét maximalizáltuk - a szimulációhoz egy VEM (Végeselem módszert) AXIS csomagot használva. Kimutattuk, hogy jelentős tömegmegtakarítás érhető el optimalálással.
7. *Alaa Al-Fatlawi, Dr. Jármái Károly, Dr. Kovács György*
MÉHSEJTVÁZAS KOMPOZIT PANELEK TERVEZÉSE ÉS MÉRÉSE ALKALMAZÁSSAL 36
E tanulmány célja új méhsejtvázás szendvics kompozit szerkezetek kidolgozása volt. A könnyű panelek óriási megtakarítást biztosítanak a tömeg vonatkozásában, és így csökkentik az üzemanyag-fogyasztást vagy növelik a légi járművek forgalmát a hagyományos konténerekhez képest. A Nemzetközi Légi Közlekedési Szövetség (IATA) számításai szerint az 1 kg-os többlettömeg óránkénti szállításához szükséges üzemanyag súlya 0,04 kg.

MÉHSEJTVÁZAS KOMPOZIT PANELEK TERVEZÉSE ÉS MÉRÉSE ALKALMAZÁSSAL

DESIGN AND MEASUREMENT OF HONEYCOMB COMPOSITE PANELS WITH APPLICATION

Alaa Al-Fatlawi*, Dr. Jármái Károly**, Dr. Kovács György***

ABSTRACT

Many international manufacturing and development companies are competing to design lightweight containers to meet the requirements of shipping and airlines carriers. In this study the static behaviors of honeycomb sandwich composites panels, made up of Aluminium honeycomb core and glass fibre face skin which can be used for manufacturing of the walls, floor and roof of containers, are investigated a peeling test and a four-point bending test. The aim of this paper was to develop new sandwich composite structures as shown in Figure 1. The lightweight containers provide a huge savings in weight and thus reduce fuel consumption or increase aircraft turnover compared to conventional containers. According to the International Air Transport Association (IATA) calculations, the weight of fuel required to carry 1kg additional weight per hour is 0.04 kg [1-3].

1. BEVEZETÉS

A méhsejt szendvicspanelek nagy szilárdságú, könnyű, erős, stabil, költséghatékony, nedvesség és korrózióálló anyagok, amelyek hatékony mechanikai teljesítményt nyújtanak. A könnyű panelek kiváló alternatívát jelentenek a monolit anyagok (pl. szilárd alumínium, fa és acél), valamint a hagyományos alapanyagok, például rétegelt lemez, balsafa és habanyagok vonatkozásában. A méhsejt-panelek széles méretválasztékban kaphatók, és sokféle alkalmazásban és folyamatban használhatók. Úgy alakíthatóak ki, hogy megfeleljenek a szilárdsági és a merevségi követelményeknek. A méhsejt paneleket sok olyan helyen használják, amelyek megnövelt nyíró- és nyomószilárdságot és tapadási szilárdságot igényelnek. Sok méhsejt-panel gyártó van, amelyek nagyszilárdságú és könnyű paneljeit hajózási és légi teherszállító konténereknek használják. Tesztelésénél a négyponos hajlítási próbát alkalmazzák, ahol a panel egyszerűen alátámasztott. Az eredmény egy nagyszilárdságú, könnyű szerkezet. A méhsejt mag, szemben a szilárd anyaggal, növeli a szendvicspanel hajlítási merevségét,

amely lehetővé teszi kevesebb anyag felhasználását és a súly csökkentését. Az alábbi kialakítás olyan panelszerkezetet mutat be, ahol alumíniumot használnak mag- és kompozit fedőanyagként. A méhsejt szendvicspanel összetevői két merev és erős fedőlemez és könnyű mag közöttük. A fedőlemez eltávolítása egymástól növeli a tehetetlenségi nyomatékot, kis súlynövekedéssel jár és hatékonyan ellenáll a hajlítás és a hajlítás hatásának. A méhsejt szendvicsszerkezetek mechanikai viselkedése a fedőlemez és a mag tulajdonságaitól, valamint a geometriától függ. Jellemzően a méhsejt szendvicsszerkezeteknek bizonyos merevséggel és szilárdsággal kell rendelkezniük. A közlekedési ipar kezdi felfedezni a méhsejt szendvicspanelek és a méhsejt előnyeit az energiaelnyelés szempontjából, és fontos lett számukra az egyes járművek súlyának csökkentése is. Európa vezető szerepet tölt be a könnyű vasúti kocsik gyártásában. Sok európai vasúti kocsiban méhsejt szendvic ajtók és padlók találhatóak. Franciaországban egy szuper könnyűsúlyú vasúti kocsin dolgoznak, amelyet teljes egészében a méhsejtből készítenek.



1. ábra. Méhsejtvázás légi konténer

Néhány New York-i gyorsforgalmi vonat és a San Francisco-i öböl területén a vasúti kocsiknál mennyezetre és a padlóra szerelt méhsejt paneleket használnak. A floridai Orlando-ban, az új Disney World

* Ph.D hallgató, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar 3515 Miskolc-Egyetemváros

** Profeszor, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar 3515 Miskolc-Egyetemváros

*** Docens, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar 3515 Miskolc-Egyetemváros

egysínű kocsijait a méhsejt segítségével építik. 1974-ben a Hexcel 12.2 m-es teherautóautót tervezett és épített, alumínium méhsejt és burkolatok segítségével. Ez a furgon csak 3629 kg-os súlyú volt, 1361 kg-nál könnyebb, mint egy tipikus furgon. Légi konténernél szintén jól alkalmazható a méhsejtváz panel, lásd az 1. ábrát [4-13].

2. A MÉHSEJTVÁZAS PANELEK MECHANIKAI TESZTELÉSE

A szendvicspanel szerkezeti teljesítményének értékeléséhez különböző mechanikai vizsgálatokat végeznek a katonai szabvány (MIL-STD-401B) vizsgálati módszereivel. A következő tesztek kerültek elvégzésre szendvicspaneleken.

2.1. Négy pontos hajlítási teszt

Ezen vizsgálat során számos lehetséges tönkremeneteli mód van (lásd a 2. ábrát). A tipikusabb tönkremenetek közül néhány a héjlemez húzó-nyomó feszültsége miatt, a héjlemez gyűrődése és fodrozódása miatt következik be. A *gerenda* hajlítási vizsgálatából megállapítható a szendvics hajlítószilárdsága és a hajlítási rugalmassági modulus.

Az átlagos héjfeszültség és a rugalmassági modulus az alábbi egyenletekkel határozható meg.

$$\sigma = \frac{Ps}{8(h-t)wt} \quad (1)$$

$$E = \frac{11 P s^3}{384 d wt(h-t)^2} \quad (2)$$

ahol: s = fesztáv, c = magvastagság, P = teljes alkalmazott terhelés, t = a héj vastagsága, d = lehajlás közepén, w = panel szélessége, h = panelvastagság, P/d = terhelés-hajlítási görbe meredeksége, L = a próbatest hosszúsága, σ = héjfeszültség, E = a héj rugalmassági modulusa [14-15].

2.2. Hántolási teszt

Ez a vizsgálati módszer arra szolgál, hogy meghatározza a ragasztókötések héjazási ellenállását a fedőlemezek és a szendvicspanel magja között (lásd a 3. ábrát). A vizsgálat előrehaladtával elérjük a ragasztó hántolásához szükséges átlagos állandó nyomatékszintet. Ez a nyomatékszint azonban magában foglalja a csupasz héjlemez görgetéséhez szükséges forgatónyomatékokat is, így ezt a szintet előre meg kell határozni. Ezt a számot ezután levonhatjuk a ténylegesen mért értékből, hogy a ragasztó héjszilárdságának tényleges értékét érjük el. Ezeket a

teszteket a Kompozitor cég laboratóriumában végezték. Mi is végeztünk hasonló méréseket, de ezek még folyamatban vannak.

A hántoló nyomaték a következő egyenlet alapján számítható ki.

$$T = \frac{(R_o - R_i)(F_o - F_i)}{W} \quad (3)$$

ahol: R_o = az övszélesség és plusz a terhelő pánt vastagságának fele, R_i = a dob sugara, F_o = mért átlagos terhelés, F_i = a csupasz héjlemez hajlításához és tekeréséhez szükséges terhelés, W = a próbatest szélessége, T = hántolási nyomaték egység-szélességenként [14-15].



2. ábra - Próbatest konfiguráció a hajlítási teszthez

3. A MÉHSEJT SZENDVICSPANEL SZÁMÍTÓGÉPES MODELLEZÉSE

A méhsejt szerkezetek természetes vagy mesterséges szerkezetek, amelyek méhsejt geometriájával rendelkeznek ahhoz, hogy minimálisra csökkentsék a felhasznált anyag mennyiségét a minimális súly eléréséhez és minimális anyagköltséghez. A méhsejt struktúrák geometriája széles körben változhat, de az összes ilyen szerkezet közös jellemzői a vékony függőleges falak között kialakított üreges cellák. A DIGIMAT program szendvics kompozit lemezt modellez. Először két kompozit lemezt definiál, majd méhsejttel hoz létre közöttük. Ezután a három modell elemet kombinálja statikus szerkezetre a feszültség elemzéshez. A DIGIMAT a kompozit modell megalkotása után a peremfeltételek megadását igényli. Ezután elemzi ki a modell viselkedését. Az 1., 2., 3. és 4. táblázatok bemutatják a méhsejt mag, a gyanta/epoxi és a fedőlemez kompozit anyagok mechanikai tulajdonságait, valamint a próbatestek méreteit.



3. ábra. Hántoló teszt

A végeelem-számítás (VEM) technikája használható a méhsejt szendvicsszerkezet kifinomultabb elemzésére, figyelembe véve, hogy a szendvicspanel különböző erőhatásnak van kitéve. Általánosságban elmondható, hogy a panelre merőlegesen ható nyíróerőket a méhsejt mag veszi fel. A panelen lévő hajlítónyomatékokat és a síkban lévő erőket membránerőként veszik fel a héjlemezek. Számos gyakorlati esetben, amikor a panel feszítvja nagy a vastagságához képest, a nyírás alakváltozás elhanyagolható.

Ezekben az esetekben válik lehetővé a megfelelő eredmények elérése, ha a szerkezetet kompozit héjlemezekkel modellezzük. Meg kell jegyezni, hogy a méhsejt síkbeli merevsége elhanyagolható, összehasonlítva a héjlemezekkel.

1. táblázat A méhsejt anyagának mechanikai tulajdonságai

| Termékszerkezet | Sűrűség | kg/m ³ | 130 |
|-----------------|-------------|-------------------|----------|
| | Cella méret | mm | 3 |
| Nyomás | Stabilizált | Szilárdság | MPa 11 |
| | | Modulus | MPa 2414 |
| Lemez nyírás | L - irány | Szilárdság | MPa 5 |
| | | Modulus | MPa 930 |
| | W - irány | Szilárdság | MPa 3 |
| | | Modulus | MPa 372 |

2. táblázat. Az üvegszálak kompozit tulajdonságai: 0/90° a terhelés irányára vonatkoztatva, száraz környezetben, szobahőmérsékleten, Vf = 50%

| Jellemző | Szimbólum | Egység | Üvegszál |
|-------------------------|------------|-------------------|----------|
| Young modulus 0° | E_1 | GPa | 25 |
| Young modulus 90° | E_2 | GPa | 25 |
| Síkbeli nyírás modulus | G_{12} | GPa | 4 |
| Fő Poisson szám | ν_{12} | - | 0.2 |
| Határ húzófeszültség 0° | X_t | MPa | 440 |
| Határ nyomófesz. 0° | X_c | MPa | 425 |
| Határ húzófesz. 90° | Y_t | MPa | 440 |
| Határ nyomófesz. 90° | Y_c | MPa | 425 |
| Síkbeli nyírószilárdság | S | MPa | 40 |
| Sűrűség | ρ | kg/m ³ | 1900 |

3. táblázat Az epoxy töltőanyag mechanikai jellemzői

| Mátrix anyag | Szimbólum | Egység | Epoxy |
|---------------|------------|-------------------|-------|
| Young modulus | E | MPa | 3200 |
| Sűrűség | ρ | kg/m ³ | 1.2 |
| Poisson arány | ν_{12} | - | 0.33 |

4. EREDMÉNYEK ÉS ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálat kísérleti részében egy sor vizsgálatot végeztünk, köztük négy pontos hajlítási próbákat és hántolási tesztek alumínium méhsejtmaggal és üvegszálak szövet/epoxi burkolattal készített szendvicsmintákkal. A 4. táblázat a vizsgált minták méreteit mutatja. Összehasonlítottuk a kísérleti és a numerikus eltérést és a feszültségeket. Ami a kísérleti tesztekkel ilgili, a hántolási vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a méhsejt mag vastagsága nem befolyásolja hántolási ellenállást, míg a héjlemez vastagsága viszont jelentősen. Minél vastagabb a héjlemez, annál nehezebben tekerhető fel a dobra, nagyobb az ellenállás és hántolási erő. A négy pontos hajlítási vizsgálatnál az eredmények azt mutatják, hogy a méhsejt mag magassága, vagyis a panel vastagsága

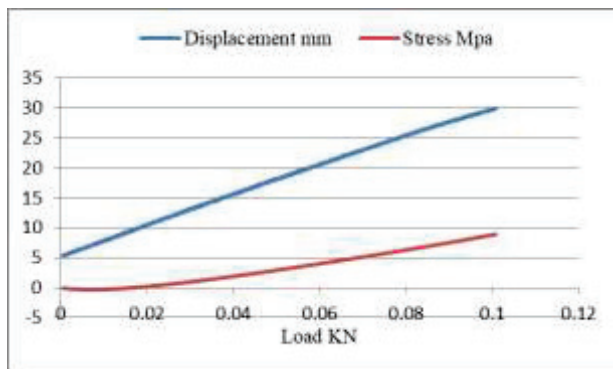
jelentős hatású, valamint a rétegek száma és a héjlemez vastagsága bőrfelület vastagsága is jelentős. Ez azt jelenti, hogy ha a szendvicspanel vastagabb, az eredmények jobbák (minimális lehajlás és feszültség adódik). A számítási eredmények DIGIMAT-al jó egyezést mutatnak a mérésekkel, lásd 4. és 5. ábrák. A kísérleti eredmények a 4. táblázatban láthatóak.

4. táblázat. Kísérleti eredmények (4 pontos hajlítás)

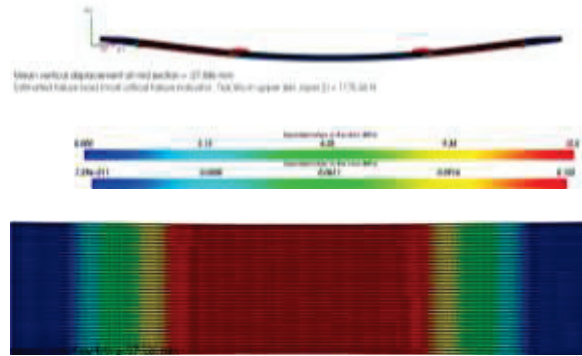
| Sy. | Egység | Próbatestek | | | | |
|----------------------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ |
| <i>l</i> | mm | 1000 | 1000 | 1000 | 1130 | 890 |
| <i>s</i> | mm | 840 | 840 | 840 | 840 | 840 |
| <i>b</i> | mm | 120 | 120 | 115 | 54 | 118 |
| <i>h</i> | mm | 6 | 22 | 15 | 20 | 22 |
| <i>t_c</i> | mm | 5 | 20 | 13 | 18 | 20 |
| <i>t_f</i> | mm | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| <i>W</i> | kg | 0.63 | 0.615 | 0.64 | 0.37 | 0.455 |
| <i>P</i> | N | 100.8 | 1053 | 506 | 384 | 620 |
| δ_{Exp} | mm | 29.875 | 24.565 | 25.943 | 25.437 | 17.74 |
| δ_{Num} | mm | 27.586 | 26.574 | 28.474 | 27.068 | 16.751 |
| σ | MPa | 8.932 | 15.555 | 9.893 | 13.818 | 8.645 |

ahol: *s* = fesztáv, *l* = a próbaest hossza, *t_c* = magvastagság, *P* = teljes alkalmazott terhelés, *t* = a héj vastagsága, *d* = lehajlás közepén, *W* = panel szélessége, *h* = panelvastagság, σ = héjfeszültség, *t_f* = a héjvastagság, δ_{Exp} = mért lehajlás, δ_{Num} = számított lehajlás.

A hántolási tesztet egy 20 mm vastag panelnél végezték, héjlemezrel mindkét oldalán. Az eredmények az 5. táblázatban és az 5. ábrán láthatók.



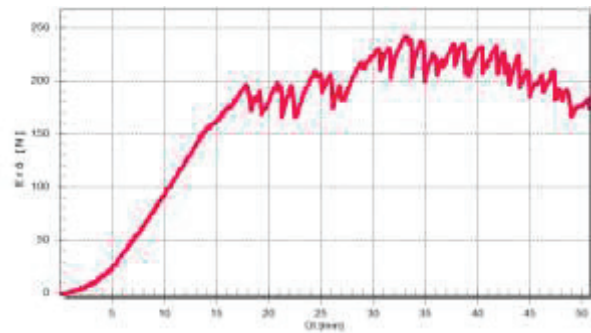
4. ábra. Erő, lehajlás és feszültség mért értékei az 1-es próbatestnél



5. ábra. Kompozit panel – méhsejt mag – 4 pontos hajlítás numerikus számítása az 1-es próbatestnél

5. táblázat. Mechanikai tulajdonságot a hántolási tesztnél

| Jellemző | Szabvány | Érték |
|----------------------|---------------|----------|
| Hántolási szilárdság | EN 1372 | 5.4 N/mm |
| Panel – burkolat | | |
| Hántolási szilárdság | DIN EN 2243-3 | 2.1 N/mm |
| Méhsejt rétegek | | |



6. ábra. A hántolási teszt mérési eredményei

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. Ezúton mondunk köszönetet a Kompozitor Kft. kollégáinak a mérési képek és eredmények részbeni átadásáért, valamint a Miskolci Egyetemen Bozzay Péter, Dr. Szepesi Gábor, Csukás Géza, Farkas László és Ramada Zoltán kollégáknak a méréseknél nyújtott segítségükért.

6. IRODALOM

- [1] ZENKERT D.: *An Introduction to Sandwich Construction*, Emas Publishing, London, 1997.