

ALKATRÉSZ TERVEZÉSE ÉS FEJLESZTÉSE SZIMULÁCIÓVEZÉRELT MÓDSZEREKKEL

PART DESIGN AND DEVELOPMENT USING SIMULATION- DRIVEN METHODS

Szabó Kristóf*

ABSTRACT

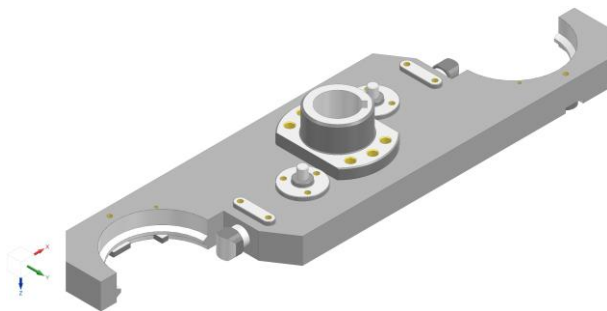
Engineering design aims to develop an optimal solution to a given technical problem. Optimization techniques are widely integrated into CAD systems, including topology optimization and the more recent generative design process, which offer effective solutions across an increasing number of industrial application areas. This article aims to present the main characteristics of computer-aided design processes and demonstrate their effectiveness through a case study.

1. BEVEZETÉS

A gyártóeszközök terén egyre nagyobb törekvés a környezetbarát üzemeltetés. Műszaki berendezések esetén a tömegcsökkentés elsődleges célja az alapanyag költség csökkentése, azonban mozgó alkatrészek esetén a működtetéshez szükséges energiaigény is csökkenhet.

1.1. A fejlesztendő alkatrész

A tanulmány egy automata szerszámmellátó egység manipulátor kar fejlesztésével foglalkozik.



1. ábra A szerszámcserélő kar összeállítási modellje

Az 1. ábrán látható a szerszámcserélő kar 3D modellje, amelynek kialakítása a módszeres géptervezés szemléletét képviseli. [1-3] Az alkatrész tervezésére vonatkozó peremfeltételek alapján a szerszámbefogó típusa „HSK-A 100” és a két szerszámtengely közötti távolság 400 mm. Ehhez a kialakításhoz mechanikus működtetésű csapos reteszelő egység tartozik. Az kar befoglaló mérete hosszúság, szélesség és magasság

sorrendben 540 mm, 140 mm és 29 mm. Az alkatrész alapanyaga DIN 1.0503 C45 közepes széntartalmú, nagy szilárdságú acél. Az alapanyag sűrűsége $\rho = 7,85 \text{ g/cm}^3$, jellemző mechanikai tulajdonságai alapján a folyáshatár $R_{p0.2} = 340 \text{ MPa}$, a szakítószilárdság $R_m = 630 \text{ MPa}$ és a nyúlás $A = 16 \%$. Az anyag rugalmassági modulusa $E = 206000 \text{ MPa}$ és a Poisson-tényezője $\nu = 0,3$. Csúsztató rugalmassági modulusa $G = 80000 \text{ MPa}$. A konstrukció tömege $m_0 = 9,265 \text{ kg}$ és térfogata $V_0 = 1176770,7 \text{ mm}^3$.

1.2. A fejlesztés módszere és folyamata

A fejlesztési feladat a topológiai optimalizálás (TO) és a generatív tervezés (GD) felhasználásával került megoldásra. A generatív tervezés (GD) a topológiai optimalizálásra (TO) épül, amely szimulációalapú módszerekkel olyan tervezési megoldásokat állít elő, amelyek megfelelnek az előre meghatározott követelményeknek és célkitűzéseknek. [4–6] A generatív tervezési munkafolyamat CAE-eljárásként integrálható a párhuzamos tervezési folyamatba. A hagyományos tervezési technikák esetén felhasználó által vezérelt iterációkra van szükség a koncepció végleges kidolgozásáig. Ezzel ellentétben a (TO) és a (GD) lényegesen gyorsabb és célirányosabb eredményeket biztosíthat. [7–8]

2. ESETTANULMÁNY

A cikkben bemutatott tanulmány a Siemens NX 2506 szoftver topológiai optimalító és generatív tervezési moduljában került megoldásra.

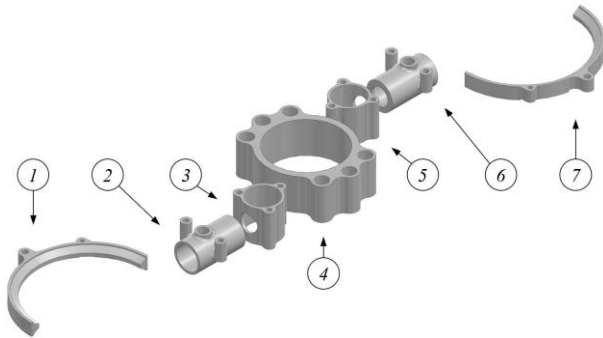
2.1. Tervezési térfogat

A folyamat első lépése a tervezési térfogat definiálása. Ez a térrész egy zárt térfogat, amely korlátozza az optimalizálás során fellépő anyagterjedést. Ezt a geometriai peremfeltételt jellemzően az alkatrész beépítettsége és a szomszédos komponensek helyzete határozzák meg. Az esettanulmányában az optimalizált alkatrész kiterjedése nem haladhatja meg az eredeti alkatrész geometriai méreteit.

2.2. Konstrukciós térfogatok

* mesteroktató, Miskolci Egyetem Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

A tervezési tartományt konstrukciós geometriákkal kell kiegészíteni, amely anyagmegtartó vagy anyagkizáró feltételt biztosítanak a szimulációs modellben.



2. ábra A szerszámváltó kar konstrukciós térfogatai

A 2. ábrán látható a szerszámváltó kar anyagmegtartó konstrukciós térfogatai. Az alkatrész funkciói által megkövetelt csatlakozó felületeinek létrehozása során ügyelni kell a minimális anyaghasználatra, ezáltal hagyva helyet az optimált anyageloszlásnak. Az egymással szorosan összekapcsolódó funkciókat ajánlott azonos konstrukciós térfogatokba rendezni. A kialakított anyagmegkötések alapján új és informatív jellemzők származtathatók egy topológia optimált alkatrész számára. A korlátozásokból fakadó mérőszám a $g_{i(k)}$ generálási kötöttség, amely százalékos formában megadja a $V_{i(k)}$ konstrukciós terek által megkötött térfogatot a kiinduló V_0 tervezési térfogathoz képest:

$$g_{i(k)} = \left[\frac{V_{i(k)}}{V_0} \right] \cdot 100 \quad (1)$$

A másik fontos jellemző a $g_{i(s_z)}$ generálási szabadság, amely a $g_{i(k)}$ generálási kötöttség inverze:

$$g_{i(s_z)} = \left[1 - \frac{V_{i(k)}}{V_0} \right] \cdot 100 \quad (2)$$

A $g_{i(s_z)}$ generálási szabadság százalékos formában megadja a $V_{i(k)}$ konstrukciós terek által megkötött térfogat függvényében a fennmaradt, a szoftver által szabadon generálható V_0 tervezési térfogatot.

2.3 Kényszerek

A különféle kényszerek az alkatrész szabadsági fokainak lekötésére szolgálnak, amelyeket a valós beszerelési állapot és működés mintájára kell megválasztani. Az alkatrész rögzítési pontjai a 2. ábrán látható 4-es számú elemen helyezkednek el. A hat darab furat palástfelületén a csap kényszer (Pinned Constraint) került alkalmazásra. A két homloklap felület fix kényszert hordoz.

2.4 Terhelések

Egy szerszám csereperiódusának mozgásviszonya körpályán való gyorsulásból, egyenletes körmozgásból és lassulásból áll. A terhelések maximuma a szakaszváltások pillanatában értelmezhető, ahol a centrifugális erő maximális értéket vesz fel és jelen van a szögsebesség változásáért felelős kerületi erő is. Az erők felületen megoszló terhelések, amelyek a szerszámbefogó (I), a radiális (II) és axiális (III) rögzítőcsapok, valamint a biztosító rugó (IV) kontakt felületein ébrednek. Az erők nagysága FEM analízis segítségével került meghatározásra, amelynek eredményét az 1. táblázat foglalja össze. Az (I) az 1-es konstrukciós térfogat kúpos felületén, a (II) a 2-es konstrukciós térfogat furatának palástfelületén, a (III) a 3-as konstrukciós térfogat furatának palástfelületén és a (IV) a 2-es test belső homloklap felületén hat. Az alkatrész tengelyszimmetrikus, amelynek forgástengelye a Z vektor, így az 5., 6. és 7. testre ható erők követik a szimmetria kényszerét és az X, Y irányú értékek előjelváltást kapnak.

1. táblázat A terhelések iránya és nagysága

Felület	Irány	Nagyság
I	x	-108,8
	y	-155,7
	z	-43; 312,3
II	x	-
	y	-0,5; 156,3
	z	1,4
III	x	-0,1; 33,1
	y	-0,1; 0,1
	z	-
IV	x	20
	y	-
	z	-

Az 1. táblázatban feltüntetett terheléseken túl a gravitációs erő felvétele szükséges, amelynek iránya a +Z vektor.

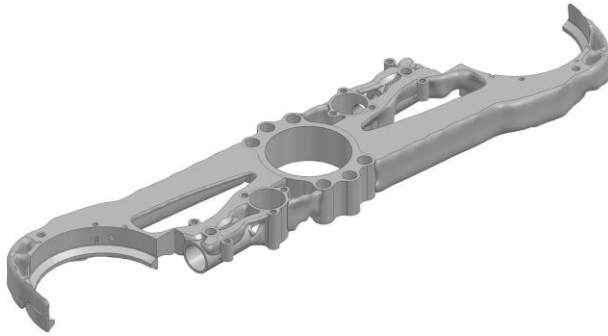
2.5 Megoldások generálása

A következőkben az esettanulmány a beállítások variálásával végez megoldáskeresést, amely jellemzően a geometriai kényszerekre vonatkozik. Ezek a feltételek vonatkoznak a különféle eljárásoknak megfelelő gyárthatóságra, amelyek a legnagyobb mértékben befolyásolják a generált forma milyenségét. A variációk túlzott sokaságának elkerülése miatt a keresési utat racionalizálni kell.

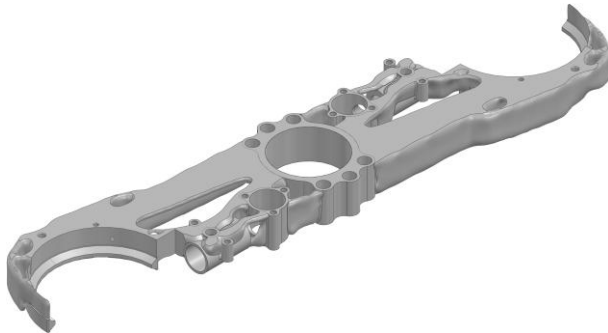
2. táblázat A megoldások generálásának variációja

Technológia	Anyag	Jel
öntés	C45	M1
	Al 7075-T6	M2
forgácsolás	C45	M3
	Al 7075-T6	M4
additív	C45	M5
	Al 7075-T6	M6

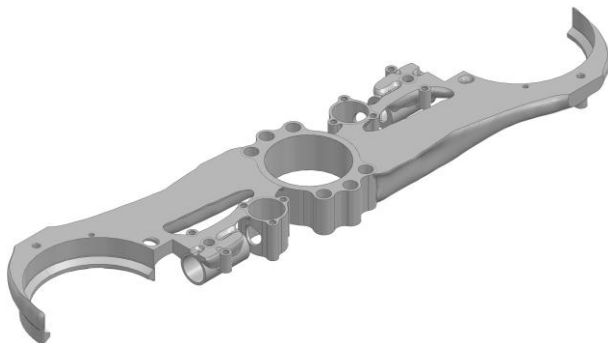
A 2. táblázat összefoglalja a generálni kívánt megoldásokat, amelyek különféle gyártási eljárásból fakadó geometriai megkötéssel vannak ellátva, amit a különböző alapanyagok felhasználása variál.



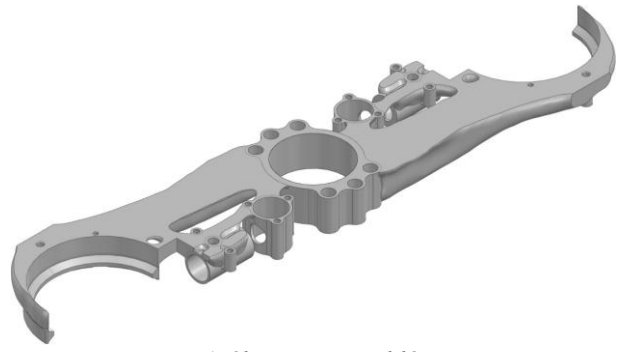
3. ábra M1 megoldás



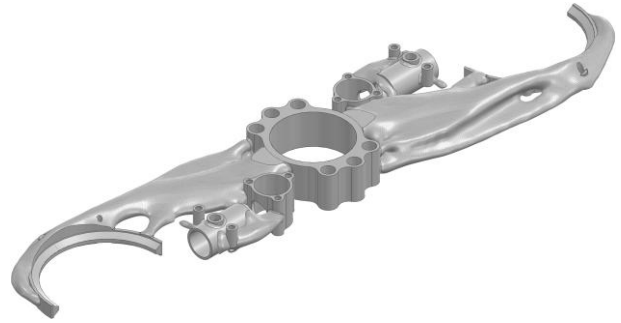
4. ábra M2 megoldás



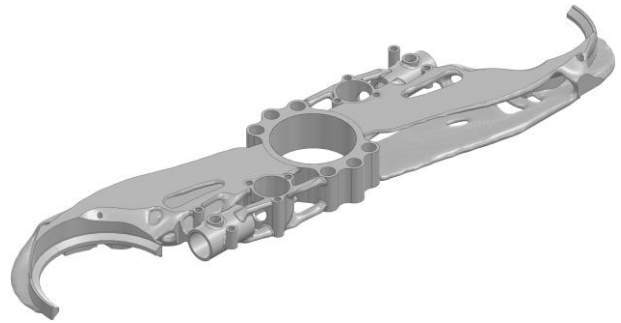
5. ábra M3 megoldás



6. ábra M4 megoldás



7. ábra M5 megoldás



8. ábra M6 megoldás

2.6 Szelektálás

A feltárt megoldások kiértékelésére az egydimenziós értékelemzési módszerek közül a Rang módszer került alkalmazásra, amely során az egyes konstrukciók rangsorolásra kerülnek egy-egy értékelési szempont alapján. A C1 értékelési szempont a relatív biztonság, amely megmutatja a generálás előtt megadott σ_{meg} megengedett feszültségérték és a generált konstrukcióban kialakuló $\sigma_{i(\text{max})}$ maximális feszültség különbségét.

$$b_{i(r)} = \frac{\sigma_{\text{meg}}}{\sigma_{i(\text{max})}} \geq 1 \quad (3)$$

A különbség megmutatja, hogy terhelhetőség szempontjából mekkora tartalék van a rendszerben. A C2 értékelési szempont a tömegre vonatkozik. A generált alkatrész az alapján kerül pontozásra, hogy százalékban

kifejezve, milyen mértékű $m_{i(cs)}$ tömegcsökkentést sikerült elérni az m_0 eredeti alkatrész tömegéhez képest.

$$m_{i(cs)} = \left[1 - \frac{m_{i(g)}}{m_0} \right] \cdot 100 \quad (4)$$

A C3 értékelési szempont az anyagtakarékosságra vonatkozik, amely a $V_{i(g)}$ generált megoldás térfogatát az eredeti alkatrész V_0 térfogatához viszonyítva százalékos formában megmutatja, hogy milyen mértékű volt az $a_{i(cs)}$ anyagtakarékosság.

$$a_{i(cs)} = \left[1 - \frac{V_i}{V_0} \right] \cdot 100 \quad (5)$$

A C4 értékelési szempont a mozgatáshoz szükséges energiabevitelre vonatkozik, amely az alkatrész forgási energiájából számítható.

$$E_f = \frac{m \cdot r^2 \cdot \omega^2}{2} = \frac{\theta \cdot \omega^2}{2} \quad (6)$$

Az értékelési szempontok meghatározása után értékelésre kerülnek az egyes megoldások. A rangsor csökkenő jósági sorrendben került meghatározásra. Az egyes értékelő szempontok alapján kialakult rangsorokat összegezve kiválasztható a legjobb megoldás, amelyet a 3. táblázat mutat be.

3. táblázat A Rang módszer összesített eredményei

	C1	C2	C3	C4	Σ
M1	3	4	2	5	14
M2	5	2	3	3	13
M3	2	5	4	6	17
M4	1	3	5	2	11
M5	6	6	6	4	22
M6	4	1	1	1	7

A 3. táblázat összesítése alapján az M6 megoldás rendelkezik a legkevesebb pontszámmal, ebből adódóan az M6 tekinthető a legjobb konstrukciónak. Az M6 megoldás $b_{6(r)} = 4,2$ relatív biztonság mellett $m_{6(cs)} = 92,3\%$ tömegcsökkentés és $a_{6(cs)} = 77,6\%$ anyagtakarékosságot ért el az eredeti alkatrészhez képest. A mozgatásához szükséges energiaigény alapján $E_{f(cs)} = 98,62\%$ csökkentést sikerült elérni az optimalás segítségével.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk rámutatott, hogy egy gyártóeszköz automatikus szerszámellátó egységének optimalizálása pozitív műszaki jellemzőket eredményez. A cikk egy esettanulmány segítségével mutatta be a topológiai

optimalizáláson alapuló generatív tervezés munkafázisait. Az előállított megoldások négy értékelő szempont alapján a Rang módszer segítségével kerültek összehasonlításra, amely alapján előállt a legjobb megoldás. A tanulmány rávilágított arra, hogy megfelelő optimalizálási technikák alkalmazásával megfelelő szilárdsági viszonyok mellett anyagot és energiát lehet megtakarítani.

4. SUMMARY

The article demonstrated that optimizing the automatic tool supply unit of a manufacturing machine can lead to positive technical outcomes. A case study was used to present the stages of a generative design process based on topology optimization. The generated design solutions were compared using the Rank Method based on four evaluation criteria, which enabled the selection of the best-performing solution. The study highlighted that the application of appropriate optimization techniques can reduce material consumption and energy requirements while maintaining adequate structural strength.

5. IRODALOM

- [1] TAKÁCS Gy., ZSIGA Z., SZABÓNÉ M. I., HEGEDŰS Gy.: Gyártóeszközök módszeres tervezése, Nemzeti Tankönyvkiadó, Miskolc, 2011
- [2] NÉMETHNÉ ERDŐDI K.: Terméktervezési módszerek minőségügyi fejlesztése. PhD értekezés. NymE – CJDI. pp. 20-29, 2009
- [3] BERCSEY T.; HORVÁTH I.: A korszerű géptervezés feltételei, módszerei és eszközrendszere, GÉP, Vol. 37., No 11., 1985
- [4] All3DP: The best generative design software of 2022. <https://all3dp.com>
- [5] ZHANG Y., WANG Z., ZHANG Y., GOMES S., BERNARD A.: Bioinspired generative design for support structure generation and optimization in additive manufacturing (AM). CIRP Ann 69(1):117–120., 2020
- [6] BAGASSI S., LUCCHI F., DE CRESCENZIO F., PERSIANI F.: Generative design: advanced design optimization processes for aeronautical applications. In: 30th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS, 2016
- [7] SHEA K., AISH R., GOURTOVAIA M.: Towards integrated performance-driven generative design tools. Autom Constr 14(2):253–264., 2005
- [8] KARLBERG M., LÖFSTRAND M., SANDBERG S., LUNDIN M.: State of the art in simulation-driven design. International Journal of Product Development 18:68–87., 2013, <https://doi.org/10.1504/IJPD.2013.052166>