

A GENERATÍV TERVEZÉS ALKALMAZÁSI TERÜLETEINEK ÉS A TERMÉKJELLEMZŐKRE GYAKOROLT HATÁSÁNAK ELEMZÉSE

ANALYSIS OF THE APPLICATION AREAS OF GENERATIVE DESIGN AND ITS IMPACT ON PRODUCT CHARACTERISTICS

Borsodi Eszter*, Dr. Takács Ágnes Judit**

ABSTRACT

Based on case studies from the literature, the study examines the application areas and objectives of generative design, as well as the resulting changes in product characteristics compared to traditional design. It demonstrates that generative design can be used not only for mass and structural optimization but also to meet other requirements, such as better functional performance or customization. The analysis indicates that generative design can influence a range of interconnected technical, material, geometric, manufacturing, economic, and sustainability characteristics. These findings lay the foundation for a multidimensional comparison of traditional and generative design alternatives in the future.

1. BEVEZETÉS

A terméktervezés során a mérnöknek egyszerre számos követelményt kell figyelembe vennie (pl.: tömeg, szilárdság, anyagfelhasználás, fenntarthatóság), amelyek hatással vannak egymásra, így valamilyen szintű kompromisszumra van szükség.

A hagyományos tervezés egy lineáris folyamat, amely során a tervezők emberi kreativitására és tapasztalatokra alapozva hozzák létre, majd iteratív módon finomítják a CAD-modelleket. Ezzel szemben a generatív tervezés egy algoritmikus megközelítés: a szoftver különböző kritériumok (korlátozások, terhelések), célkitűzések és gyártási megfontolások alapján alkot meg egy megoldás halmazt, amelynek minden modellje optimális alternatívának tekinthető [1].

A generatív tervezéssel létrehozott termékek bizonyos tulajdonságai eltérnek a hagyományos tervezéssel létrehozott alternatívák tulajdonságaitól. A generatív tervezés rövid definiálása után a cikk célja szakirodalmi esettanulmányok vizsgálatára támaszkodva annak a kérdésnek a megválaszolása, hogy mely területeken és milyen okból alkalmazzák a generatív tervezést, és hogy mely termékjellemzők változnak a generatív tervezés

következtében a tradicionálisan megtervezett modellhez képest. Az így beazonosított termékjellemzők a későbbiekben alapként szolgálhatnak a hagyományos és a generatív módon tervezett termékek többdimenziós összehasonlító vizsgálatához.

2. GENERATÍV TERVEZÉS DEFINÍCIÓJA

A generatív tervezési folyamat lépései az 1. ábrán láthatók, mely az Autodesk Fusion 360 generatív tervezési keretrendszere alapján készült [2].

Az első lépés a kiindulási geometria meghatározása, amely a megtartandó területek és az újratervezendő terek kijelölésével történik. Szükség van tehát egy alapelemből megtervezésére, ami történhet közvetlenül a programban a generatív tanulmány lefuttatása előtt, vagy egy korábban hagyományos módon megtervezett 3D modell importálásával.

Gépészeti tervezésnél az objektum geometriai meghatározásán túl a bemeneti generatív paraméterek magukba foglalhatják a terhelések és kényszerek helyét, illetve nagyságát, az anyagtulajdonságokat, a gyártástechnológiát, valamint a tervezési célt. A tervezés célja a szilárdság maximalizálása vagy a tömeg minimalizálása.

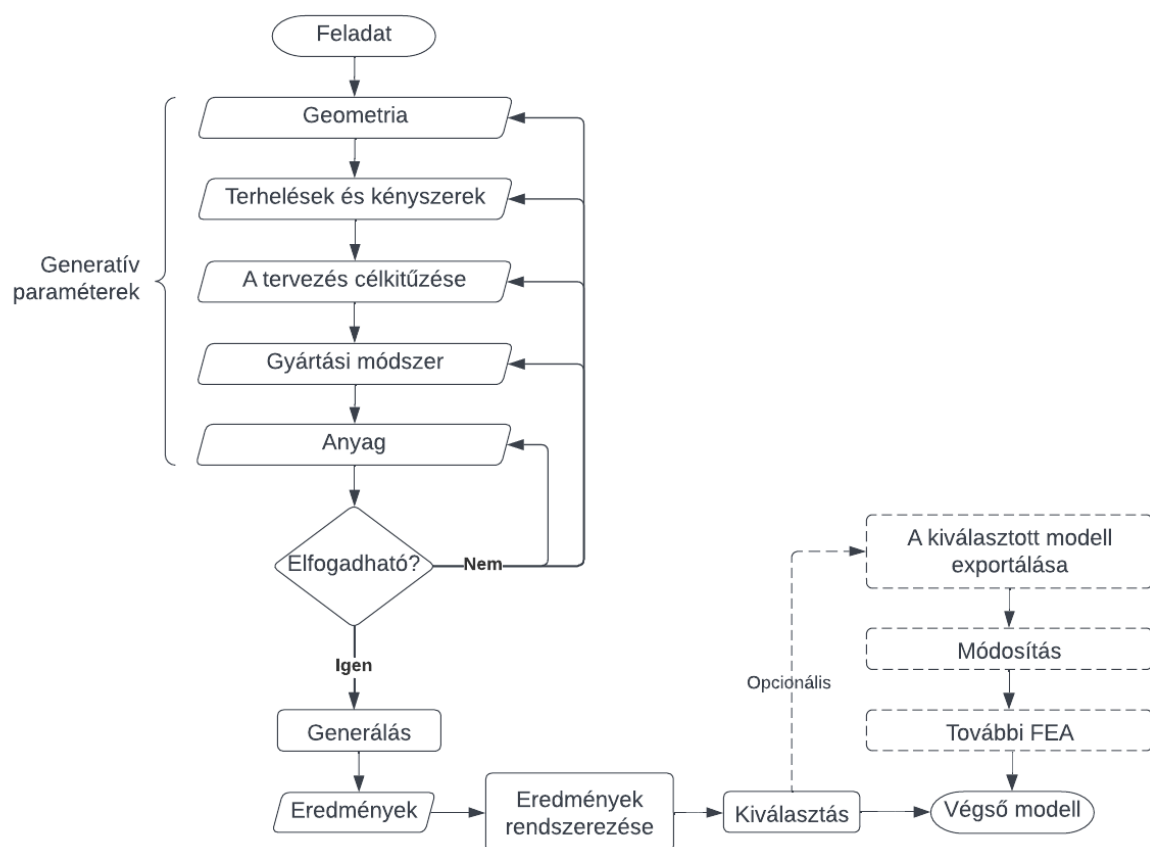
A szoftver a generálás előtt ellenőrzi a megadott adatokat. Ha az ellenőrzés sikeres, megkezdődhet a generálási folyamat, amely a bemeneti paramétereknek megfelelő 3D modellek sorozatát hozza létre. A generálás a felhőben zajlik, majd az eredmények megérkeznek a tervező számítógépére.

Lehetőség van a kiválasztott modellek exportálására és hagyományos CAD-eszközökkel történő módosítására, ám ilyenkor a szerkesztést követően további végelem-analízis (FEA) elvégzése ajánlott.

A generatív tervezés gyakran eredményez organikus megjelenésű formákat [3]. Ez megerősíti a generatív tervezés azon képességét, hogy szerkezetileg hatékony alakot hoz létre az anyag kritikus, teherhordó pontok mentén történő újraelosztásával (hasonlóan az evolúció során kialakult természetes struktúrákhoz).

* PhD hallgató, Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Gép- és Terméktervezési Intézet

** Egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Gép- és Terméktervezési Intézet



1. ábra. A generatív tervezés folyamata [2]

3. A GENERATÍV TERVEZÉS ALKALMAZÁSI TERÜLETEI ÉS CÉLJAI

A generatív tervezést számos műszaki területen alkalmazzák. Az alkalmazása célja leggyakrabban a tömegcsökkentés a mechanikai követelmények (szilárdság, deformáció, biztonsági tényező) biztosítása, vagy akár javítása mellett. Az ilyen típusú szerkezeti és tömegoptimalizálás különösen a járműiparban (repülőgépek [4], drónok [5] [6], és gépjárművek tartó- és konzolelemei, ill. futóműalkatrészei [7]), a robotikában (robotkarok [8]), és az építészetben [9] [10] elérendő célkitűzés.

A tömeg csökkenésének következtében csökken az anyagfelhasználás a gyártás során, viszont a bonyolult szerkezeti felépítés költségesebbé teheti a gyártást, mivel a generatív módon tervezett alkatrészeket jellemzően nem sorozatgyártással, hanem egyedileg, vagy kisszériában, additív gyártási technológiákkal állítják elő [4-6].

Járműipari alkalmazások esetében a tömeg csökkenés több szempontból is kedvező lehet, mivel a kisebb tömeg hozzájárulhat a dinamikai teljesítmény javításához, azonos megengedett össztömeg mellett növelheti a rendelkezésre álló hasznos teher nagyságát, valamint mérsékelheti a jármű mozgatásához szükséges energia- vagy üzemanyagfogyasztást [11] [12]. Továbbá az energia- vagy üzemanyagfogyasztás csökkenése nemcsak az üzemeltetési költségeket csökkenti, hanem a fenntarthatóságot is támogatja [11] [12].

A generatív tervezést nem kizárólag az előbb említett optimalizálásra használják, hanem az adott termék funkciójához kapcsolódó teljesítmény optimalizálásának eszköze is lehet hőcserélők [13] és hűtőcsatornák [14] tervezésénél. A komplex belső geometriák létrehozásának lehetősége ugyanis a hőátadási teljesítmény növelését vagy a hűtési idő csökkenését okozhatja [13] [14].

Továbbá a szakirodalomban arra is látható példa, amikor a generatív tervezést ütközési/biztonsági teljesítmény optimalizálására használják [15].

Ahogy az korábban említésre került, a generatív tervezés gyakran összefonódik az additív gyártással. Ez magában hordozza azt is, hogy a kettő együtt speciális követelményeket kielégítő termékek létrehozására alkalmas. Ezért alkalmazzák orvostechikai területen implantátumok, protézisek készítésére, ahol a generatív tervezés a (bio)mechanikai és funkcionális követelmények mellett az egyedi, pácienshez illő geometriai követelményeket egyidejűleg teljesíti [16] [17].

4. A GENERATÍV TERVEZÉS HATÁSA A TERMÉKJELLEMZŐKRE

Jól látható, hogy a generatív tervezés nem csupán egy termékjellemző optimalizálását jelenti, hanem az alkatrész több, egymással összefüggő paraméterét változtatja meg.

A vizsgált szakirodalmi művek alapján a generatív tervezés leginkább a termék tömegének, mechanikai tulajdonságainak, gyártási anyagfelhasználásának, energiafelhasználásának, geometriai kialakításának, funkcionális teljesítményének, és személyre szabhatóságának módosulásával jár együtt.

Megállapítható továbbá a szakirodalmi elemzés alapján, hogy a generatív módon kialakított termékek hagyományos megfelelőikkel való összehasonlítása nem korlátozható egyetlen műszaki paraméterre, például a tömegre vagy a mechanikai teljesítményre. Különböző műszaki, anyaggal kapcsolatos, gyártási, üzleti és érték, illetve fenntarthatósági jellemzők együttes vizsgálata szükséges annak érdekében, hogy a konvencionális módon megtervezett alternatívákat a generatív megtervezettekkel összehasonlíthassuk, ami egy multidimenzionális termékértékelési megközelítés alkalmazását teszi szükségessé.

Az alábbi, nagyobb kategóriák szerint csoportosított termékjellemzők változnak meg a generatív tervezés során:

Műszaki teljesítmény

- funkcionális teljesítmény (pl.: hőátadási teljesítmény, hűtési idő, ütközési teljesítmény)
- deformáció
- von Mises-feszültség
- biztonsági tényező
- ergonómia

Tömeg és anyag

- tömeg
- gyártási anyagfelhasználás
- gyártási hulladék mennyisége

Geometriai tulajdonságok

- geometriai komplexitás
- belső szerkezet

Gyárthatóság

- gyártási komplexitás
- tervezési idő
- gyártási idő

Üzleti és érték szempontok

- gyártási technológia előállítási költsége
- üzemeltetési költség (elsősorban energia/üzemanyag felhasználáshoz köthetően)
- anyagköltség
- személyre szabhatóság mértéke

Fenntarthatóság

- anyagfelhasználás
- energiafelhasználás

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen tanulmány szakirodalomkutatásra támaszkodva mutatta be, hogy mely területeken és milyen célból alkalmazzák a generatív tervezést, és hogy milyen változásokat okoz a generatív tervezés a hagyományosan megtervezett kiindulási alaphoz képest.

Ebből jól látható, hogy a generatív és a tradicionális tervezési megoldások közötti különbség több, egymással összefüggésben lévő termékjellemzőben jelenik meg. Ennek következtében összehasonlításuk többdimenziós értékelési megközelítést igényel, melynél figyelembe lehet venni egyes dimenziók eltérő fontosságát.

A Circular Product Design Score (röviden: CPDS, magyarul: Körforgásos Terméktervezési Pontszám) egy új többdimenziós termékértékelési keretrendszer, amely a körforgásos gazdaság szempontjait integrálja a mérnöki tervezés döntéshozatali folyamatába. A kutatás tovább folytatásában megtörténhet annak a megválaszolása, hogy az ebben a tanulmányban beazonosított megváltozó termékjellemzők mely CPDS értékelési dimenzióban jelennek meg. Ezt követően kiválasztott esettanulmányok CPDS-ral való értékelésével megalkotható a hagyományos és a generatív tervezés összehasonlító elemzése.

6. SUMMARY

Based on literature research, this paper presented the application areas and purposes of generative design. It also demonstrated the impact of generative design on product characteristics.

In conclusion, the difference between generative and conventional design solutions appears in several interrelated product characteristics. Consequently, their comparison requires a multidimensional evaluation approach, which can take into account the different importance of individual dimensions.

The Circular Product Design Score (CPDS) is a novel, multidimensional product assessment framework that integrates circular economy principles into the engineering design decision-making process. Future research could determine which CPDS assessment dimensions reflect the identified changing product characteristics. Subsequently, by evaluating selected case studies using the CPDS, a comparative analysis of conventional versus generative design can be conducted.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A TUDOMÁNYOS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM EGYETEMI KUTATÓI ÖSZTÖNDÍJ PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.



8. IRODALOM

- [1] BHAGAT, R., SATPUTE, V., SIRSAT, A., SHEJWAL, A.: *Comparative Study of*

- Conventional and Generative Design Process*, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), Vol. 11, No. 5, 2023, pp. 6024-6032, <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.52834>
- [2] BORSODI, E., TAKÁCS, Á.: *Generative Design: an overview and its relationship to Artificial Intelligence*, Design of Machines and Structures, Vol. 12, No. 2, 2022, pp. 50–55, <https://doi.org/10.32972/dms.2022.013>
- [3] PRICE, M., ZHANG, W., FRIEL, I., ROBINSON, T. T., MCCONNELL, R., NOLAN, D., KILPATRICK, P., BARBHUIYA, S., & KYLE, S.: *Generative design for additive manufacturing using a biological development analogy*, Journal of Computational Design and Engineering, Vol. 9, No. 2, 2022, pp. 463–479. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwac016>
- [4] PILAGATTI, A. N., ATZENI, E., SALMI, A.: *Exploiting the generative design potential to select the best conceptual design of an aerospace component to be produced by additive manufacturing*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 126, 2023, pp. 5597–5612. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11259-7>
- [5] SEREGI, B. L., FICZERE, P.: *Weight Reduction of a Drone Using Generative Design*, Hungarian Journal of Industry and Chemistry, Vol. 49, No. 2, 2022, pp. 19–22. <https://doi.org/10.33927/hjic-2021-16>
- [6] ANDRIES, V., ZAHARIA, S.-M.: *Generative Design, Simulation, and 3D Printing of the Quadcopter Drone Frame*, Applied Sciences, Vol. 15, No. 17, 2025, Article 9647. <https://doi.org/10.3390/app15179647>
- [7] BHAT, A., GUPTA, V., AULAKH, S. S., ELSER, R. S.: *Generative design and analysis of a double-wishbone suspension assembly: a methodology for developing constraint oriented solutions for optimum material distribution*, Journal of Engineering, Design and Technology, Vol. 21, No. 3, 2023, pp. 927–942. <https://doi.org/10.1108/JEDT-06-2021-0293>
- [8] GOWTHAM, V. K., SIDHARTH, B. S., SCHILBERG, D., DOSS, A. S. A.: *Optimization of a Robotic Arm Using Generative Design*, in: Recent Advances in Materials Technologies, 2022, pp. 347–369. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3895-5_28
- [9] CHEW, Z. X., WONG, J. Y., TANG, Y. H., YIP, C. C., MAUL, T.: *Generative Design in the Built Environment*, Automation in Construction, Vol. 166, 2024, Article 105638. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105638>
- [10] GRADIŠAR, L., KLINC, R., TURK, Ž., DOLENC, M.: *Generative Design Methodology and Framework Exploiting Designer-Algorithm Synergies*, Buildings, Vol. 12, No. 12, 2022, Article 2194. <https://doi.org/10.3390/buildings12122194>
- [11] CANDELA, A., SANDRINI, G., GADOLA, M., CHINDAMO, D., MAGRI, P.: *Lightweighting in the automotive industry as a measure for energy efficiency: Review of the main materials and methods*, Heliyon, Vol. 10, No. 8, 2024, Article e29728. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29728>
- [12] TOLOUEI, R., TITHERIDGE, H.: *Vehicle mass as a determinant of fuel consumption and secondary safety performance*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 14, No. 6, 2009, pp. 385–399. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.01.005>
- [13] Li, N., Hugo J. M., Serret, D., Zhang, Y., Gomes, S.: *A two-step parametric generative method for heat exchangers design in additive manufacturing*, Procedia CIRP, Vol. 109, 2022, pp. 508–512. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.286>
- [14] WILSON, N., GUPTA, M., PATEL, M., MAZUR, M., NGUYEN, V., GULIZIA, S., COLE, I.: *Generative design of conformal cooling channels for hybrid-manufactured injection moulding tools*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 133, 2024, pp. 861–888. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13754-x>
- [15] ZHANG, L., LI, Z., HUANG, J.: *Product performance prediction and optimisation based on generative design: a case study of the collision of automotive front bumper beam*, International Journal of Crashworthiness, Vol. 30, No. 4, 2024, pp. 351–361. <https://doi.org/10.1080/13588265.2024.2406837>
- [16] CHENG, M., NAYAK, A., LEUNG, Y. Y.: *A semi-automated design workflow for patient-specific implants in orthognathic surgery using generative design*, International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Vol. 54, No. 12, 2025, pp. 1195–1200. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2025.03.011>
- [17] TEL, A., KORNFELLNER, E., MOSCATO, F., VINAYAHALINGAM, S., XI, T., ARBOIT, L., ROBIONY, M.: *Optimizing efficiency in the creation of patient-specific plates through field-driven generative design in maxillofacial surgery*, Scientific Reports, Vol. 13, 2023, Article 12082. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39327-8>