

# ADDITÍV GYÁRTÁS BIOMIMETIKAI MEGKÖZELÍTÉSSEL

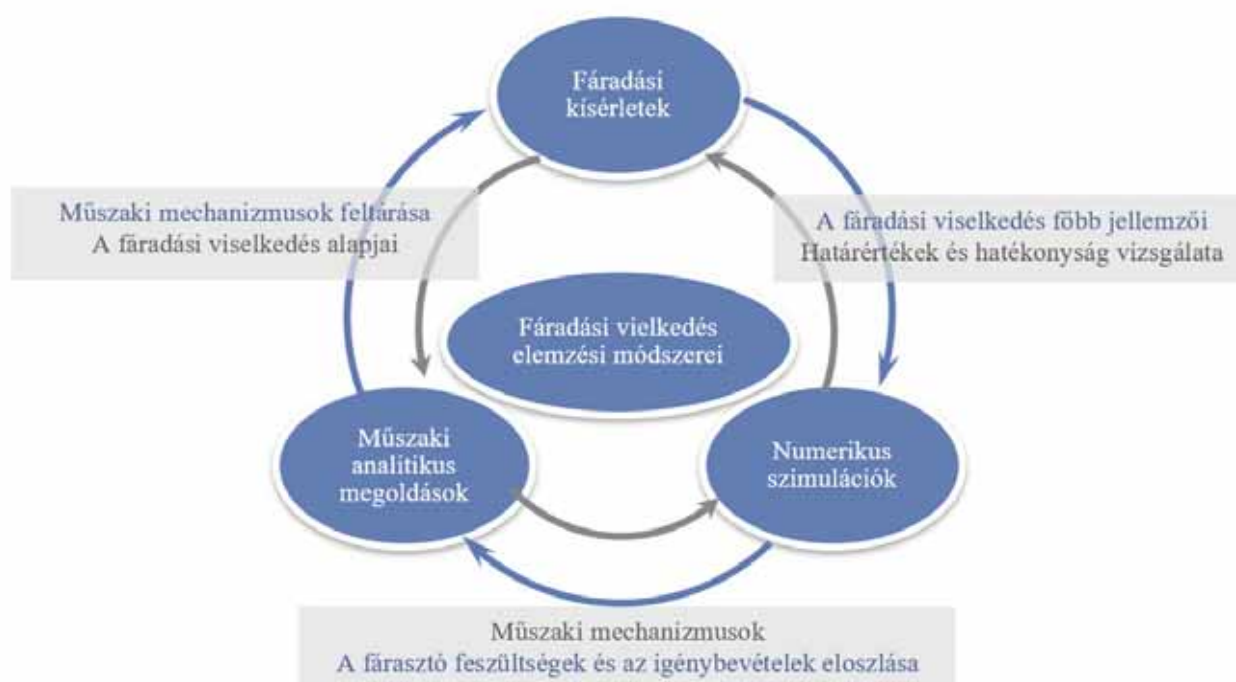
## ADDITIVE MANUFACTURING WITH BIOMIMETIC APPROACH

Albert Judit, PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet  
Dr. Takács Ágnes, egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet

**ABSTRACT** As a result of millions of years of development, nature has created structures that are resistant to the various effects of the environment. However, due to their complexity, these structures found in nature are very difficult to produce with the tools of traditional manufacturing technology. Thanks to the development of additive manufacturing, difficult structures can now be produced relatively easily. Lattice structure constructions with excellent mechanical characteristics can be made using topological optimization techniques, according to the model of additive manufacturing design. By combining these two methods, lightweight and high-strength structural alternatives can be developed.

### 1. BEVEZETÉS

Az additív gyártási (AM) technikák közelmúltbeli fejlődése lehetővé teszi, olyan összetett felépítésű alkatrészek gyártását, amelyek hagyományos gyártási módszerekkel nem gyárthatók. Az additív gyártás napjainkban, amikor a fenntarthatóság egyre nagyobb jelentőséget kap, olyan előnyökkel is jár, mint az alkatrész gyártásának rövidülése, az energiafogyasztás csökkentése és az anyaggazdálkodás minimalizálása [1-4]. Ez a módszer új perspektívát kínál azoknak a tervezőknek és mérnököknek, akik az additív gyártást munkájuk során használják.



1. ábra. A fáradási viselkedés elemzési módszerei [5]

A tanulmányban bemutatásra kerül a rácsszerkezetek és a topológiai optimalizálás [20] relevanciája biomimetikus megközelítésben, illetve említésre kerül a rácsszerkezetek optimalizálása,

továbbá ezen módszerek és a biomimetika kapcsolata. A fárasztási vizsgálatok fontosak a fáradási viselkedés vizsgálatára, de csak fenomenológiailag képesek leírni a topológia fáradási

tulajdonságainak összefüggéseit. Mivel a szerkezeten belüli feszültségeloszlást nem lehet közvetlenül a fárasztási kísérletekkel meghatározni, ezenkívül a fárasztási kísérletek elvégzése idő- és munkaigényes, ha nagyszámú mintadarabot használunk; így a hatékonysága nem elég nagy. [5] A fent említett korlátozások miatt a fárasztási kísérleteket más technológiákkal együtt kell alkalmazni a fáradási viselkedés átfogó megértéséhez.

A legtöbb hagyományos gyártási módszer nem tudja biztosítani azt a tervezési szabadságot, mint az AM, melynek köszönhetően a tervezés során elméleti megfontolásokat, analitikus megoldásokat és számítási modelleket használunk az úgynevezett "tervezési-tulajdonsági" összefüggések megállapítására, amelyek segítségével megjósolható, hogy milyen topológiai kialakításra van szükség ahhoz, hogy a kívánt tulajdonságok egy adott kombinációja megvalósuljon. [6][7] Ez gyakran olyan összetett topológiai kialakításokat eredményez, amelyek csak fejlett AM-technikákkal valósíthatók meg.

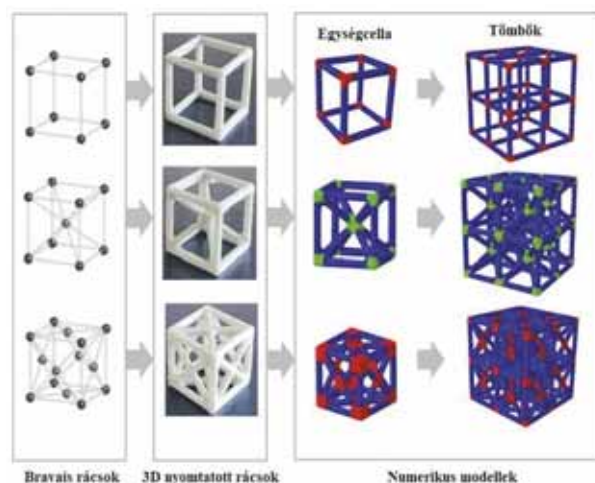
## 2. RÁCSSZERKEZETEK

Az additív gyártási technikák fejlődése felszabadította a rácsszerkezetek tervezését azáltal, hogy lehetővé tette a rácsszerkezetek gyárthatóságát [8]. A rácsszerkezetek struktúrák elsősorban csomópontokból és merevítő elemekből épülnek fel, amelyek jelentősen hozzájárulnak a tömeg csökkentéséhez és egyben a szerkezeti integritás fenntartásához [9][10].

### 2.1. A rácsszerkezetek mechanikai tulajdonságai

Mivel a rácsszerkezetek tulajdonságai közvetlenül függenek az egységcella alakjától és

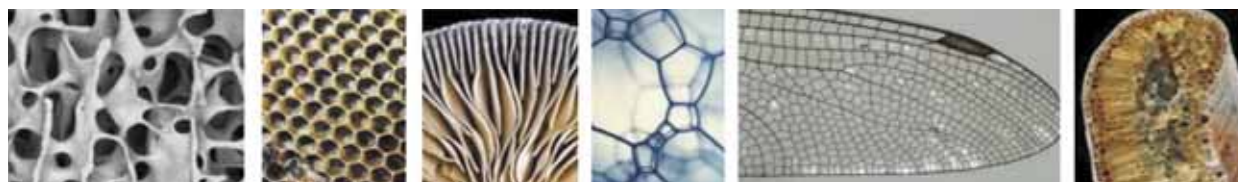
szerkezetétől, minden egyes egységcella különböző mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik [11].



2. ábra. A rácsszerkezetek és az egységcellák felépítésének példái [11]

### 2.2. A rácsszerkezetek előnyei és hátrányai

Hagyományosan a rácsszerkezetek öntéssel, lemezalakítással készülhetnek, azonban e módszerek gyártási korlátai nagy mértékben befolyásolják a tervezett rácsszerkezetek összetettségét. Ezért ezekkel a módszerekkel csak néhány egyszerű egységcellás topológiájú rácsszerkezet állítható elő, ellentétben az AM lehetőségeivel. A tervező számára a legfontosabb kihívás egy konstrukciós alkalmazásban a megfelelő változók kiválasztása. A rács anyaga, a cella típusa és a térfogatarány fontos szerepet játszik a szerkezeti merevség és szilárdság meghatározásában. Ugyanez vonatkozik más mechanikai tulajdonságokra is. Mivel a méret befolyásolja a mechanikai teljesítményt a rácsszerkezetek mechanikai jellemzőit, minél kisebb a relatív sűrűség, annál nagyobb a mérethatás is [12].



3. ábra. A természetben megtalálható rácsszerkezetek példái: a) emberi csont SEM alatt, b) méhsejtes szerkezet, c) gomba micella, d) Voronoi-struktúra buborékokban, e) szitakötő szárnya, f) levél-metszeti szerkezete [13]

### 2.3. A rácsszerkezetek gyárthatósága

Az additív gyártási technikák fejlesztése, mint például a 3D nyomtatás, lehetővé tette az összetettebb szerkezetek létrehozását a

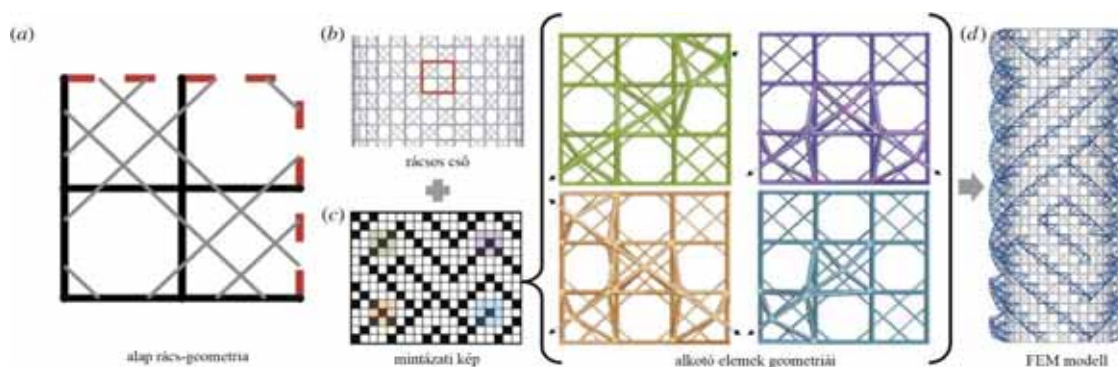
rácsszerkezetek tervezésekor. Így, az AM-módszerekkel létrehozott rácsok utánozhatják a bioanyagokat, mint például a csont [14]. Míg a 2D extrudált szövetszerű rácsok hagyományos

gyártási módszerekkel, például öntés, kovacsolás és extrudálás révén állíthatók elő, a 3D héj/lemezszerű szerkezetek az AM-módszerrerel állíthatók elő, mivel általa akár összetett szerkezeti struktúrák is gyárthatóvá válnak [15].

### 3. BIOMIMIKRI

A természet optimalizálta összetett szerkezetek biológiai struktúráiból merített ötletek, a legújabb fejlesztéseknek köszönhetően széles körben elterjedtek az additív gyártás területén. Ezek a természetben gyakran előforduló struktúrák inspirációs forrást jelentenek a különféle a

mérnöki alkalmazásokban alkalmazható sejt-szerkezetek kialakításához [16][19]. A természetes szerkezetek gyakran több ismétlődő szerkezeti elem komplex rendszerei. Ezek a biológiai szerkezetek szálas, helikális, gradiens, réteges, csőszerű, celluláris, varratos és átfedő struktúrákként sorolhatók fel, amint az a 3. ábrán látható. A természet számos hatékony megoldást kínál, a természetben található kovaszivacs vázak, a diatómák és a tengeri szivacsok [17], nagyon nagy szilárdságot mutatnak, amely a pórusos könnyűszerkezet és különböző geometriai struktúrák hierarchikus elrendeződéséből adódik.



4. ábra. A kovaszivacs szerkezeti modellek létrehozásának munkafolyamata: (a) átlósan megerősített négyzetes egységcellás geometria vázlatrajz, a (b) ábrán látható csőszerű rács létrehozásához, majd (c) a teljes váz-modell megalkotásához használt különböző elemeket alkotó sémák feltérképezése, végül a (d) FEM modell mintázatának modellezése [17]

A természetben található összetett struktúrák meghaladják a hagyományos tervezési és gyártási technológiákat, akadályozva a biomimetikai tanulmányok előrehaladását és mérnöki alkalmazásokban való felhasználását. Az AM új lehetőségeket teremtett a több anyagból készült multifunkcionális szerkezetek előállítására, és a biomimikri integrációja lehetővé teszi az áttöréseket a mérnöki technológia fejlesztésében a következő évtizedekben [18].

### 4. KÖVETKEZTETÉSEK

A természetszintézis mechanizmusait tovább kell tanulmányozni a felhasználható bioinspirált struktúrák tervezéséhez a mérnöki rendszerekben. Ennek érdekében az AM gyártást más technológiákkal együtt fejleszteni kell, hogy feltárhatóak legyenek a gyártott alkatrészek tulajdonságai mögött meghúzódó mechanizmusok és a természetben megfigyelhető jelenségek. Fontos továbbá megérteni az anyagot formáló növekedési folyamatokat a természetben, és azonosítani őket, ami inspirálhatja a helyettesítő módszerek megtalálását a természetes növekedés

folyamatának utánzására, egy rövidebb időskálán. Ily módon a 3D nyomtatás tudja legjobban megközelíteni a növekedési folyamatot és egyben megfelelni a gyártási időskálának mérnöki környezetben. A kutatás ezeknek az anyagoknak és szerkezeteknek a megértésével további betekintést nyújthat ezeknek a természetes szerkezeteknek a replikálására szolgáló módszerekbe ahelyett, hogy egyszerűen ismételnék a biológiai struktúrákat.

### 5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] W. Tao, M. C. Leu: Design of lattice structure for additive manufacturing, International Symposium on Flexible Automation (ISFA), 2016, pp. 325-332, doi: 10.1109/ISFA.2016.7790182
- [2] P. Datta, V. Vyas, S. Dhara, A. R. Chowdhury, A. Barui: Anisotropy properties of tissues: a basis for fabrication of biomimetic anisotropic scaffolds for tissue engineering, J. Bionic Eng. 16, 842-868 (2019), doi:10.1007/s42235-019-0101-9

- [3] J. Plocher, A. Panesar: Review on design and structural optimization in additive manufacturing: Towards next-generation lightweight structures, *Materials & Design*, 183, 2019. doi: 10.1177/0954405420949209
- [4] V. N. Hoang, P. Tran, V. T. Vu, H. Nguyen-Xuan: Design of lattice structures with direct multiscale topology optimization, *Composite Structures*, 252, 2020. doi: 10.1016/j.compstruct.2020.112718
- [5] H. Huang, L. Wang, Y. Fan: Metallic meta-biomaterials: A critical review of fatigue behaviors, *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, Volume 8, Issue 3, September 2023, 100585. doi: 10.1016/j.jsamd.2023.100585
- [6] Alzyod Hussein, Ficzer Peter: Material-Dependent Effect of Common Printing Parameters on Residual Stress and Warpage Deformation in 3D Printing: A Comprehensive Finite Element Analysis Study, *POLYMERS* 15:13, p. 2893, 2023.
- [7] Alzyod Hussein, Borbas Lajos, Ficzer Peter: Rapid prediction and optimization of the impact of printing parameters on the residual stress of FDM-ABS parts using L27 orthogonal array design and FEA, *MATERIALS TODAY: PROCEEDINGS*, 2023.
- [8] A. D. Voicu, A. Hadăr, D. Vlăsceanu: Benefits of 3D printing technologies for aerospace lattice structures, *Scientific Bulletin, Mircea cel Batran, Naval Academy*, 24(1), 8-16, 2021.
- [9] L. J. Gibson, M. F. Ashby: *Cellular Solids: Structure and Properties*, 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- [10] A. Seharing, A. H. Azman, S. Abdullah: A review on integration of lightweight gradient lattice structures in additive manufacturing parts, *Advances in Mechanical Engineering*, SAGE Publications Inc., 12(6), pp. 1–21, 2020. doi:10.1177/1687814020916951
- [11] F. Libonati, S. Graziosi, F. Ballo, M. Mognato, G. Sala: 3D-Printed Architected Materials Inspired by Cubic Bravais Lattices, *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 9 (7), pp.: 3935–3944, 2023. doi: 10.1021/acsbomaterials.0c01708
- [12] N. Kladovasilakis, K. Tsongas, D. Tzetzis: Finite Element Analysis of Orthopedic Hip Implant with Functionally Graded Bioinspired Lattice Structures, *Biomimetics* (Basel, Switzerland), 5(3), 44, 2020. doi:10.3390/biomimetics5030044
- [13] A. Nazir, K. M. Abate, A. Kumar, J. Y. Jeng: A state-of-the-art review on types, design, optimization, and additive manufacturing of cellular structures, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(9–12), pp.:3489–3510, 2019. doi:10.1007/s00170-019-04085-3
- [14] G. Briguier, P. F. Egan: Structure, Process, and Material Influences for 3D Printed Lattices Designed With Mixed Unit Cells. Proceedings of the ASME 2020 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Volume 11A: 46th Design Automation Conference (DAC), 2020. doi: 10.1115/DETC2020-22575
- [15] D. S. Nguyen: Design of lattice structure for additive manufacturing in CAD environment. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 13(3), 2019. doi:10.1299/jamdsm.2019jamdsm0057
- [16] A. du Plessis, C. V. Broeckhoven, I. Yadroitseva, I. Yadroitsev, C. H. Hands, R. Kunju, D. Bhate: Beautiful and Functional: A Review of Biomimetic Design in Additive Manufacturing. *Additive Manufacturing*, 27, 408-427, 2019. doi:10.1016/j.addma.2019.03.033
- [17] M. C. Fernandes, M. Saadat, P. Cauchy-Dubois, C. Inamura, T. Sirota, G. Milliron, H. Haj-Hariri, K. Bertoldi, J. C. Weaver: Mechanical and hydrodynamic analyses of helical strake-like ridges in a glass sponge, *Journal of the Royal Society, Interface*, 18(182), 2021. doi:10.1098/rsif.2021.0559
- [18] Y. Yang, X. Song, X. Li, Z. Chen, C. Zhou, Q. Zhou, Y. Chen: Recent Progress in Biomimetic Additive Manufacturing Technology: Materials to Functional Structures, Article in *Advanced Materials*, 2018. doi:10.1002/adma.201706539
- [19] Dömötör Csaba, Péter József: Természeti elvek az analógia alapú tervezésben, *GÉP* 63: 12 pp. 29-32., (2012)
- [20] Szabó Kristóf: Investigation of the Applicability of Topological Methods, *LECTURE NOTES IN MECHANICAL ENGINEERING, Vehicle and Automotive Engineering*, pp. 582-591., (2022)