

## A GENERATÍV TERVEZÉS BIOMECHANIKAI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

Ficzere Péter<sup>1</sup>, Borbás Lajos<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék

<sup>2</sup> Edutus Egyetem, Műszaki Intézet



DOI: 10.17489/biohun/2023/1/581

### Absztrakt

A „generatív tervezés” során a termékkel szemben támasztott követelményeket összegezzük az elvárt funkciók megadásával, pontosítva: a funkcióknak megfelelő paraméterekkel írjuk le, mit szeretnénk létrehozni. A tervezési folyamat során különféle szempontok szerinti optimalizálást is végezhetünk, így a kiinduló feltételeknek megfelelő lehetséges megoldások közül választhatjuk ki a számunkra megfelelő valóságos változatot. Megfelelő adatbázisok birtokában a mesterséges intelligencia (AI) használatával számos új alkalmazási lehetőség nyílik olyan területeken, mint az egészségügy, a pénzügy, a közlekedés és az oktatás. A biomechanika tudományterületén a mesterséges intelligencia javíthatja az emberi test működésének megértését, új ismereteket nyújthat a sérülések és betegségek diagnosztizálásához, kezeléséhez, megelőzéséhez. A mesterséges intelligenciát olyan alkalmazásokhoz használhatjuk, mint például a kép- és mozgáselemzés, a sérülésveszély előrejelzése, az adatgyűjtés, előfeldolgozás, jellemző kivonatolás, algoritmusképzés, modellérvényesítés és telepítés folyamata. E tanulmány célja, hogy betekintést engedjen a generatív tervezés – adott esetben mesterséges intelligenciát is felhasználó – biomechanika területét érintő lehetőségeibe.

**Kulcsszavak:** generatív tervezés, additív gyártás (AM), személyre szabott orvosi implantátum, biomechanika, szimuláció

### APPLICATION POSSIBILITIES OF GENERATIVE DESIGN IN BIOMECHANICS

#### Abstract

In case of “generative design”, we summarize the requirements of the product by specifying the expected functions, and specify what we want to create by describing the parameters corresponding to the functions. During the design process, we can also optimize the product according to various criteria, so that we can choose the realistic solution that meets our initial requirements. With the right databases, the use of artificial intelligence (AI) opens up a range of new applications in areas

**\*Levelező szerző elérhetősége:** Edutus Egyetem, Műszaki Intézet, H-2800 Tatabánya, Stúdió tér 1. **E-mail:** [borbas.lajos@edutus.hu](mailto:borbas.lajos@edutus.hu) **Tel.:** +36 34 520-400

**Citáció:** Ficzere P, Borbás L. A generatív tervezés biomechanikai alkalmazásának lehetőségei. *Biomech Hung.* 2023;16(1):50-4.

**Beérkezés ideje:** 2023.04.06. **Elfogadás ideje:** 2023.06.16.

such as health, finance, transport and education. In the field of biomechanics, AI can improve our understanding of how the human body works and provide new insights for the diagnosis, treatment and prevention of injuries and diseases. Artificial intelligence can be used for applications such as image and motion analysis, injury risk prediction, data collection, pre-processing, feature extraction, algorithm training, model validation and deployment processes. This paper aims to provide insight into the potential of artificial intelligence in the field of biomechanics.

**Keywords:** generative design, Additive Manufacturing (AM), taylor made medical implants, biomechanics, simulation

## BEVEZETÉS

A generatív tervezés egy olyan tervezési megközelítés, amely az algoritmusok és a számítógépes szimulációk segítségével készült modellekkel és adatokkal dolgozik, optimalizálja a tervezett részek szerkezetét és teljesítményét.<sup>1</sup> A tervezés során a termékkel szemben támasztott követelményeket összegezzük az elvárt funkciók megadásával, melyeket paraméterekkel írunk le, így létrehozva az elképzeléseink szerinti objektumot. A biomechanika területén a generatív tervezés lehetőségeit több módon is ki lehet használni:

1. Testre szabott implantátumok és protézisek tervezése: A generatív tervezés segítségével testre szabott implantátumokat és protéziseket lehet tervezni, amelyek jobban illeszkednek a beteg testének geometriai és szilárdsági jellemzőihez, és optimális funkcionális teljesítményt biztosítanak.
2. Sokkal nagyobb mértékű stabilitást nyújtanak (szekunder stabilitás: implantátum integrációja) a megfelelő felületi struktúrával kialakított implantátumok. Ilyen felületi struktúrákat csak additív gyártástechnológiákkal lehet előállítani.
3. Orvosi eszközök és berendezések optimalizálása: a generatív tervezés segítségével lehet optimalizálni az orvosi eszközök és berendezések tervezését annak érdekében, hogy javítsák azok hatékonyságát, csökkentsék a súlyt és a méretet, valamint minimalizálják a gyártási költségeket.

## A GENERATÍV TERVEZÉS ÉS AZ ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁK EGYÜTTES ALKALMAZÁSA

A generatív tervezés és az additív (felépítéses) gyártástechnológiák szorosan összekapcsolódnak egymással, és együtt új lehetőségeket kínálnak a tervezés, valamint a gyártás terén. A generatív tervezés az algoritmusok és számítógépes szimulációk felhasználásával optimalizálja a tervezett részek szerkezetét és teljesítményét. Ezáltal a tervezők nagyobb rugalmasságot és szabadságot kapnak a tervezési folyamatban, és lehetőség nyílik a hatékonyabb tervezési lehetőségek felfedezésére.

Az additív gyártástechnológiák olyan eljárások, amelyek során az alkatrészek, modellek rétegről rétegre történő felépítése révén készülnek. Az additív gyártástechnológiák lehetővé teszik a modellek gyorsabb és hatékonyabb gyártását, csökkentik a hulladékot és a gyártási költségeket<sup>2</sup>, valamint lehetővé teszik összetett geometriák elkészítését és a testre szabás lehetőségét.

Az additív gyártástechnológiák és a generatív tervezés együttes alkalmazása lehetővé teszi a tervezési folyamatok hatékonyabbá és optimalizáltabbá tételét. A generatív design segítségével optimalizált tervek hozhatók létre, amelyek jobban kihasználják az additív gyártástechnológiák által biztosított lehetőségeket. Az additív gyártástechnológiák segítségével a generatív design által létrehozott tervek gyorsan és hatékonyan gyártásba vihetők.

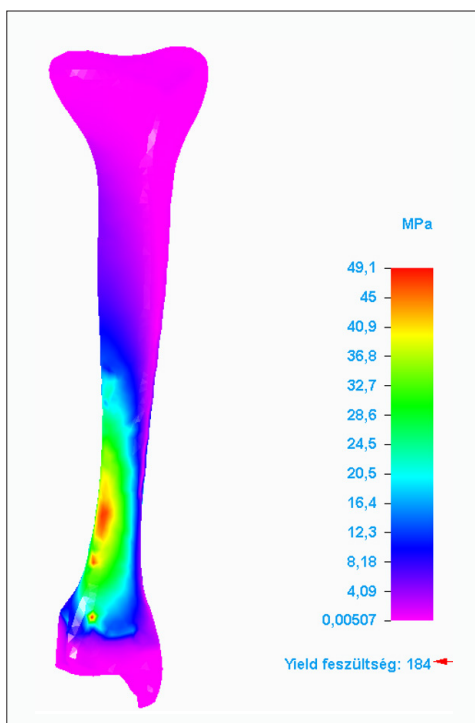
Az additív gyártástechnológiák, mint például a 3D nyomtatás, lehetővé teszik a tervezők számára, hogy gyorsan és könnyen létrehozzanak prototípusokat és a generatív design segítségével optimalizálják azokat. Az alábbiakban néhány példa látható a generatív design és az additív gyártástechnológiák együttes alkalmazásának előnyeire:

- Súlycsökkentés: a generatív tervezés lehetővé teszi az optimalizált struktúrák létrehozását, amelyek jelentősen csökkentik a termék súlyát, miközben megőrzik a szükséges szilárdságot és stabilitást. Az additív gyártástechnológiák lehetővé teszik az ilyen bonyolult geometriák gyors és hatékony létrehozását.<sup>3</sup>
- Anyagfelhasználás: a generatív tervezés az anyagok hatékonyabb felhasználását eredményezi, mivel csak az adott funkcióra tervezett részek gyártására van szükség. Az additív gyártástechnológiák lehetővé teszik a tervezett részek pontos és pontosan illeszkedő elkészítését.<sup>4</sup>
- Funkcionális tervezés: a generatív tervezés lehetővé teszi a funkcionális tervezést, amely a részek teljesítményét maximalizálja (pl. rugalmassági viszonyok, deformációk) a megfelelő alak, szilárdság és súly kombinációjának kialakításával. Az additív gyártástechnológiák lehetővé teszik az ilyen bonyolult geometriák kivitelezését, amire hagyományos gyártási eljárásoknál (pl. forgácsolás, hideg-, vagy meleg alakítás) nem lenne lehetőség.
- Gyors prototípusok: A generatív tervezés segítségével gyorsan és hatékonyan lehet előállítani különböző prototípus geometriákat, amelyeket az additív gyártástechnológiák segítségével könnyen és gyorsan lehet létrehozni.<sup>5</sup> Ez lehetővé teszi a tervezők számára, hogy különböző verziókat készítsenek és teszteljék a tervezési folyamat különböző szakaszaiban.<sup>6,7</sup>

## EREDMÉNYEK

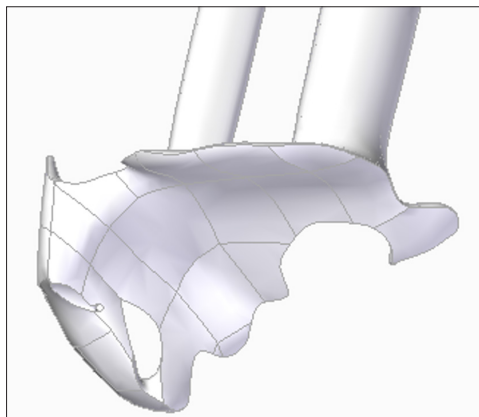
Az additív gyártástechnológiák egyik leggyakoribb felhasználási területe a személyre szabott orvosi implantátumok területén mutatkozik meg. Ilyen esetekben a CT felvételek alapján elő tudjuk állítani a kívánt, a páciens ép csontjaihoz megfelelően illeszkedő geometriát. A csont anyagjellemzőinek ismeretében<sup>8-10</sup> pedig meg tudjuk határozni, milyen mértékű deformációt szenved a csont adott igénybevétel esetén, avagy mely részein mekkorák a feszültségek, ahogy az *1. ábrán* is látható.

A deformációk, valamint a csont környezetének ismeretében már lehetőségünk van generatív tervezés segítségével meghatározni egy olyan alakot, amit adott (ismert) anyagjellemzőkkel rendelkező alapanyagból legyártva az eredeti csont deformációs viselkedésével meg-

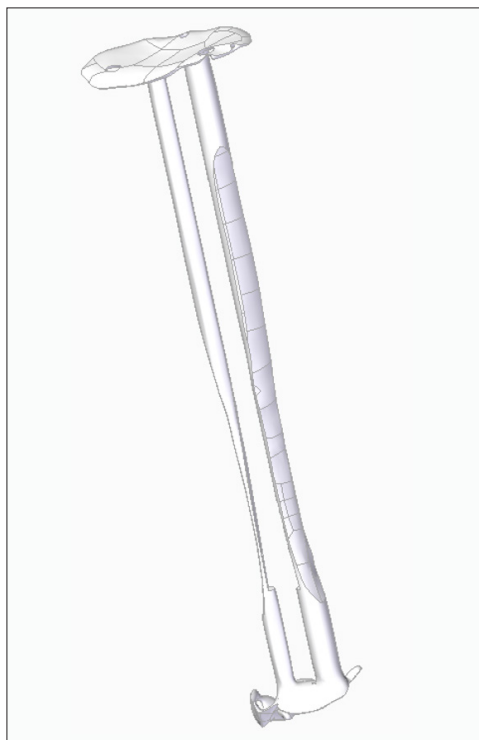


1. ábra. Feszültségeloszlás human tibia hossztengetly terhelése során<sup>9</sup>

egyező tulajdonságokkal rendelkeznek. A vizsgálat elvégzése előtt természetesen szükséges, hogy definiáljuk, az ún. megmaradó régiókat, amire példát mutat a [2. ábra](#).



2. ábra. Megmaradó régió a csatlakozó felületeknél



3. ábra. Generatív tervezés eredményeként kapott geometria

Ezek azok a területek, felületek, adott vastagsággal (és más geometriai méretekkel), amin nem engedjük, hogy a szoftver módosításokat végezzen a szimuláció során, hiszen ezen felületek mentén csatlakozik majd az implantátum a környezetéhez, a szomszédos csontokhoz.

Ilyen korlátozó feltételek mellett elvégezve a szimulációt megkaphatjuk azt a geometriát, ami ugyanolyan mértékű alakváltozási tulajdonságokkal rendelkezik egy adott terhelés hatására, mint az eredeti csont. A generatív tervezési folyamat egy lehetséges eredményét mutatja a [3. ábra](#).

A [3. ábrán](#) megfigyelhető, hogy a generatív design eredményeképpen kapott geometria – összetettsége okán – gyakorlatilag csak additív gyártástechnológia valamely eljárásával valósítható meg.

### ÖSSZEZÉS

A generatív tervezés olyan megközelítés, amely az algoritmusok és a számítógépes szimulációk segítségével optimalizálja a tervezett részek szerkezetét (geometriák és kapcsolatok) és teljesítményét. Ezt a módszert a biomechanika területén is ki lehet használni, például testre szabott implantátumok és protézisek tervezésére, valamint adott célra tervezett orvosi eszközök és berendezések optimalizálására.

Az additív gyártástechnológiák olyan eljárások, amelyek rétegről rétegre építik fel a kívánt geometriát. Az ilyen technológiák lehetővé teszik a gyorsabb és hatékonyabb gyártást, csökkentik a hulladékot és a költségeket, valamint nagyobb geometriai összetettséget és testre szabhatóságot biztosítanak.

Az additív gyártástechnológiák és a generatív tervezés együttes alkalmazása lehetővé teszi a

tervezési folyamatok hatékonyságának növelését, biztosítva a különböző célú optimalizálások megvalósítását. Az optimalizált tervek jobban kihasználják az additív gyártástechnológiák lehetőségeit, gyorsabban és hatékonyabban gyártathatók.

További előnyeként említhetjük a súlycsökkentést és az optimalizált anyagfelhasználást. Az optimalizált struktúrák jelentősen csökkenthetik a súlyt, miközben megőrzik és biztosítják a szükséges és elvárt szilárdságot és stabilitást. Mindezek együttes hatása költség-

csökkentést, valamint a hulladék mennyiségének csökkentését eredményezi.

Az additív gyártástechnológiák és a generatív tervezés együtt alkalmazhatók a prototípusok és alkatrészek gyorsabb és hatékonyabb létrehozása érdekében. Az új tervezési és gyártási lehetőségek jelentősen hozzájárulnak az orvostechnológiai eszközök és berendezések fejlesztésének felgyorsításához, javítva azok hatékonyságát, csökkentve a költségeket, ezáltal javítva a betegek felépülésében és regenerálásában elért eredményeket.

**A szerzők részvétele:** B.L. és F.P. ugyanolyan mértékben járultak hozzá az irodalmi feldolgozáshoz és kézirat megírásához.

**Összeférhetetlenség:** Nincs.

## IRODALOM

1. *Borsodi E, Takács Á.* Generative Design: An overview and its relationship to artificial intelligence. Design of machines and structures: a publication of the University of Miskolc. 2022;12(2):54-60. [DOI](#)
2. *Ficzere, P.* Effect of 3D printing direction on manufacturing costs of automotive parts. International Journal For Traffic And Transport Engineering. 2021;11(1):94-101. [DOI](#)
3. *Seregi BL, Ficzere P.* Weight reduction of a drone using generative design. Hungarian Journal of Industry and Chemistry. 2022;49(2):19–22. [DOI](#)
4. *Ficzere P, Bogyá P, Horváth E, Lovas L.* Simplified CAD model of human metacarpal for implantation. Design of Machines and Structures. 2018;8(2):5-12.
5. *Horváth ÁM, Ficzere P.* Rapid prototyping in medical sciences. Production Engineering Archives. 2015;8(3):28-31.
6. *Ficzere P, Borbas L, Torok A.* Validation of Numerically Simulated Rapid-prototype Model by Photoelastic Coating. Acta Mechanica Slovaca. 2014;18(1):14-24.
7. *Szűcs NA, Szép G, Szabó F, Kovács NK.* Korszerű gyártástechnológiák szerepe az egyszer használatos orvostechnikai eszközök fejlesztésében. Polimerek. 2016;2(8):232-237.
8. *Ficzere P, Borbás L, Falk Gy.* Csont anyagtulajdonságainak megfelelő anyagmodellek előállítása additív gyártástechnológiákkal. Biomech Hung. 2018;11(2):77-83.
9. *Ficzere P, Borbás L.* Csontok anyagjellemzőinek közelítése a gyártástechnológiai paraméterek módosításával 3D nyomtatás esetén. Biomech Hung. 2017;10(2):22 Paper: A-008.
10. *Ficzere P.* Design questions of the individual medical implants. In: *Haber I, Bogdan Cs, Szoke A. editors.* Proceedings of 4th International Interdisciplinary 3D Conference: Engineering Section. Pécs, University of Pécs. 2018;115:57-67.