



Egyedi CFRP munkadarabbefogó készülék topológiai és gyártási költség optimalizálása

¹Zudor Levente

¹Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gyártástudomány és -technológia Tanszék, Budapest, Magyarország. zudorlevente@edu.bme.hu

Összefoglalás

Az optimalizálás legáltalánosabb célja a választott célfüggvénynek való megfeleltetés. A tervezett elemek, készülékek, rendszerek optimalizálása napjainkban kiemelt fontosságú. Ennek szükségszerűségét sok terület és szempont alátámasztja. Egy munkadarabbefogó készüléknek nem elsődleges szempontja az egyszerű gyárthatóság és a könnyű kezelhetőség, viszont a felhasználó és a készülék hatékonyságát nagyban növeli, gazdasági terheit csökkenti. A kutatásom fő célja az volt, hogy a már korábban elkészített befogókészülékem két elemét gazdasági, illetve felhasználási szempontból optimálisabbá tegyem. A kiválasztott célfüggvényeket az elemek negatív tulajdonságairól alapoztam. Jelen esetben nem csak egy típusú optimalizálást alkalmaztam, hanem vegyítettem a végelelemes optimum keresést, a gyárthatóság és gyártástechnológiai megfontolásokkal. Az optimalizálási célfüggvények a költségcsökkentés, gazdaságos gyártás és tömeg csökkentés voltak. Ezeket szem előtt tartva az elkészített geometria a kiinduláshoz képest jelentősen könnyebbé vált, illetve gyártás költsége csökkent.

Kulcsszavak: munkadarabbefogó készülék, optimalizálás, VEM

1 Bevezetés

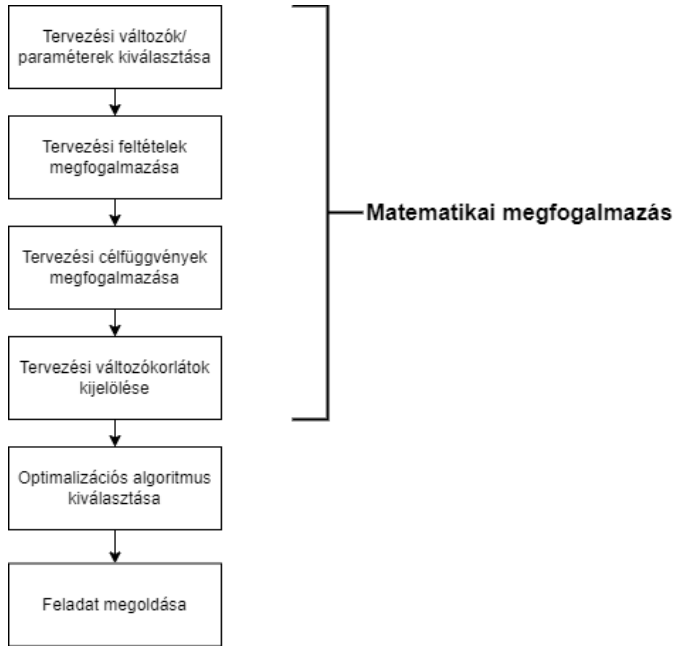
Minden területen törekszünk az optimum megtalálására. Gazdasági és ipari területen ez hatványozottan igaz a profit maximalizálás miatt. A termelékenység növelése szempontjából általában törekszünk a legkisebb idő és magas használatosság kompromisszumára. A mérőkészülékek gyártásának legfontosabb szempontja a könnyű és pontos felhasználás, esetemben a készülék nem sorozatgyártásra lett tervezve, így a gyártási idő csökkentése nem volt elsődleges szempont. Jelen feladatnál az optimalizálási szempont a tömegcsökkentés és egyszerűbb, gazdaságosabb gyárthatóság volt, ezzel javítva a gyártás gazdaságosságát és a kezelhetőséget.

Az optimalizálásnak több típusa, fajtája van. A legegyszerűbb és régóta alkalmazott analitikus módszer, amikor explicit egyenletek, vagy zárt alakú számítások segítségével a minimum, vagy az optimalás méreteket keressük. Ilyen lehet például egy tartály adott terheléshez szükséges minimális falvastagságára szolgáló képlet, mint a kazánformula. Ilyenkor egy megengedhető terhelést határozunk meg az anyagi tulajdonságok alapján. [1][2]

Az informatikai fejlődésnek köszönhetően a tervezési folyamatokat nagyban segítik, gyorsítják az erre a célra készített programok. Két nagy csoportra lehet osztani a számítógépes optimalizálást és vizsgálatokat. A gyakrabban használt végelelemes módszerre (Final Element Method vagy FEM), illetve a nagyobb számítási igényű diszkrét elemes módszerre (Discrete Element Method vagy DEM). [2][3]

Egy általános optimalizálási folyamat a következő lépéseket foglalja magába. Ezek a lépések az

optimalizálást készítik elő, és határozzák meg egyes lépéseit és azok paramétereit. Az optimalizálási folyamatokat is azonos módon kezeljük, mint a többi szimulációt.[4][5]



1. ábra optimalizálás előkészületi folyamata

Gyártási költségére való optimalizálás nagyban befolyásolja a kész termék költségét. Ennek alapja, hogy olyan tervezési, kialakítási megfontolásokat és változtatásokat teszünk, amivel az elkészítési költség számottevően csökken. Ennél az optimalizálásnál a gyártási költség minimalizálása a célfüggvény, amit a következő (1-3. egyenlet) számítások alapján végeztem és eredményét az 1. táblázatban összegeztem [6]

$$K = (K_{egy} + K_{gy} + K_{sz}) \cdot (1 + R) \quad (1)$$

ahol:

- K – termék előállítási költsége (önköltség)
- K_{egy} – előgyártmány költség
- K_{gy} – alkatrészgyártási költség
- K_{sz} – szerelési költség (konzulens)
- R – általános vállalati rezszi

$$K_{egy} = \frac{K_a + K_{egym} + K_{egysz}}{n} \quad (2)$$

ahol:

- K_a – anyag költség
- K_{egym} – előgyártmány megmunkálási költsége
- K_{egysz} – előgyártmány gyártóeszköz költsége
- n – gyártandó darabszám

$$K_{gy} = K_{gym} + (K_{te} + K_e)/n \quad (3)$$

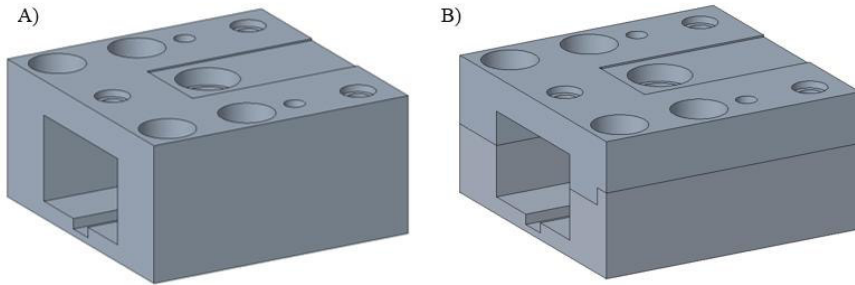
ahol:

- K_{gym} – alkatrész megmunkálási költsége
- K_{te} – technológiai előkészítés költsége
- K_e – gyártóeszköz költség

2 Optimalizálás

Egy már korábban elkészített kutatásom keretében tervezett készüléknél két részegységet optimalizáltam. [7] A készülékalapot (2. ábra) gyártástechnológiai és gazdasági lehetőségeket figyelembe véve módosítottam a geometriát. A készülék egyetlen mozgatót része a felső készülékfél (3. ábra), ami alap esetben kézzel mozgatandó, ennek a tömegének csökkentéséhez végeselemes módszert alkalmaztam.

2.1 Készülékalap optimalizálás



2. ábra Készülékalap verziók: (A) üreges verzió, (B) kétrészes verzió

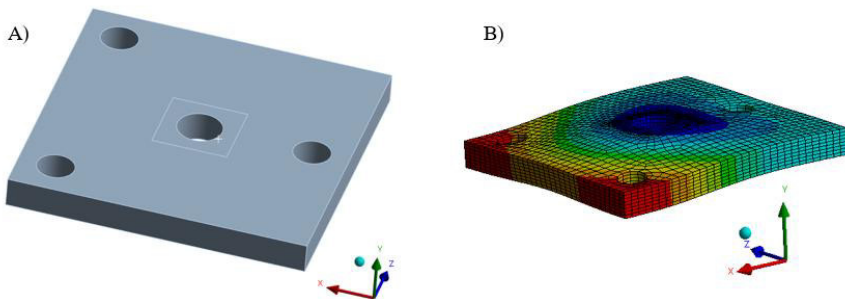
A kialakított konstrukció nem felelt meg a kikötött egyszerű gyárthatósági feltételnek, illetve költségesnek bizonyult a speciális gépparkot igénylő megmunkálása. A 2/A. ábrán látható alkatrész csak véséssel vagy speciális szerszámozott többtengelyes maróval munkálható meg. Ezen alkatrész optimalizálásának célja, hogy háromtengelyes CNC megmunkálóközponttal és gazdaságosan lehessen gyártani. Az 1. táblázatban tételesen listáztam és összegeztem a gyártási költségeket a már korábban ismertetett költségek és számítási képletek, megfontolások (1-3. egyenlet) alapján. Az egyes folyamatlépések költségét és időigényét források, becslések, illetve szakmai és ipari konzulensek segítségével határoztam meg [8]–[10]. Végeredményként látható, hogy az optimalizálás nem hiábavaló a gyártási költségeket illetően. A véséssel megmunkálható üreges verzió 25%-kal drágább, mint a kétrészes változata.

1. táblázat Gyártási költségek tételesen és összegezve

Készülék alap költségek											
Költségek megnevezése		Üreges verzió					Kétrészes verzió				
		Mennyiség		Egységár		Ár	Mennyiség		Egységár		Ár
Előgyártmányi költség	K_a	15	kg	1800	Ft/kg	27000	15.5	kg	1800	Ft/kg	27900
	K_{egym}	180	min	115	Ft/min	20700	120	min	100	Ft/min	12000
	K_{egysz}	60	min	120	Ft/min	7200	50	min	100	Ft/min	5000
Alkatrészgyártási költség	K_{gy}	40	min	180	Ft/min	7200	30	min	180	Ft/min	5400
	K_{te}	30	min	150	Ft/min	4500	15	min	120	Ft/min	1800
	K_e	150	min	140	Ft/min	21000	120	min	120	Ft/min	14400
	K_{sz}	40	min	250	Ft/min	10000	30	min	250	Ft/min	7500
	Rezsi költség	30	%	97600	Ft	29280	30	%	74000	Ft	22200
Végösszeg		126880					96200				

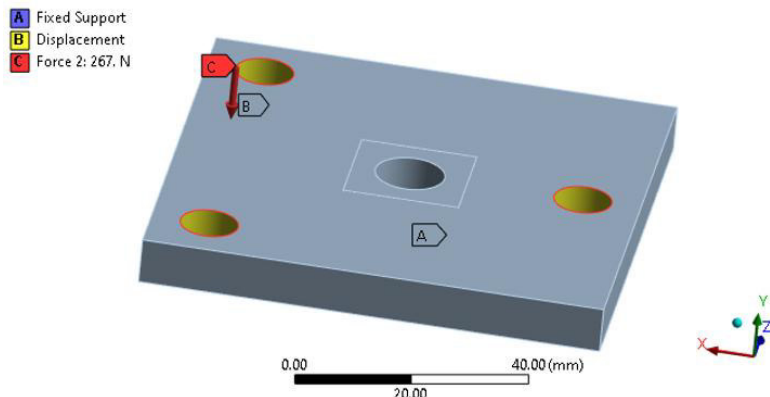
2.2 Felső készülékfel optimalizálás

A kiválasztott konstrukció felső készülékfele a 3. ábrán található. Érezhető, hogy nagy mennyiségű anyagfelesleg van a geometriában, amit az igénybevételek és a merevség igénye nem tesz szükségessé.



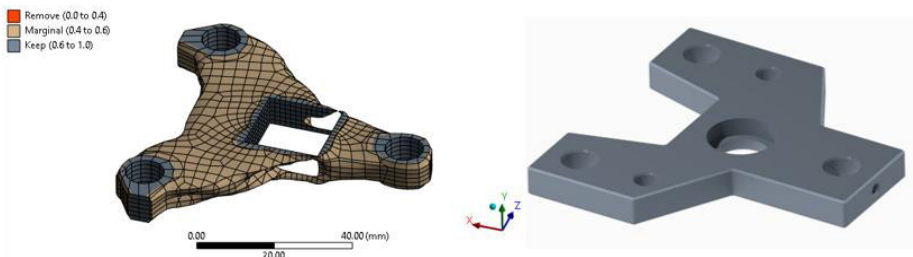
3. ábra Felső készülékfel: (A) CAD modell (B) VEM modell hálózva négyzetes dinamikus hálózval

Az optimalizálást Ansys 2023 R1 környezetben végeztem. A terheléseket és peremfeltételeket analitikus módon meghatároztam egy korábbi kutatás során, ahol a konstrukció és geometria is kiválasztásra került. [7] A menetes orsók furatát (4. ábra sárgával jelölt hengeres felületek) használtam a függőleges mozgást megengedő görgős támasz felületének, illetve a középső furat környezetének alsó felületét a teljes megfogáshoz, ezzel gátolva a merevtestszerű elmozdulást. Az alkalmazott terhelés mértékét a már említett korábbi kutatás során analitikusan kiszámoltam. [7] A bemutatott peremfeltételek és terhelések a 4. ábrán láthatók a szimulációs környezet jelöléseivel.



4. ábra Terhelések és peremfeltételek

A hálózást 5mm-es kvadratikus elemekből készítettem Pave felületi hálózási technikával. Az optimalizáláshoz az eredeti tömeg 30%-át engedtem felhasználni a programnak az optimalizált geometria elkészítéséhez, ami az 5. ábrán látható. Az elkészült geometria 28 iterációs lépéssel készült. Az optimalizálás segítségével a készülékelem tömegét a harmadára csökkentettem, ezzel megkönnyítve a mozgatását használat közben. A végleges, minden szükséges furattal és lekerekítéssel ellátott elem 0,205 kg. A végleges kialakítás az 5. ábrán látható.



5. ábra Optimalizált és végleges geometria

3 Diszkusszió

Elvégeztem a készülékegységek optimalizálását gyártástechnológiai, gazdasági, illetve használhatósági szempontok alapján. A gazdasági megfontolások alapján átalakított készülékalap számottevően olcsóbb és egyetemes szerszámgépekkel gyártható. A felső készülékfél tömegét a harmadára csökkentettem, ezzel a működtetést és az összeállítást kényelmesebbé téve.

Nagy előnye az elkészült készülékegységeknek, hogy a geometriájuk lehetővé teszi az egyetemes szerszámgépekkel, CNC megmunkálóközpontban való gyártásukat, ezzel kiküszöbölve a vésési, üregelési technológia szükségességét, ezáltal nagymértékben csökkentve a gyártási költségeket. A felső készülékfél tömegét a harmadára csökkentettem, ezzel hozzájárulva az egyszerűbb működtetéshez.

Szükséges megemlíteni hátrányként, hogy a felső készülékfél megmunkálásának ideje és költsége is nagyobb lesz a bonyolultabb geometriának és a több anyagelvételeknek köszönhetően. A geometria változtatás hatására a készülékfél merevsége és terhelhetősége is csökkent, ezzel megváltoztatva a felhasználhatósági határokat.

A készülékalap csak gazdasági és gyártechnológiai szempontból lett megvizsgálva és optimalizálva. További fejlesztési lehetőségként szükségesnek tartom ennek az elemnek a végeselemes vizsgálatát a tömegcsökkentés érdekében. A szerszámpályák és az NC program elkészítésével, CAD-CAM program segítségével pontosabb értékeket lehet kapni a gyártási időt és költségeket tekintve. Érdemes megvizsgálni a teljes szerkezetet diszkrét elemes környezetben, illetve más célfüggvényt választva további optimalizálást végezni.

4 Összefoglalás

A készülékalap megmunkálási és gyártási költségeit csökkentettem 25%-kal, ami már egy darab legyártása esetén is jelentős. A költségek mellett a gyártáshoz szükséges géppark mérete is kisebb, mert a ritka vésési technológiát kiküszöböltem az elem ketté bontásával. A felső készülékfelet tömeg szempontjából optimalizáltam, aminek köszönhetően az eredeti tömeg harmadát értem el a végleges geometriát tekintve.

Köszönetnyilvánítás

Ez a kutatás a Kína és Magyarország tudományos és technológiai együttműködését ösztönző 2021-1.2.4-TÉT-2021-00051 támogatásnak és az USA és Magyarország tudományos és technológiai együttműködését ösztönző 2021-1.2.4-TÉT-2021-00050 támogatásnak köszönhetően valósult meg.

A kutatásban segítségemre volt Dr. Geier Norbert, aki szakértelmével és folyamatos támogatásával, iránymutatásával segítette a munkámat és előre haladásomat, amit ezúton is köszönök.

5 Hivatkozások

- [1] Somló János. Analitikus Optimalizálás. vol. 27/1974. Budapest: Országos Műszaki Könyvtár és Dokumentációs Központ; 1974.
- [2] Kovács Róbert, Józsa Viktor. Bevezetés a Numerikus Módszerekbe. Akadémiai Kiadó; 2019.
- [3] Dr. Aradi, Petra, Gráff, József, Dr. Lipovszki, György. Számítógépes szimuláció. BME MOGI; 2014.
- [4] Dávid G. Topológiai optimalizálási feladatok alapvető sajátosságai Abaqus végeselemes programrendszerben. Multidiszciplináris Tudományok 2021;11:177–87. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2021.4.22>.
- [5] Holler Gusztáv, Dr. Veress Árpád, Prof. Dr. Palkovics László. Korszerű végeselemes optimalizálási eljárások összehasonlítása különböző gyártástechnológia segítségével előállított alkatrészek esetén. A Jövő Járműve -A Magyar Járműipar Tudományos Lapja 2011:73.
- [6] Károly DK, János J. Gyártási folyamatok tervezése n.d.
- [7] Zudor Levente Béla. Multifunkcionális és moduláris fűró-mérő készülék tervezése szendvicsszerkezetek vizsgálatához 2021.
- [8] Hagyományos és CNC megmunkálások árai - Gépész Tuning Kft. Budapest n.d. <https://www.gepestuning.hu/araink> (accessed January 14, 2024).
- [9] Munkaóra díjak – Szemle n.d. <https://szemlekft.hu/munkaora-dijak/> (megtekintve: 2024. január 14.).
- [10] JóSzaki. Bükösi Norbert - Egyéb, Esztergályos, Ezermester, Hegesztés, Karosszéria lakatos, Lakatos, Zárszerelés - Szada. JóSzaki n.d. <https://joszaki.hu/szakember/bukosi-norbert-egyeb-ezermester-esztergalyos-karosszeria-lakatos-hegesztes-zarszerelés-lakatos> (megtekintve: 2024. január 14.).