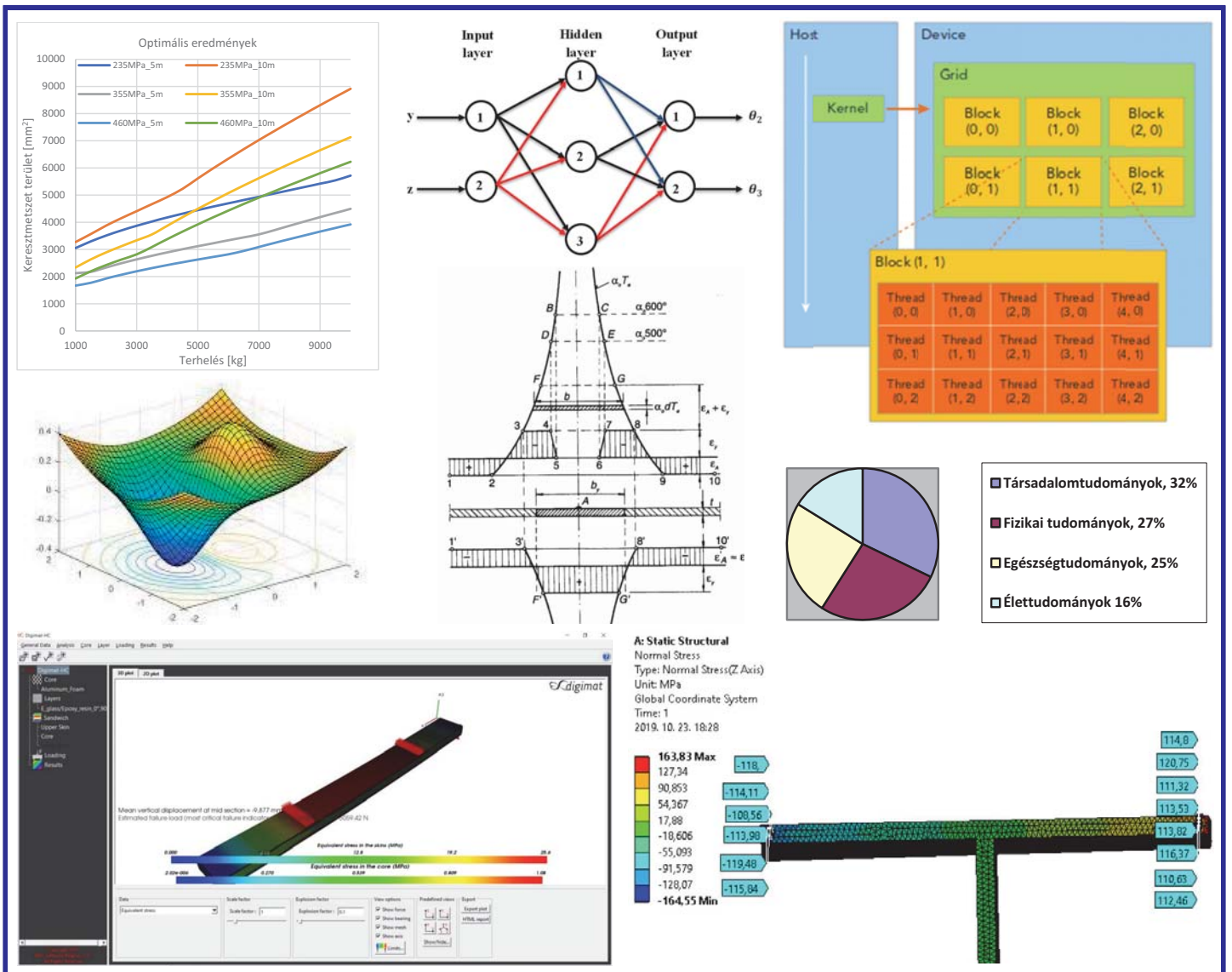


# GEÉP

## A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA





## Miskolci Egyetem - IIW Program



### NEMZETKÖZI HEGESZTETT SZERKEZET TERVEZŐMÉRNÖK KÉPZÉS INTERNATIONAL WELDED STRUCTURES DESIGNER (IWS D)

A képzés célja olyan, korszerű ismeretekkel rendelkező, a nemzetközi normáknak megfelelő szakemberek kiképzése, akik alkalmasak a korábban megszerzett mérnöki tudásuk és a képzés során elsajátított ismeretek birtokában az új tudományos eredmények befogadására, alkalmazására, a korszerű hegesztett szerkezetek tervezésére a gyártási, a minőségbiztosítási és a gazdaságossági szempontok figyelembevételével. A képzés megfelel a Nemzetközi Hegesztési Intézet (International Institute of Welding, IIW, 58 ország tagja a világon) ajánlásának. Az IIW-nek Magyarország képviselőjében a Magyar Hegesztési Egyesület (MAHEG) és a Magyar Hegesztéstechnikai és Anyagvizsgáló Egyesülés (MHtE) a tagja.

A képzés 7 modulból áll: 1. modul: Hegesztési technológiák, 2. modul: Anyagok feszültségei, 3. modul: Hegesztett szerkezetek tervezése, 4. modul: Hegesztett kötések tervezése, 5. modul: Hegesztett lemezszerkezetek tervezése, 6. modul: Hegesztett szerkezetek optimalizálása, 7. modul: Gyártás, költségek, minőség és ellenőrzés. Egy szakmai tervezési feladat végigvitele.

A képzés sikeres vizsga esetén Nemzetközi Hegesztett Szerkezet Tervezőmérnök Diplomával zárul, amit az MHtE, mint Nemzeti Meghatalmazott Testület ad ki.

*A képzés időtartama 2 félév, 250 óra, mely 2020. szeptember – 2021 május között történik.*

*Helyszíne: Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc Egyetemváros*

*Ideje: általában minden hónap második hetén 3 nap (szerda-csütörtök-péntek).*

*Költsége: 380 eFt/félév/fő, + 80 eFt/fő a záróvizsga és az IIW diploma díja.*

*Minimális csoportlétszám: 15 fő.*

*Jelentkezési határidő: 2020. augusztus 15.*

*Jelentkezhet: aki alapképzésben gépészmérnöki, építőmérnöki, vagy közlekedésmérnöki szakon szerzett szakképzettséggel rendelkezik (főiskolai, BSc. oklevél, egyetemi, MSc. diploma) és legalább egy éves szakmai gyakorlata van. Más műszaki felsőfokú végzettséggel felvételizni kell.*

Kapcsolat (név, telefon, fax, e-mail)

*Szakmai kérdésekben: Dr. Jármai Károly egyetemi tanár, +46 565-111 mellék: 29-29, [jarmai@uni-miskolc.hu](mailto:jarmai@uni-miskolc.hu)*

*Adminisztratív kérdésekben: [Mentorius Tudás- és Képzőközpont](http://www.mentorius.hu), +46 565-111 mellék 10-93, [mentorius@uni-miskolc.hu](mailto:mentorius@uni-miskolc.hu)*

Honlapok:

<http://geik.uni-miskolc.hu/intezetek/EVG/>  
<http://iiwelding.org/>

<http://www.mentorius.hu/kepzesek>  
<https://mhte.webnode.hu/>

# 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. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

### TISZTELT OLVASÓ!

A Miskolci Egyetemen a 4-es Kiválósági Központ keretében *Innovatív Járműmérnöki, Energetikai és Gépészeti Tervezés és Technológiák* címmel folynak kutatások. A központ célja 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 és fejlesztésére irányul. A Kiválósági Központ szeretné az elért eredményeket továbbfejleszteni, újakkal bővíteni. Lassan lezárul a 2014-2020-as kutatási időszak, befejeződnek a korábban elindult GINOP és EFOP pályázatok. Remélhetőleg az elkövetkező ciklusban is lesznek hasonló kutatási projektek.

A 2016-ban a Miskolci Egyetemen elindult járműmérnök képzés új kihívásokat teremtett. Az új doktoranduszok, akik részben a Stipendium Hungaricum keretében érkeztek hozzánk szintén lendületet adtak bizonyos területeken. Ezen új irányok és eredmények bemutatását kívánjuk ezzel a folyóiratszámunkkal megvalósítani.

A cikkek túlnyomó része a 4-es KK 6-os Tudományos Műhelye eredménye, aminek témaköre a Mérnöki tartó- és vázszerkezetek optimális méretezése. A cikkek kapcsolódnak az Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet Vegyipari Gépek Tanszékéhez.

A cikkekben ismertetett kutató munka részben 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 valósult meg.

*Prof. Dr. Jármai Károly  
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, 1147 Budapest, Czobor 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.gteportal.eu

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 Zrt. • Postacím: 1900 Budapest

Előfizetésben megrendelhető az ország bármely postáján, a hírlapot kézbesítőknél, [www.posta.hu](http://www.posta.hu) WEBSHOP-ban (<https://eshop.posta.hu/storefront/>), e-mailen a [hirlapelofizetes@posta.hu](mailto:hirlapelofizetes@posta.hu) címen, telefonon 06-1-767-8262 számon, levélben a MP Zrt. 1900 Budapest címen. Külföldre és külföldön előfizethető a Magyar Posta Zrt.-nél: [www.posta.hu](http://www.posta.hu) WEBSHOP-ban (<https://eshop.posta.hu/storefront/>), 1900 Budapest, 06-1-767-8262, [hirlapelofizetes@posta.hu](mailto:hirlapelofizetes@posta.hu)

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

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

**A megjelent cikkek lektoráltak.**

A kiadvány a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával jelenik meg.

# TARTALOM

<b>1. IDEGHÁLÓK ROBOTOK INVERZ KINEMATIKAI VIZSGÁLATÁHOZ: ÁTTEKINTÉS ÉS ALKALMAZÁS .....</b>	<b>5</b>
Hazim Nasir Ghafil, Jármái Károly	

*A robotmanipulátorok inverz kinematikai problémájának mély tanulását sok munkában vizsgálták síkbeli esetre. Ebben a cikkben három tanulási algoritmus teljesítménye; A Levenberg-Marquardt algoritmus, a Bayesian regularization algoritmus és a Scaled Conjugate Gradient algoritmus vizsgálata során az egy rejtett rétegű ideghálózat megtanulja, hogyan lehet megoldani a háromcsuklós robotmanipulátor inverz kinematikai problémáját.*

<b>2. EGYIK VÉGÉN BEFOGOTT RÚD OPTIMÁLÁSA EXCENTRIKUS TERHELÉS ESETÉN .....</b>	<b>11</b>
Erdős Antal, Jármái Károly	

*Ebben a cikkben a nyitott keresztmetszetű gerenda optimalizálását mutatjuk be a feszültség és az alakváltozás figyelembevételével. Az ilyen típusú keresztmetszet nagyon érzékeny a terhelés excentricitására, a csavarás deformációs hatása miatt. Az ilyen típusú modell szerszámgépek, például prés- gépek vagy fűrőgépek esetében használható. Mivel a gyártási eljárás és a munkadarab pontossága igényli, a gerenda alakváltozásának minimálisnak kell lennie, a gép élettartamának pedig maximálisnak.*

<b>3. HEGESZTETT ASZIMMETRIKUS I-TARTÓK OPTIMÁLIS MÉRLETEZÉSE A MINIMÁLIS HEGESZTÉSI VETEMEDÉSHEZ .....</b>	<b>19</b>
Jármái Károly, Petrik Máté	

*Számítási módszert fejlesztettek ki aszimmetrikus I-tartók optimális méretei meghatározására a minimális vetemedés érdekében. A célfüggvény a minimális tömeg, az ismeretlenek az I-szelvény méretei, a peremfeltétel, a feszültség, a helyi horpadás és az alakváltozás. Megvizsgáltuk a különböző acélminőségeket (235, 355, 460 MPa folyáshatás) és a különböző alumíniumokat (90, 155, 240 MPa folyáshatár). Az anyag, a hossz és a terhelés került változtatásra. Megállapították, hogy az optimális kialakítás révén csökkenthető a hegesztési vetemedés az előhajlítás révén, és az anyagköltségek is csökkenthetők.*

<b>4. FUTÓDARUHÍD OPTIMÁLÁSA PÁRHUZAMOS FPA ALGORITMUSSAL GPU-N .....</b>	<b>27</b>
Nagy Szilárd, Jármái Károly	

*A természet ihlette evolúciós optimalizáló algoritmusok hatékony eszközök a nemlineáris problémák megoldására. Néha óriási számítási kapacitást igényelnek, és lassúak lehetnek ezen számítások. Ebben a cikkben egy lehetséges párhuzamosítási módszert javasolunk az alap FPA algoritmus és egy típusú fitness függvény kiszámításához. A javasolt módszer három tesztfüggvénnyel és egy futódaru förtartójának optimalizálásával kerül bemutatásra.*

<b>5. KORSZERŰ IRODALOMKUTATÁS ÉS PUBLIKÁLÁS: A SCOPUS HASZNÁLATÁNAK BEMUTATÁSA .....</b>	<b>33</b>
Kállai Viktória, Jármái Károly	

*A Scopus egy adatbázis, amelyben a legtöbb tartalmi kivonat és idézet található. Ezenkívül különféle intelligens eszközökkel lehetővé teszi a kutatások megfigyelését. A Scopus segítségével nemcsak kereshet és megtalálhat releváns információkat a keresett témáról, hanem kutatócsoportokat is megtalálhat, valamint statisztikai elemzéseket végezhet cikkekről, szerzőkről vagy folyóiratokról. Hatalmas mennyiségű és átfogó tartalmat kínál egy forrásból. Az összes tudományággal kapcsolatos információk könnyen és hatékonyan kereshetők. Hozzáférést biztosít több ezer cikkhez, millió szerzői profilhoz és milliárdnyi idézethez.*

<b>6. SZENDVICSSZERKEZET ANALÍTIKUS ÉS NUMERIKUS VIZSGÁLATA ALUMÍNIMUMHAB ESETÉN .....</b>	<b>40</b>
Alaa Al-Fatlawi, Jármái Károly, Kovács György	

*A kutatás célja egy új, könnyű szendvicsszerkezet kifejlesztése, amely felhasználható légi konténerek elemeként. A szerkezet alumínium habból készült, szálerősítésű kompozit fedőlemezekkel. A laminált üveg és/vagy szénszállal erősített műanyag lemezek kilenc különböző kombinációját tesztelték. Bemutatták a szendvicsszerkezetek végelesemes vizsgálatát. Az új szendvicsszerkezet egy célfüggvény szerinti optimalizálását minimális tömegre sikerült elérni. Öt méretezési feltételt vettek figyelembe: a szerkezet merevsége, a fedőlap nyírási tönkremenetele, a mag nyírása, a fedőlap ráncolása, a tervezési változók méretkorlátozása. A kialakított kompozit szerkezet jelentős tömegmegtakarítást eredményez az alacsony sűrűség révén.*

# IDEGHÁLÓK ROBOTOK INVERZ KINEMATIKAI VIZSGÁLATÁHOZ: ÁTTEKINTÉS ÉS ALKALMAZÁS

## NEURAL NETWORKS FOR LEARNING INVERSE KINEMATICS OF ROBOTS: REVIEW AND APPLICATION

Hazim Nasir Ghafil\*, Károly Jármái\*\*

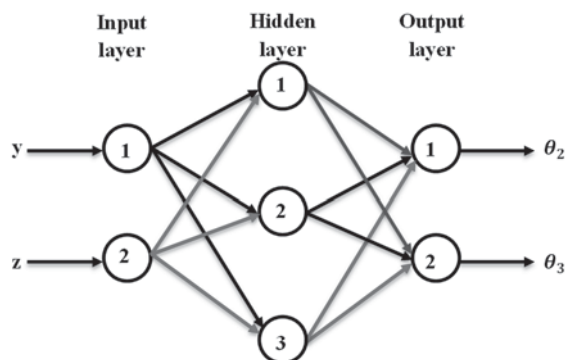
### ABSTRACT

Deep learning for Inverse Kinematic problem of robot manipulators was investigated by many works considering the planar case. In this paper, the performance of the three learning algorithms; Levenberg-Marquardt algorithm, Bayesian Regularization algorithm, and Scaled Conjugate Gradient algorithm is studied will learning single hidden layer network how to solve the Inverse Kinematic problem of a three degree of freedom robot manipulator.

### 1. BEVEZETÉS

Az Inverz Kinematika (IK) megoldás a robot vég-effektorának speciális konfigurációjára, alapvető fontosságú funkció a vezérlőrendszerben. Az olyan optimalizációs algoritmusok, mint a részecske-csoport optimalizálás és a mesterséges méhcsalád [1] garantálhatják a probléma optimális megoldását a célfüggvény differenciálhatósága miatt. Valós ipari alkalmazásokban azonban nem használhatjuk az optimalizációs algoritmusokat, mivel ezek bizonyos időt vesznek igénybe. Az ANN mesterséges ideghálók akkor is tökéletesen alkalmazhatók valós ipari alkalmazásokra, ha megoldásaik közelítőek és nem olyan pontosak, mint az optimalizáló algoritmusok megoldásai. A pontosság és a gyors közelítések között kell választanunk, különösen az érzékelőkkel felszerelt robotok esetében, amelyek gyors megoldásokat igényelnek, hogy a hirtelen eseményekre reagálni tudjanak. Ez ésszerű indok arra, hogy megfontoljuk az ideghálók alkalmazását egy robot inverz kinematikai problémájának megoldásánál. A többrétegű előremenő ideghálót megtanították a három szabadságfokozatú manipulátor csomóponti változóinak a megadására, az end-effektor pozícióra tekintettel [2], a tanulási folyamatot az adott end-effektor pozíciók és a hozzájuk tartozó közös szögek felhasználásával hajtják végre. A többrétegű előremenő idegháló hatékonyabbnak bizonyult, mint az egyrétegű, a funkcionális kapcsolat általánosítására az inverz kinematikai problémára. Betanítás után a hálózat képes

volt visszaadni a közös változókat tetszőleges derékszögű koordináta pozícióhoz. Az 1. ábra bemutatja az IK probléma megoldására használt idegháló architektúráját azáltal, hogy a derékszögű koordináta helyzetet bemenetekként, a csomóponti szögeket pedig kimenetekként jelöli. Az ANN-t a visszaterjesztési algoritmussal alkalmazták a 6R robotmanipulátor inverz kinematikai megoldására a MATLAB Neural Networks Toolbox segítségével [3]. A hálónak 12 bemenete volt a homogén transzformációs mátrix elemeit képviselő és hat kimenete, amelyek hat csomóponti szögöt képviseltek. E tanulmány szerint az ANN inverz kinematika alkalmazásának hátránya a betanítási folyamathoz szükséges nagy adathalmaz.



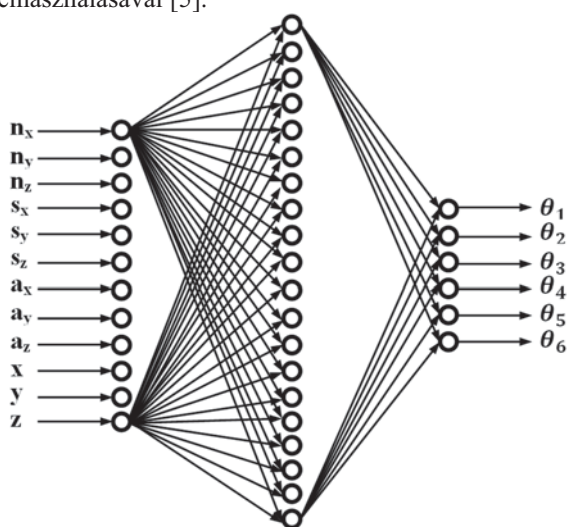
1. ábra: Az ANN [2] által használt architektúrája

Más szavakkal: a képzéshez szükséges nagy mennyiségű adat pontosabb ideghálóra vezet. A 2. ábra bemutatja a ANN topológiáját ebben a tanulmányban. 4000 adatot használtak a háló betanítására, amely egyetlen rejtett rétegben 20 neuront tartalmazott. Az ANN rendszermodelleket épít az előre megadott adatok példáinak betanulásával; ez rugalmassá teszi és ezért széles körben használják a robotikában és az automatizálásban. Az ANN egy lineáris vagy nemlineáris függvény, amely megtanulhatja a lineáris és nemlineáris problémák megoldását és osztályozását. Az utóbbi években a különféle kutatások új, megbízható algoritmusokra összpontosítottak a véges adatkészletek

\* doktorandusz, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

\*\* professzor, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

elemzésére anélkül, hogy növelnék az algoritmusok számítási intenzitását. A robotmanipulátor inverz kinematikai problémájának megoldásakor számos korlátozást figyelembe kell venni az alkalmazott idegháló tanulási folyamata során. Az inverz kinematika egy komplex probléma, ahol a bonyolultság a robot geometriájából és a robot derékszögű koordináta terét és csomóponti terét megadó trigonometriai egyenletekből származik. A kinematikai egyenletek szintén csatolva vannak, és fennáll a szingularitás veszélye, ezek a korlátok növelik a tanulási folyamat nehézségeit. Három csomópontú sík manipulátort használtak próbaként az inverz kinematikai probléma [4] számára egy neurális hálózat betanulásánál; hogyan lehet létrehozni egy függvényt erre a problémára. Nem szokványos és nem testreszabott topológiákat alkalmaztak az IK probléma betanítására a hálózati inverzió fogalmának felhasználásával [5].



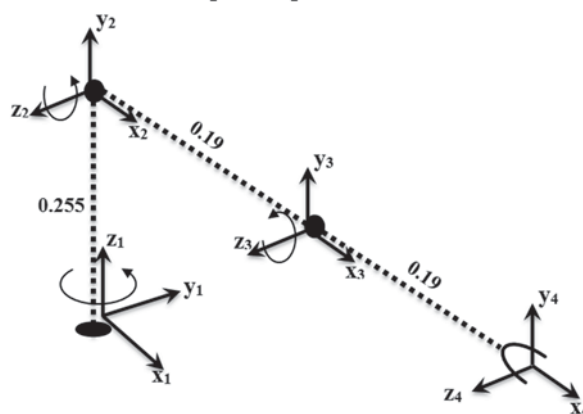
2. ábra: Az IK megtanulásához használt ANN topológia

A Kohonen és a hiba visszatérítési hálózatok a leggyakoribb ideghálók, amelyeket a robotmanipulátorok inverz kinematikájának megoldására alkalmaznak. A visszaterjesztési algoritmus, amely a tanulási mechanizmus egyik eleme, hosszú időt vesz igénybe, hogy megvalósítható leképezést találjanak a derékszög koordináta térről a robot csomópontok helyére vonatkozólag. Az idegháló az összes betanulási minta választ a kimeneti rétegre továbbítja. A kívánt kimenet és a kiszámított kimenet közötti különbség azt a hibát jelöli, amelyet iteratíván a visszacsatolásnál a súlyok beállításánál figyelembe vesznek. Ha a betanulási adatok halmaza túl nagy, a betanulás túl sok időt vesz igénybe, és ez a gyakorlatban nem járható. Alhálózatokat is javasoltak [6], hogy egynél több megoldást találjanak az end-effektor adott derékszögű koordináta helyzetére. Ebben a munkában megvizsgálták a Levenberg-Marquardt tanulási algoritmus, a Bayes-féle Szabályozási algoritmus

(Bayesian Regularization) és a Skálázott Konjugált Gradiens tanulási algoritmus (Scaled Conjugate Gradient) használatának hatását egy bemeneti réteg, egy rejtett réteg és egy kimeneti réteg esetén, hogyan lehet megtalálni az RRR robot kar fordított helyzetét. A neurális hálózat topológiáját részletesen tárgyalták, valamint a fent említett tanulási algoritmusok előnyeit és hátrányait.

## 2. KÍSÉRLETI MUNKA

Ebben a munkában egy 3D térben történő mozgásképeségű RRR robotmanipulátort vizsgáltak, hogy meghatározzák a rétegek számának hatását egy rögzített nagyságú neuronszám esetén. A 3. ábra a keretmeghatározást és a robot specifikációit mutatja, az 1. táblázat a csomópontok paramétereit.



3. ábra. RRR robotmanipulátor

1. táblázat: A Lab-Volt 5150 manipulátor térbeli paramétereit

Cso mópont ID	Keret	$\phi$	$\alpha$	$a$	$d$	$\theta$	Határ
1	$0_1X_1Y_1Z_1-$ $0_2X_2Y_2Z_2$	0	90	0	$d_1$	$\theta_1$	-185,153
2	$0_2X_2Y_2Z_2-$ $0_3X_3Y_3Z_3$	0	0	$a_2$	0	$\theta_2$	-32,149
3	$0_3X_3Y_3Z_3-$ $0_4X_4Y_4Z_4$	0	0	$a_3$	0	$\theta_3$	-147,51

### 2.1.1 A csigahajtóművek fő veszteségforrásai és azok becslése alapján

Ismert, hogy a manipulátorban lévő három lánc homogén transzformációs mátrixai becsülhetők meg, az egyes összeköttetések négy paraméterének behelyettesítésével a Denavit-Hartenberg mátrixba (Spong et al. 2006). A kinetikai egyenletek halmaza a következő lesz:

### 3. IDEGHÁLÓ ARCHITEKTÚRA

$$H_2^1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & \sin(\theta_1) & 0 \\ \sin(\theta_1) & 0 & -\cos(\theta_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$H_3^2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & a_2 \cdot \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & a_2 \cdot \sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$H_4^3 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 & a_3 \cdot \cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 & a_3 \cdot \sin(\theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$H_4^1 = H_2^1 \cdot H_3^2 \cdot H_4^3 = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & x \\ n_y & s_y & a_y & y \\ n_z & s_z & a_z & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

ahol

$$n_x = \cos(\theta_1) \cos(\theta_{2+3}) \quad (5)$$

$$n_y = \sin(\theta_1) \cos(\theta_{2+3}) \quad (6)$$

$$n_z = \sin(\theta_{2+3}) \quad (7)$$

$$s_x = -\cos(\theta_1) \sin(\theta_{2+3}) \quad (8)$$

$$s_y = -\sin(\theta_1) \sin(\theta_{2+3}) \quad (9)$$

$$s_z = \cos(\theta_{2+3}) \quad (10)$$

$$a_x = \sin(\theta_1) \quad (11)$$

$$a_y = -\cos(\theta_1) \quad (12)$$

$$a_z = 0 \quad (13)$$

$$x = \cos(\theta_1)(a_2 \cos(\theta_2) + a_3 \cos(\theta_{2+3})) \quad (14)$$

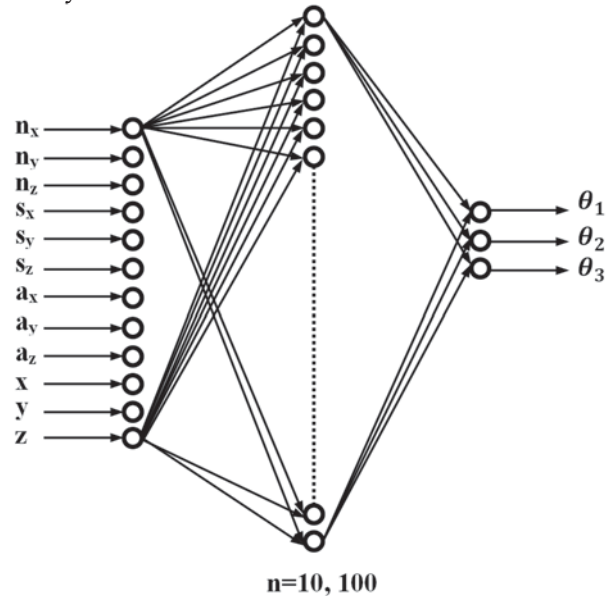
$$y = \sin(\theta_1)(a_2 \cos(\theta_2) + a_3 \cos(\theta_{2+3})) \quad (15)$$

$$z = d_1 + a_2 \sin(\theta_2) + a_3 \sin(\theta_{2+3}) \quad (16)$$

Az (5) - (13) egyenletek az end-effektor tájolását mutatják az alapkerethez viszonyítva, míg a (14), (15) és a (16) egyenletek az end-effektor derékszögű helyzetét ábrázolják. Ezek a csomóponti térről a derékszögű koordináta rendszerbe transzformálják az end-effektor helyzetét, adott csomóponti szögek esetén. Ezekből az egyenletekből egy 2000 bemeneti/kimeneti képzési adatkészlet generálódik, hogy megtanulja az idegháló a javasolt topológiáit, hogyan lehet az inverz helyzetét meghatározni a tanult adatok alapján.

A 4. ábra bemutatja a tanulmányban alkalmazott mesterséges idegháló topológiáját, amely 12 bemenettel, egy rejtett réteggel és három kimenettel rendelkezik. A bemeneti réteg a homogén transzformációs mátrix elemei, amelyek az end-effektort az alapkerethez kapcsolják, és ezeket az (5-16) egyenletek magyarázzák. Ebben a tanulmányban egy rejtett réteget használtunk  $n=10$  és  $n=100$  neuronsszámmal. A kimeneti réteg három neuronból áll, amelyek képviselik a robotkar három csuklóját.

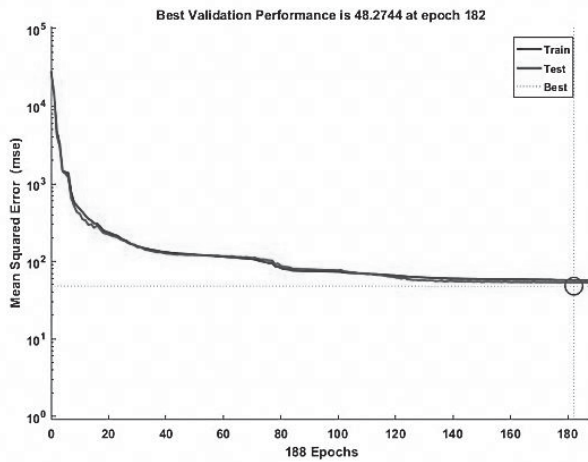
Három tanulási algoritmus áll rendelkezésre a MATLAB neurális hálózati eszközkészletében, amelyeket alkalmaztunk és összehasonlítottuk a kapott eredményeket  $n=10$  és  $n=100$  esetén. A javasolt neurális hálózatot három tanulási algoritmus segítségével lett betanítva; Levenberg-Marquardt (LM) algoritmus, a Bayes-féle Szabályozási algoritmus (BR) és Skálázott Konjugált Gradiens algoritmus (SCG), ahol ezen algoritmusok mindegyikének megvan a maga előnye és hátránya.



4. ábra: ANN architektúra az RRR robot manipulátorhoz

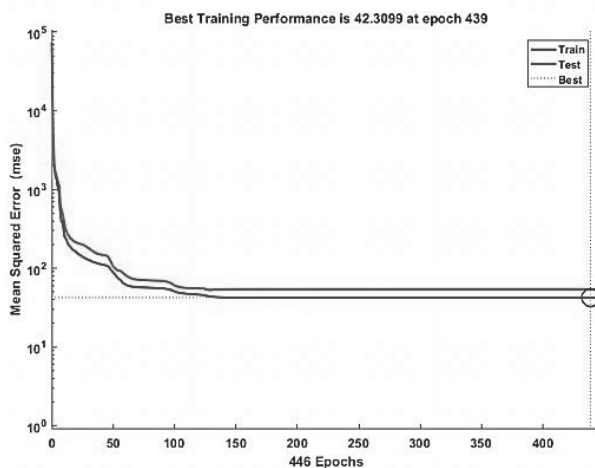
Az 5–7. ábra a Levenberg-Marquardt, a Bayes-féle szabályozó és a skálázott konjugált gradiens teljesítményét mutatja a tanulási folyamatban, ha a neuronok száma 10-es. A Levenberg-Marquardt algoritmusnak kevesebb időre van szüksége, mint a Bayes-féle Szabályozási algoritmusnak és több időre és több memóriára van szüksége, mint a Skálázott Konjugált Gradiens algoritmusnak. Az LM pontosabb, mint az SCG, de kevésbé pontos, mint a BR. Ugyanazon összehasonlítás  $n=100$  esetén történő megismétlésével (lásd a 8. és 10. ábrát) könnyű felismerni, hogy a teszt során a négyzetes eltérés jelentős csökkenését

összehasonlítva azzal az esettel, amikor  $n=10$ . A 2000 tételből álló adatkészletet használták az algoritmusok a tanulási folyamathoz, ahol a felhasznált elemek 70% -a tanulásra, míg 30% -a tesztelésre szolgált.

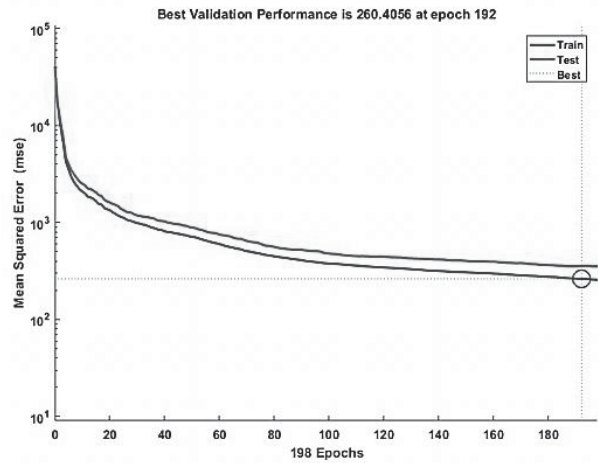


5. ábra. A Levenberg-Marquardt algoritmus átlagos négyzetes hibája,  $n=10$

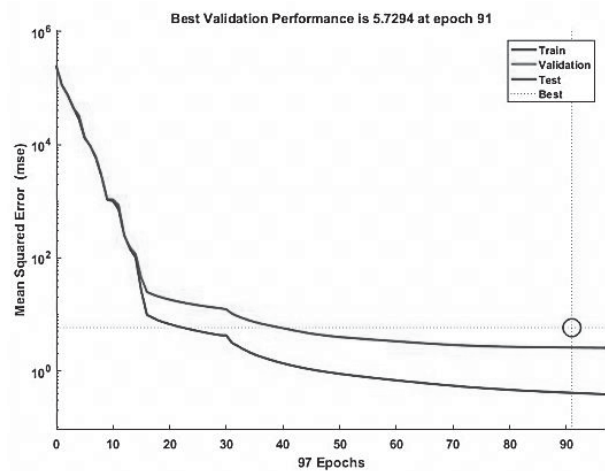
Axiomatikusan, a növekvő idegsejtek száma a rejtett rétegben a legjobb eredményt adhatja kevesebb hibával, de itt ki kell értékelnünk a három tanulási algoritmus teljesítményét. A 2. táblázat bemutatja az eltelt időt a hálózat tanulására, hogyan oldható meg a robot inverz kinematikája, ahol a BR-nek több időre van szüksége, mint az LM-re, míg az SCG nagyon rövid időt igényelt. Visszatérve az 5. ábrára, a 10. ábrára, a neuronok számának növekedése 100-hoz az LM és BR tanulási algoritmusok esetében az átlagos négyzeteshiba (MSE) drámai csökkenéséhez vezetett, ám az SCG algoritmus még mindig nem tudta megtanulni az inverz kinematika hálózati megoldását. A 3. táblázat bemutatja a javasolt problémára a három említett tanulási algoritmus felhasználásával indukált MSE-t.



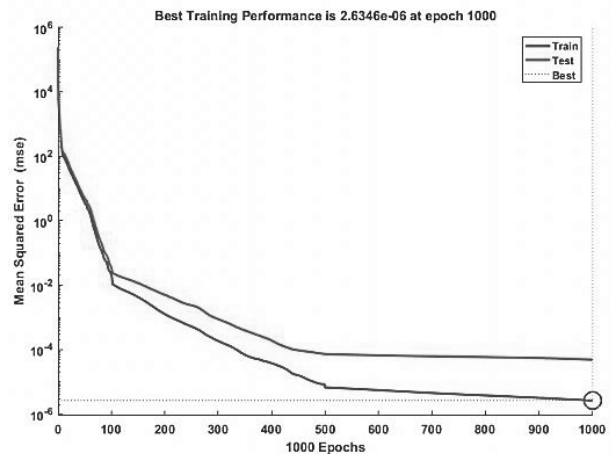
6. ábra. Átlagos négyzetes hiba (MSE) a Bayes-féle Szabályozási algoritmusnál  $n=10$  esetén



7. ábra. Átlagos négyzetes hiba (MSE) a Skálázott Konjugált Gradiens algoritmusnál  $n=10$  esetén

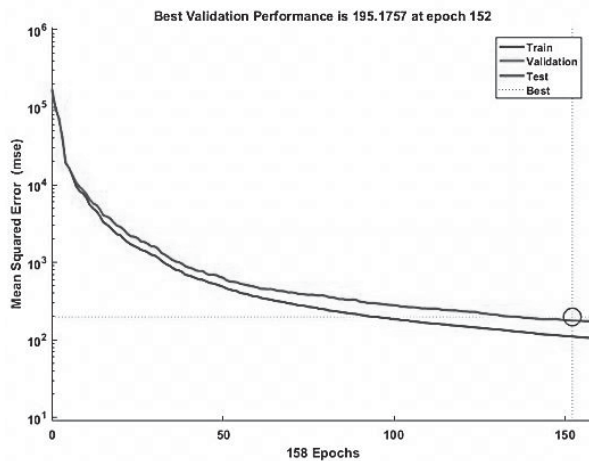


8. ábra. Átlagos négyzetes hiba (MSE) a Levenberg-Marquardt algoritmusnál  $n=100$  esetén



9. ábra. Átlagos négyzetes hiba (MSE) a Bayes-féle Szabályozási algoritmusnál  $n=100$  esetén





10. ábra. Átlagos négyzetes hiba (MSE) a Skálázott Konjugált Gradiens algoritmusnál  $n=100$  esetén

2. táblázat. Időszükséglet a Levenberg-Marquardt, a Bayes-féle Szabályozási és a Skálázott Konjugált Gradiens algoritmusnál

tanuló algoritmus	idő (sec)	
	$n=10$	$n=100$
Levenberg-Marquardt	4	171
Bayes-féle Szabályozási	8	1840
Skálázott Konjugált Gradiens	0.01	1

3. táblázat. Átlagos négyzetes hiba (MSE) a Levenberg-Marquardt, a Bayes-féle Szabályozási és a Skálázott Konjugált Gradiens algoritmusnál

tanuló algoritmus	Átlagos négyzetes hiba (MSE)	
	$n=10$	$n=100$
Levenberg-Marquardt	48.2744	5.7294
Bayes-féle Szabályozási	<b>42.3099</b>	<b>2.6346E-06</b>
Skálázott Konjugált Gradiens	260.4056	195.1757

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK

A 3. ábrán bemutatott manipulátor egyszerű architektúrájához 2000 egyedi megoldásra van szükségünk ahhoz, hogy ésszerű összehasonlítást kapjunk ebben a munkában. Más szavakkal, hatalmas mennyiségű képzési adatra van szükségünk, hogy megtanuljuk az inverz problémát olyan komplex architektúrákban, mint a 7 DOF. Ezenkívül a hiba megnövekszik, miközben a robot szabadságfoka növekszik és további idő szükséges az elfogadható eredmények elérése érdekében. Így elmondhatjuk, hogy az idegháló használata az inverz kinematikára a robot DOF-jére korlátozódik. A másik oldalról a Bayes-féle Szabályozási algoritmus pontos eredményeket ad, ám ennek a módszernek a használata valós idejű alkalmazásoknál kritikus, mivel viszonylag hosszú időbe telik, hogy a megvalósítható megoldást elérje. A valósidejű alkalmazáshoz a Levenberg-Marquardt módszer jó választás lehet, különösen, ha a közelített megoldások megfelelőek (kevésbé pontosak, de gyorsabbak, mint a Bayes-féle Szabályozási). Noha a Skálázott Konjugált Gradiens módszernek nem sikerült ehhez az elfogadható megoldáshoz konvergálni ezen az

egyszerű robotnál, semmilyen típusú robotnál nem használható.

#### 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az idegháló hatékony eszköz a nemlineáris problémákhoz, például az inverz kinematikai problémákhoz. Az idegháló a bemenetek és a kimenetek közötti funkciót képviseli, amelyet az idegsejtek közötti kapcsolatok elosztott súlyai képviselnek. Ebben a cikkben három különféle tanulási algoritmus, nevezetesen Levenberg-Marquardt algoritmus, Bayes-féle Szabályozási algoritmus és Skálázott Konjugált Gradiens algoritmus használatát vizsgáltuk meg, hogy megismerjünk egy neurális hálózatot, hogyan lehet megoldani egy három csuklós robotmanipulátor inverz kinematikáját. A hálózat topológiája egy bemeneti rétegből áll, tizenkét neuronnal, egy rejtett rétegből, amelynek neuron száma = 10, 100, és egy kimeneti rétegből áll, három neuronnal. A bemeneti rétegben lévő 12 neuron a homogén transzformációs mátrix adott elemeit képviseli, míg a kimeneti rétegben található három neuron a robot kívánt csukló szögeit adja meg. A tanulmány során azt találtuk, hogy a Skálázott

Konjugált Gradiens tanulási algoritmus nem képes megtanulni a hálózatot a javasolt problémára még akkor sem, ha a rejtett rétegben nagy számú neuron található. A Bayes-féle Szabályozási tanulási algoritmus a legjobb eredményeket hozta, de az eltelt idő nagyobb, mint ami a Levenberg-Marquardt algoritmus számításához szükséges. Célunk más szerkezeteknél is megvizsgálni az egyes algoritmusok hatékonyságát, hogy általánosabb következtetéseket tudjunk levonni.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*"A cikkben/előadásban/tanulmányban 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"*

## 7. IRODALOM

1. Ghafil H. N., Jármái K.: Comparative study of particle swarm optimization and artificial bee colony algorithms, MultiScience-XXXI. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, 2018.09.05-2018.09.06. Miskolc: Miskolci Egyetem, 2018. Proceedings on CD. Paper D1\_Hazim\_Nasir\_Ghafil.pdf. 6 p. ISBN 978-963-358-162-9, DOI: 10.26649/musci.2018.030
2. Choi BB, Lawrence C (1992) Inverse kinematics problem in robotics using neural networks. NASA Technical Memorandum 105869, 27 p.
3. Bingul Z, Ertunc H, Oysu C (2005) Applying neural network to inverse kinematic problem for 6R robot manipulator with offset wrist. In: Adaptive and Natural Computing Algorithms. Springer, pp 112-115.
4. Duka A-V (2014) Neural network based inverse kinematics solution for trajectory tracking of a robotic arm. Procedia Technology 12:20-27.
5. Tejomurtula S, Kak S (1999) Inverse kinematics in robotics using neural networks. Information Sciences 116 (2-4):147-164.
6. Lu B-L, Ito K Regularization of inverse kinematics for redundant manipulators using neural network inversions. In: Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks, 1995. IEEE, pp 2726-2731.
7. Spong MW, Hutchinson S, Vidyasagar M (2006) Robot modeling and control. Emerald Group Publishing Limited, 303 p. ISBN-13: 978-0471649908.

# EGYIK VÉGÉN BEFOGOTT RÚD OPTIMÁLÁSA EXCENTRIKUS TERHELÉS ESETÉN

## BEAM WITH FIXED SUPPORT AT ONE END OPTIMIZATION IN CASE OF ECCENTRIC LOAD

Erdős Antal \*, Dr. Jármai Károly \*\*

### ABSTRACT

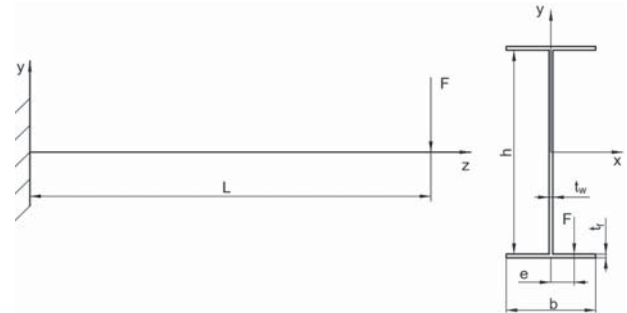
In this article one can read about the stress and deflection calculation and the optimization of a beam with opened cross section. This type of cross section is very sensitive to the eccentricity of the load, because of the effect of the warping torsion. This type of model could be used in case of machine tools, for example press or drill machines. Because the accuracy of the manufacturing procedure and the workpiece, the deflection of the beam must be minimal. On the other hand the lifetime of the machine should be maximal.

### 1. BEVEZETÉS

A mérnöki gyakorlatban sok helyen találkozhatunk tartószerkezetekkel például hidakkal, csapágyazott tengelyekkel, gerendákkal. Ezek a szerkezetek gyakran készülnek valamilyen nyitott keresztmetszettel, ilyen lehet például egy I-szelvény. Ebben a cikkben egyik végén befogott I-szelvényű gerenda vizsgálata kerül bemutatásra. Annak feszültségi, deformáció számítása, majd ennek alapján az optimalizálása kerül elvégzésre.

### 2. A mechanikai modell

Rudat csavaró igénybevételnek kitéve a peremfeltételektől függően két alapeset különböztethető meg, melyek a szabad csavarás és a gátolt csavarás. A két típus a hosszirányú alakváltozás megakadályozásában tér el egymástól. A szabad, vagy Saint-Venant-féle csavarás esetén a hosszirányú alakváltozás nincs meggátolva, míg gátolt csavarás esetén nincs hosszirányú elmozdulásra lehetőség. Mivel ezen okból kifolyólag csavarási normálfeszültség szabad csavarás során nem keletkezik és a mechanikai modellből adódóan sincs lehetőség axiális elmozdulásra így a számítások gátolt csavarás esetére kerülnek elvégzésre. A mechanikai modell az egyszerű I-szelvény keresztmetszetével látható a 1. ábrán.



1. ábra: Mechanikai modell és a szelvény keresztmetszete

### 3. A feszültségek meghatározása

Ebben az esetben az excentrikus erőátadás miatt a nyírás és a hajlítás mellett csavaró igénybevétel is keletkezik. A hosszirányú alakváltozás megakadályozása miatt a csavarásból a befogás helyén a csavarás torzító hatásából normálfeszültség fog keletkezni. Ennek elméleti alapja az [1, 2] irodalmakban található.

Felírva a gátolt csavarás alap-differenciál egyenletét:

$$G \cdot I_t \cdot \frac{d\varphi}{dz} - E \cdot I_\omega \frac{d^3\varphi}{dz^3} = M_t. \quad (1)$$

Átírva:

$$\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_\omega} \cdot \frac{d\varphi}{dz} - \frac{d^3\varphi}{dz^3} = \frac{M_t}{E \cdot I_\omega}. \quad (2)$$

Az  $\alpha^2$ -et bevezetve a  $\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_\omega}$  tört helyére az egyenlet a következő:

$$-\alpha^2 \cdot \frac{d\varphi}{dz} + \frac{d^3\varphi}{dz^3} = -\frac{M_t}{E \cdot I_\omega}. \quad (3)$$

Ennek a differenciálegyenletnek az általános megoldása a következő alakban keresendő:

$$\varphi(z) = C_1 + C_2 \cdot z + C_3 \cdot \sinh(\alpha z) + C_4 \cdot \cosh(\alpha z). \quad (4)$$

\* doktorandusz, Miskolci Egyetem Vegyipari Gépek Intézeti Tanszék

\*\* egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Vegyipari Gépek Intézeti Tanszék

A  $C_2$  konstans értéke:

$$C_2 = \frac{M_t}{G \cdot I_t}. \quad (5)$$

A megoldásban található többi konstans értékének meghatározása az adott feladatra érvényes peremfeltételektől függ. A befalazott tartóra érvényes feltétel rendszer látható az 1. táblázatban.

Pozíció	$\varphi$ értéke	$\varphi'$ értéke	$\varphi''$ értéke
$z = 0$	0	0	nem 0
$z = L$	nem 0	nem 0	0

1. táblázat: Peremfeltétel rendszer

A peremfeltételek alkalmazásához szükség van az általános megoldás első, illetve második deriváltjára a  $z$  változó szerint. Az első derivált:

$$\varphi'(z) = C_2 + C_3 \cdot \alpha \cdot \cosh(\alpha z) + C_4 \cdot \alpha \cdot \sinh(\alpha z). \quad (6)$$

A második derivált:

$$\varphi''(z) = C_3 \cdot \alpha^2 \cdot \sinh(\alpha z) + C_4 \cdot \alpha^2 \cdot \cosh(\alpha z). \quad (7)$$

A  $C_2, C_3, C_4$  konstansok meghatározásához a peremfeltételeket alkalmazva a megoldás megfelelő deriváltján, célszerűen arra, amely az adott pontban 0 értékkel rendelkezik. A konstansok értéke a levezetések után:

$$C_3 = -\frac{M_t}{G \cdot I_t \cdot \alpha}. \quad (8)$$

A második deriváltat felhasználva a  $z = L$  helyen:

$$\varphi''(L) = C_3 \cdot \alpha^2 \cdot \sinh(\alpha L) + C_4 \cdot \alpha^2 \cdot \cosh(\alpha L), \quad (9)$$

$$0 = C_3 \cdot \alpha^2 \cdot \sinh(\alpha L) + C_4 \cdot \alpha^2 \cdot \cosh(\alpha L), \quad (10)$$

$$C_4 = \frac{M_t}{G \cdot I_t \cdot \alpha} \cdot \tanh(\alpha L). \quad (11)$$

$$C_1 = -\frac{M_t}{G \cdot I_t \cdot \alpha} \cdot \tanh(\alpha L). \quad (12)$$

A torzulási vagy binyomatékok, mely a normálfeszültséget okozza az alábbi összefüggés adja meg:

$$B_\omega = \int_A \sigma_\omega \cdot \omega_T dA = -E \cdot I_\omega \cdot \frac{d^2 \varphi}{dz^2}. \quad (13)$$

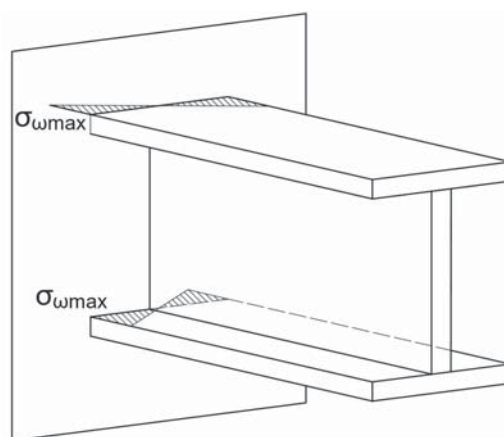
A maximális binyomaték a befalazásnál keletkezik a  $z = 0$  helyen. Hogy a maximális binyomaték kerüljön meghatározásra a  $z = 0$  helyen az általános megoldás második deriváltját kell behelyettesíteni.

$$B_{\omega max} = -\frac{M_t}{\alpha} \cdot \tanh(\alpha L). \quad (14)$$

A torzulási normálfeszültség kiszámítása:

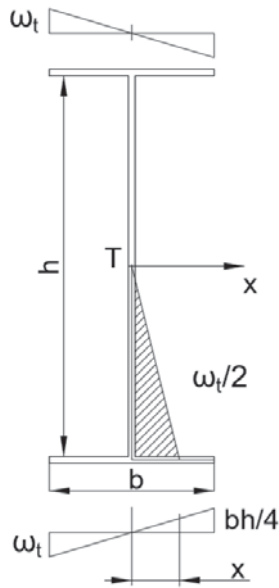
$$\sigma_\omega = \frac{B_\omega}{I_\omega} \cdot \omega_t. \quad (15)$$

Amely összefüggésben az  $I_\omega$  a torzulási inercia és az  $\omega_t$  a szelvény torzulásának mértéke. A torzulási inercia a szelvény geometriájától, illetve annak fajtájától, miszerint a szelvény nyitott vagy zárt. Az I-szelvény nyitott szelvény a torzulási mérték az övlemezek sarokpontjában veszi fel a maximális értékét, ahogy az az alábbi ábrán is látható. A torzulási mérték szintén a szelvény geometriájának függvénye. A csavarási normálfeszültség eloszlása a szelvényen látható a 2. ábrán, valamint az torzulási mértéket szemlélteti a 3. ábra.



2. ábra:

A csavarási normálfeszültségeloszlás az I-szelvényben [1]



3. ábra:

Torzulási mérték alakulása I-szelvény esetén [1]

Az I-szelvény torzulási inerciája vagy gátolt csavarási tényezője:

$$I_\omega = 4 \cdot \int_0^{b/2} \omega_t^2 \cdot t_f dx = \frac{h^2 \cdot b^3 \cdot t_f}{24} \quad (16)$$

A számított értékeket tartalmazza a 2. táblázat, a szimuláció végeredménye látható a 4. ábrán.

A csavarási normálfeszültségen kívül az igénybevételi ábrán látható, hogy a gátolt csavaráson kívül az adott rudat jelentős hajlító és csavarónyomaték is terheli. A modellen látható befalazott tartó esetén, melyet a végén egy koncentrált erő terhel, akkor a hajlítónyomaték értéke az ábrán látható módon a terhelő erő és a tartó hosszának a szorzata. A csavaró igénybevétel pedig az I-szelvény alsó övlemezén excentrikusan történő erőátadásból származik. Ez az excentricitás övlemez  $b$  szélességének maximálisan a hatod része lehet. Az I-szelvény esetén a csavarásból származó csúsztató feszültség:

$$\tau_t = \frac{M_t \cdot t}{I_t} \quad (17)$$

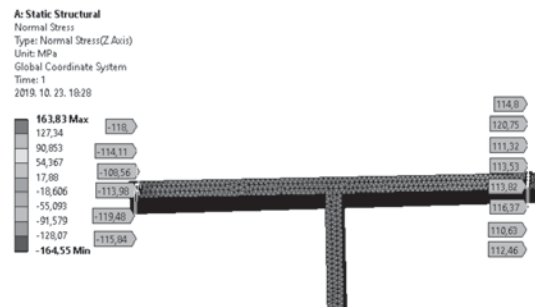
A számított mennyiség	$I_\omega$ a gátolt csavarási ellenállás	$\omega_t$ a torzulási mérték	$B_{\omega max}$ a binyomaték maximuma	$I_t$ a csavarással szembeni ellenállás	$M_t$ a csavarónyomaték	$\sigma_\omega$ a csavarási normálfeszültség
Számítás eredménye	$6,51 \cdot 10^{12}$ mm <sup>6</sup>	$6,25 \cdot 10^4$ mm <sup>2</sup>	$1,181 \cdot 10^{10}$ Nmm <sup>2</sup>	$7,5 \cdot 10^5$ mm <sup>4</sup>	6,25 kNm	113,38 MPa

2. táblázat: A számított értékek csavarási normálfeszültségre

Amely összefüggés megadja az adott  $M_t$  csavarónyomatékkal terhelt  $t$  vastagságú lemezben a csavarófeszültséget nyitott szelvény esetén. Ekkor a nyitott szelvény csavarási inerciája:

$$I_t = \eta_0 \cdot \alpha_0 \cdot \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^n b_i t_i^3 \quad (18)$$

Ahol  $\eta_0$  a szelvény alakjától függő tényező értékét az alábbi 3. táblázat tartalmazza. Az  $\alpha_0$  pedig a gyártástól függő tényező, értéke hegesztett kötéssel létrehozott szelvény esetén 1,5, hengerléssel gyártott szelvényre 1,2. Az összefüggésben a  $b_i$  a lemez hossza függetlenül annak orientációjától, a  $t_i$  minden esetben az adott  $i$ -edik lemez vastagsága. A számítások elvégzése után a csavarásból származó nyírófeszültség értéke 63,613 MPa.



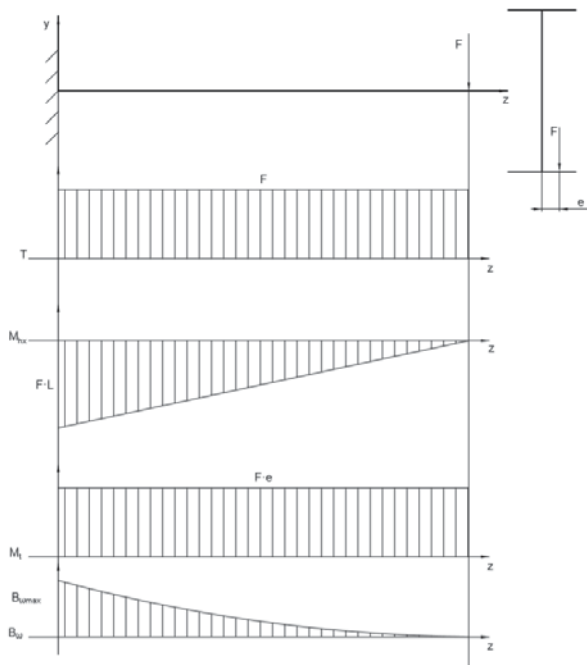
4. ábra:

Csavarási normálfeszültség szimulációval segítségével meghatározott értéke

A szelvény alakja	L	T	Z	+	C	I
A tényező értéke	0,99	1,15	1,15	1,17	1,2	1,31

3. táblázat: Az  $\eta_0$  alaktényező [3]

Az ily módon méretezett szelvény ellenőrzéséhez szükséges a választott acél folyáshatárának és az eddig bemutatott feszültség komponensekből adódó redukált feszültség összevetése. Az igénybevételi ábrája látható az alábbi 5. ábrán.



5. ábra: A tartó igénybevétele

Az I-tartó méretei a számítások kezdetén:

- $h$  a gerinclemez magassága 1000 mm
- $b$  az övlemezek szélessége 250 mm
- $t_f$  az övlemezek vastagsága 10 mm
- $t_w$  a gerinclemez vastagsága 10 mm

A választott acélminőség a számításokhoz az S235-ös szerkezeti acél, melynek folyáshatára  $f_y = 235 \text{ MPa}$ , a rugalmassági modulusza  $E = 200 \text{ GPa}$ , valamint a csúsztató rugalmassági modulusza  $G = 76,923 \text{ GPa}$ .

Az Ansys program segítségével meghatározott csavarási normál feszültség „Fixed Support” típusú peremfeltétellel és a tartó másik végére terhelésként megadott  $M_t$  csavarónyomatékkal a befogás helyén a  $z$  irányú normál feszültség a szinguláris helyeken kívül végezve a kiértékelést. Az ábrán látszik a vizsgált pontokban a feszültség értéke közel azonos

A számított mennyiség	$I_x$ a csavarással szembeni ellenállás	$M_h$ a csavarónyomaték	$\sigma_h$ nyírófeszültség csavarásból
Számítás eredménye	$2108,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$300 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	71,852 MPa

4. táblázat: Hajlításból származó feszültség értéke

A csavaró igénybevételetől származó csúsztató feszültség is jelentős részt képez a szerkezetre ható

a számított értékkel, valamint a feszültségeloszlás is megfelel az elméleti feszültségeloszlásnak. Ez látható a 6. ábrán.



6. ábra: Hajlításból származó normál feszültség

A gerenda másik meghatározó igénybevétele melyből jelentős feszültség ébred, a hajlítás. Ekkor a maximális hajlítónyomaték és az abból ébredő feszültség a maximális értékét szintén a befalazásnál éri el, ahol a reakciónyomaték értéke  $F \cdot L$ . Ekkor a feszültség értéke:

$$\sigma_h = \frac{M_h}{I_x} \cdot y_{max} \quad (19)$$

Az I-szelvény  $x$  tengelyre vett másodrendű nyomatéka a Steiner-tétel segítségével:

$$I_x = \frac{h^3 \cdot t_w}{12} + 2 \cdot \left( \frac{t_f^3 \cdot b}{12} + t_f \cdot b \cdot \left( \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2 \right) \quad (20)$$

A semleges és a szélső szál távolsága szimmetrikus I-szelvényre:

$$y_{max} = \frac{h}{2} + t_f \quad (21)$$

A számítást az Ansys program segítségével ellenőrizve, melyben az előző esettel ellentétben a terhelésnél ekkor nem  $z$ , hanem  $x$  irányú nyomaték megadása szükséges. Ebben az esetben is a  $z$ -irányú normál feszültséget kell vizsgálni a csavarási normál feszültséghez hasonlóan, hiszen a szelvény síkjából kifelé a gerenda hossz tengelyével párhuzamos feszültségeloszlást kell kapni. A számított eredmények táblázatos formában a 4. táblázatban láthatók.

teljes igénybevételből. A vékonyfalú tartóban ébredő csavarófeszültség az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$\tau_t = \frac{M_t \cdot t}{I_t} \quad (22)$$

Amely összefüggés megadja az adott  $t$  vastagságú lemezben ébredő nyírófeszültséget. A számítási eredmények láthatók az alábbi 5. táblázatban, valamint végeelem-módszerrel meghatározott eredmény látható a 7. ábrán.



7. ábra: Nyírófeszültség szimulációval

A számított mennyiség	$I_t$ a csavarással szembe-ni ellenállás	$M_t$ a csavarónyomaték	$\tau_t$ nyírófeszültség csavarásból
Számítás eredménye	$9,825 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$	6,25 kNm	1132,38 MPa

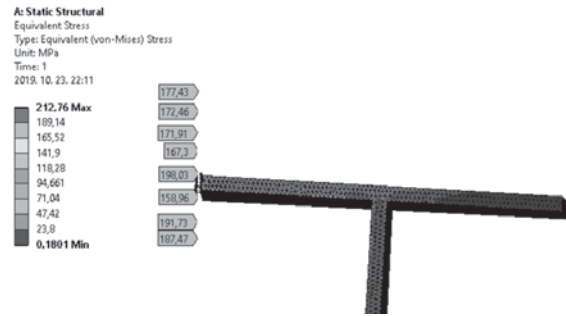
5. táblázat: Nyírófeszültség értéke

A bemutatott feszültségekből a redukált feszültség meghatározható a von-Mises szerinti összefüggéssel, melyet összehasonlítva a szerkezet anyagának választott acél folyáshatárából meghatározott megengedett feszültséggel lehet eldönteni, hogy az adott szerkezet elviseli-e az adott igénybevételt vagy nem.

Ezen összefüggés tovább egyszerűsödik annak ismeretében, hogy a normálfeszültségnek csak a rúd hossz tengelyével párhuzamos irányban van nullától eltérő komponense, hasonlóan a nyírófeszültségnek is egyetlen komponense nem nulla. Így:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (23)$$

A számítások elvégzése után a redukált feszültség értéke 215,503 MPa, mely látható az alábbi 8. ábrán. Az S235-ös acél megengedett feszültsége 196 MPa. 1.2-es biztonsági tényező mellett. Látható tehát, hogy a szerkezet nem felel meg adott igénybevétel esetén. A megfelelése biztosítható a tartó geometriájának optimalásával, vagy egy magasabb folyáshatárú acél választásával. A redukált feszültség szimulációval meghatározott értéke látható a 8. ábrán.



8. ábra: A redukált feszültség

#### 4. Az alakváltozások meghatározása

A terhelésből adódó feszültség komponensekhez hasonlóan a tartó lehajlásának is három forrása van: a gátolt csavarási normálfeszültségből, a hajlításból, valamint a nyíró igénybevételből. A hajlításból származó komponens:

$$v_1 = \frac{M_h \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot I_x} \quad (24)$$

A gátolt csavarásból adódó alakváltozás számítása során fel kell használni, miszerint az elmozdulás megegyezik a gátolt csavarás differenciálegyenletének általános megoldásának első deriváltjával, mely lehetővé teszi az elmozdulás számítását egy adott  $z$  pontban. A maximális lehajlás a  $z=L$  helyen mérhető. Ahhoz, hogy a lehajlást megkapjuk a deformáció értékét meg kell szorozni a torzulási mértékkel [5,6].

$$v_2 = \varphi'(z=L) \cdot \omega_t \quad (25)$$

A nyírófeszültségből származó lehajlás meghatározására az alábbi összefüggés használható:

$$v_3 = \frac{F \cdot L \cdot \rho_q}{8 \cdot G \cdot A_1} \cdot (2 - c_1) \quad (26)$$

Amely összefüggésben  $A_1$  a nyírt keresztmetszet,  $c_1$  a megoszló terheléstől függő tényező, értéke a számítások során 1,  $\rho_q$  a nyírófeszültség eloszlási tényező, kiszámítása:

$$\rho_q = \frac{A}{I_x^2} \int_A \left( \frac{S_x^2}{t} \right) dA \quad (27)$$

A kifejezésben  $S_x$  a keresztmetszet statikai nyomatéka. A teljes  $y$ -irányú lehajlás a három összege, a meghatározott számértékek valamint a végeelem segítségével meghatározott alakváltozás látható az alábbi 6. táblázatban, valamint a 9. ábrán.

$v_1$ lehajlás hajlításból	$v_2$ lehajlás a gátolt csavarásból	$v_3$ lehajlás nyíró-feszültségből
1,423 mm	0,559 mm	0,202 mm

6. táblázat: A lehajlás értékek



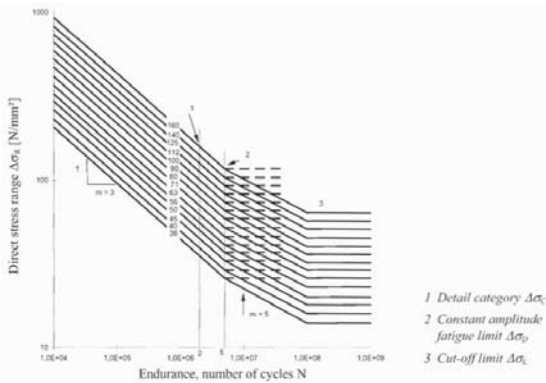
9. ábra: A lehajlás szimulációval meghatározott értékek

## 5. Fáradási számítások

A fáradási számítások alapja az Eurocode 3 1-9-es rész, mely acélszerkezetek fáradásával foglalkozik. A cél a fáradásos törés bekövetkeztéig elviselt ciklusszám meghatározása. Az alapképletek az  $5 \cdot 10^6$  ciklusszám alatti és feletti esetekben [5]:

$$\log \Delta \sigma_n = \frac{1}{3} \cdot \log \left( \frac{2 \cdot 10^6}{N} \right) + \log \Delta \sigma_C \quad (28)$$

$$\log \Delta \sigma_n = \frac{1}{5} \cdot \log \left( \frac{5 \cdot 10^6}{N} \right) + \log \Delta \sigma_D \quad (29)$$



10. ábra: Fáradási görbék [5]

Ezekben az összefüggésekben a  $\Delta \sigma_n$ -el jelölt feszültség amplitúdó az előzőekben kiszámított redukált feszültséggel egyenlő. A  $\Delta \sigma_C$  a  $2 \cdot 10^6$  referencia szinthez tartozó feszültség amplitúdó, valamint a  $\Delta \sigma_D$  az állandó amplitúdójú kifáradási határfeszültség. Meghatározásuk az Eurocode 3: 1-9-ben található kifáradási görbék alapján történik, ez látható az alábbi 10. ábrán.

A megfelelő görbe kiválasztásához a szerkezetet osztályba kell sorolni, melyről az Eurocode 3 szintén ad információt. Az osztályba sorolás során a  $\Delta \sigma_C$  értéke meghatározásra kerül, hiszen az egyenlő lesz az osztályra jellemző számértékkel, ez látható az alábbi 11. ábrán.

Detail category	Constructional detail	ECD Description	Requirements
125		Continued longitudinal welds. 1) Automatic or fully mechanized butt welds carried out from both sides. 2) Automatic or fully mechanized fillet welds. Cover plate ends to be checked using detail 6) or 7) in Table 8.5.	Details 1) and 2). No stop-start position is permitted except when the repair is performed by a specialist and inspection is carried out to verify the proper execution of the repair.

11. ábra: Az osztályba sorolás [5]

Végezetül  $N$  a ciklusszám értéke, melynek meghatározása a cél. Ehhez a fenti összefüggések átrendezése szükséges:

$$N = \frac{2 \cdot 10^6}{10^{3 \cdot (\log \sigma_{red} - \log \Delta \sigma_C)}} \quad (30)$$

$$N = \frac{5 \cdot 10^6}{10^{5 \cdot (\log \sigma_{red} - \log \Delta \sigma_D)}} \quad (31)$$

Azt, hogy melyik összefüggést kell alkalmazni a feszültség vizsgálata alapján kell eldönteni. Mégpedig a kiszámított redukált feszültséget kell összehasonlítani a  $\Delta \sigma_D$ -vel az állandó amplitúdójú kifáradási határral, abban az esetben, ha a redukált feszültség a nagyobb, akkor az előbbi (31)-es, ellenkező esetben a másik egyenletet kell alkalmazni.

## 6. Optimalás

A folyamat célja, hogy meghatározásra kerüljön a keresztmetszet megfelelő geometriája több szempontot is figyelembe véve. Ezek a szempontok jelen esetben az alábbiak: a lehajlás minimálása, valamint a fáradásból bekövetkező tönkremenetelig elért ciklusszám és ezzel az élettartam maximálása, továbbá a költségminimum. Ezek a folyamat célfüggvényei, tehát a feladat jelen esetben többcélűfüggvényes optimalás. A célfüggvények hatása egymással ellentétes a keresztmetszetre nézve, hiszen a tömeg és vele a költségminimum csökkenteni igyekszik a keresztmetszet területét, addig a lehajlás és a ciklusszám hatása pedig fordított. A korlátozó feltételek a következők: a feszültségi feltétel, miszerint a fellépő redukált feszültség legyen kisebb, mint a szerkezethez választott acél folyáshatárából meghatározott megengedett feszültség, a következő a stabilitás elvesztéséből adódó horpadási feltétel. A változók száma négy, hiszen az I-szelvény geometriája ezzel a négy változóval jellemezhető, melyek a következők:  $h$  a gerinclemez magassága,  $b$  az övlemezek szélessége,  $t_f$  az övlemezek vastagsága,



$t_w$  a gerinclemez vastagsága. A több célfüggvény kezelése több módon is megoldható, például a súlyozásos módszer, a globális kritérium módszere vagy a min-max eljárás is alkalmas lehet a probléma kezelésére. Jelen feladat megoldására a normált súlyozás módszere lett felhasználva, melynek matematikai képletei a következők [1, 4]:

$$f(x) = \sum_{i=1}^r \frac{w_i \cdot f_i(x)}{f_i^0}, \quad (32)$$

$$\sum_{i=1}^r w_i = 1, \quad (33)$$

$$f_i^0 \neq 0 \text{ és } w_i \geq 0. \quad (34)$$

Ez a módszer tehát kiküszöböli a célfüggvényértékek közötti nagyságrendbeli eltéréseket, valamint lehetőséget ad az egyes változók fontosságának kezelésére is a  $w_i$  súlyozó tényező segítségével. Így a többcélű problémát skaláris, egycélű problémává alakítható. A további feltételek, melyek korlátozzák

a változók értékeit, egy része geometriai méretekre vonatkozik a vizsgált tartomány csökkentése céljából, míg vannak a horpadási feltételből következő előírások a geometriára [1, 4].

$$\frac{h}{t_w} \leq 69\varepsilon, \quad (35)$$

$$\frac{b}{t_f} \leq 28\varepsilon. \quad (36)$$

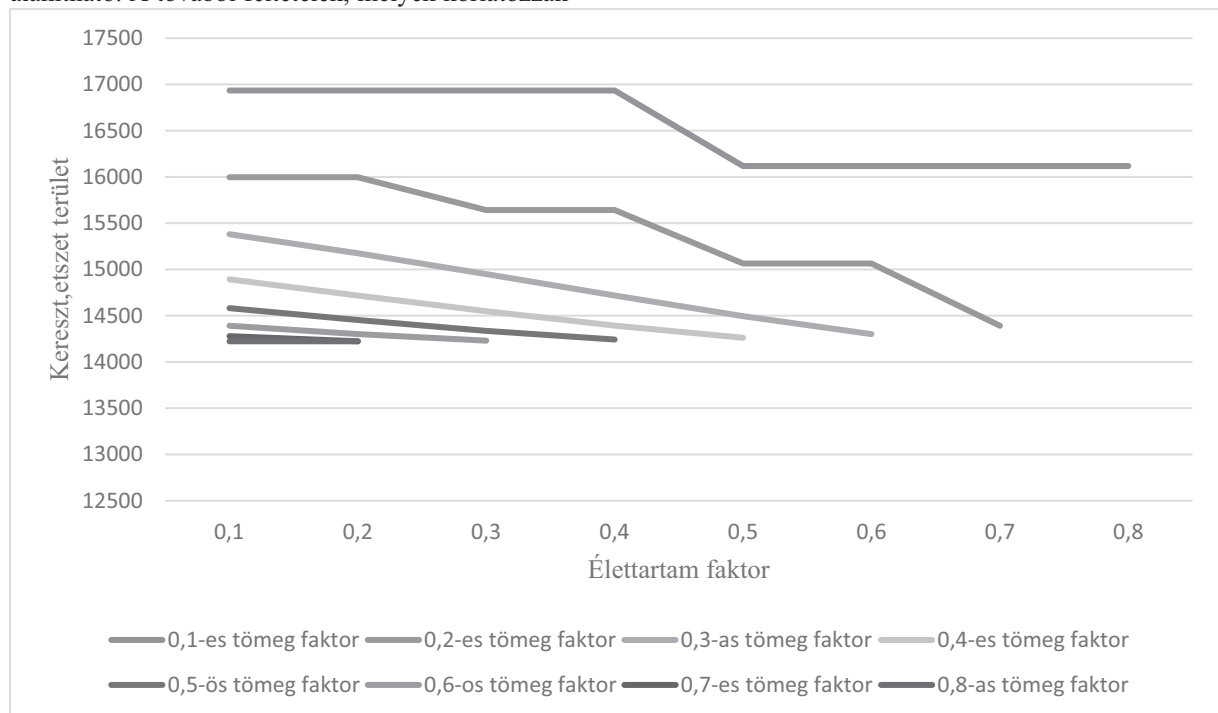
Ahol  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}}. \quad (37)$$

A változókra vonatkozó tartomány látható az alábbi 7. táblázatban.

$h \leq 1000$ mm	$250 \text{ mm} \leq b$	$5 \text{ mm} \leq t_f \leq 60$ mm	$5 \text{ mm} \leq t_w \leq 60$ mm
---------------------	-------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------

7. táblázat: a változók vizsgált tartománya



13. ábra: A súlyozó tényező hatása az optimumra

A súlyozó tényezők, ezen módszer esetén jelentős hatással bírnak az optimum értékét illetően. Ezen az ábrán az az eset látható, amikor a szerkezet tömegére vonatkozó súlyozó faktor értéke 0,1-ről indul és ez egy adott esetben állandó, ahol minden esethez tartozik két további tényező, melyek az élettartamra

és a tartó lehajlására vonatkoznak. A számítások során az élettartamra vonatkozó faktor léptetése történt 0,1-es értékkel, így a harmadik tényező minden esetben kiadódott a (34)-es egyenletnek megfelelően. Ezzel a módszerrel a vizsgált esetek száma összesen 35. A keresztmetszet területre

gyakorolt hatást mutatja az alábbi 13. ábra. A feltüntetett értékek mindegyike optimum, de mind más és más súlyozás esetén. Azt, hogy az adott szerkezetnél a tömeg, az élettartam vagy a deformáció bír kiemelt fontossággal megadni a tervező feladata [1, 6].

## 7. Összefoglalás

A cikkben egy a gyakorlat számára is jelentős probléma került tárgyalásra, név szerint a gátolt csavarás jelensége, mely gyakori jelenség a mindennapokban. Elvégzésre került a fellépő feszültségek és az ezek miatt adódó alakváltozások meghatározása mind analitikus úton, mind ezen eredményeket alátámasztva végeelem módszer segítségével is ANSYS 2019 R1-es szoftverben. A fáradási számítások során a cél a fáradásos tönkremenetelig elért ciklusszámok meghatározása volt. Az optimálás több célfüggvény alapján lett elvégezve, melynek kezelésére a normált súlyozás lett felhasználva. Végeredményben különböző súlyozó tényezőkkel előállított optimumok kerültek meghatározásra.

## 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A bemutatott kutatómunka az EFOP-3.6.1-15-2016-00011 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."

## 9. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Farkas József, Jármái Károly: Fémszerkezetek innovatív tervezése, Gazdász-Elasztik Kiadó és Nyomda, Miskolc, 2015.
- [2] I. Baláz, M. Kováč, T. Živner, Y. Koleková, "Resistances of I-Section to Internal Forces Interactions," Key Engineering Materials, vol. 710, pp.309-314, 2016, 2019, Vol. 471, Session 4, Paper No.052091. (<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KE M.710.309>)
- [3] Muttnyánszky Á. Szerkezetek szilárdságtana, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981,
- [4] J. Farkas: Optimum design of metal structures, Ellis Horwood Publisher, Chichester, 1984.
- [5] EN 1993-1-9, Eurocode 3, Design of steel structures-Part 1-9: Fatigue, 2005.
- [6] K., Jármái ; M., Petrik: Minimum mass design of compressed I-section columns with different design rules. In: Peter, Platko; Mohamad, Al Ali (szerk.) Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies III. London, Egyesült Királyság / Anglia : CRC Press - Taylor and Francis Group, (2019) pp. 119-124. , 6 p.

# HEGESZTETT ASZIMMETRIKUS I-TARTÓK OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE A MINIMÁLIS HEGESZTÉSI VETEMEDÉSHEZ

## OPTIMUM DESIGN OF WELDED ASYMMETRIC I-BEAMS FOR MIMIMUM WELDING SHRINKAGE

Jármai Károly\*, Petrik Máté\*\*

### ABSTRACT

A calculation system has been developed to determine the optimum dimensions of asymmetric I-beams for minimum shrinkage. The objective function is the minimum mass, the unknowns are the I-beam dimensions, the constraint are the stress, local buckling and deflection. We have considered different steel grades (235, 355, 460 MPa yield stress) and different aluminium alloy (90, 155, 240 MPa yield stress). The material, the span length and the loading have been changed. It is shown, that using optimum design, one can reduce the welding shrinkage with prebending and can save material cost as well.

### 1. BEVEZETÉS

Acélszerkezetek hegesztéssel történő előállításánál nagy hőbevitel, és az ezt követő hűtés eredményeként deformációk és maradó feszültségek keletkeznek az alapanyagban [1]. Ezek a maradó feszültségek, valamint a kezdeti pontatlanságok nagy hatással vannak a változó terheléssel igénybe vett szerkezetekre [2,3], mivel köztudott, hogy ezek a kezdeti hegesztési hibák csökkentik a szerkezet végső szilárdságát. Számos cikk foglalkozik ezeknek a szerkezeteknek az optimalizálásával, ahol probabilisztikus megközelítést és topológia optimalizálást vizsgáltak [5,6], de ugyanakkor a hegesztési vetemedésnek is jelentős hatása van [7].

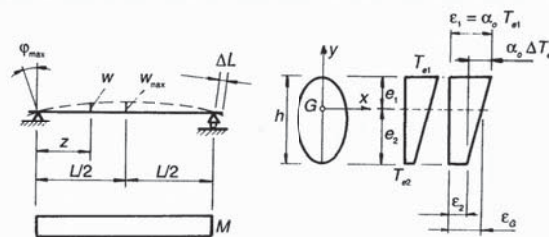
Annak ellenére, hogy voltak törekvések a vizsgált geometria mérésekkel és kísérletekkel alátámasztott összefüggéseinek leírására, elmondható, hogy elméleti szempontból kevés kutatás történt. A panelok hegesztési vetemedésének gyakorlati becslési módszerének megismerése érdekében Okerblom [8,9] a következő elemzéseket végezte.

### 2. A TERMIKUS RUGALMASSÁG EGYSZERŰ PÉLDÁI

Feltételezzük a következőket:

- a hőtágulási tényező és a rugalmassági modulus értéke független a hőmérséklettől
- az alakváltozások a rugalmas tartományba esnek, tehát a Hooke-törvény érvényes
- a gerenda keresztmetszete az alakváltozás után is sík marad
- a keresztmetszet területe állandó
- a vizsgált tartó egyetlen anyagminőségből készül
- a hőeloszlás a tartó tengelye mentén állandó és független az időtől

Egy egyszerűen alátámasztott tartó hőterhelésből származó hosszváltozását ( $\Delta L$ ) és deformációját ( $w_{max}$ ) mutatja az 1. ábra.



1. ábra: Alátámasztott tartó alakváltozása egyenletes hőmérsékleteloszlás esetén

A súlyponti szál nyúlása az  $\epsilon_G = \alpha_0 T_{es} = \alpha_0 (T_{e1} - \Delta T_e e_1 / h)$  összefüggéssel határozható meg. Itt a  $\Delta T_e = T_{e1} - T_{e2}$  a hőmérsékletkülönbség, az  $\alpha_0$  pedig a hőtágulási tényező. A tartó hosszváltozása a ( $\Delta L$ ) a hőmérsékletváltozásból származik,  $\Delta L = \epsilon_G L$ . A keresztmetszet mentén a hőmérséklet-eloszlás nem egyenletes, és ez okozza a tartó görbületét.

\* egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépészeti Intézet Tanszék

\*\* tanársegéd, Miskolci Egyetem Vegyipari Gépészeti Intézet Tanszék

A görbület a  $C = \frac{1}{\rho_0} = \frac{\alpha_0 \Delta T_e}{h}$  összefüggéssel határozható meg. Kapcsolat áll fenn a görbületi sugár, a hajlítónyomaték és a hajlítási merevség között:  $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI_x}$ . A görbület a tartó teljes hossza mentén történő hajlítás eredményeként értelmezhető, mint  $M = \frac{\alpha_0 \Delta T_e EI_x}{h}$ .

A szögelfordulás az  $\varphi(z) = \frac{M}{EI_x} \left( \frac{L}{2} - z \right)$  összefüggéssel jellemezhető, ennek maximális értéke  $\varphi_{max} = \frac{CL}{2}$ , míg az elmozdulás  $w(z) = \frac{M}{2EI_x} (Lz - z^2)$  összefüggéssel, melynek maximum értéke  $w_{max} = \frac{CL^2}{8}$ .

Ha feltételezzük, hogy a keresztmetszet sík marad, csak egy lineáris nyúlás ébred a keresztmetszetben. Ez a nyúlás a súlyponti szál önsúlyából származó nyúlásának és a hőmérsékletből származó deformáció összegeként jellemezhető:  $\varepsilon = \varepsilon_G + Cy$ . Az ébredő feszültségek az elméleti hőtágulásból származó nyúlások és a lineáris nyúlások különbségéből határozhatók meg:

$$\sigma = E\varepsilon = E(\varepsilon_G + Cy - \alpha_0 T_e(y)) \quad (1)$$

A vizsgált tartón nincs egyéb külső terhelés, tehát a hőtágulásból származó feszültségek egyensúlyban vannak,

$$\int_{(A)} \sigma dA = 0 \text{ és } \int_{(A)} \sigma y dA = 0 \quad (2)$$

Az 1. egyenletet a 2. egyenletbe illesztve kapjuk a következő összefüggéseket:

$$\varepsilon_G = \frac{1}{A} \int_{e_1}^{e_2} \alpha_0 T_e(y) t(y) dy \quad \text{és}$$

$$C = \frac{1}{I_x} \int_{e_1}^{e_2} \alpha_0 T_e(y) y t(y) dy \quad (3)$$

Amennyiben a tartó falvastagsága konstans ( $t(y)=t$ ), definiálható a hőzsugorodási impulzus ( $A_T$ ) értéke,

$$A_T = \int_{e_1}^{e_2} \alpha_0 T_e(y) dy \quad (4)$$

a hőimpulzus nyomaték pedig

$$A_T y_t = \int_{e_1}^{e_2} \alpha_0 T_e(y) y dy \quad (5)$$

Használva az előbbi összefüggéseket, a súlyponti szál nyúlása és a görbületi sugár értéke a következő:

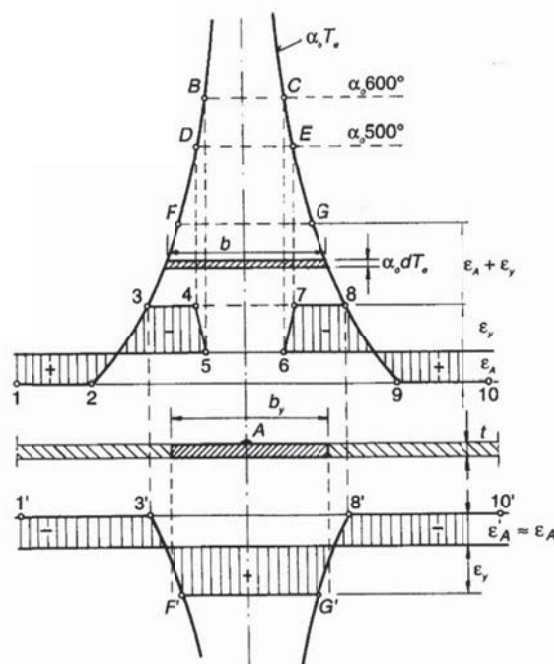
$$\varepsilon_G = \frac{A_T t}{A} \quad (6)$$

$$C = \frac{A_T y_t}{I_x} \quad (7)$$

### 3. AZ OKERBLOM-FÉLE ELEMZÉS

Bármely szerkezeti elem a hegesztése során torzulást szenved a hegesztési varrat tengelye mentén történő zsugorodás miatt. Egy szélein hegesztett rúd például ( $\Delta L$ ) rövidülést és ( $w_{max}$ ) deformációt szenved. Az elvégzett kísérletek azt mutatják, hogy Okerblom számítása kiváló előrejelzéseket ad a varrat mentén fellépő zsugorodás okozta hosszirányú deformációkról [8, 9]. Fejlesztettek ki ettől eltérő számítási módszereket [10, 11, 12], de Okerblom módszere sokkal egyszerűbb.

Okerblom alapvetően a mozgó hőforrások analitikus hőátadási elméletét használja fel a hegesztési varrat hőterhelésének és feszültség-eloszlásának meghatározására. A módszer alapvető célja az 1. ábrán is bemutatott zsugorodás ( $\Delta L$ ) és deformáció ( $w$ ) előrejelzése. Az elemzéssel stationárius hőforrás által keltett hőmérséklet izoterma sorozat előállítására érhető el. A módszer lineárisan rugalmas és ideálisan képlékeny alapanyagot feltételez. A folyáshatár értéke  $500^\circ\text{C}$ -ig állandó, majd  $500$  és  $600^\circ\text{C}$  között zérusra csökken.  $600^\circ\text{C}$  felett nincs mérhető feszültség az anyagban.



2. ábra: Hőfeszültségek eloszlása hegesztés közben és után

A  $T_e$  hőmérséklet Okerblom által javasolt közelítő értéke

$$T_e = \frac{0,4840 Q_T}{c_0 \rho t 2y} \quad (8)$$

ahol  $c_0$  az anyag fajhője,  $\rho$  a sűrűsége és  $t$  a lemez vastagsága.

A hőimpulzus nagyságát a 2. ábra szerint lehet kiszámítani. Az 1-10 pontokkal jellemzett ábra a

hegesztés közben kialakuló feszültségállapotot mutatja be. Ez úgy érhető el, hogy a B és C pontokat a képlékeny deformációt reprezentáló vonalra vetítik le. Mint látható, a B és C pontok a 600°C-hoz tartoznak, tehát ezek között nem keletkezik feszültség. A 3-4 és 7-8 pontok az 500°C-hoz tartozó D és E pontok levetítésével kaphatók meg. A 3 és 8 pontok között képlékeny feszültség alakul ki hegesztés közben, melyekből a hűlés után a maradó feszültségek alakulnak ki.

A maradó feszültség diagramjához az ábrán látható 3 és 8 pontokat kell az 1'-10' alapvonalra levetíteni. Figyelembe véve a képlékeny alakváltozás nagyságát  $\varepsilon'_A \approx \varepsilon_A$  hűlés közben és az  $\varepsilon_y$  vonalat, a maradó feszültségek diagramja előállítható 1'-3'-F'-G'-8'-10'. A 3'-F'-G'-8' által bezárt terület jellemzi az  $A_T$  hőzsugorodási impulzus nagyságát, ami a szerkezet alakváltozását és maradó feszültségeit okozza.

Mivel a 3'-F' és 8'-G' vonalak hossza megegyezik a 3-F és 8-G vonalak hosszával, az  $A_T$  értéke számítható a 3-F-G-8 terület vizsgálatával.

$$A_T = \int_{\varepsilon_A + \varepsilon_y}^{2(\varepsilon_A + \varepsilon_y)} b \alpha_o dT_e = \frac{0,4840 \alpha_o Q_T}{c_o \rho t} \int_{T_{e1}=(\varepsilon_A + \varepsilon_y)/\alpha_o}^{T_{e2}=2T_{e1}} \frac{dT_e}{T_e} \quad (9)$$

$$A_T = \frac{0,4840 \alpha_o Q_T}{c_o \rho t} \ln 2 = \frac{0,3355 \alpha_o Q_T}{c_o \rho t} \quad (10)$$

Az összefüggésekben  $Q_T = \eta_0 \frac{UI}{v_w} = q_0 A_w$ ,  $U$  az ívfeszültség,  $I$  az íváramerősség,  $v_w$  a hegesztési sebesség,  $c_o$  a fajhő,  $\eta_0$  a hatásfok értéke,  $q_0$  a hőáramsűrűség ( $1 \text{ mm}^2$ ),  $A_w$  pedig a hegesztési keresztmetszete.

Lágyacélok esetén, amiknél  $\alpha_o = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  és  $c_o \rho = 4,77 \cdot 10^{-3} \text{ J/mm}^3/^\circ\text{C}$ , a hőimpulzus értéke

$$A_T t [\text{mm}^2] = 0,844 \cdot 10^{-3} Q_T [\text{J/mm}]$$

Visszahelyettesítve a (6) és (7) egyenletekbe megkapjuk Okerblom alapösszefüggését:

$$C = \frac{A_T t y T}{I_x} = -0,844 \cdot 10^{-3} \frac{Q_T y T}{I_x} \quad (12)$$

Megjegyzendő, hogy a torzult alakot a nézet alapján határozzuk meg, vagyis a  $y_T$  és  $C$  értékek egymással ellentétes előjelűek.

$$\varepsilon_A = \varepsilon_G + C y_T \quad (13)$$

A hegesztés körül kialakuló képlékeny alakváltozás tartománya:

$$b_y = \frac{A_T}{\varepsilon_A + \varepsilon_y} \quad (14)$$

Ebben a zónában a maradó feszültségek nagysága meghaladja a folyáshatár értékét. Ennek a tartománynak a mérete

$$A_y = b_y t = \frac{A_T t}{\varepsilon_A + \varepsilon_y} \quad (15)$$

Alkalmazva a (6), (7) és (13) összefüggéseket

$$\frac{1}{A_y} = \frac{1}{A} + \frac{y_T^2}{I_x} + \frac{\varepsilon_y}{A_T t} \quad (16)$$

Abban az esetben, ha a tartó a hegesztés során nem görbül, például szimmetrikus hegesztési elrendezés esetén, a (16) a következő formát veszi fel:

$$\frac{1}{A_y} = \frac{1}{A} + \frac{\varepsilon_y}{A_T t} \quad (17)$$

Acélok esetén

$$\frac{1}{A_y} = \frac{1}{A} + \frac{y_T^2}{I_x} + \frac{14,3}{Q_T} \rightarrow [J, \text{mm}] \quad (18)$$

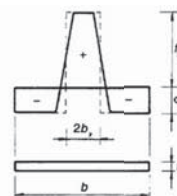
Ha a szerkezet nagyon merevnek tekinthető, akkor a képlékeny zóna területe

$$\frac{1}{A_y} = \frac{\varepsilon_y}{A_T t} \quad (19)$$

Acélokra

$$A_y = \frac{Q_T}{14,3} \quad (20)$$

A húzó- és nyomófeszültséggel terhelt rúd egyensúlyi egyenlete a 3. ábra alapján értelmezhető.



3. ábra: Középen hegesztett lemez feszültség-eloszlása

### 3. A kezdeti deformáció hatása

Az előző fejezetben olyan alapanyagokat feltételeztünk, melyek a kezdeti állapotban nem rendelkeznek sem feszültséggel, sem pedig alakváltozással. A gyakorlatban azonban ilyen szerkezetek ritkán fordulnak elő, mivel vagy az alapanyagban, vagy pedig egy előző hegesztésből maradó feszültségek vannak jelen. Ugyanilyen hatása van az előmelegítésnek, lángvágásnak és előfeszítésnek.

Ebben az esetben az alakváltozási diagram hasonló a 2. ábrán vázoltéhoz, kivéve a kezdeti alakváltozást, melyet a 4. ábra mutat be. Az alakváltozást az  $\varepsilon_y - \varepsilon_1$  különbsége okozza, míg a tényleges tartomány az ABCD pontok közötti terület. A hőimpulzust a következő összefüggéssel lehet meghatározni:

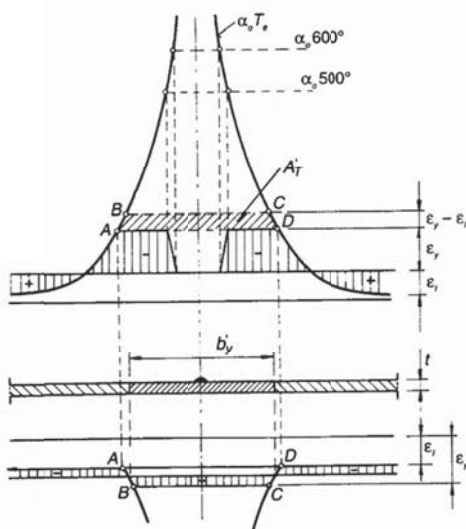
$$A'_T = \int_{\varepsilon_1 + \varepsilon_y}^{2\varepsilon_y} b \alpha_0 dT_E = \frac{0,484 \alpha_0 Q_T}{c_0 \rho t} \int_{T_{e1}}^{T_{e2}} \frac{dT_e}{T_e} \quad (21)$$

$$A'_T = \frac{0,484 \alpha_0 Q_T}{c_0 \rho t} \ln \frac{2\varepsilon_y}{\varepsilon_y + \varepsilon_1} \quad (22)$$

A kezdeti deformáció hatásának figyelembevételére bevezettek egy módosító paramétert ( $v_m$ ), mely a kezdeti nyúlással és anélkül számítható hőimpulzus aránya.

$$v_m = \frac{A'_T}{A_T} = 1 - \frac{\ln \left( 1 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_y} \right)}{\ln 2} \approx 1 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_y} \quad (23)$$

A közelítő összefüggés  $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_y} \geq 0$  esetben alkalmazható.



4. ábra: Hőfeszültségek eloszlása hegesztés közben és után a kezdeti nyúlásnak köszönhetően

Az 5. ábra a módosító paramétert ( $v_m$ ) ábrázolja az  $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_y}$  függvényében. Kezdeti alakváltozás nélkül nem szükséges a módosító tényezőt alkalmazni, tehát  $\varepsilon_1=0$  és  $v_m=1$ . Amennyiben van kezdeti alakváltozás, vagyis  $0 < \varepsilon_1 < \varepsilon_y$ , akkor  $1 > v_m > 0$ . Ha a kezdeti alakváltozás a folyási alakváltozással egyezik meg, a módosító tényező értéke zérus ( $\varepsilon_1 = \varepsilon_y$ ,  $v_m = 0$ ), valamint abban az esetben, ha a kezdetben nyomással terheljük (vagyis  $\varepsilon_1 < 0$ ), a módosító tényező 1-nél nagyobb értéket vesz fel. Ez viszont növelné a kialakuló alakváltozás értékét, így az összefüggés nem alkalmazható.

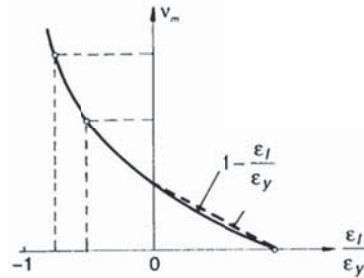
A zsugorodás mértéke a hőhatásból a 4. ábra alapján

$$A'_T = \frac{b'_y}{\varepsilon_y - \varepsilon_1} \quad (24)$$

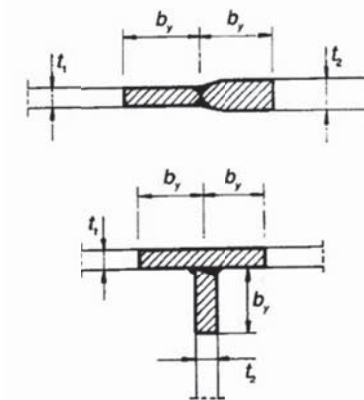
a képlékeny zóna területe a 6. ábra alapján

$$A'_y = b'_y = \frac{A'_T t}{\varepsilon_y - \varepsilon_1} = \frac{v_m A_T t}{\varepsilon_y - \varepsilon_1} \quad (25)$$

ha  $\varepsilon_1 > 0$  akkor  $A'_y = \frac{A_T t}{\varepsilon_y}$  szerint számítható, ami lágyacél esetén  $A'_y = \frac{Q_T}{1,43}$  (J, mm).



5. ábra: A módosító paraméter a kezdeti alakváltozás függvényében



6. ábra: A képlékeny zóna területe

### 3.1. A maradó feszültségek csökkentése

Többféle módszer létezik a hegesztett szerkezetek maradó feszültségeinek csökkentésére [13,14], melyek a következők lehetnek:

*Feszültségcsökkentő módszerek a tervezés szakaszában*

- az alkalmazott szelvény szimmetrikus a tömegközéppontra
- szimmetrikus varratok
- megfelelő hegesztési sorrend
- a hegesztési paraméterek megfelelő megválasztása
- szorítószervekben történő hegesztés
- előhajlított állapotban történő hegesztés

A deformáció értéke sokkal nagyobb, ha a keresztmetszet aszimmetrikus vagy a hegesztett kötés csak a keresztmetszet egyik oldalán van. Az ellentétes oldalon lévő varrat csökkenti a deformációt. A hegesztés sorrendje is jelentős hatással bír a szerkezet végső deformációjára nézve. Ez a deformáció olyan sorrenddel érhető el, ha a súlyponthoz legközelebb eső varrattal kezdődik a hegesztés és a vele ellentétes oldalon lévővel folytatódik. A hegesztési paraméterek megválasztása is fontos szempont, melyek közé a

feszültség, áramerősség és a hegesztési sebesség tartozik. A különböző varratok különböző hőbevitellel történő kialakítása is csökkentheti a deformáció értékét. Ebben a tanulmányban az előhajlítás témakörével foglalkoztunk a zsugorodás kiküszöbölése érdekében.

*Hegesztés rugalmasan előhajlított állapotban, szorítóeszközben*

A gyártási sorrend: előhegesztés, előhajlítás, szorítás, hegesztés, lazítás (7. ábra).

Annak érdekében, hogy elkerüljük a nagy deformációkat, az előhajlítás nyomatéka ne legyen nagyobb, mint

$$M_y = \frac{f_y I_x}{y_{max}} \quad (26)$$

Az  $M_y$  által okozott görbületi sugár és deformáció értéke

$$C_y = \frac{M_y}{EI_x} \rightarrow w_y = \varepsilon_y \frac{L^2}{8y_{max}} \quad (27)$$

Az előhajlításból származó  $w_p < w_y$  húzó deformációt fog okozni a hosszanti varrat helyén

$$\varepsilon_p = C_p y_T = w_p \frac{8y_T}{L^2} \quad (28)$$

ahol a megfelelő módosító tényező

$$v_m = 1 - \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_y} \quad (29)$$

A hegesztés után a gerenda egyenességének megtartásához szükséges hajlítónyomaték két részből áll: az előhajlításához szükséges nyomatékból

$$M' = I_\zeta E C_p = 8w_p \frac{EI_\zeta}{L^2} \quad (30)$$

valamint a maradó feszültségek kiküszöböléséhez szükséges nyomatékból

$$M'' = v_m I_\zeta E C = 8v_m w \frac{EI_\zeta}{L^2} \quad (31)$$

Ezek a nyomatékok pontosan ellentétesek a lazításkor ébredő feszültségekkel, ezért csökkentik a deformáció értékét

$$M = M' + M'' = I_\zeta E C_p + v_m I_\zeta E C \quad (32)$$

így a végső maradó alakváltozás a következő összefüggésekkel határozható meg:

$$w_f = w - w_p = \frac{M' + M''}{8EI_x} L^2 - w_p \quad (33)$$

$$w_f = (w_p + v_m w) \frac{I_\zeta}{I_x} - w_p \quad (34)$$

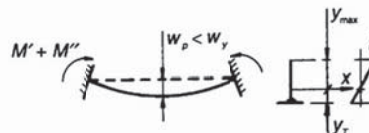
ahol  $v_m = 1 - \frac{8w_p y_T}{L^2 \varepsilon_y}$

- $I_x$  a rugalmasan alakváltozó tartomány másodrendű nyomatéka
- $I_\zeta$  a rugalmasan alakváltozó tartomány másodrendű nyomatéka a képlékeny tartomány értékével csökkentve

- $C$  a gerenda görbülete, melyet szabad állapotban történő hegesztés okozna
- $v_m$  a korrekciós tényező a (24) szerint

A  $w_p$  előhajlítás értéke, mely a hegesztési deformációk teljes megszüntetéséhez szükséges a  $w_f = 0$  feltételből számítható.

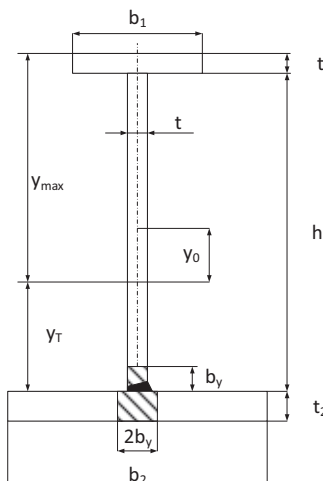
$$w_p = \frac{w}{\frac{I_x}{I_\zeta} + \frac{8y_T w}{L^2 \varepsilon_y} - 1} \quad (35)$$



7. ábra: Hegesztés rugalmasan előhajlított állapotban, szorítóeszközben

#### 4. NUMERIKUS SZÁMÍTÁSI PÉLDÁK SZORÍTÓESZKÖZBEN, ELŐHAJLÍTOTT ÁLLAPOTBAN TÖRTÉNŐ HEGESZTÉSRE

Tekintsük a 8. ábrán látható aszimmetrikus I-szelvényt.



8. ábra: A hegesztett I-szelvény keresztmetszete

Ezen a keresztmetszeten egy hegesztési varrat található. A szelvényre vonatkozó a következő paraméterek adottak:

- a szelvény hossza  $L$  [m], 5-10 m között,
- a diszkrét erő nagysága  $F$  [N], 10000-100000 N között,
- rugalmassági modulus  $E$  [MPa], 210 GPa acélokra, 70 GPa alumíniumra,
- folyáshatár  $f_y$  [MPa], acélokra 235-460 MPa, alumíniumra 80-230 MPa,
- az alapanyag sűrűsége  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>], 7850 kg/m<sup>3</sup> acélra, 2700 kg/m<sup>3</sup> alumíniumra,
- fajhő  $c$  [J/kgK], 510 J/kgK acélra, 910 J/kgK alumíniumra,
- hőtágulási együttható [1/K],  $11 \cdot 10^{-6}$  1/K acélra,  $22 \cdot 10^{-6}$  1/K alumíniumra

A keresztmetszetre vonatkozó geometriai paraméterek:

- $b_1$  a felső övlemez szélessége,
- $t_1$  a felső övlemez falvastagsága,
- $h$  a gerinclemez magassága,
- $t$  a gerinclemez falvastagsága,
- $b_2$  az alsó övlemez szélessége,
- $t_2$  az alsó övlemez falvastagsága,

Számítási adatok:

- $L=10$  m
- $F=98100$  N
- $f_y=460$  MPa
- a lemez szöge a hegesztés szöge:  $\beta=50^\circ$
- a hőbevitel nagysága:  $60700$  J/m<sup>3</sup>
- az alkalmazott szabvány: Eurocode 3.

Egy Excel-számológéptábla elkészítése után az 1. táblázat az optimális méreteket mutatja:

$b_1$	188,67685 mm
$t_1$	9,427696 mm
$h$	362,93855 mm
$t$	7,3591728 mm
$b_2$	188,67685 mm
$t_2$	9,4276958 mm

1. táblázat: Optimált értékek

a tömegközéppont helye:

$$\int_{(A)} y dA = 0$$

$$0,8ht \left( \frac{h+t}{2} - y_0 \right) - hty_0 - 0,4ht \left( \frac{h+t}{2} + y_0 \right) = 0$$

$$y_0 = 0 \text{ mm}$$

a másodrendű nyomaték nagysága,

$$I_x = \int_{(a)} y^2 dA = \frac{h^3 t}{12} + hty_0 + \frac{0,8ht^3}{12} + 0,8ht \left( \frac{h+t}{2} - y_0 \right)^2 + \frac{0,4ht^3}{12} + 0,4ht \left( \frac{h+t}{2} + y_0 \right)^2 = 1,6008 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

a keresztmetszet területe,

$$A = 6228,504 \text{ mm}^2$$

A rugalmas előhajlítás nagysága a (36) szerint

$$w_f = 0, w_p = \frac{I_x + 8y_T w}{I_x^2 + L^2 \varepsilon_y} - 1$$

Az  $y_T=181,469$  mm,  $w=26,83$  mm,  $\varepsilon_y=2,19 \cdot 10^{-3}$  értékkel számítva  $w_p=61,975$  mm. Az előhajlításnak a rugalmas tartományon belül kell maradnia, melynek a határértéke

$$w_y = C_y \frac{L^2}{8} = \varepsilon_y \frac{L^2}{8y_{max}} = 143,43 \text{ mm}$$

ahol  $y_{max}=190,89$  mm. Mivel az előhajlítás nagysága kisebb, mint a képlékenységhez szükséges érték, az előhajlítás alkalmazható.

## 5. OPTIMÁLÁS MINIMÁLIS TÖMEGRE

Az optimalás az MS-Excel Solver nevű bővítményével készült, a beépített az általánosított redukált gradiens módszer felhasználásával.

A számítások során a célfüggvény, aminek a minimumát keressük, a hegesztett szelvény tömege volt. Az ismeretlenek a szelvény keresztmetszetéhez tartozó paraméterek, melyek a  $b_1, t_1, h, t, b_2, t_2$  értékek.

Optimálási korlátok

- statikus terhelés, melynek határa az  $f_y/1,5$  érték
- az Eurocode 3 és 9 [15, 16] szerinti lokális lemezhorpadások, melyek

acélra:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{1}{\delta} = 28\varepsilon \quad (37)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1}{\beta} = 69\varepsilon \quad (38)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} \quad (39)$$

alumíniumra

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{1}{\delta} = 4\varepsilon \quad (40)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1}{\beta} = 15\varepsilon \quad (41)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{250 \text{ MPa}}{f_y}} \quad (42)$$

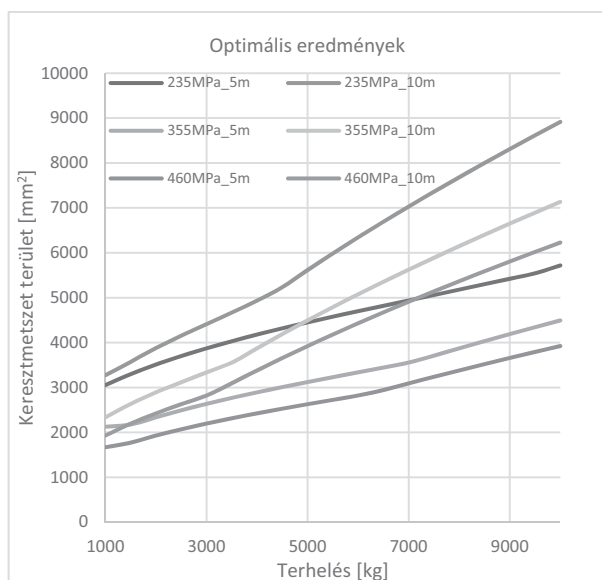
Az előhajlításra vonatkozó kényszer a (36) és (37) egyenletekben találhatóak.

## 6. EREDMÉNYEK

Acél alapanyag esetén az optimalás eredményét az acéltípus függvényében a 9. ábra mutatja.

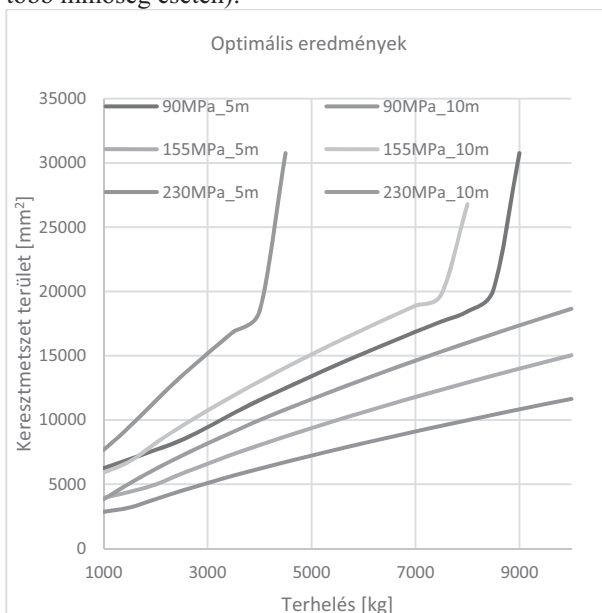
A 9. ábra azt mutatja, hogy a keresztmetszet terület arányos a terheléssel, de a növekmény értéke függ a szelvény hosszától. Nagyobb szilárdságú acél használatával a felhasznált anyag mennyisége csökkenthető. Ez a megtakarítás 21,4% abban az esetben, ha 355 MPa folyáshatárú acélt használunk 235 MPa-ú helyett, és 31,4%, ha 460 MPa-t használunk a 235 MPa helyett.





9. ábra: Az optimális keresztmetszet területek különböző acélfajták esetén

Alumínium esetén az eredmények a következők (szintén több minőség esetén):



10. ábra: Az optimális keresztmetszet területek különböző alumíniumfajták esetén

A 10. ábra azt mutatja, hogy a keresztmetszet területe ismét arányos a terheléssel, de a növekmény értéke ismét függ a szelvény hosszától. A kisebb sűrűségű alumíniumnál a stabilitási kényszer nagyobb hatással van a keresztmetszet területekre, főleg hosszabb szelvények esetén. Ebben az esetben is igaz, hogy nagyobb szilárdságú alumínium felhasználásával a keresztmetszet terület értéke csökkenthető. Ez a megtakarítás 54,5%, ha 155 MPa folyáshatárú anyagot használunk 90 MPa helyett, és 64,8%, ha 230 MPa folyáshatárút használunk a 90 MPa helyett. Hosszabb szelvények esetén a keresztmetszet területek ugrásszerűen megnövekednek a helyi horpadás miatt.

## 7. ÖSSZEGZÉS

Ez a tanulmány az aszimmetrikus I-szelvények optimális méreteinek meghatározását mutatta be a minimális zsugorodás függvényében. Az optimális során a célfüggvény a tömeg (a keresztmetszet terület) minimalizálása volt, az ismeretlen paraméterek az I-szelvény geometriai méretei, míg az optimálási kényszerek pedig a feszültség, a helyi horpadás, valamint a hegesztési zsugorodás voltak. A számításokat különböző szilárdságú acélokra (235, 355, 460 MPa), valamint különböző szilárdságú alumíniumokra (90, 155, 240 MPa) végeztük el. A számítások során az alapanyag, a szelvényhossz és a terhelés értéke változott. Bemutattuk, hogy az optimális kialakítással és megfelelő előhajlítással a hegesztésből származó alakváltozások csökkenthetők is kiküszöbölhetők, valamint keresztmetszet-csökkentés is elérhető. Acélok esetén a költségmegtakarítás akár 31,4%, míg alumíniumok esetén akár 64,8% is lehet.

## 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

"A cikkben/előadásban/tanulmányban 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"

## 9. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Markus Urner, Tim Welters, Klaus Dilger: Calculation of Welding Residual Stresses and Distortions under Complex Process Conditions, Design, Fabrication and Economy of Welded Structures International Conference Proceedings, 2008, pp. 395-402, doi.org/10.1533/9781782420484.8.395
- [2] Helmut Wohlfahrt, Thomas Nitschkepagel, Klaus Dilger, Dieter Siegele, Marcus Brand, Jens Sakkietitbutra, Tobias Loose: Residual Stress Calculations and Measurements — Review and Assessment of the IIW Round Robin Results, Weld World, Vol. 56, Issue 9–10, pp 120–140 (2012). doi.org/10.1007/BF03321387
- [3] Akihiro Kawaguchi, Shinsuke Itoh, Masahito Mochizuki and Masashi Kameyama: Large-Scale Computation of Welding Residual Stress, Progress in Nuclear Science and Technology, Vol. 2, pp.613-619 (2011)
- [4] Hafiz Waqar Ahmad, Jeong Ho Hwang, Ju Hwa Lee and Dong Ho Bae Welding Residual Stress Analysis and Fatigue Strength Assessment of Multi-Pass Dissimilar Material Welded Joint between Alloy 617 and 12Cr Steel, Metals 2018, Vol. 8, No. 21; 11 p. doi:10.3390/met8010021

- [5] Joni Keski-Rahkonen: Probabilistic framework for product design optimization, *Rakenteiden Mekaniikka (Journal of Structural Mechanics)* Vol. 50, No 3, 2017, pp. 122-126. <https://doi.org/10.23998/rm.64959>
- [6] Timo Turkkila: Topology optimization of cast iron parts *Rakenteiden Mekaniikka (Journal of Structural Mechanics)* Vol. 50, No 3, 2017, pp. 368-371 [/doi.org/10.23998/rm.64936](https://doi.org/10.23998/rm.64936)
- [7] Károly Jármai: Optimum design of welded structures, *Rakenteiden Mekaniikka (Journal of Structural Mechanics)*, Vol. 50, No 3, 2017, pp. 326-329. [doi.org/10.23998/rm.65153](https://doi.org/10.23998/rm.65153)
- [8] Okerblom, N.O. (1955) *The calculations of deformations of welded metal structures* (Translated by the Dept. of Scientific and Industrial Research, 1958) London, HMSO.
- [9] Okerblom, N.O., Demyantsevich, V.P., Baikova, I.P. (1963) *Design of fabrication technology of welded structures*. Leningrad, Sudpromgiz. (in Russian)
- [10] White, J.D. (1977a) Longitudinal shrinkage of a single pass weld. CUED/C-Struct./TR.57, Univ. of Cambridge, England, Department of Engineering.
- [11] White, J.D. (1977b) Longitudinal shrinkage of multi-pass welds. CUED/C-Struct./TR. 59. Univ. of Cambridge, Dept. of Engineering.
- [12] Masubuchi K. (1980) *Analysis of welded structures*. Pergamon Press, Oxford, New York etc.
- [13] Farkas, J., Jármai, K. (1997) *Analysis and optimum design of metal structures*. Balkema, Rotterdam-Brookfield.
- [14] Farkas, J., Jármai, K. (1998) Analysis of some methods for reducing residual beam curvatures due to weld shrinkage, *Welding in the World* 41 (4) 385-398.
- [15] Eurocode 3. Design of steel structures. Brussels, CEN. (2009)
- [16] Eurocode 9. Design of aluminium structures. Brussels, CEN. (2007).

# FUTÓDARUHÍD OPTIMÁLÁSA PÁRHUZAMOS FPA ALGORITMUSSEL GPU-N

## OPTIMIZATION OF OVERHEAD TRAVELLING CRANE WITH FPA ALGORITHM ON GPU

Nagy Szilárd\*, Jármai Károly\*\*

### ABSTRACT

*Nature-inspired evolutionary optimization algorithms are powerful tools for solving non-linear problems. Sometimes they require huge computation capability, and they may be slow. In this paper, we propose a possible parallelization method for computation of base FPA algorithm and one group of fitness function. Proposed method simulated with three test function and an optimization of main girder of overhead travelling crane.*

### 1. BEVEZETÉS

A meta-heurisztikus és evolúciós módszerek napjaink hatékony eszközei nem lineáris folytonos, vagy korlátos optimalizálási problémák megoldására. Ezeket az alábbi formában lehet összefoglalni:

$$\begin{aligned} \min f(x) \\ \text{ha } g_i(x) \leq 0 \quad i = 1, \dots, q \\ h_j(x) = 0 \quad j = q + 1, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$
$$x = (x_1, x_2, \dots, x_D) \in F \subseteq S$$

ahol  $F$  a lehetséges megoldások halmaza és  $S$  pedig a keresési tér. Az evolúciós algoritmusok felépítése és működése hasonló. Ez azt jelenti, hogy a kezdeti populáció egyedeit módosítják természet inspirálta technikák segítségével. A módosított egyedekkel pedig minden iterációs lépésben kiszámolják a célfüggvényt. Egyszerűbb algoritmusok esetében – úgy mint a differenciál evolúció [1], részecskeraj optimalizáció [2], vagy virág beporzási algoritmus (FPA) [3], stb.:

$$FE = n_{pop} * n_{iter} \quad (2)$$

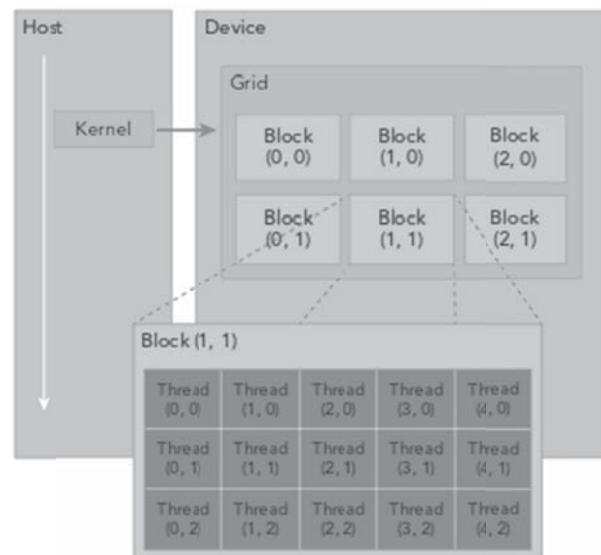
Belátható, hogy néhány esetben komoly erőforrás és idő igénye lehet egy-egy optimalizációnak.

Párhuzamosítással csökkenthető a szükséges számítási idő. Az evolúciós algoritmusok különböző módokon párhuzamosíthatóak [4]:

- globális modell: legegyszerűbb módszer csak az elemi műveletek futnak párhuzamosan
- regionális modell: a teljes populáció azonos méretű kisebb csoportokra kerül felbontásra, és ezeken a populációkon történik egymástól függetlenül, párhuzamosan az optimalizáció. Meghatározott időközönként a populációk között a kommunikációt a migráció biztosítja.
- lokális modell: minden egyed egy külön neki dedikált szálon, mikroprocesszoron fut és csak a szomszédaival kommunikál.

Jelen cikkben bemutatunk egy lehetséges módszert az FPA algoritmus párhuzamosítására, és javasolunk egy módszert a célfüggvény párhuzamos számítására is.

### 2. CUDA KÖRNYEZET



1. ábra CUDA felépítése [10]

Ma már a GPU-k (Graphical Processor Unit) nem csak a grafikus megjelenítést és az azokhoz szorosan kapcsolódó számítások elvégzését támogatják. Olcsó és hatékony eszközei az általános célú, tudományos számításoknak. Sikeresen kiaknázzák az általuk nyújtott lehetőségeket a topológiai optimalálásban [5, 6], szerkezet

\* PhD hallgató, Miskolci Egyetem, e-mail: nagysz@gmail.com

\*\* egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, e-mail: jarmai@uni-miskolc.hu

optimalásban [7] és gyártási folyamatok szimulálásában [8, 9]. SIMD (egyazon művelet, több adaton) programozási modell implementálásával, egy masszívan párhuzamos környezetet kínálnak. Napjainkban két keretrendszert alkalmaznak ezen kártyák programozására. Az első az OpenCL, ami egy nyílt forráskódú rendszer. A második pedig csak kizárólag az NVIDIA kártyákat támogató CUDA.

CUDA a C/C++ nyelv egy kiegészítése, amit formálisan szoktak CUDA-C-nek is hívni. Sok egyéb kiegészítés mellett a legfontosabb, hogy három függvény típussal egészíti ki a C nyelvet:

- „host” függvények: számítógép processzorán futnak és csak is innen hívhatóak. Egy az egyben megegyeznek az eredeti C/C++ függvényekkel.
- „kernel” függvények: a CPU által hívott függvények de GPU-n futnak, több szálon összhangban SIMD modell jellemzőivel. `_global_` előtaggal lehet őket deklarálni.
- „device” függvények: csak kernel függvényből hívható függvények és grafikus kártyán futnak. `_device_` előtaggal lehet őket deklarálni.

Az előző felsorolás is említi, hogy a kernel függvények azok, amik több szálon futnak a grafikus kártyán. Ezek a szálak, blokkokba vannak szervezve. A blokkok pedig rácsba, lásd 1. ábra. A rácsok és blokkok háromdimenziós koordinátákkal jellemezhetőek. Ezek mérete erősen függ az alkalmazott hardver típusától és annak paramétereitől. A blokkok és rácsok aktuális mérete, pedig a futtatandó probléma méretétől és komplexitásától függ. Minden koordináta változó egyértelmű azonosításához ad a CUDA egy-egy rendszer változót. CUDA rendszer részletesebb bemutatása, és leírása megtalálható [10] és [11] irodalmakban.

### 3. PÁRHUZAMOS VIRÁG BEPORZÁSI ALGORITMUS (FPA)

A növények fő reprodukciós folyamata a virág beporzás. Két jellemző mechanizmusa van az abiotikus (helyi) és biotikus (globális). Pollenek hosszú utat tehetnek meg különböző beporzók segítségével – madarak, rovarok, szél stb. A helyi beporzáshoz nincs szükség beporzók segítségére. Ezt a modellt adaptálja az FPA algoritmus [3].

A biotikus (globális) mechanizmust az alábbi matematikai formula modellezi

$$\bar{x}_i^{(G+1)} = \bar{x}_i^{(G)} + L(\bar{x}_i^{(G)} - \bar{g}_*^{(G)}) \quad (3)$$

ahol  $\bar{x}_i$  az  $i$ . egyed (pollen),  $L$  Levy eloszlású véletlen szám, és  $\bar{g}_*$  az aktuálisan megtalált minimum helye. A lokális beporzás modellje pedig

$$\bar{x}_i^{(G+1)} = \bar{x}_i^{(G)} + \epsilon(\bar{x}_j^{(G)} - \bar{x}_k^{(G)}) \quad (4)$$

$i \neq j \neq k \in [1, D]$

ahol  $\epsilon \in [0,1]$  egyenletes eloszlású véletlen szám és  $i, j, k$  változók pedig független indexek. Egy  $p$  valószínűség függvényében kerül kiválasztásra ez egyik illetve a másik módszer. Az algoritmus részletesebb bemutatása megtalálható a [3]-ban.

A (3)-(4) egyenletekben látható konstansok legyenek tárolva egy-egy  $n_p$  nagyságú vektorban ( $\bar{p}, \bar{L}, \bar{\epsilon}, \bar{j}, \bar{k}$ ). Ezek a vektorok egy-egy véletlen számot tárolnak, amik egymástól függetlenül több párhuzamos szálon generálhatóak a `cudaRAND` függvény könyvtár segítségével. A populáció pedig a  $G$ . iterációs lépésben pedig legyen tárolva egy  $\bar{P}$  mátrixban az alábbiak szerint

$$\bar{P}^{(G)} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1^{(G)} \\ \bar{x}_2^{(G)} \\ \vdots \\ \bar{x}_r^{(G)} \\ \vdots \\ \bar{x}_{n_p}^{(G)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{1,1}^{(G)} & \bar{x}_{1,2}^{(G)} & \dots & \bar{x}_{1,s}^{(G)} & \dots & \bar{x}_{1,D}^{(G)} \\ \bar{x}_{2,1}^{(G)} & \bar{x}_{2,2}^{(G)} & \dots & \bar{x}_{2,s}^{(G)} & \dots & \bar{x}_{2,D}^{(G)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{x}_{r,1}^{(G)} & \bar{x}_{r,2}^{(G)} & \dots & \bar{x}_{r,s}^{(G)} & \dots & \bar{x}_{r,D}^{(G)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{x}_{n_p,1}^{(G)} & \bar{x}_{n_p,2}^{(G)} & \dots & \bar{x}_{n_p,s}^{(G)} & \dots & \bar{x}_{n_p,D}^{(G)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

könnyen belátható, hogy ebben a formában egy ideiglenes  $\bar{P}^{(t)}$  populáció mátrix minden egyes eleme egymástól függetlenül számítható párhuzamosan követve SIMD modellt

$$P_{r,s}^{(t)} = \begin{cases} P_{r,s}^{(G)} + L_r(P_{r,s}^{(G)} - g_{*,s}^{(G)}) & p_r \leq rand(0,1) \\ P_{r,s}^{(G)} + \epsilon_r(P_{r,s}^{(G)} - P_{k,r,s}^{(G)}) & \text{egyébként} \end{cases} \quad (6)$$

a szelekció során pedig párhuzamosan kiválasztható a jobb egyed

$$P_{r,s}^{(G+1)} = \begin{cases} P_{r,s}^{(t)} & \text{ha } \mathcal{F}(\bar{P}_r^{(t)}) \leq \mathcal{F}(\bar{P}_r^{(G)}) \\ P_{r,s}^{(G)} & \text{egyébként} \end{cases} \quad (7)$$

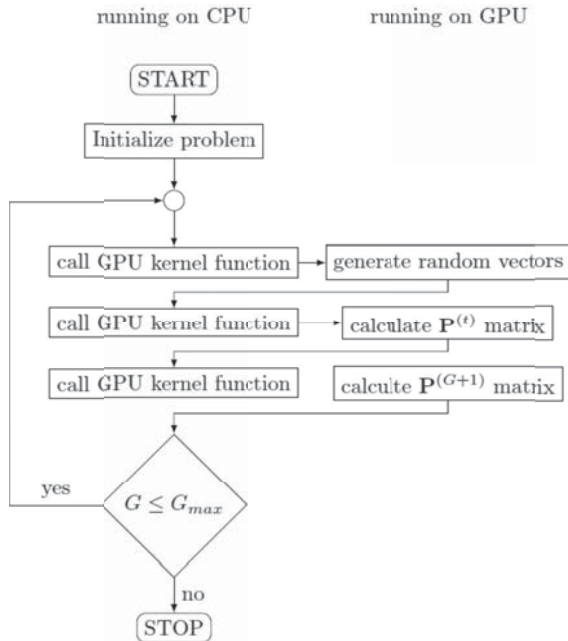
ahol  $\mathcal{F}()$  a fitness függvény.

A javasolt módszer folyamatábráját szemlélteti a 2 ábra. Látható, hogy a fő lépések egymás után szekvenciálisan hajtódnak végre, de a számításgényes műveletek párhuzamosan futnak a grafikus kártyán.

### 4. FITNESSZ FÜGGVÉNY PÁRHUZAMOS SZÁMÍTÁSA MÓDOSÍTOTT PÁRHUZAMOS REDUKCIÓVAL

Evolúciós algoritmusok alkalmazása során a fitness függvény egy speciális függvény, mely büntetőfüggvény kialakítású. Ez rangsorolja iterációs

lépésenként az egyedeket. A felépítésük algoritmusonként és megoldandó feladatonként különböző lehet. A különbözőség ellenére van egy közös tulajdonságuk, mindegyik egy redukción hajt végre. Azt jelenti, hogy a több dimenziós térhez egyetlen számot rendel. Mérnöki problémák esetén ez az esetek többségében egy valós szám.



2. ábra Javasolt párhuzamos FPA algoritmus folyamatábrája

$$\mathcal{F} = \mathcal{F}(f(\bar{x}), g_1(\bar{x}) \cdots g_q(\bar{x}), h_1(\bar{x}) \cdots h_r(\bar{x})) \quad (8)$$

$$\mathcal{F}: S^D \mapsto \mathbb{R} \quad (9)$$

ahol  $S^D$  a  $D$  dimenziójú keresési tér.

A párhuzamos redukción egy jól ismert eleme a párhuzamos technikák eszköztárának.

**1. definíció** [12]: legyen  $\mathcal{B}$  alaphalmaz és legyen  $\otimes$  asszociatív bináris operátor értelmezve a  $\mathcal{B}$  halmaz elemein. Továbbá legyen kiszámítható egyetlen lépésben és zárt  $\mathcal{B}$ -re nézve. Ha

$$\bar{x} = \langle x_1, x_2, \dots, x_p \rangle \in \mathcal{B} \quad (10)$$

akkor a párhuzamos redukción

$$\langle x_1, x_1 \otimes x_2, \dots, x_1 \otimes x_2 \otimes \dots \otimes x_p \rangle \quad (11)$$

Az algoritmus implementációja, és futásteljesítményre történő optimalizálása több irodalomban is megjelent [13,14]. Sajnos így ebben a formában egy az egyben nem lehet alkalmazni a fitness függvény kiszámítására,

mert ritkán tartalmaz csak asszociatív műveleteket és ritkán számolható ki egyetlen egy lépésben.

Az eredeti fitness függvény felbontható egyszerűbb al-függvények variációjára

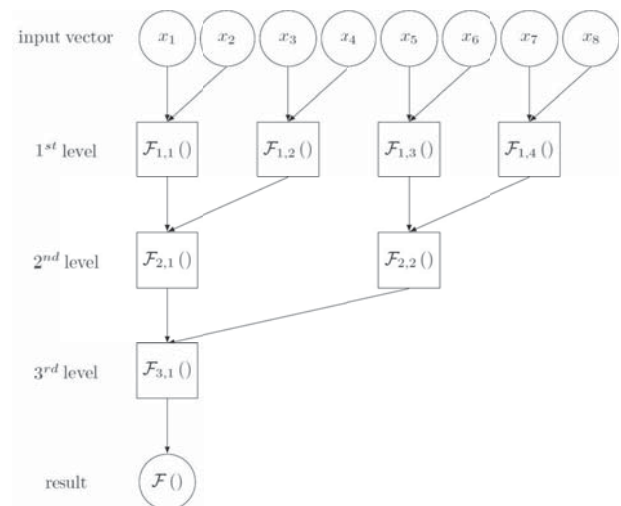
$$\mathcal{F}(x) = \mathcal{F}_1(\bar{x}_{v1}) \otimes_1 \mathcal{F}_2(\bar{x}_{v2}) \otimes_2 \cdots \otimes_{n-1} \mathcal{F}(\bar{x}_{vn}) \quad (12)$$

ahol az  $\bar{x}_{v1}, \bar{x}_{v2} \cdots \bar{x}_{vn}$  vektorok elemei az eredeti  $\bar{x}$  vektor elemeinek a variációja. Az így kapott al-függvények további egyszerűbb függvényre felbonthatók. Azt a felbontást addig kell ismételni míg az eredeti függvény olyan egyszerű függvényekből nem áll, amire igaz, hogy két változótól és egy  $\alpha$  konstanstól függ és kiszámíthatóak egy lépésben.

$$\mathcal{F} = \mathcal{F}(x_i, x_j, \alpha) \quad (13)$$

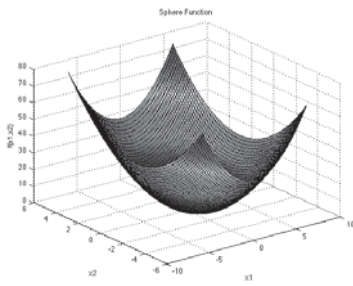
ahol  $i, j$  független indexek.

Az alapvető matematikai műveleteket, mint az összeadást, kivonást, szorzást, osztást stb. programozás technikailag függvényként szükséges kezelni. Az al-függvények hierarchiája ábrázolható egy fa szerkezetben, mint azt a 3. ábra szemlélteti. A fa levelei – a bemeneti változók – az eredeti  $\bar{x}$  vektor elemeinek a variációja. A csomópontok tartalmazzák a felbontásból származó „egyszerű” függvényeket. Az alsóbb szintek bemenő adatai pedig minden esetben az öt megelőző szinten elhelyezkedő függvények eredményei. Látható, hogy egy adott szinten található függvények nem függenek egymástól ezért kiszámíthatóak párhuzamosan.

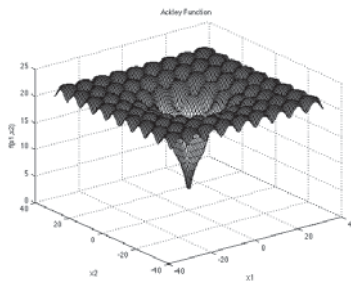


3. ábra Függvények hierarchiája fa szerkezetben

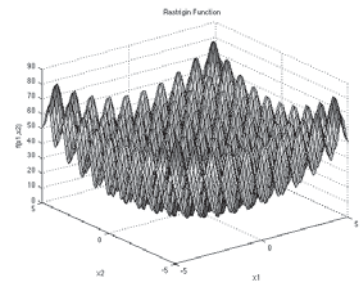
Az eredeti párhuzamos redukción algoritmusát, pedig úgy kell módosítani, hogy a szokásos bináris művelet helyett a korábban megalkotott függvényhívás legyen az azonos művelet minden egyes szálon. Ez C/C++ és CUDA környezetben könnyen megtehető mivel mind a két rendszer támogatja a mutató alapú függvény hívást.



a) Sphere függvény



b) Ackley's függvény



c) Rastrigin függvény

4. ábra Függvények hierarchiája fa szerkezetben

## 5. SZIMULÁCIÓ

Jelen cikkben az előzőekben vázolt módszerrel iterációs lépésként elérhető átlagos sebesség növekedést vizsgáltuk, amit az alábbi formában értelmeztünk:

$$t = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^{(seq)}}{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m t_j^{(par)}} \quad (14)$$

ahol  $t_i^{(seq)}$  a szekvenciális futáshoz szükséges idő,  $t_j^{(par)}$  a párhuzamos futáshoz szükséges idő és  $m, n$  a vizsgált minták száma.

A szimulációt három, az evolúciós algoritmus vizsgálatához gyakran használt tesztfüggvénnyel és egy valós tervezési feladattal végeztük el.

A három tesztfüggvény az alábbiak:

- Sphere függvény (4.a ábra):

$$\mathcal{F}(\bar{x}) = \sum_{i=1}^D x_i^2 \quad (15)$$

- Ackley's függvény (4.b ábra):

$$\mathcal{F}(\bar{x}) = -a \exp \left( -b \sqrt{\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D x_i^2} \right) - \exp \left( \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \cos cx_i \right) + a + \exp(1) \quad (16)$$

ahol  $a = 20$ ,  $b = 0.2$  és  $c = 2\pi$

- Rastrigin függvény (4.c ábra):

$$\mathcal{F}(\bar{x}) = 10D + \sum_{i=1}^D (x_i^2 - 10 \cos 2\pi x_i) \quad (17)$$

Ezek a problémák folytonos optimalizálási feladatok.

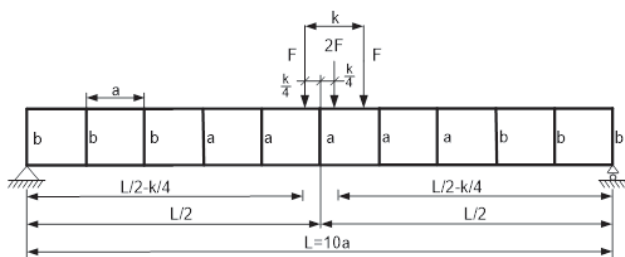
A valós tervezési feladat pedig egy hídru szekrény szekrényszelvényű fő tartójának az optimalizálása. Egy egyfeltételes, korlátos optimalizálási probléma.

$$\mathcal{F}(\bar{x}) = f(\bar{x}) + \sum_{i=1}^n p(g_i(\bar{x})) \quad (18)$$

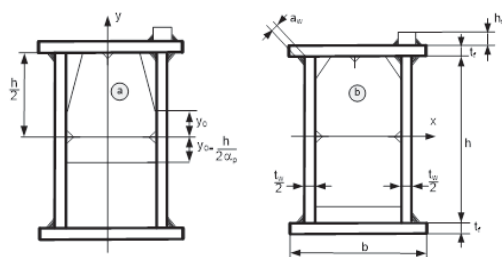
ahol  $n$  a korlátok száma  $p()$  pedig az alábbiak szerint definiált büntető függvény:

$$p(\bar{x}) = \begin{cases} 0 & \text{ha } g_i(\bar{x}) \leq 0 \\ \infty & \text{egyébként} \end{cases} \quad (19)$$

Az ismeretlenek: a tervezési változók  $\bar{x}^T =$



5. ábra Szekrény szelvényű főtartó szerkezetének, szekrény szelvény jellemző méretei, és diafragmák



Úgy, mint gerinclemez magassága  $h$ , vastagságának duplája  $t_w$ , övlemez szélessége  $b$  és vastagsága  $t_f$  lásd 5. ábra. A teljes tervezési és optimalizálási folyamat részletes leírása bele értve tervezési követelményeket is megtalálható [14],[15] irodalmakban.

Az optimalálás célfüggvénye a költség, mely az anyag, hegesztési és utómunkálási költségeket veszi figyelembe.

- anyagköltség:

$$K_m = \hat{K}_{m1}ht_w + \hat{K}_{m2}bt_f + \hat{K}_{m3}bh \quad (20)$$

- felső övlemez összefüzési és hegesztési költsége

$$K_{w1} = \hat{K}_{w1,1} \sqrt{\hat{K}_{w1,2}ht_w + \hat{K}_{w1,3}bt_f + \hat{K}_{w1,4}bh} + \hat{K}_{w1,5} \quad (21)$$

- sín összeállítási hegesztési költsége

$$K_{w11} = \hat{K}_{w11,1}t_w^{1,94} \quad (22)$$

- diafragmák összeállítási és hegesztési költsége

$$K_{w12} = \hat{K}_{w12,1}bt_w^2 + \hat{K}_{w12,1}ht_w^2 \quad (23)$$

- alsó övlemez összefüzési és hegesztési költsége

$$K_{w2} = \hat{K}_{w2,1} \sqrt{\hat{K}_{w2,2}ht_w + \hat{K}_{w2,3}bt_f + \hat{K}_{w2,4}bh} + \hat{K}_{w2,5} \quad (24)$$

- a két gerinc összeállítási és hegesztési költsége 11db 1500mm-es lemezből

$$K_{w3} = \hat{K}_{w3,1} \sqrt{ht_w} + \hat{K}_{w3,1}ht_w^{1,94} \quad (25)$$

- két övlemez lemez összeállítási és hegesztési költsége 11db 1500mm-es lemezből

$$K_{w4} = \hat{K}_{w3,1} \sqrt{bt_f} + \hat{K}_{w3,1}bt_f^{1,94} \quad (26)$$

- utókezelés költsége

$$K_t = \hat{K}_{t,1}b \quad (27)$$

- teljes költség

$$f(\bar{x}) = K_m + K_{w1} + K_{w11} + K_{w12} + K_{w2} + 2K_{w3} + 2K_{w4} + K_t \quad (28)$$

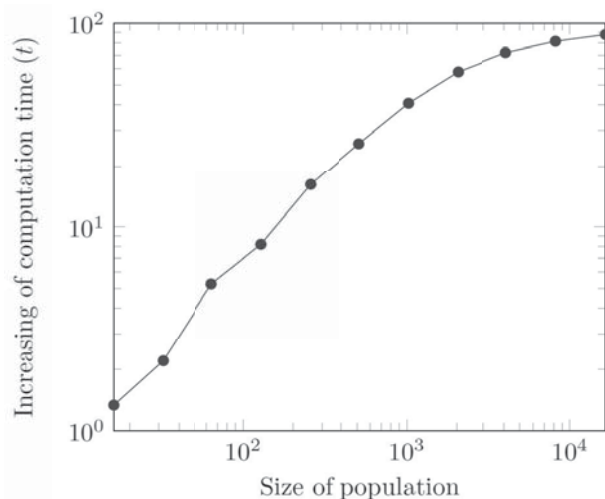
ahol  $\hat{\quad}$  mennyiségek konstansok, amik levezethetők a [14] és [15] irodalmak egyenleteiből. A (20)-(28) egyenletek felépítése megegyezik a 4. fejezetben párhuzamos számításhoz javasolt függvény felépítéssel.

A korlátok pedig a tervezési feltételekből következnek úgymint szilárdságtani feltételek, határkarcsúság, fáradási feltétel és lehajlási feltétel. A példa kedvéért itt csak a hajlításból adódó feltételt mutatjuk be. A többi képlet a már említett [14] és [15] egyenleteiből hasonlóan levezethető és felépíthető a szükséges fa szerkezet, hasonlóan, mint a költség számítás esetében.

$$\sigma_{hx} = \hat{\sigma}_{hx,1} \frac{t_w}{ht_w + 6bt_f} + \hat{\sigma}_{hx,2} \frac{bt_f}{h(ht_w + 6bt_f)} \quad (29)$$

$$\sigma_{hy} = \hat{\sigma}_{hy,1} \frac{ht_w}{b(3ht_w + 2bt_f)} + \hat{\sigma}_{hy,2} \frac{t_f}{2bt_f + 3ht_w} \quad (30)$$

$$g_1 = - \sqrt{\hat{g}_{1,2} - \hat{g}_{1,3} \frac{\sigma_{hx} + \sigma_{hy}}{\sigma_{hx} - \sigma_{hy}} + \hat{g}_{1,4} \frac{(\sigma_{hx} + \sigma_{hy})^2}{(\sigma_{hx} - \sigma_{hy})^2}} + \hat{g}_{1,1} \quad (31)$$

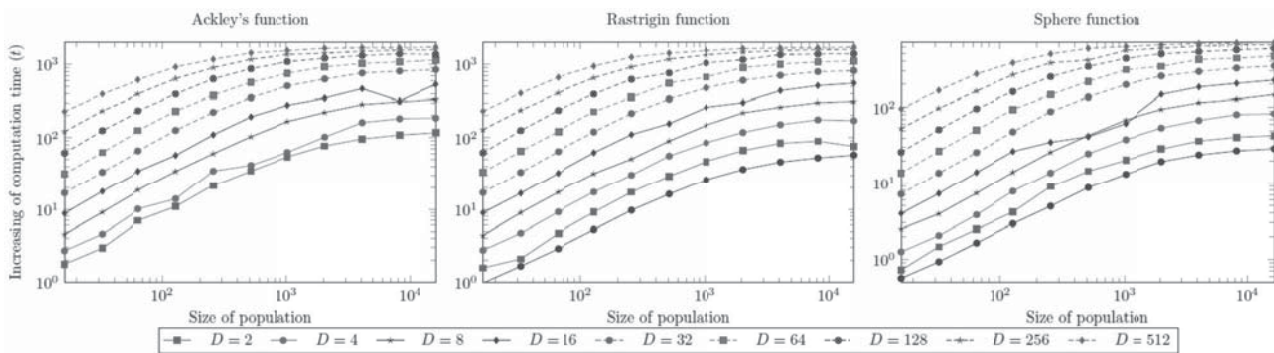


6. ábra Futásidő változása a populációméret függvényében futódaru optimalása során

## 6. KONKLUZÍÓ

A három tesztfüggvény esetén a szimuláció több különböző populáció mérettel és változószámmal lett elvégezve. A változók száma 2 és 1024 között változott, míg a populáció méret 16 és 16384 között. Az elérhető sebesség növekedés erősen függ probléma nagyságától, mint ahogyan látható a 7. ábrán is. Kis populáció mérettel és kevés változóval alig érhető el nagy sebesség növekedés és semmi sem indokolja a párhuzamosítást. Ellenben, ha nagyméretű a megoldandó probléma megközelítőleg ezerszeres sebesség növekedés is elérhető.

A futódaru híd optimalása során nyerhető sebesség növekedés hasonlóan alakul a tesztfüggvényekhez (6. ábra). Itt csak a populáció méretét lehetett növelni, mivel az ismeretlen változók száma adott.



7. ábra Futásidő változása a populációméret függvényében a teszt függvények optimalása során

## 7. 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.

## 8. IRODALOM

- [1] STORN R., PRICE K.: Differential evolution – a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, *Journal of Global Optimization*, Vol.: 11, No.: 4, (1997), pp. 341-359, doi:10.1023/A:1008202821328
- [2] XIE X.F., ZHANG W.J., YANG Z.L.: Adaptive particle swarm optimization on individual level, *6th International Conference on Signal Processing*, Vol.: 2, (2002), pp. 1215-1218, doi: 10.1109/ICOSP.2002.1180009
- [3] YANG X.S.: Flower pollination algorithm for global optimization, *Unconventional and Natural Computation*, Berlin, (2012) pp. 240-249
- [4] BURGOLYA I.: *Optimalizálás evolúciós számításokkal*, Typotex kiadó, Budapest, 2012
- [5] DURATE L.S., WALDEMAR C., ANDERSON P., IVAN I.F.: Glaucio, P.: Polytop++: an efficient alternative for serial and parallel topology optimization on cpus & gpus, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Vol.:52, No.:5, (2015), pp 845-859 doi:10.1007/s00158-015-1252-x
- [6] XIA Z., WANG Y., WANG Q., MEI C.: GPU parallel strategy for parameterized lsm-based topology optimization using isogeometric analysis, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Vol.:56, No.:2, (2017), pp. 413-434 doi: 10.1007/s00158-017-1672-x
- [7] KALAVARAPU V., WINER E.: A study of graphics hardware accelerated particle swarm optimization with digital pheromones, *Structural*

and *Multidisciplinary Optimization*, Vol: 51, No.: 6, (2015), pp. 1281-1304, doi: 10.1007/s00158-014-1215-7

- [8] ROTHLIN M., KLIPPEL H.: AFRASIABI M. WEGENER K.: Metal cutting simulation using smoothed particle hydrodynamics on the gpu, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Vol.: 102, No.:9, (2019), pp 3445-3457, doi: 10.1007/s00170-019-03410-0
- [9] WANG J., ZHANG D., LOU M., ZHANG Y.: A gpu-based tool parameters optimization and tool orientation control method for four-axis milling with ball-end cutter, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.: 102, No.: 5, pp. 1107-1125, doi: 10.1007/s00170-018-2954-1
- [10] CHENG J., GROSSMAN M., MCKERCHER T.: *Professional CUDA C programming*, John Wiley and Sons Inc., Indianapolis, 2014
- [11] SANDERS J., KANDROT E.: *CUDA by example – An introduction to general purpose GPU programming*, Addison-Wesley, Boston, 2011
- [12] IVÁNYI A.: *Párhuzamos algoritmusok*, ELTE IK, Budapest, 2010
- [13] MARTÍN P.J., AYUSO L.F., TORRES R., GAVILANES A.: Algorithmic strategies for optimizing the parallel reduction primitive in cuda, *International conference on High Performance Computing Simulation*, (2012), pp. 511-519
- [14] NAGY SZ., JÁRMAI K.: Application of the firefly algorithm for the optimization of cranes. *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies III: Proceedings of the 3rd International Conference on Engineering Sciences and Technologies (ESaT 2018)*, Editors: Mohamad Al Ali, Peter Platko, pp. 203-210. CRC Press, ISBN 9780367075095
- [15] JÁRMAI K., FARKAS J.: *Fémszerkezetek innovatív tervezése*, Gazdász-Elasztik Kiadó és Nyomda, Miskolc, (2015)



# KORSZERŰ IRODALOMKUTATÁS ÉS PUBLIKÁLÁS: A SCOPUS HASZNÁLATÁNAK BEMUTATÁSA

## PUBLICATION AND MODERN SEARCH OF THE LITERATURE: INTRODUCTION OF USING SCOPUS

Kállai Viktória\*, Jármai Károly\*\*

### ABSTRACT

*The Scopus is a database, which has the largest collection of abstracts and citations. Furthermore, with different intelligent tools it makes possible the observation of researches. Using Scopus one can not only search and find relevant information about the searched topic, but it is possible to find research groups, and to make statistical analysis of articles, authors or journals.*

*It offers a huge amount and comprehensive content at one source. Information related to all disciplines can be searched easily and efficiently. It provides access to thousands of articles, millions of author profiles and billions of citations cited [1].*

### 1. SCOPUS BEMUTATÁSA, FELÉPÍTÉSE

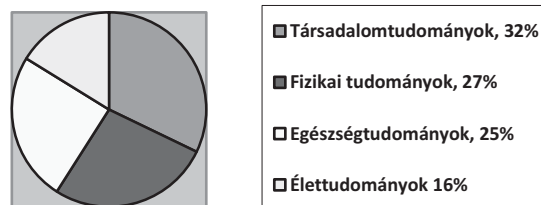
Az Elsevier világszerte olyan információk megoldások szolgáltatója, amelyek javítják a tudományos, az egészségügyi és a műszaki szakemberek teljesítményét, segítséget nyújtva nekik, hogy jobb döntéseket hozzanak és időnként úttörő felfedezéseket tehessenek. Az Elsevier web alapú, digitális megoldásokat kínál; több, mint 2700 folyóiratot és több mint 47000 könyvet tesz közzé. Fejlesztései között szerepel a Scopus adatbázis is, melynek fontosságát és felépítését ez a tanulmány mutatja be.

A Scopus egy naponta frissülő forrásfüggetlen hivatkozási és absztrakt adatbázis. A Gogó (Scopus umbretta) madárról kapta a nevét, amely kitűnő tájékozódó képességgel rendelkezik [2]. Az adatbázis rendkívül hasznos felfedező és elemző eszközöket kínál a kutatók, könyvtárosok, intézményi kutatási vezetők számára. A Scopus idézeti eredményeket és automatikusan frissülő kutatói profilokat készít, ezzel értékes kapcsolatokat létrehozva az emberek és intézmények között. Az adatbázis elősegíti a kiemelkedő kutatási teljesítmény, rangsor és hírnév elérését [3]. Az EISZ (Elektronikus Információs Szolgáltatás) honlapján elérhető azon intézmények listája, amelyekkel szerződésben állnak, és előfizetéssel rendelkeznek számos adatbázis használatára, többek között a Scopus-ra is [4]. Az EISZ-en kívül is lehetőség van előfizetni a Scopus adatbázis használatára.

A Scopus adatbázis több, mint 75 millió dokumentumot tartalmaz, több, mint 9 millió konferencia kiadványt és több, mint 194 000 könyvet.

2004 óta a Scopus átfogó áttekintést ad a világ tudományos kutatási eredményeiről az összes tudományágban [5]. A dokumentumok négy fő tématerületre oszlanak a megadott százalékos arányban (1. ábra).

Az új felfedezések előre mozdítják a tudományos kutatást, hiszen, ha a legfrissebb kutatás láthatatlanná válik, akkor nem lesz lehetőség a már meglévő eredményekre való támaszkodásra és azok továbbfejlesztésére. Mindemellett a legújabb trendek ismerete befolyásolhatja és ösztönözheti a döntéshozatalt [6]. A Scopus elősegíti az együttműködést azáltal, hogy kiemeli a legfontosabb közreműködők és külső szakértők munkáját a keresések alapján, így lehetővé téve a kapcsolatkialakítást másokkal a tudomány előre mozdítása érdekében [7].



1. ábra A Scopus-ban megtalálható tématerületek százalékos arányban [4]

A tudományos kutatás megtalálásának képessége ugyanolyan fontos, mint annak minősége. Biztosítja továbbá a kutatások láthatóságát, nyomon követését; képes rögzíteni a referenciákat és idézeteket.

Más adatbázisokkal ellentétben a Scopus egy profil validálása után átveszi annak szerkesztését, feltölti a megfelelő adatokkal, ezáltal időt takarít meg. Ez az egyetlen olyan adatbázis, amely lehetővé teszi a kézzel felvitt és automatikusan kitöltött adatok keverését, így lehetővé válik a szerzők keresése is ugyanolyan hatékonyan és egyszerűen, mint a cikkek keresése [8].

A Scopus-szal kizozható a legtöbb a közzétett kutatásból. Ez az adatbázis 24 600 aktív cím és 5 000 kiadó tartalmát indexeli, melyeket szigorúan ellenőriznek és egy független értékelő testület választ ki. A kifinomult eszközök és elemzések segítségével a

\* PhD-hallgató, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

\*\* Egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

Scopus pontos idézeti eredményeket, részletes kutatói profilokat generál a jobb döntések, tevékenységek és eredmények érdekében [1].

### 1.1. A Scopus legfontosabb funkciói

A Scopus nemcsak keresést, hanem felfedezést és elemzést is lehetővé tesz, amely funkciók ismerve a következőkben kerülnek kifejtésre [4].

Keresés:

- Kereshetünk dokumentum, szerző vagy intézmény alapján, illetve alkalmazhatunk részletes keresést is;
- Az eredményeket tovább lehet szűrni hozzáférési típus, forrás típusa, év, nyelv, szerző, származási ország stb. alapján;
- Előfizetés ellenében linkeket biztosít a letölthető dokumentumokhoz;
- A dokumentum letöltő (Document Download Manager) segítségével pdf formátumban letölthetők az anyagok;
- Az adatok exportálhatók hivatkozás kezelő alkalmazásokba (pl.: Mendeley, RefWorks, Endnote).

Felfedezés:

- A megosztott hivatkozások, szerzők és/vagy kulcsszavak alapján a kapcsolódó dokumentumok megkereshetők;
- Az szerzői azonosítóval („Author Identifier”) a témához kötődő együttműködők vagy szakértők kereshetők;
- Az ORCID azonosító segítségével egyértelműsíthető a személyazonosság;
- Az „Affiliation Identifier” használatával egy szervezet azonosítható és egyeztethető a kutatás eredményeivel;
- Az Elsevier más termékeivel való együttműködés előnyei, pl.: ScienceDirect, Reaxys, Engineering Village, SciVal.

Elemzés:

- A „Citation Overview” alkalmazással nyomon követhető egy szerző vagy dokumentum idézettsége adott időszakra vonatkozóan;
- Az „Analyze Results” funkcióval a keresési eredmények értékelhetők;
- Az adott szerző h-indexe ellenőrizhető;
- Az „Author Evaluator” segítségével egy szerző publikálási eredményei és a kutatás hatása elemezhető;
- A „Compare Journals” eszközzel betekintés nyerhető a folyóirat teljesítményébe, ez az eszköz lehetővé teszi a folyóiratok elemzését több mutatón keresztül, pl.: CiteScore, SNIP, SJR. [4].

Az előzőekben felsoroltakon kívül az adatbázis számos más tulajdonsággal rendelkezik, amelyek segítenek feltárni és nyomon követni a fontos tendenciákat, szakértőket, a legfontosabb forrásokat, a kapcsolódó kutatásokat, így figyelemmel kísérhetők a globális fejlemények:

- Automatikus Értesítések: a Scopus-on való regisztrálással létrehozható keresési-, dokumentum- és szerzői figyelmeztetés a kívánt gyakorisággal, amely biztosítja, hogy naprakészek maradjunk.
  - Források böngészése: a Scopus-ban elérhető összes folyóirat, szakmai kiadvány és konferencia-cikk ábécé sorrendbe rendezett listában böngészhető.
  - Saját lista: Lehetőség van dokumentumok kiválasztására és mentésére egy későbbi felhasználásra egy munkameneten belül, vagy egy állandó listába menteni. A személyre szabott dokumentumok listájának összeállítása lehetővé teszi egy adott eredménycsoport nyomon követését és elemzését.
  - Referenciák megtekintése: A kiválasztott cikkben szereplő referenciák megtekintése.
  - Scopus API: a Scopus által indexelt összes tudományos folyóirat, könyvek és konferenciakiadványok adataihoz történő hozzáférés a webhelyen/a választott alkalmazáson keresztül.
- A Scopus szakirodalmi keresője úgy van kialakítva, hogy hatalmas mennyiségű információt kevesebb idő alatt képes a legfontosabb dokumentumokra és információkra leszűkíteni. A Scopus segítségével az alábbi módon lehet keresni és eredményeket szűrni:
- Dokumentumkeresés: közvetlenül kereshető a honlapon, illetve a részletes kereséssel pontosítható a kívánt dokumentum(ok) megtalálása;
  - Szerző keresése: Adott szerző keresése név szerint vagy Open Research and Contributor Identifier ID (ORCID) alapján;
  - Intézményi hovatartozás keresése: a csoport tudományos eredményeinek, együttműködő intézményeinek és vezető szerzőinek azonosítása, értékelése;
  - Összetett keresés: logikai operátorok és mezőazonosítók használatával a keresés szűkítése;
  - Eredmények finomítása: a Scopus megkönnyíti az eredmények listájának finomítását bizonyos dokumentumkategóriákra;
  - Nyelvi felület: A Scopus felület kínai és japán nyelven is elérhető.

### 1.2. Analitikai eszközök

Abban az esetben, ha a kérdésekre kapott válaszok nem teljesen egyértelműek, akkor a Scopus olyan analitikai eszközöket biztosít, amelyek segítenek felfedezni a felszín alatt rejtőző fontos tudnivalókat [1].

- Keresési eredmények elemzése: a keresési találatokat hét kategóriára bontja (év, forrás, szerző, alkalmazás, ország vagy terület, dokumentum típusa, tématerülete).
- Folyóiratok összehasonlítása: részletes elemzés végezhető különböző mutatók felhasználásával a

folyóiratokról. Legfeljebb 10 folyóirat kiválasztásával és feltöltésével összehasonlíthatók.

- Cikk mérőszám modul (Article metrics modul): megtekinthető egy cikk idézettsége. A cikk megjelenő oldal egyik oldalsávja kiemeli annak a néhány jelentőségteljes mutatónak a számát, amelyre a kutatónak ki kell értékelnie mind a hivatkozás hatását, mind a közösségi részvétel szintjét. Kattintással megnyitható a mutatók részleteit tartalmazó oldal, amelyen megjelenik az összes elérhető mutató és az azok alapjául szolgáló tartalom a további elemzés és megértés érdekében.
- Idézet áttekintése: Elemezhető egy adott cikk vagy a szerzői dokumentumok hivatkozási trendje. Ez a funkció táblázatos formában megjeleníti az egy évben keletkezett idézetek számát a kiválasztott cikkekénél.
- A szerző profilja: Könnyen elemezhető és nyomon követhető az egyén idézettségének előzményei. A profiloldalokon megtekinthető a szerző teljes idézettsége, dokumentumai, h-indexe, ORCID rekordja (ha van) és hozzáférést ad a mélyreható és vizuális elemző eszközök gyűjteményéhez, amelyek pontosabb képet nyújtanak az egyén publikációs történetéről és tudományos befolyásáról.

### 1.3. Kutatási mutatók

Fontos tisztában lenni azzal, hogy a közzétett kutatási eredmények számos előnnyel járnak. Ezt bizonyítva a Scopus mutatókat kínál, amelyek lehetővé teszik az irodalom értékelését folyóirat-, cikk- és szerzői szinten [1].

A kutatási mutatók kiegyensúlyozott, többdimenziós képet nyújtanak a közzétett kutatás értékének felmérésére. A Scopus-on több mutató is elérhető a folyóiratok, cikkek, szerzők szintjén. A CiteScore<sup>TM</sup> mutatók a folyóirat-hivatkozások új szabványa, mely átfogó, átlátható, aktuális és ingyenes. Ezen mutatók segítenek az összes cím Scopus-ban történő elemzésében, összehasonlításában.

A Scopus az absztrakt és hivatkozási adatbázis funkciója mellett, a szerzői profilok vezető forrása a világon; kiváló minőségű adatokat és eszközöket kínál a kutatási terület elemzéséhez – így fejleszhető a kutatás, figyelemmel kísérhető a kulcsfontosságú és a felmerülő tendenciák, növelhető a kutatás láthatósága, és felfedezhető az új együttműködések.

#### 1.3.1. Folyóirat mérőszámok

A folyóirat szintű mutatók fontos részét képezik a mérőszámoknak; kiegészülve új és alternatív mutatókkal, sokoldalú képet nyújtanak a folyóirat tudományos jelentőségéről. A Scopus-on egy

folyamatosan fejlődő és bővülő mérőszám található, amely túlmutat a folyóiratokon és tartalmazza a legtöbb sorozatcímet, beleértve a kiegészítéseket, a speciális kiadványokat és a konferencia előadásokat is. A Scopus-on ingyenesen elérhetőek a CiteScore mutatók, a SCImago Journal Rank (SJR) és a Source-Normalized Impact per Paper (SNIP) mérőszámok.

- CiteScore mutatók: Nyolc mutatóból álló család, amelyek kiegészítő nézeteket kínálnak a publikációs hatásra.
- SCImago Journal Rank (SJR): olyan presztízs mérőszám, amely folyóiratok, könyvsorozatok és konferenciakiadványok esetén alkalmazható. Ennél a mutatónál a folyóirat tárgya, minősége és hírneve közvetlen hatással van a hivatkozás értékére.
- Source-Normalized Impact per Paper (SNIP): A kontextus idézettségét méri úgy, hogy az idézetek súlyozása a tárgymezőben található összes idézet alapján történik. Egy idézet hatása nagyobb értéket kap azokban a tárgykörökben, ahol az idézetek kevésbé valószínűek, és vice versa [9].

#### 1.3.2. Cikk szintű mutatók (ALM)

Számszerűsítik a közzétett kutatás terjedelmét és hatását. A Scopus integrálja a PlumX Metrics adatait, mint cikkszintű mutatók elsődleges forrását, a hagyományos mutatókkal együtt, hogy gazdagabb és átfogóbb képet adjon az egyes cikkek hatásáról [9].

A cikk mérőszámok modul megtalálható a Scopus-on a „Dokumentum részletei (Document details)” oldalon, ahol az oldalsávban kiemelve láthatók az idézettségi számok (a százalékos viszonyításokkal együtt), a mezővel súlyozott idézetek hatása és a PlumX mutatók. Az „Összes mutató megtekintése (View all metrics)” elemre kattintva egy részletes oldal jelenik meg, amelyen látható az összes elérhető mérőszám és az azok alapjául szolgáló tartalom a további elemzés és megértés érdekében [9].

A PlumX Metrics a Plum Analytics átfogó, elemszintű mérőszámai, melyek a hatalmas mennyiségű adat értelmezése érdekében öt kategóriába sorolhatók:

- Használat: Annak jelzése, ha valaki olvassa a cikkeket vagy más módon használja a kutatást. Az idézettség után a használat az elsőszámú statisztika, amit a kutatók tudni akarnak.
- Rögzítések: azt jelzi, ha valaki vissza akar térni a műhöz, ez a jövőbeli idézetek vezető mutatója lehet.
- Említések: Tevékenységek mérése, mint például a kutatással kapcsolatos hírcikkek vagy blogbejegyzések – egy módszer annak bemutatására, hogy az emberek valóban foglalkoznak a kutatással.

- Közösségi média: Ez a kategória tartalmazza a posztokat, a Facebook like-okat stb., melyek a kutatásra vonatkoznak. A közösségi média segíthet mérni a figyelmet és a kutatás népszerűségét.
- Idézetek: Ez a kategória nemcsak a hagyományos idézési mutatókat tartalmazza, mint például a Scopus, hanem a társadalmi hatásokat jelölő hivatkozásokat, mint pl. a politikai hivatkozások [9].
- Idézeteket áttekintő és nyomon követő mérőszám: ez egy olyan táblázat, amely azt tartalmazza, hogy hányszor hivatkoztak az egyes dokumentumokra egy publikációs évben.
- A szerzői eredmények elemzése: ez egy mélyreható és vizuális elemző eszközök gyűjteménye, amely jobb képet nyújt az egyén publikációs történetéről és hatásáról [9].

Ez az öt kategória azért van külön jelölve, mert mindegyik különböző típusú módszert, vizsgálatot jelent. [9].

A 2-4. ábrák azt mutatják be, hogyan részletezhető ki egy adott cikkre vonatkozó mérőszámok, megtekinthető az idézettség, valamint az előzőekben felsorolt funkciók.

### 1.3.3. Szerzői mérőszámok

A Scopus segít felmérni az egyes szerzők kutatási eredményeit és tudományos hatásait. Ezen adatbázis tartalmának mélysége és széleskörűsége – amely több mint 2,5 millió 1996 előtti a közelmúltban hozzáadott adatot jelent – minőségi adatokat szolgáltat, mely a szerzői hatás pontos méréséhez szükségesek [9].

A Scopus segítségével könnyen elemezhető és nyomon követhető az egyén idézettségi előzményei. Amellett, hogy a szerző adatlapján megtalálható a szerző összes idézettsége és dokumentumszáma, elérhetőek a következő mutatók és eszközök is:

- h-index és h-gráf: a tudós teljesítményét a publikációi alapján értékeli, az egyes cikkekben szereplő idézetek száma alapján. A mérés a tudományos publikációk mennyiségétől (publikációk száma) és minőségétől (idézetek száma) függ.

## 2. KERESÉS A SCOPUS-ON

A Scopus felületén kétféleképpen kereshetünk: egyszerű vagy összetett módon. A keresést szűkíthetjük dátumra, dokumentum típusra, tématerületre vagy akár szerzőre is. Az összetett keresésben alkalmazhatók a Boolean operátorok.

Amellett, hogy az oldal maga is nagyon felhasználóbarát és a „Help” menü segítséget nyújt a böngészésben, a gyártó még bemutató videókat is létrehozott a még könnyebb kezelés érdekében, valamint, hogy segítse a felhasználót az oldal megismerésében és hasznos eszközeinek alkalmazásában.

A Scopus kezdőképernyőjét a 2. ábra mutatja be. Itt beállíthatjuk, hogy dokumentumra, szerzőre vagy származási helyre keresünk rá, illetve alkalmazhatjuk az összetett keresést is. Jobb oldalon a keresés tárgya is beállítható (pl.: minden mező, cikk cím, kulcsszavak). A Limit fül lenyitásával több szűrő lehetőségből választhatunk, amelyekkel szűkíthetjük a kereséseinket. A következőkben egy példán keresztül mutatjuk be, hogyan lehet keresni a Scopus-on. A példa során a 3D nyomtatás (3D printing) kifejezéssel kezdtük a keresést, így 23 616 találat adódott (3-4 ábra).

2. ábra Scopus kezdő oldala

23,616 document results

View secondary documents View 144913 patent results View 8242 Mendley Data

TITLE-ABS-KEY ( 3d AND printing )

Edit Save Set alert Set feed

Search within results...

Analyze search results Show all abstracts Sort on: Date (newest)

Refine results Limit to Exclude

Access type Year Author name Subject area Document type Publication stage Source title Keyword Affiliation Funding sponsor Country/territory Source type Language

Document title	Authors	Year	Source	Cited by
1 Assessment of three-dimensional printing of granular media for geotechnical applications	Adamidis, O., Alber, S., Anastasopoulos, I.	2020	Geotechnical Testing Journal, 43(3),G120180259	0
2 3D printing to innovate the guitar design	Marsano, A.	2020	Advances in Intelligent Systems and Computing 975, pp. 16-23	0
3 Sustainable 3D printing: Design opportunities and research perspectives	Rossi, E., Di Nicolantonio, M., Barcarolo, R., Lagatta, J.	2020	Advances in Intelligent Systems and Computing 975, pp. 3-15	0
4 Case study analysis for development strategies of construction 3D printing	Men, X., Zhang, X.	2020	Advances in Intelligent Systems and Computing 975, pp. 439-450	0

3. ábra Első keresési eredmény (3D printing)

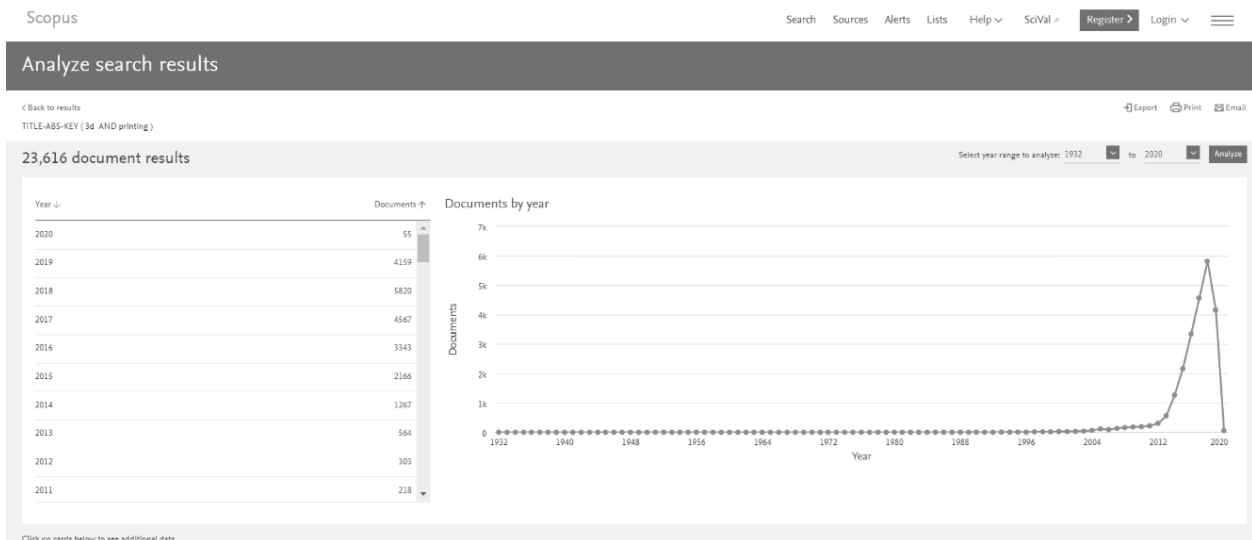
Bal oldalon láthatók, hogy milyen kategóriák alapján lehet szűkíteni a találatokat (pl.: év, szerző, kulcsszavak, nyelv stb.). A találati szám alatt megjelenítésre kerül a keresett kifejezés, ahol a szavak közé alapértelmezetten az AND operátor kerül.

Az oldal tetején található „Analyze search results” lehetőségre kattintva megkapjuk a kapott találatok különböző szűrők szerinti (pl.: év, szerző, dokumentum típus stb.) statisztikai elemzéseket (4. ábra).

Ebből azt is megtudjuk, hogy ki foglalkozott a témával leginkább, vagy hogy mikor kutattak a

legtöbbet az általunk keresett témakörben. Ezeket a kimutatásokat, diagramokat le is lehet menteni.

A keresési találatok szűkítéséhez az eredeti keresési kifejezést a PLA (politejsav, hőre lágyuló műanyag) szóval bővítettük, annak érdekében, hogy csak az ezzel az anyaggal 3D nyomtatást végző kutatások jelenjenek meg a találati listában (5. ábra). Ezzel a kereséssel már 887-re szűkíthető a találatok száma, amely már feldolgozható mennyiségnek mondható.



4. ábra Analyze search results eredményei (3D printing)

Scopus Search Sources Alerts Lists Help SciVal Register Login

887 document results

TITLE-ABS-KEY (3d AND printing AND with AND pla)

Search within results...

Analyze search results

Document title	Authors	Year	Source	Cited by
1 Coated 3d printed pla microneedles as transdermal drug delivery systems	Camović, M., Bišćević, A., Bričić, I., (...), Tucak, A., Vrančić, E.	2020	IFMBE Proceedings 73, pp. 735-742	0
2 Evaluation of 3D Printing Parameters on the Electrochemical Performance of Conductive Polymeric Components for Chemical Warfare Agent Sensing	Barbosa, J.R., Amorim, P.H.O., de O. Gonçalves, M.C., (...), Pereira, R.R., Sernam, F.S.	2020	Smart Innovation, Systems and Technologies 152, pp. 425-435	0
3 Experimental evaluation of mechanical properties and machine process in fused deposition modelling printed polymeric elements	Briachetto, S., Torre, R., Ferro, C.G.	2020	Advances in Intelligent Systems and Computing 975, pp. 377-389	0
4 Kinematic optimization of the robot head movements for the evaluation of human-robot interaction in social robotics	Tello, J.A., Zapata, M., Pallachó, D.	2020	Advances in Intelligent Systems and Computing 975, pp. 108-118	0

5. ábra A keresési találatok szűkítése (3D printing with PLA)

Scopus Search Sources Alerts Lists Help SciVal Register Login

Document details

< Back to results | < Previous 102 of 887 Next >

Export Download Print E-mail Save to PDF Add to List More...

View at Publisher [View at Publisher](#)

Composites Part B: Engineering  
Volume 163, 15 April 2019, Pages 393-402

A method to predict the ultimate tensile strength of 3D printing polylactic acid (PLA) materials with different printing orientations (Article)

Yao, T., Deng, Z., Zhang, K., Li, S., ...

School of Mechanics, Civil Engineering and Architecture, Northwest Polytechnical University, Xi'an, 710072, China

Abstract

3D printing is widely used in scientific researches and engineering applications, ranging from aerospace to biomedicine. However little is known about the mechanical properties of 3D printing materials. In order to promote the mechanical analysis and design of 3D printing structures, the ultimate tensile strength of FDM (PLA) materials with different printing angles were studied theoretically and experimentally. A theoretical model was firstly established to predict the ultimate tensile strength of FDM (PLA) materials based on transverse isotropic hypothesis, classical lamination theory and Hill-Tai anisotropic yield criterion, and then verified by tensile experiments. Compared with previous models, this model provided two kinds of in-plane shear modulus calculation methods, so the calculation results were more reliable. The specimens, designed according to the current plastic-multipurpose test specimens standard ISO 527-2:2012, were printed in seven different angles (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°) with three layer thicknesses (0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm) for each angle. The relative residual sum of squares between theoretical data and experimental data were all close to zero, so the results that the theoretical model can accurately predict the ultimate tensile strength of FDM materials for all angles and thicknesses were confirmed. It was also found that the ultimate tensile strength decreased as the printing angle becomes smaller or the layer becomes thicker. This theoretical model and experimental method can also be applied to other 3D printing materials fabricated by FDM or SLA techniques. © 2019 Elsevier Ltd

ScVi Topic Prominence

Topic: Additives | Printing | Build time

Prominence percentile: 99.862

Author keywords

3D printing Anisotropic yield criterion Transverse isotropy Ultimate tensile strength

Metrics

5 Citations in Scopus

5.72 Field-Weighted Citation Impact

PlumX Metrics

Cited by 5 documents

Microstructure, Thermal and Mechanical Behavior of 3D Printed Acrylonitrile Styrene Acrylate

Gustasama, S., Belhabib, S., Nouri, H. (2019) *Macromolecular Materials and Engineering*

Validation of an In-house-designed tensile testing machine for the mechanical characterization of 3D-printed specimens

Cosmi, F., Dal Maso, A. (2019) *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*

Mechanical and morphological investigations of 3D printed recycled ABS reinforced with basaltic-SiC-A203

Singh, R., Singh, L., Kumar, R. (2019) *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*

View all 5 citing documents

6. ábra Dokumentum részleteinek megtekintése (3D printing with PLA)

A találatok megnyitásokor a „Document details”, azaz a dokumentum részletei oldalra jutunk (6. ábra). Itt legfelül az látható, hogy hányadik rekordot nyitottuk meg az összesből (jelen esetben 102. a 887-ből), valamint lehetőségünk van előre vagy visszafelé lépegetni a találatok között, illetve visszatérhetünk a listához is. Ez alatt található az a rész, amely számos lehetőséget kínál arra, hogy a dokumentummal rendelkezünk: exportálhatjuk, letölthetjük, nyomtathatjuk, e-mailben elküldhetjük, PDF formátumban letölthetjük, hozzáadhatjuk a listánkhoz vagy a bibliográfiánkhoz egyedi fiókkal rendelkezés esetén.

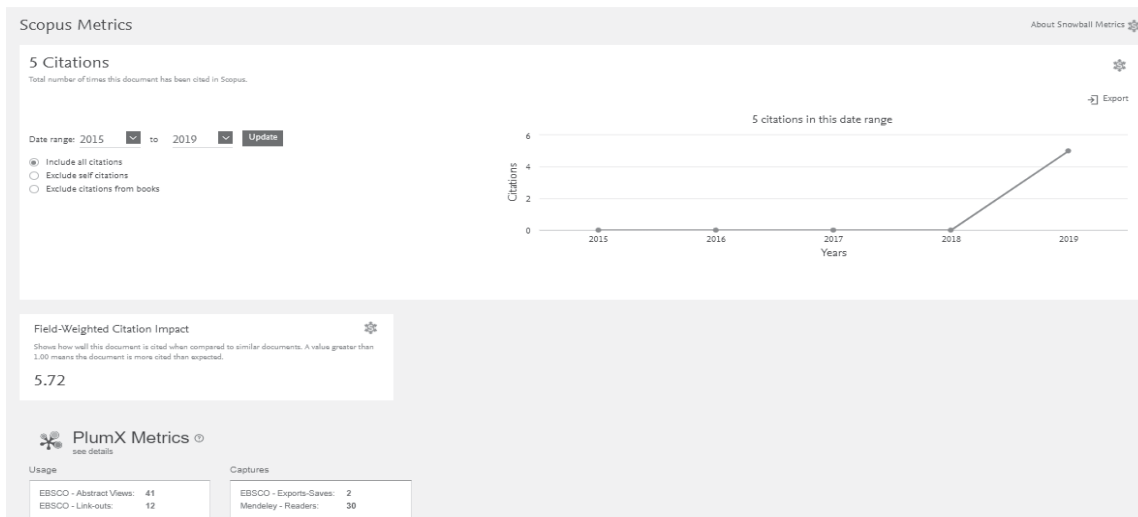
A már korábban említett információkat is megkapjuk a cikkről: cím, szerző, elérhetőségek, folyóirat, kötet száma, oldalszám, absztrakt, kulcsszavak és felhasznált irodalom. Továbbá a megjelenített cikkrészletben sárga

színnel kiemelve láthatók az általunk keresett kifejezések.

Jobb oldalt láthatók az idézettségre vonatkozó mutatószámok. „View all metrics” lehetőségre kattintva évekre lebontva, diagram formájában megtekinthetők az adott cikkekre történő hivatkozások (7. ábra). Az alsó részen pedig a PlumX mutatók értékei láthatók.

A PlumX mutatóknál a „see details” (részletek megtekintése) lehetőségre kattintva megkapjuk kirészletezve ezen mutatószámok értékeit (8. ábra).

A fenti példán keresztül bemutatott keresés és kiértékelés mindenki számára elérhető. Azonban előfizetés nélkül csak az „Open access” jelzéssel ellátott dokumentumok tekinthetők meg, illetve tölthetők le teljes terjedelemben, a többi esetben csak az absztrakt és kulcsszavak tekinthetők meg.



7. ábra Az adott cikk mutatóinak megtekintése (3D printing with pla)



8. ábra PlumX mérőszámok részletei az adott cikkre

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

A Scopus adatbázis rendkívül felhasználóbarát, szerteágazó tématerületeket dolgoz fel és hiteles adatokat tartalmaz. Ezen tanulmányban bemutatott példán keresztül is láthatjuk, hogy mennyire egyszerű a használata és keresés a segítségével, valamint a rengeteg intelligens eszközének köszönhetően sok idő spórolható meg az irodalomkutatás során. Hátránya az, hogy a legtöbb dokumentum teljes terjedelemben való megtekintéséhez előfizetésre van szükség.

### 4. IRODALOM

[1] <https://www.elsevier.com/solutions/scopus/how-scopus-works>, 2019.08.16.

- [2] J. F. Burnham, "Scopus database : a review," Biomed. Digit. Libr., vol. 8, pp. 1–9, 2006.
- [3] [https://www.elsevier.com/\\_data/assets/pdf\\_file/0017/114533/Scopus\\_GlobalResearch\\_Fact\\_sheet2019\\_FINAL\\_WEB.pdf](https://www.elsevier.com/_data/assets/pdf_file/0017/114533/Scopus_GlobalResearch_Fact_sheet2019_FINAL_WEB.pdf), 2019.08.17.
- [4] <http://www.eisz.mtak.hu/index.php/hu/adatbazisok.html>, 2019.08.18.
- [5] <https://www.elsevier.com/solutions/scopus/why-choose-scopus>, 2019.08.17.
- [6] <https://www.elsevier.com/solutions/scopus/why-choose-scopus/emerging-trends>, 2019.08.17.
- [7] <https://www.elsevier.com/solutions/scopus/how-scopus-works/high-quality-data>, 2019.08.17.
- [8] <http://szerzoknek.ek.szte.hu/orcid/>, 2019.08.20.
- [9] <https://www.elsevier.com/solutions/scopus/how-scopus-works/search>, 2019.08.17.

# SZENDVICSSZERKEZET ANALÍTIKUS ÉS NUMERIKUS VIZSGÁLATA ALUMÍNIUMHAB ESETÉN

## ANALYTICAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF A SANDWICH BEAM WITH ALUMINIUM FOAM

Alaa Al-Fatlawi\*, Jármái Károly\*\*, Kovács György\*\*\*

### ABSTRACT

The purpose of the research is to develop a new lightweight sandwich structure that can be used as elements of air containers. The structure is made of aluminum foam with fiber reinforced composite cover plates. Nine different combinations of laminated glass and/or carbon fiber reinforced plastic sheets were tested. A finite element analysis of the sandwich structures was presented. The single-objective optimization of the new sandwich structure was achieved with minimal weight. Five design criteria were considered: stiffness of the structure, shear failure of the topsheet, shear of the core, wrinkling of the topsheet, size limitations of the design variables. The elaborate composite structure results in significant weight savings due to the low density.

### 1. BEVEZETÉS

A tanulmány célja egy könnyűszerkezet kialakítása, amely szálakkal erősített műanyag fedőrétegekből (kilenc különféle laminált üvegszál és/vagy szénszállal erősített műanyag fedőlapok kombinációja) és alumínium (Al) habmaggól áll. A szálerősítésű műanyag lap és a mag kicsi sűrűséggel és nagy fajlagos merevséggel rendelkezik, ami megfelel a merevségi követelményeknek és csökkentheti a szendvicsszerkezet súlyát. A kidolgozott szerkezeti modell felhasználható konténerek falának, padlójának és tetejének gyártására, hogy megfeleljen a hajózási és légitársaságok követelményeinek.

A könnyű konténerek alkalmazásának célja jelentős súlymegtakarítás elérése a hagyományos acél konténerekhez képest, ami a járművek alacsonyabb üzemanyag-fogyasztását eredményezi és a környezeti károkat csökkenti.

A szendvicsszerkezetek kompozit homloklapokból és a fémhabmaggól sokféle műszaki alkalmazásban, például repülőgépiparban és autóiparban széles körben alkalmazhatók, előnyös tulajdonságaik révén, például a nagy hajlítási merevség és szilárdság/súlyarány miatt [1]. Huang és Alspaugh [2] ismertettek egy módszert a szendvicsszerkezetek minimális súlyának meghatározására. A hajlító feszültséggel, nyíró feszültséggel és

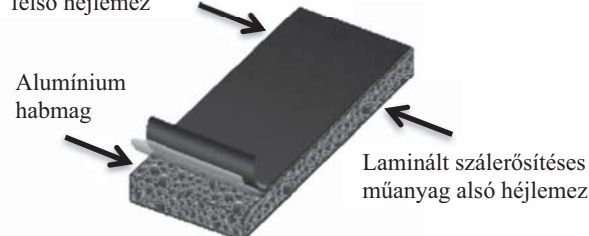
alakváltozással kapcsolatos leggyakoribb tervezési feltételeket vették figyelembe, ahol az előlap vastagsága és a mag vastagsága voltak a tervezési változók. Gibson [3] analitikai módszert mutat be a habmaggos szendvicsszerkezet optimális vastagságának és sűrűségének meghatározására a súly minimalítása céljából. Gibson és Triantafyllou leírták, hogyan lehet minimalizálni egy habmaggal ellátott szendvicsszerkezet súlyát. Az elemzés megadta az optimális mag- és fedőlap vastagságot, valamint a mag sűrűségét [4].

Zenkert és Bitzer könyveiben számos módszert és algoritmust ismertettek a szimmetrikus és aszimmetrikus lapokkal ellátott szendvicsszerkezetek súlyának minimalítása céljából és hajlítási és csavarási merevségi követelményeket vettek figyelembe [5-6]. Kota és Jármái szintén nagyon jól skálázható diszkrét Firefly algoritmust mutattak be optimáló módszerként.

Az Excel Solver beépített, redukált gradiens és evolúciós algoritmusait szintén összehasonlították hasonló problémák megoldásával [7]. Hazim és Jármái meghatározták a robotkarok minimális szerkezeti méreteit [8]. Számos kutató tanulmányozta a hibrid kompozit anyagoknak a szerkezet mechanikai tulajdonságaira gyakorolt hatását [9]. Dong és Davies megvizsgálták az üveg- és szénszálakból álló hibrid kompozitok hajlító merevségét [10].

A hibrid hatás megfigyelhető amikor a szálerősített műanyag rétegek beépítésre kerülnek hagyományos szendvicspanelekbe alumínium fedőlemezekkel [11]. Sok algoritmus áll rendelkezésre a kompozit laminált szerkezetek optimalizálására [12]. Néhány tanulmány a szendvicsszerkezet költségeit tekintette tervezési célként [13].

Laminált szálerősítéses műanyag felső héjlemez



1. ábra Alumínium habmaggos szendvicsszerkezet laminált kompozit fedőlapokkal

\* doktorandusz, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

\*\* egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

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



1. táblázat A vizsgált szendvicsszerkezet szerkezeti elemeire vonatkozó adatok

Merevítő szálak	Dimenzió					Sűrűség			Tömeg		
	$l$	$b$	$h$	$t_c$	$t_f$	$\rho_c$	$\rho_g$	$\rho_{cr}$	$W_{core}$	$W_{skin}$	$W_t$
Egység	mm	mm	mm	mm	mm	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg	kg	kg
Üvegszál	1000	100	24	20	2	300			0.6	0.38	1.36
Szénszál	1000	100	24	20	2	300	1900	1600	0.6	0.32	1.24
Hibrid	1000	100	24	20	2	300			0.6	0.35	1.30

Ahol  $l$  a hosszúság,  $b$  a szendvicsszerkezet szélessége,  $\rho_g$  az üvegszál/epoxigyanta laminált sűrűsége,  $\rho_{cr}$  a szénszál/epoxigyanta laminált sűrűsége,  $\rho_c$  a hab sűrűsége,  $t_f$  az előlap vastagsága,  $t_c$  a hab mag vastagsága és  $h$  a szendvicsszerkezet teljes vastagsága.  $W_{core}$  a habmag tömege,  $W_{skin}$  a fedőlap súlya,  $W_t$  a szendvicsszerkezet teljes tömege.

## 2. EGY ÚJ SZENDVICSSZERKEZETI MODELL

Az újonnan készített szendvicsszerkezet alumínium (Al) habmagból áll, laminált üvegszállal és/vagy szénszállal megerősített műanyag fedőlapokkal. Lásd az 1. ábrát. Az ebben a szerkezetben alkalmazott mag és a fedőlapok mérete és súlya az 1. táblázatban található.

A szimmetrikus szendvicsszerkezetekre vonatkozó hajlítási modell műszaki jellemzői a MIL-STD-401B [14] szabványban megadott modell alapján kerültek meghatározásra.

### 2.1. Az alumínium habmag

A habmag zárt cellás, ötvözött alumíniumból készült. A mag mechanikai tulajdonságai ideálissá teszik számos felhasználásra. Ezek a tulajdonságok magukban foglalják a nagy szilárdságot és a nagy merevség/tömeg arányt és a magas energiaelnyelést, amint azt a 2. táblázat mutatja [15].

2. táblázat A Cymat A35620SC 030SS stabilizált alumínium hab adatai

$E$	Rugalmassági modulus	1200	MPa
	nyomásra		
$\nu$	Poisson arány	0.33	----
$G$	Nyírási rugalmassági modulus	1000	MPa
$\sigma$	Nyomószilárdság	4	MPa
$\tau$	Nyírási szilárdság	1	MPa
$\rho$	Sűrűség	300	kg/m <sup>3</sup>

### 2.2. Laminált szákkal erősített műanyag fedőlapok

Kilenc különféle szendvicsszerkezetet vizsgáltunk meg, amelyek Al-habmagból állnak két fedőlemezzel. A laminált üvegszállal és/vagy szénszállal megerősített műanyag fedőlapok szimmetrikusak a szendvicsszerkezet középsíkjához képest. Minden fedőlap négy rétegből áll. A szövet orientációja a fedőlapokban keresztiréteggel (0°, 90°) és szögiréteggel ±

45°. A 3. táblázat tartalmazza a különféle kompozit rétegek mechanikai tulajdonságait.

#### Üvegszál/epoxigyanta fedőlapok

Három konstrukciót vizsgáltunk: Al-habmagos szendvicsszerkezet 4 rétegű felső és 4 rétegű alsó fedőlapokkal, üvegszál/epoxigyanta szövetből, a következő szálorientációkkal (0°, 90°, 0°, 90°), (0°, 90°, +45°, -45°) és (+45°, -45°, +45°, -45°).

#### Szénszál / epoxigyanta fedőlapok

Három konstrukciót vizsgáltunk: Al-habmagos szendvicsszerkezet 4 rétegű felső és 4 rétegű alsó fedőlapokkal, szénszál/epoxigyanta szövetből, a következő szálorientációkkal (0°, 90°, 0°, 90°), (0°, 90°, +45°, -45°) és (+45°, -45°, +45°, -45°).

3. táblázat Kompozit anyagok mechanikai tulajdonságai [16]

Szálirány 0°, 90° a terhelés tengelye irányában, száraz, szobahőmérsékleten, $V_f = 50\%$				
Jellemző	Szimbólum	Üvegszál	Szénszál	Egység
Young mod. 0°	$E_1$	25	70	GPa
Young mod. 90°	$E_2$	25	70	GPa
Nyírási modulus síkban	$G_{12}$	4	5	GPa
Fő Poisson arány	$\nu_{12}$	0.2	0.1	----
Határ húzófesz. 0°	$X_t$	440	600	MPa
Határ nyomófeszültség 0°	$X_c$	425	570	MPa
Határ húzófesz. 90°	$Y_t$	440	600	MPa
Határ nyomófeszültség 90°	$Y_c$	425	570	MPa
Határ nyírófeszültség síkban	$S$	40	90	MPa
Szálirány ±45° a terhelés tengelye irányában, száraz, szobahőmérsékleten, $V_f = 50\%$ (fabric)				
Jellemző	Szimbólum	Üvegszál	Szénszál	Egység
Young mod. 0°	$E_1$	12.2	19.1	GPa
Young mod. 90°	$E_2$	12.2	19.1	GPa
Nyírási modulus síkban	$G_{12}$	8	30	GPa
Fő Poisson arány	$\nu_{12}$	0.53	0.74	----
Határ húzófesz. 0°	$X_t$	120	120	MPa
Határ nyomófeszültség 0°	$X_c$	120	120	MPa
Határ húzófeszültség. 90°	$S$	150	310	MPa

*Hibrid lapok (üveg- és szénzálás rétegek kombinációja)*

Három konstrukciót vizsgáltunk: Al-habmagos szendvicsszerkezet 4 rétegű felső és 4 rétegű alsó fedőlapokkal (két külső szénzálás és két belső üvegszálás réteggel). A hibrid előlap a szénzálás és az üvegszálás/epoxigyanta rétegek kombinációja, amelyek különböző szál-orientációval rendelkeznek:  $(0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 90^\circ)$ ,  $(0^\circ, 90^\circ, +45^\circ, -45^\circ)$  és  $(+45^\circ, -45^\circ, +45^\circ, -45^\circ)$ .

### 3. A SZENDVICSSZERKEZETEK VÉGESELEMEK VIZSGÁLATA

Ebben a részben az alakváltozást, a héj feszültséget és a mag nyíró feszültségét numerikus szimulációval vizsgáltuk. A végeelemes analízist a Digimat – HC program segítségével végeztük a 4 pontos hajlítási modell esetén. Ahol  $P$  az alkalmazott terhelés,  $\delta$  a szendvicsszerkezet alakváltozása,  $\sigma_{skin}$  a héj feszültség és  $\tau_{core}$  a mag nyíróterhelése. A végeelem számítás eredményei a következőkben találhatók (4-6. táblázat) és a 2-4. ábrák. A kilenc eredményből hármatot mutatunk be helytakarékosan okból.

### 4. A VIZSGÁLT SZENDVICSSZERKEZET OPTIMÁLÁSA MINIMÁLIS SÚLYRA

Kidolgozásra került az újonnan épített szendvicsszerkezet optimálási módszere (1. ábra). A szálak elhelyezése a fedőlapokban  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  és  $\pm 45^\circ$  szöget zár be a hossz tengellyel. A tervezési változók a  $t_f$  fedőlap vastagsága és a  $t_c$  magvastagság a szendvicsszerkezetek súlyának minimalizálása céljából (1-3 egyenletek). Az optimálás során öt tervezési feltételt vettünk figyelembe (4-8 egyenletek). Az optimálási probléma egyenleteit az alábbiakban mutatjuk be [17]. Az első a fedőlap

tönkremenetele, amit a klasszikus réteg elmélettel és Tsai-Hill kritériumai alapján a laminált fedőlap mechanikai tulajdonságai ismeretében számítottunk ki [18]. Az optimálási probléma további méretezési feltételei a szendvicsszerkezet merevsége, a fedőlap tönkremenetele, a mag nyírása, a fedőlap ráncosodása. Ezeket kiszámoltuk minden magvastagság és fedőlap vastagság esetén.

Mindezen adattal minden lépésnél kiszámítottuk a fedőlap minimális vastagságát, amely megfelel a meghatározott terhelésnek és a szükséges merevségnek (4. képlet). A szoftver kiszámítja a szendvicsszerkezet minimális súlyát, amely megadja a fedőlap vastagságát és a mag vastagságát. Ez a szoftver a módosított változata a 2017-es szendvicsszerkezet optimálási programnak, mely elérhető a GitHubon [19]. A program úgy került kifejlesztésre, hogy kezelni tudja a hajlítási modellt.

A numerikus Digimat-HC program eredményeit bemeneti alapadatokként használtuk a kívánt eredmények eléréséhez (maximális deformáció  $\delta_{max}$  és maximális terhelés  $P_{max}$ ).

#### 4.1. A szerkezet teljes tömege, mint célfüggvény

Üvegszálás/epoxigyanta fedőlapok tömege alumínium habmaggal:

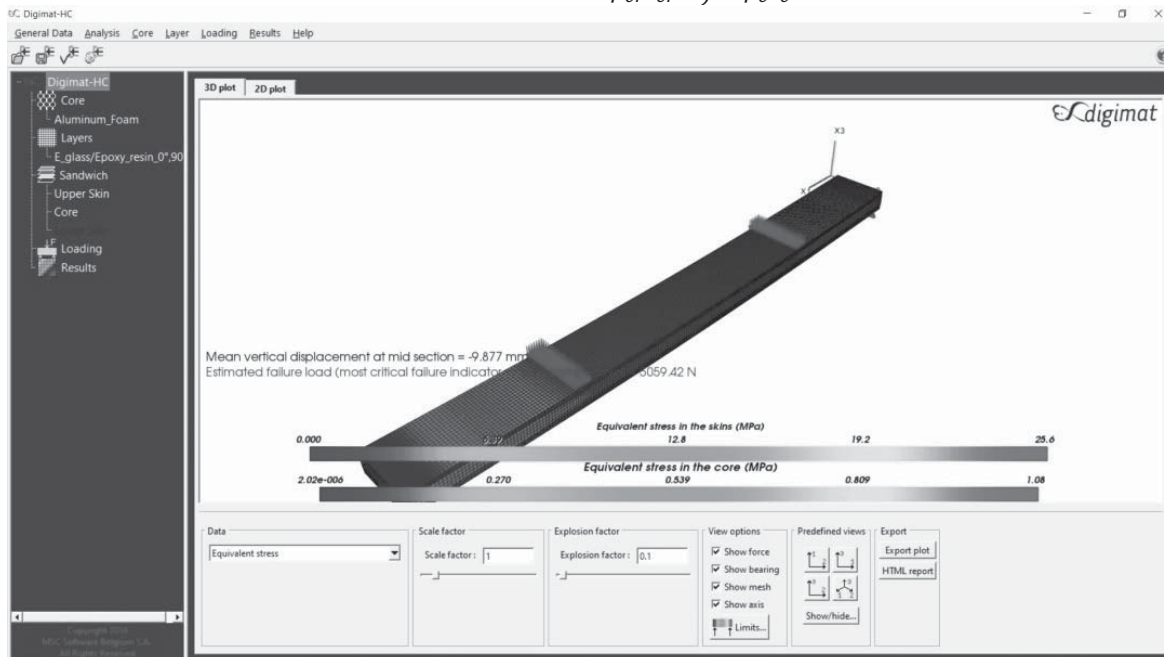
$$W_t = W_f + W_c = 2 W_g + W_c = 2 \rho_g t_g l b + \rho_c t_c l \quad (1)$$

Szénzálás/epoxigyanta fedőlapok tömege alumínium habmaggal:

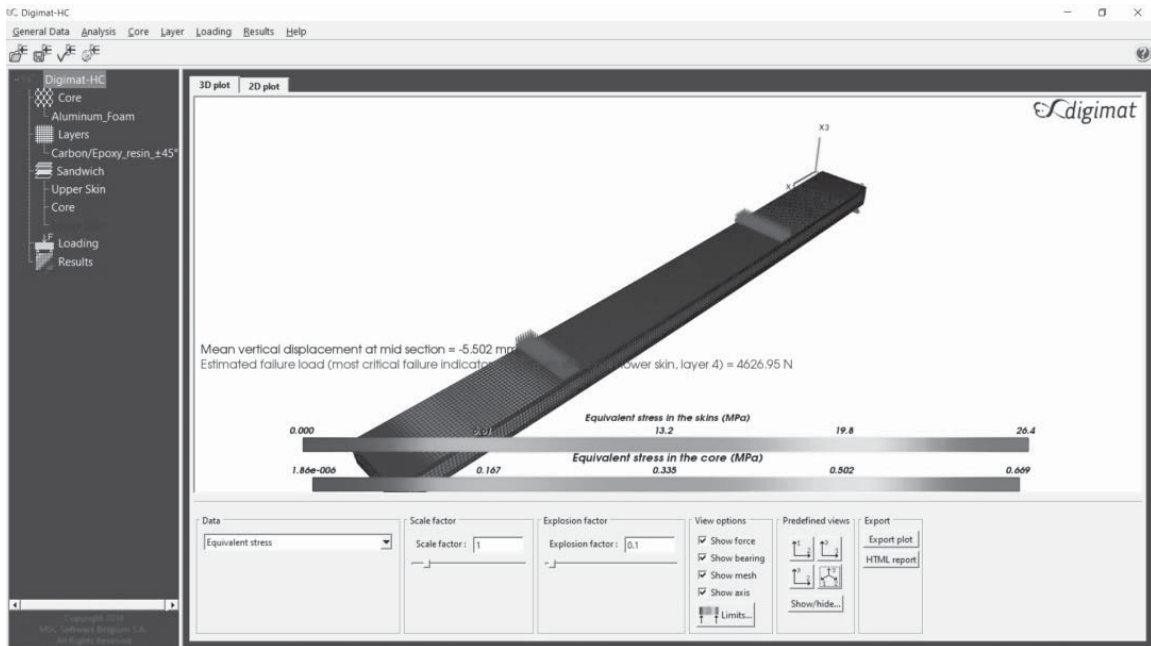
$$W_t = W_f + W_c = 2 W_{cr} + W_c = 2 \rho_{cr} t_{cr} l b + \rho_c t_c l b \quad (2)$$

Alumínium habmaggal ellátott hibrid fedőlapok tömege:

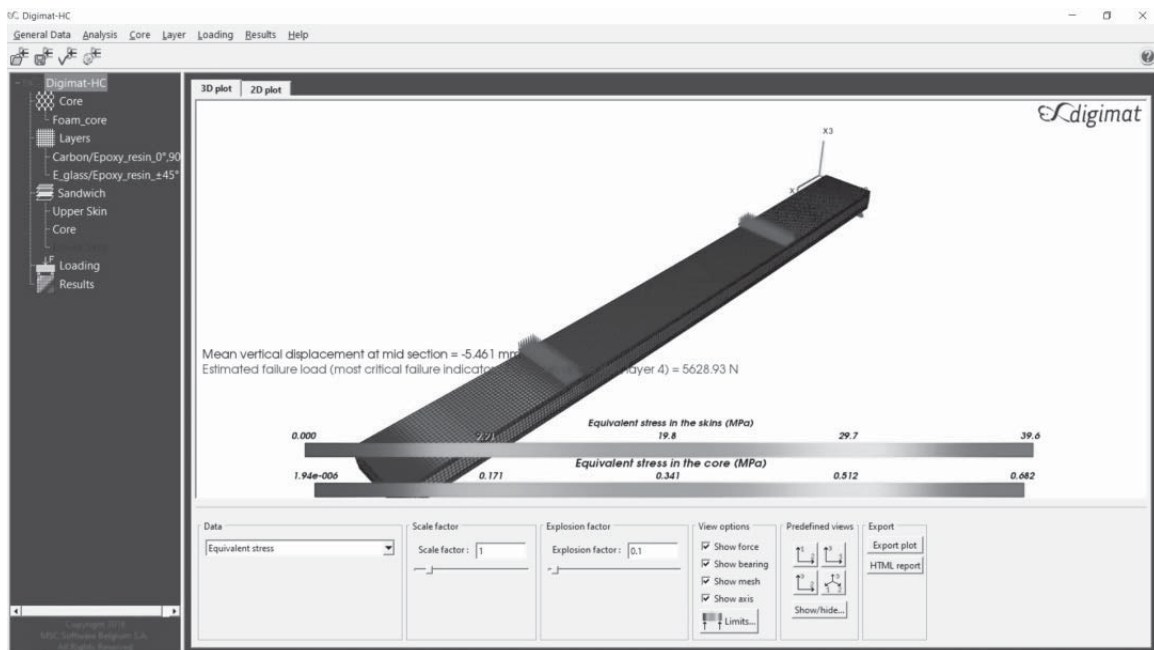
$$W_t = W_f + W_c = 2(W_g + W_{cr}) + W_c = 2(\rho_g t_g l b + \rho_{cr} t_{cr} l b) + \rho_c t_c l b \quad (3)$$



2. ábra: A Digimat – HC programmal kapott numerikus eredmények;  $(0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 90^\circ)$  szálrendezésű üvegszálás/epoxigyanta fedőlemezes Al habmagos szendvicsszerkezet hajlító modellje



3. ábra: A Digimat – HC programmal kapott numerikus eredmények; ( $\pm 45^\circ, \pm 45^\circ$ ) szálrendezésű szénzál/epoxigyanta fedőlemezes Al habmagos szendvicsszerkezet hajlító modellje



4. ábra: A Digimat – HC programmal kapott numerikus eredmények; ( $0^\circ, 90^\circ, +45^\circ, -45^\circ$ ) szálrendezésű hibrid fedőlemezes Al habmagos szendvicsszerkezet hajlító modellje

#### 4.2. Méretezési feltételek

*A szendvicsszerkezet merevségének korlátozása*

A szendvicsszerkezet minimális merevségét  $(EI)_{\min}$  a megadott adatok és a Digimat – HC program numerikus eredményeként kapott  $\delta$  és  $P$  felhasználásával számoltuk.

$$(EI)_{\min} = \frac{P l^3}{B_3 \delta} \leq D = \frac{E_f t_f h^2 b}{2} \quad h = t_c + t_f \quad (4)$$

*A fedőlapok tönkremenetelének korlátozása*

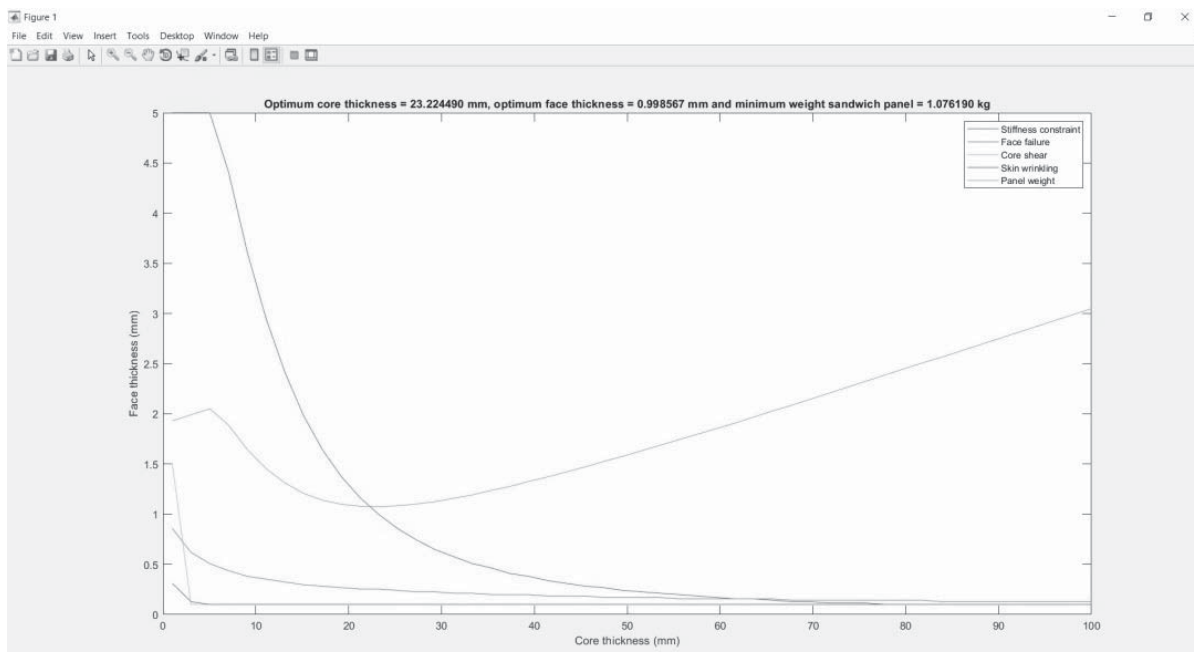
$$P_{act} \leq P_{ff} = \frac{\sigma_f b t_f h}{B_1 l} \quad (5)$$

*A mag nyírásának korlátozása*

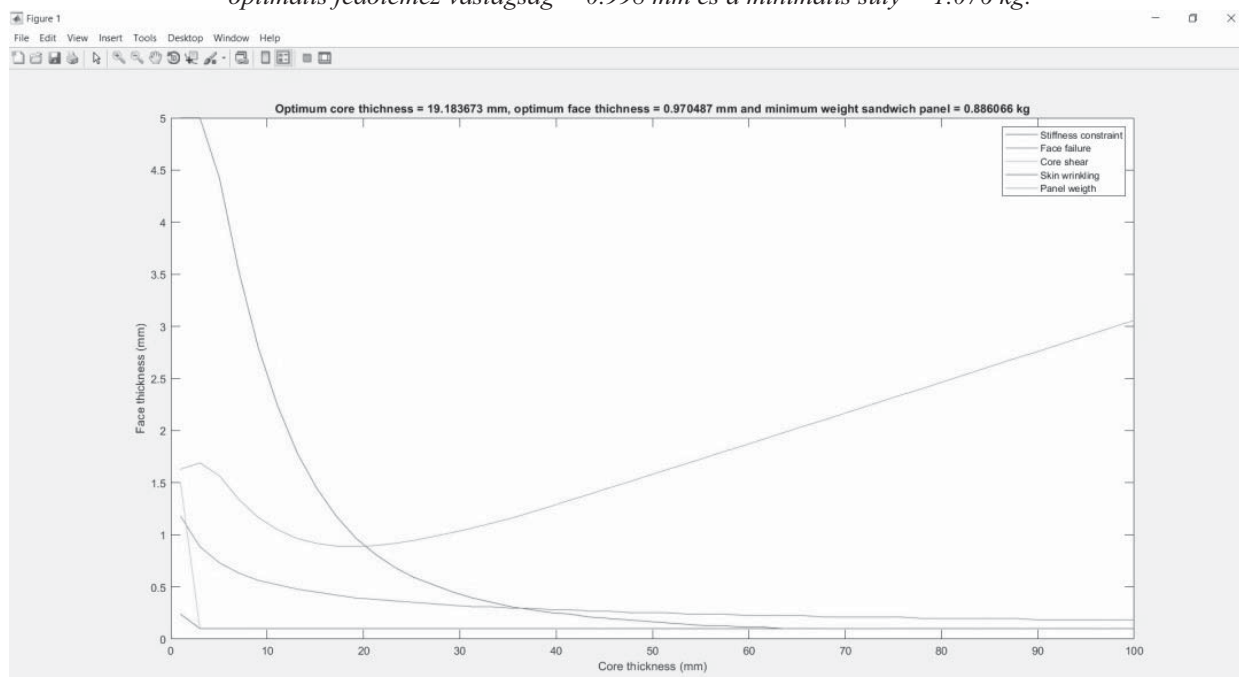
$$P_{act} \leq P_{cs} = \frac{\tau_c b h}{B_2} \quad (6)$$

*A fedőlap ráncosodásának korlátozása*

$$P_{act} \leq P_{wr} = \frac{b t_f h}{2 B_1 l [E_C G_C E_f]^{1/3}} \quad (7)$$



5. ábra Elméleti eredmények a MATLAB program és a hajlítási modell alkalmazásával; a szendvics szerkezet üvegszál/epoxigyanta rétegekből ( $0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 90^\circ$ ) és Al habmagból áll. Az optimális habvastagság = 23.224 mm, az optimális fedőlemez vastagság = 0.998 mm és a minimális súly = 1.076 kg.



6. ábra. Elméleti eredmények a MATLAB program és a hajlítási modell alkalmazásával; a szendvics szerkezet szén-szál/epoxigyanta rétegekből ( $+45^\circ, -45^\circ, +45^\circ, -45^\circ$ ) és Al habmagból áll. Az optimális habvastagság = 19.183 mm, az optimális fedőlemez vastagság = 0.970 mm és a minimális súly = 0.886 kg.

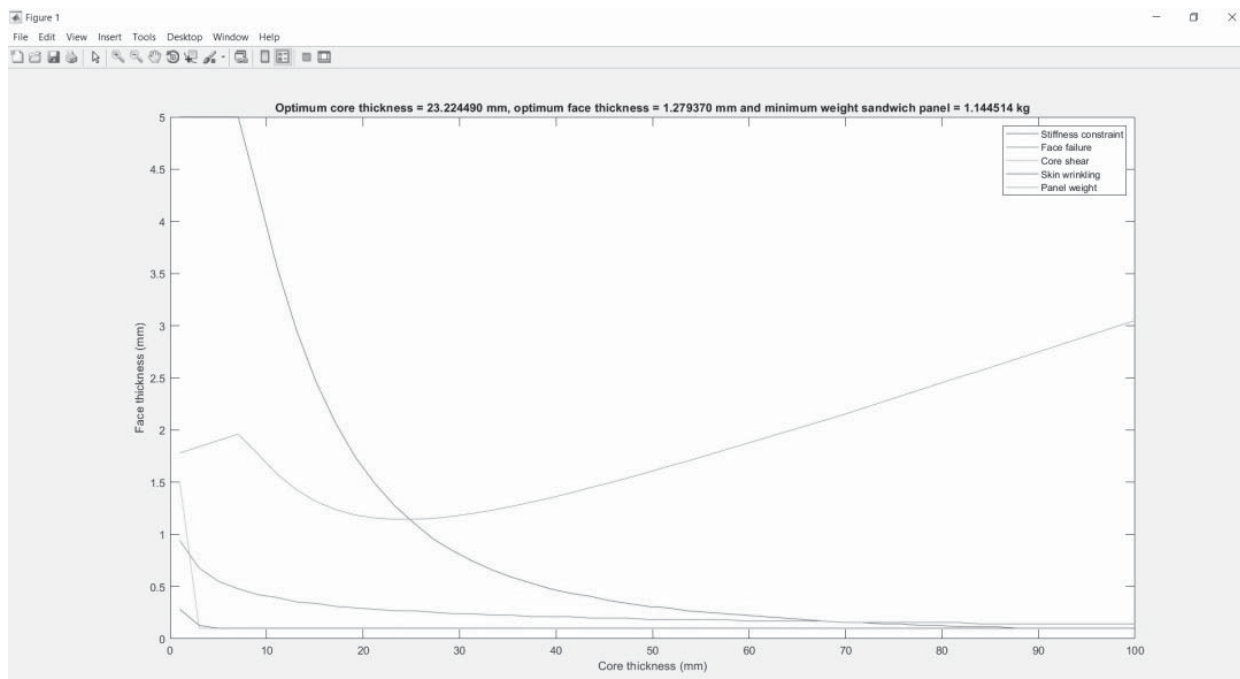
Tervezési változók méretkorlátozása

$$10 \leq t_{c \text{ opt}} \leq 100 \text{ és } 0.1 \leq t_{f \text{ opt}} \leq 5 \text{ [mm]} \quad (8)$$

ahol  $B_1 = \frac{1}{8}$ ,  $B_2 = \frac{1}{2}$ ,  $B_3 = \frac{768}{11}$  és  $P_{\text{act}} = 1000 \text{ N}$  (szabadon felfekvő, hajlított tartó modell).

#### 4.3. Az optimalás eredményei

Az optimális magvastagság  $t_{c \text{ opt}}$ , az optimális fedőlemez vastagság  $t_{f \text{ opt}}$  és a minimális súly  $W_{\text{min}}$ , amint azt a 4-6. táblázatok és az 5-7. ábrák mutatják.



7. ábra. Elméleti eredmények a MATLAB program és a hajlítási modell alkalmazásával; a szendvicsszerkezet hibrid rétegekből áll ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ) és Al habmagból áll. Az optimális habvastagság = 23.224 mm, az optimális fedőlemez vastagság = 1.279 mm és a minimális súly = 1.144 kg

## 5. AZ EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

### 5.1. Numerikus eredmények különféle típusú rétegelt kompozit fedőlapok esetén

Az alumínium habmagos szendvicsszerkezetek és a különféle típusú kompozit fedőlapok numerikus eredményei szerint – amint azt a 4-6. táblázatok és a 2-4. ábrák mutatják – a szendvicsszerkezetek alakváltozása és a mag nyíró feszültsége a szénszál/epoxigyanta fedőlap esetén kisebb, mint a hibrid szerkezetnél és az üvegszál/epoxigyanta fedőlapos szendvicsszerkezetek hajlítási és mag nyíró feszültsége kisebb, mivel a szénszál merevsége nagyobb, kisebb tömeg mellett, mint az üvegszálé. Az üvegszál/epoxi-gyantával ellátott szendvicsszerkezetek héjfeszültsége kisebb, mint a szénszál/epoxi-gyantával és a hibrid fedőréteggel ellátott szendvicsszerkezetek héj-feszültsége, mivel az üvegszál rugalmasabb a szénszálhoz képest.

### 5.2. Numerikus eredmények a kompozit rétegek eltérő szálorientációja esetén

Az alumíniumhab maggal ellátott szendvicsszerkezetek numerikus eredményei jelentősen eltérőek a ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ) és a ( $\pm 45^\circ$ ) szálorientációjú kompozit fedőlapok alkalmazása esetén. A szendvicsszerkezetek alakváltozása és a mag nyírófeszültsége a ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ) szálorientációval kisebb, mint a ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ) és a ( $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ) szálorientációk

esetén, mivel a ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ) szög esetén magasabb a Young-féle rugalmassági modulus mint a ( $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ) szálorendezés esetén.

A ( $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ) szálorientáció esetén a fedőlemez héjfeszültsége kisebb, mint a ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ) és a ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ) szálorendezés esetén. Tehát az egyes rétegek különféle szálorendezésének vannak előnyei és hátrányai is egyaránt, ezért az adott terhelés jellege mutatja meg, melyiket érdemes választani.

### 5.3. Elméleti eredmények különféle típusú rétegelt kompozit fedőlapok esetén

Az elméleti eredmények szerint – amint azt a 4-6. táblázatok és az 5-7. ábrák mutatják – a szénszál/epoxi-gyantával ellátott szendvicsszerkezetek tömege kisebb, mint az üvegszál/epoxigyanta és a hibrid fedőlapok alkalmazása esetén a szendvicsszerkezetek tömege. A szénszál kompozit drágább, de erősebb.

### 5.4. Elméleti eredmények a kompozit rétegek eltérő szálorientációja esetén

Az alumíniumhab maggal és az eltérő szálorányú kompozit anyagú szendvicsszerkezetek elméleti eredményei szerint a ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ) és a  $\pm 45^\circ$  szálorányok alkalmazása esetén a szendvicsszerkezet tömege kisebb a ( $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ) szálorientációval, mint a ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ) és a ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ) szálorientációkkal.

4. táblázat Analitikus és numerikus eredmények a (0°, 90° és ±45°) szálrendezésű üvegszál/epoxigyanta réteges fedőlapokból és alumínium habmagból álló szendvicsszerkezetek esetén

Üvegszálás	Numerikus eredmények				Optimális eredmények			$W_t$	$W_{red.}$
	$P$	$\delta$	$\sigma_{skin}$	$\tau_{core}$	$t_{c opt}$	$t_{f opt}$	$W_{min}$		
Szimbólum	$P$	$\delta$	$\sigma_{skin}$	$\tau_{core}$	$t_{c opt}$	$t_{f opt}$	$W_{min}$	$W_t$	$W_{red.}$
Egység	N	mm	MPa	MPa	mm	mm	kg	kg	%
0°, 90°, 0°, 90°	1000	<b>9.877</b>	25.6	<b>1.08</b>	23.224	0.998	1.076	1.36	20.88
0°, 90°, ±45°	1000	10.949	28.4	1.18	23.244	1.012	1.081	1.36	20.51
±45°, ±45°	1000	12.597	<b>25.1</b>	1.36	23.224	0.984	<b>1.070</b>	1.36	21.32

5. táblázat Analitikus és numerikus eredmények a (0°, 90° és ±45°) szálrendezésű szénszál/epoxigyanta réteges fedőlapokból és alumínium habmagból álló szendvicsszerkezetek esetén

Szénszálás	Numerikus eredmények				Optimális eredmények			$W_t$	$W_{red.}$
	$P$	$\delta$	$\sigma_{skin}$	$\tau_{core}$	$t_{c opt}$	$t_{f opt}$	$W_{min}$		
Szimbólum	$P$	$\delta$	$\sigma_{skin}$	$\tau_{core}$	$t_{c opt}$	$t_{f opt}$	$W_{min}$	$W_t$	$W_{red.}$
Egység	N	mm	MPa	MPa	mm	mm	kg	kg	%
0°, 90°, 0°, 90°	1000	<b>3.746</b>	26.6	<b>0.54</b>	21.204	1.110	0.991	1.24	20.08
0°, 90°, ±45°	1000	4.281	29.3	0.57	21.204	0.998	0.955	1.24	22.98
±45°, ±45°	1000	5.502	<b>26.4</b>	0.67	19.183	0.970	<b>0.886</b>	1.24	28.54

6. táblázat Analitikus és numerikus eredmények a (0°, 90° és ±45°) szálrendezésű hibrid réteges fedőlapokból és alumínium habmagból álló szendvicsszerkezetek esetén

Hibrid szálás	Numerikus eredmények				Optimális eredmények			$W_t$	$W_{red.}$
	$P$	$\delta$	$\sigma_{skin}$	$\tau_{core}$	$t_{c opt}$	$t_{f opt}$	$W_{min}$		
Szimbólum	$P$	$\delta$	$\sigma_{skin}$	$\tau_{core}$	$t_{c opt}$	$t_{f opt}$	$W_{min}$	$W_t$	$W_{red.}$
Egység	N	mm	MPa	MPa	mm	mm	kg	kg	%
0°, 90°, 0°, 90°	1000	<b>5.185</b>	37.6	<b>0.66</b>	23.224	1.181	1.110	1.30	14.61
0°, 90°, ±45°	1000	5.461	39.6	0.68	23.224	1.279	1.144	1.30	12.00
±45°, ±45°	1000	9.708	<b>30.9</b>	1.07	23.224	1.096	<b>1.080</b>	1.30	16.92

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány célja egy új szendvicsszerkezet kidolgozása volt, amely felhasználható könnyűszerkezetes konténerek falának, padlójának és tetőjének előállítására. A könnyűszerkezetes konténerek alkalmazásának elsődleges célja a súlymegtakarítás a hagyományos acél konténerekhez képest, ami a járművek alacsonyabb üzemanyag-fogyasztását és így kevesebb környezetkárosítást eredményez.

Az új szendvicsszerkezet alumíniumhab magból áll, felső és alsó kompozit fedőlapokkal. Kilenc különféle laminált üvegszál és/vagy szénszállal erősített műanyag fedőlap-kombináció vizsgálata történt. A tanulmányban bemutatásra került a vizsgált szendvicsszerkezetek végelelemes analízise is.

Optimálási módszer került kidolgozásra az új szendvicsszerkezetnél. Az optimálás során a célfüggvény a szerkezet teljes tömege volt, öt méretezési feltétel lett figyelembe véve, amelyek a következők voltak: a szerkezet teljes merevsége, a fedőlap tönkremenetele, a mag nyírása, a fedőlap ráncosodása és a méretkorlátozási feltételek a tervezési változók esetében.

Az új szendvicsszerkezeti modell egycélűfüggvényes optimálását sikerült végrehajtani minimális súly mellett. Az esettanulmányban az optimális szerkezet, amely biztosítja a szendvicsszerkezet minimális súlyát, egy (+45°, -45°, +45°, -45°) szálrendezésű szénszál/epoxigyanta fedőlapokból és alumínium habmagból álló szerkezet, amelynek vastagsága 19,183 mm. Ez az optimális szendvicsszerkezet 28,54%-os súlymegtakarítást

eredményez az eredeti szerkezethez képest (5. táblázat).

A kutatás eredményei alapján arra lehet következtetni, hogy a kidolgozott szendvicsszerkezet jól alkalmazható azokban az alkalmazásokban, ahol a súlymegtakarítás a legfontosabb tervezési cél.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatallodó 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.

## IRODALOM

- [1] XIANG L., GANGYAN L., CHUN H., WANG M. Y. Optimum design of composite sandwich structure subjected to combined torsion and bending loads, *Applied Composite Materials*, China, Vol. 19, No. 3–4, 2012, pp. 315–331.
- [2] HUANG S., ALSPAUGH D. Minimum weight sandwich beam design, *AIAA Journal*, Purdue University, West Lafayette, Vol. 12, No. 12, 1974, pp. 1617-1618.
- [3] GIBSON L. Optimization of stiffness in sandwich beams with rigid foam cores, *Materials Science and Engineering*, Vol. 67, No. 2, 1984, pp. 125–135.
- [4] TRIANTAFILLOU T., GIBSON, L. Minimum weight design of foam core sandwich panels for a given strength, *Materials Science and Engineering*, Vol. 95, 1987, pp. 55–62.
- [5] ZENKERT D. *An introduction to sandwich construction*,

- Engineering Materials Advisory Services, Emas Publishing, London, 1997.
- [6] BITZER T. *Honeycomb Technology: Materials, Design, Manufacturing, Applications and Testing*, London, Chapman & Hall, 1997.
- [7] KOTA L., JÁRMAI K. Efficient algorithms for optimization of objects and systems. *An International Journal for Engineering and Information Sciences, Pollack Periodica*, Vol. 9, No. 1, 2014, pp. 121-132.
- [8] HAZIM N., JÁRMAI K. Kinematic-Based Structural Optimization of Robots, *An International Journal for Engineering and Information Sciences, Pollack Periodica*, Vol. 14, No. 3, 2019, pp. 213–222.
- [9] JAMES G., CHRISTOS P. Flexural Response of Inorganic Hybrid Composites With E-Glass and Carbon Fibers, *Engineering Materials and Technology*, Vol. 132, No. 2, 2010, pp. 1-8.
- [10] CHENSONG D., IAN D. Optimal Design for the Flexural Behaviour Of Glass and Carbon Fibre Reinforced Polymer Hybrid Composites, *Materials and Design*, Vol. 37, 2012, pp. 450–457.
- [11] Fajrin J., Zhuge Y., Bullen, F., Wang H. Significance analysis of flexural behavior of hybrid sandwich panels, *Open Journal of Civil Engineering*, Vol. 3, No. 3B, 2013, pp. 1–7.
- [12] RODRIGUES G., GUEDES, J., FOLGADO J. Combined topology and stacking sequence optimization of composite laminated structures for structural performance measures, *In 4th Engineering Optimization Conference, Taylor & Francis Group*, London, 2015.
- [13] CHRISTOS K. Simultaneous cost and weight minimization of composite stiffened panels under compression and shear. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 28, No. 5, 1997, pp. 419–435.
- [14] HEXCEL Composites Publication. *Mechanical Testing of Sandwich Panels, Technical Notes*. 2007, Online, Accessed in September 2019, Available on: [https://www.hexcel.com/user\\_area/content\\_media/raw/SandwichPanels\\_global.pdf](https://www.hexcel.com/user_area/content_media/raw/SandwichPanels_global.pdf)
- [15] MatWeb Material Property Data. *Cymat Stabilized Aluminium Foam*, Online, Accessed September 2019, Available on: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=bdd72d2af76c4e379ff82766b747ff9a>
- [16] Performance Composites Limited. *Composite Materials Engineering Specialists In Carbon Fibre*. 2009, Online, (Accessed September 2019), Available on: [http://www.performance-composites.com/carbonfibre/mechanicalproperties\\_2.asp](http://www.performance-composites.com/carbonfibre/mechanicalproperties_2.asp)
- [17] HEXCEL Composites Publication. *Honeycomb Sandwich Design Technology*. 2007, Online, Accessed in September 2019, Available on: [https://www.hexcel.com/user\\_area/content\\_media/raw/Honeycomb\\_Sandwich\\_Design\\_Technology.pdf](https://www.hexcel.com/user_area/content_media/raw/Honeycomb_Sandwich_Design_Technology.pdf)
- [18] KOLLÁR L., SPRINGER G. *Mechanics of Composite Structures*. London, Cambridge University Press, 2003.
- [19] SPILLER D. *Composite Sandwich Optimizer*. 2017, Online, (Accessed September 2019). Available on: <https://github.com/dinospiller/Composite-Sandwich-Optimizer>



# 3<sup>rd</sup> International Conference on Vehicle and Automotive Engineering VAE2020

2-4. September 2020. Miskolc, Hungary



## Konferencia felhívás

Tisztelettel hívunk minden érdeklődőt a 3-dik Nemzetközi Gépjármű- és Autóipari mérnöki Konferenciára (VAE2020), melyet 2020. szeptember 2-4 között tartunk Miskolcon. A konferencia célja, hogy összehozza a tudományos és ipari területek szakértőit, és bemutassa ezen területek fejlődését.

### A konferencia fő témakörei:

- A. Hagyományos hajtómű és emisszió
- B. Alternatív hajtóművek
- C. Jármű dinamika
- D. Anyagok és gyártás
- E. Járműelektronika
- F. Autonóm járművek
- G. Zaj és rezgés
- H. Aktív és passzív biztonság
- I. Fenntarthatóság
- J. Oktatás
- K. Járműszerkezetek és felületek tervezése
- L. Optimálás
- M. Hegesztés
- N. Többcsuklós szerkezetek

### A cikkek megjelentetése:

Az összes cikk elbírálásra kerül és az elfogadottakat a Springer Verlag által kiadott, a Scopus által indexált *Lecture Notes in Mechanical Engineering* sorozatban jelentetjük meg, a korábbi konferenciákhoz hasonlóan (<https://www.springer.com/gp/book/9783319756769>, <https://www.springer.com/gp/book/9783319511887>). A 2018-as kiadványnak 118 ezer letöltése volt eddig. A kiadvány valamennyi regisztrált résztvevő számára elektronikus úton lesz elérhető a konferenciára érkezéskor. A benyújtott cikkeknek eredetinek kell lenniük, máshol nem jelentek meg. A cikk terjedelme legalább 6 oldal, maximum 16 oldal. A szerzőnek előadást kell tartania. Szponzorálásra, kiállításra, standra van lehetőség lásd honlap.

### Ütemterv:

	Az esemény határideje
Felhívás megjelentetése	
Absztrakt benyújtása	2020. január 31.
Absztrakt elfogadása	2020. február 15.
Teljes cikk benyújtása	2020. március 20.
Teljes cikk elfogadása	2020. április 30.
Részvételi díj fizetése	2020. május 15.
Konferencia	2020. szeptember 2-4.

A konferencia nyelve angol. Az absztrakt szövegnek 300 és 500 szó között kell lennie. Konferencia díja: 290 euró/fő (2020 május 15.). A publikálás díja: 150 Euro/cikk (2020 május 15.).

### További részletekért forduljon a következőhöz:

Prof. Dr. JÁRMAI, Károly, Miskolci Egyetem  
3515 Miskolc, Egyetemváros Tel. +36-46-565111 ext 2929

### A konferencia honlapja

<http://vae2020.uni-miskolc.hu>  
E-mail: [vae2020@uni-miskolc.hu](mailto:vae2020@uni-miskolc.hu)



# CONTENTS

<b>1. NEURAL NETWORKS FOR LEARNING INVERSE KINEMATICS OF ROBOTS: REVIEW AND APPLICATION .....</b>	<b>5</b>
<b>Hazim Nasir Ghafil, Károly Jármai</b>	

*Deep learning for Inverse Kinematic problem of robot manipulators was investigated by many works considering the planar case. In this paper, the performance of the three learning algorithms; Levenberg-Marquardt algorithm, Bayesian Regularization algorithm, and Scaled Conjugate Gradient algorithm is studied will learning single hidden layer network how to solve the Inverse Kinematic problem of a three degree of freedom robot manipulator.*

<b>2. BEAM WITH FIXED SUPPORT AT ONE END OPTIMIZATION IN CASE OF ECCENTRIC LOAD .....</b>	<b>11</b>
<b>Antal Erdős, Károly Jármai</b>	

*In this article the optimization of a beam with opened cross section. is shown considering the stress and deflection calculations. This type of cross-section is very sensitive to the eccentricity of the load, because of the effect of the warping torsion. This type of model could be used in case of machine tools, for example press or drill machines. Because the accuracy of the manufacturing procedure and the workpiece the deflection of the beam must be minimal. On the other hand, the lifetime of the machine should be maximal.*

<b>3. OPTIMUM DESIGN OF WELDED ASYMMETRIC I-BEAMS FOR MINIMUM WELDING SHRINKAGE .....</b>	<b>19</b>
<b>Károly Jármai, Máté Petrik</b>	

*A calculation system has been developed to determine the optimum dimensions of asymmetric I-beams for minimum shrinkage. The objective function is the minimum mass, the unknowns are the I-beam dimensions, the constraint are the stress, local buckling and deflection. We have considered different steel grades (235, 355, 460 MPa yield stress) and different aluminium (90, 155, 240 MPa yield stress). The material, the span length and the loading have been changed. It is shown, that using optimum design, one can reduce the welding shrinkage with prebending and can save material cost as well.*

<b>4. OPTIMIZATION OF OVERHEAD TRAVELLING CRANE WITH FPA ALGORITHM ON GPU .....</b>	<b>27</b>
<b>Szilárd Nagy, Károly Jármai</b>	

*Nature-inspired evolutionary optimization algorithms are powerful tools for solving non-linear problems. Sometimes they require huge computation capability, and they may be slow. In this paper, we propose a possible parallelization method for computation of base FPA algorithm and one group of fitness function. Proposed method simulated with three test function and an optimization of main girder of overhead travelling crane.*

<b>5. PUBLICATION AND MODERN SEARCH OF THE LITERATURE: INTRODUCTION OF USING SCOPUS .....</b>	<b>33</b>
<b>Viktória Kállai, Károly Jármai</b>	

*The Scopus is a database, which has the largest collection of abstracts and citations. Furthermore, with different intelligent tools it makes possible the observation of researches. Using Scopus one can not only search and find relevant information about the searched topic, but it is possible to find research groups, and to make statistical analysis of articles, authors or journals. It offers a huge amount and comprehensive content at one source. Information related to all disciplines can be searched easily and efficiently. It provides access to thousands of articles, millions of author profiles and billions of citations cited.*

<b>6. ANALYTICAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF A SANDWICH BEAM WITH ALUMINIUM FOAM .....</b>	<b>40</b>
<b>Alaa Al-Fatlawi, Károly Jármai, György Kovács</b>	

*The purpose of the research is to develop a new lightweight sandwich structure that can be used as element of air containers. The structure is made of aluminium foam with fiber reinforced composite cover plates. Nine different combinations of laminated glass and/or carbon fiber reinforced plastic sheets have been tested. A finite element analysis of the sandwich structures was presented. The single-objective optimization of the new sandwich structure was achieved with minimal weight. Five design criteria have been considered: stiffness of the structure, shear failure of the topsheet, shear of the core, wrinkling of the topsheet, size limitations of the design variables. The elaborate composite structure results in significant weight savings due to the low density.*

# 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. Jáрмаi Károly  
Dr. Péter József  
Dr. Szabó Szilárd  
**Deputy**

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. Kalmár Ferenc  
Dr. Orbán Ferenc  
Dr. Pálinkás 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. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit  
Dr. Zobory István

**DEAR READER,**

Research at the University of Miskolc at the 4th Center for Excellence is under the heading *Innovative Vehicle Engineering, Power Engineering and Mechanical Engineering and Technologies*. The Center's objective is to develop research potential through research that innovates modelling, design and technological processes, in line with the European Union's drive to foster innovation, and the application and development of the most efficient environmental technologies. The Center for Excellence wants to improve the results achieved with new ones. The 2014-2020 research period will be completed slowly, and the GINOP and EFOP applications launched earlier will be also finished. Hopefully there will be similar research projects in the next research cycle.

In 2016 at the University of Miskolc, a car engineer training course started and created new challenges. The new PhD students who came to Stipendium Hungaricum to us also gave impetus to certain areas. We intend to introduce these new directions and results with this issue.

Most of the articles are the result of the 6th Scientific Group of 4th KK, the topic of which is the Optimum Design of the Engineering Support and Frame Structures. All articles are linked to the Department of Chemical Machinery at the Institute of Energy and Chemical Machinery.

The described articles partially were carried out as part of the EFOP-3.6.1-16-2016-00011 "Younger and Renewing University – Innovative Knowledge City – institutional development of the University of Miskolc aiming at intelligent specialisation" project implemented in the framework of the Széchenyi 2020 program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund."

*Prof. Dr. Károly Jáрмаi*  
*leader of the Center of Excellence*

Managing Editor: Vesza József. Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.

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

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1147 Budapest, Czobor u. 68., Postal address: 1371, Bp, Pf. 433

Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: a.gaby@gteportal.eu, Web: www.gteportal.eu

Web: http://www.gepujsag.hu \* Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Publisher: Dr. Igaz Jenő, Managing Director

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Telefon: 06-46/379-530 • e-mail: gazdasz@chello.hu

Distributed to subscribers by Magyar Posta Zrt, Postal address: 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered at any Hungarian post office, from postmen, from the link: www.posta.hu WEBSHOP

(https://eshop.posta.hu/storefront/), via e-mail: hirlapelfizetes@posta.hu, by phone: 06-1-767-8262, or mail to: MP Zrt. 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered from overseas and to overseas at Magyar Posta Zrt. Visit: www.posta.hu WEBSHOP (https://eshop.posta.hu/storefront/), mail to: 1900 Budapest, 06-1-767-8262, or hirlapelfizetes@posta.hu

Domestic subscription prices are: HUF 1,260 a single copy and HUF 2,520 a double copy.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

**The published articles have been reviewed.**

The publication is supported by the National Cultural Fund of Hungary

# AZ ELSŐ ZÁRÓVIZSGA A JÁRMŰMÉRNÖKI SZAKON

Elérkezett a nagy nap. A 2016-ban elindult járműmérnök képzés 2020-ban végzős hallgatókat 'termett'. A Gépészmérnöki és Informatikai Kar 2015-ben határozta el, hogy a környező és egyre szaporodó járműgyártáshoz kapcsolódó vállalatok növekvő szakember igényeit ezen a területen is igyekeznek kielégíteni. Az elmúlt három és fél év során rengeteg dolog történt. Megtelt a négy évfolyam, voltak szakmai napok, tanulmányutak, konferenciák. Idén is szeptemberben 2-4 között lesz a 3-dik Járműmérnöki konferencia, VAE2020. Érdekesség, hogy a végzettek 2/3-a továbbmegy MSc-re.



A 2020-as záróvizsga bizottsága és hallgatói



A 2019-es müncheni tanulmányút résztvevői



A 2016-os elsőéves járműmérnök hallgatók

Jármai Károly szakfelelős

# KÖNYVAJÁNLÓ

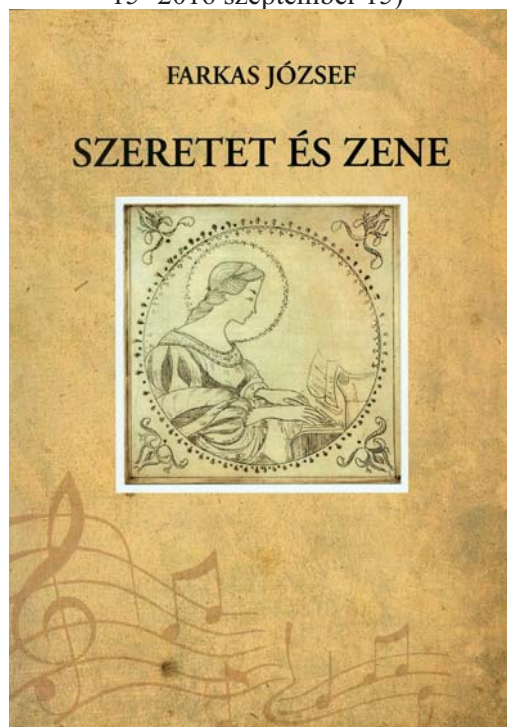
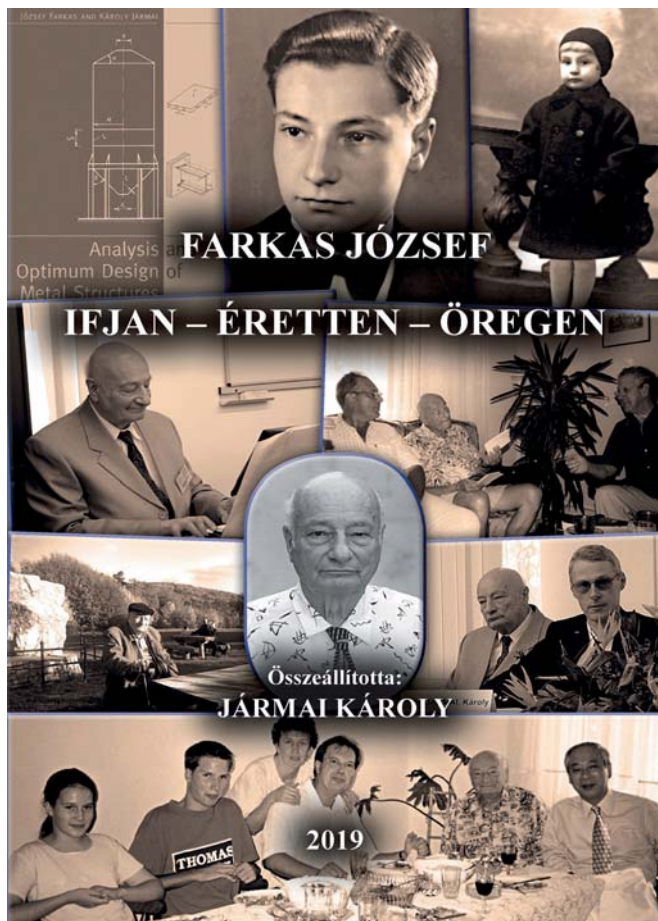
**Farkas József Ifjan-éretten-öregen**

Gazdász-Elasztik Kiadó és Nyomda, Miskolc, 187 old. 2019, ISBN 978-615-80212-8-9

E-mail: [gazdasz@upcmail.hu](mailto:gazdasz@upcmail.hu)

Tóth László, a Baylogi Intézet korábbi igazgatója, a Miskolci Egyetem volt professzora elindított egy sorozatot 2001-ben Ifjan-éretten-öregen címmel. Bemutatott egyetemi és nem egyetemi professzorokat, szakembereket. Életútjukat, szakmai eredményeiket. Megkértem, hogy bekapcsolódhassak ebbe a sorozatba és írhasak volt kollégámról, tanítómesteremről Farkas Józsefről.

Farkas József emeritusz professor, a műszaki tudomány doktora (1927 december 15 -2016 szeptember 15)



tervezése, hegesztési maradó feszültségek számítása, szerkezetoptimalás. Ő honosította meg a szerkezetoptimalást, ahol a szerkezet analízis, a szerkezet szintézissel összekapcsolódik. Bemutatta sok szerkezetnél, hogy a tervező matematikai módszerek alkalmazásával meg tudja határozni a legjobb megoldást, tud tömeget és költséget csökkenteni.

Nagyszámú tudományos cikke jelent meg, főként angol nyelven. Több magyar és angol nyelvű szakkönyvet írt részben társszerzőkkel, melyek hazai és nemzetközi kiadóknál, a Műszaki, az Akadémiai Kiadónál, a Gazdász Kiadónál és Nyomdánál, az Ellis Horwood, a Balkema, a Millpress, a Horwood és a Springer Kiadóknál jelentek meg.

Mérnökgenerációkat oktatott. Részt vett a nemzetközi hegesztőmérnök, illetve a nemzetközi hegesztett szerkezettervező mérnök képzésekben. A Nemzetközi Hegesztési Intézet munkájába már a 60-as évektől bekapcsolódott és magyar képviselő volt a hegesztett szerkezetek tervezésével és a szerkezetek fáradásával foglalkozó bizottságokban.

Farkas József nagyon szerette a zenét. Játszani is, hallgatni is. Úgy érezte, hogy írnia kell a zenéről, hogy át tudja adni másoknak azt a felemelő érzést, amit érzett a hallgatásukkor. Négy könyve jelent meg magyar és angol nyelven a komoly zenéről. Rendszeresen készített CD-ket, melyeken orgonált, mely sokoldalúságát bizonyítja. A kutatók éjszakája rendezvény során a Zenepalotában orgonált évről évre.

A könyvben volt tanítványai, kollégái és rokonai írnak róla, mit jelentett számukra, milyen élményeik társulnak személyéhez. Javasolom mindenkinek elolvasásra.

Jármai Károly