

# ADDITÍV ÉS SZUBTRAKTÍV GYÁRTÁSI ELJÁRÁSOK ÖSSZEHAJONLÍTÁSA SZÁMÍTÁSI MODELLEL

## COMPARISON OF ADDITIVE AND SUBTRACTIVE MANUFACTURING PROCESSES WITH A COMPUTATIONAL MODEL

*Seregi Bálint Leon BSc. hallgató, seregibalint@edu.bme.hu*  
*Ficzere Péter egyetemi adjunktus, ficzere.peter@kjk.bme.hu*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatásra kerülő számítási modell célja, az optimális gyártástechnológia választása a munkadarabunkhoz, egy lista alapján, melyben a paraméterek fontossági sorrendjét definiálhatjuk. Az eljárás ezen szakaszában a modell a különböző paramétereket egyforma súlyozással veszi figyelembe, ezáltal csak közelítve a hatékonyságot a vizsgált technológiák között. A vizsgált technológiák: 5-tengelyes marás és additív technológiák, mint DMLS és LDT. A vizsgálat első felében a paraméterek, második felében pedig a számítás menete kerül bemutatásra

### ABSTRACT

The aim of the computational model presented in this article is to choose the optimal manufacturing technology for a workpiece, based on a list of parameters in which we can define the order of importance. At this stage of the procedure, the model considers the different parameters with equal weighting, thus only approximating the efficiency between the technologies under consideration. The technologies under consideration are 5-axis milling and additive technologies such as DMLS and LDT. The first part of the study describes the parameters and the second part the calculation procedure.

### 1. BEVEZETÉS

Az additív gyártástechnológia, közismert nevén 3D nyomtatás, még ma is újkeletű dolognak számít. A komplex felületek létrehozása és a súlycsökkentés lehetősége a technológia leggyakrabban említett jellemzője. Valódi ipari körülmények között azonban a technológia újszerűsége miatt a gép és az alapanyag

költségek sokkal magasabbak az 5-tengelyes forgácsoláshoz képest. Ez a típusú gyártás más filozófiát igényel, mint az eddig ismert szubtraktív eljárások. Ezeket a technológiákat eltérő jellegük miatt nehéz kombinálni. Ahogy a nevükben is szerepel, az egyik anyag elvonással, míg a másik anyag hozzáadással dolgozik. Mindegyik típus magas szintű szakértelmet igényel, ezért nagyon nehéz mindkét területen egyformán jártas szakembereket találni. Emiatt szükségszerű összeállítani egy összehasonlító modellt, amellyel még az egyes területeken kevésbé tapasztalt személyek is képet kaphatnak arról, hogy melyik technológiát célszerű alkalmazni. Az itt bemutatandó modell egy végső cél kezdetleges alapja, csak a számítás és a vizsgálat elvét akarja bemutatni.

### 2. MÓDSZER

#### 2.1. Paraméterek

Kiindulásként a felhasználó által kívánt sorrendet a már összehasonlított paraméterek táblázatából kell megállapítani, majd fel kell sorolni az egyes technológiák pozícióit. [1] Ehhez a listához egy alapvető súlyozási rendszert rendelünk. Az adott paraméter helyezését megszorozzuk a súlyozás értékével, majd végül az összes súlyozott paraméter összegével kapunk egy számot, amelynek segítségével egy százalékos értéket határozhatunk meg. Ezt mindhárom technológiával meg kell tenni, majd a százalékoktól függően újra kell rendezni. A legmagasabb százalékos eredménnyel rendelkező technológia a leghatékonyabb a megállapított fontossági sorrend esetén. Az összehasonlítás figyelembe veszi a tíz

legfontosabb paramétert általánosságban, az összehasonlítás eredménye megváltozhat a paraméterek listájának esetleges bővítésével vagy a technológiákat összehasonlító pontosabb vizsgálattal.

#### *2.1.1. Felületi érdesség*

A cél a lehető legkevesebb érdesség elérése, de a sorrend felállításakor fontos megjegyezni, hogy egyes technológiák nem biztos, hogy a legjobbak, de elérik a munkadarabhoz szükséges minimális érdességet, ezért jobb, ha ezt a paramétert lejjebb tesszük a listában. Ennek eredményeként érdemes megismerni egy adott technológia képességeit ebben a tekintetben, és kiválasztani a fontosságot, hogy az adott alkatrészünkhöz mekkora tőrés szükséges. Általános szabály, hogy minél kisebb a megengedett eltérés, annál nagyobb összegre van szükség a gyártáshoz. Minden esetben az a cél, hogy a lehető legnagyobb tőrést találjuk meg az alkatrész összeszerelésének vagy teljesítményének befolyásolása nélkül. [2]

#### *2.1.2. Gyártási idő*

Jelzi a darabonkénti ciklusidő fontosságát, tehát ha fontos, hogy a darabonkénti gépidő a lehető legrövidebb legyen. Mindhárom technológiával lehetséges több darab egyidejű gyártása egyetlen ciklusban (5-tengelyes marás esetén a legritkábban), bár ez nagyban függ a munkaterület és a munkadarab méretétől. A nyomtatásnál kulcsfontosságú tényező az alkatrész mérete. Minél nagyobb a méret, annál hosszabb ideig tart a nyomtatás. (Ez hibrid módszerekkel minimalizálható, de egyelőre nem vesszük figyelembe őket)

#### *2.1.3. Gyárthatóság*

A vizsgálat során az alkatrész gyárthatósága elsősorban a geometriától függ. Megmunkálás esetén a szerszámok geometriájának és a gép felépítésének lehetnek bizonyos korlátai, amelyekkel már semmilyen módon (vagy nem gazdaságosan) sem képes az adott geometriát előállítani. Mindazonáltal az additív gyártás itt előnyt jelent, mivel a rétegződés elvével szinte bármilyen alakot képes előállítani (akár teljesen üreges, akár részben kitöltött a tömör darabok mellett). Az 5-tengelyes megmunkálásnál a határt a szerszám geometriája, valamint a gép működési és mechanikai felépítése határozza meg.

#### *2.1.4. Alapanyag*

Ez a paraméter figyelembe veszi a nyersanyag megmunkálhatóságát és árát. A fém nyomtatásnál csak por alapú alkatrészekről beszélhetünk, amelyek sokkal drágábbak, de ezt a funkciót ellensúlyozza az a lehetőség, hogy szinte bármilyen ötvözetnél kedvező a megmunkálhatóság (fontos befolyásoló tényező a porszemcsék mérete). Marás esetén az anyag számára megfelelő eszközök rendelkezésre állása lehet a korlát (speciális szerszámigények). [3]

#### *2.1.5. Anyag veszteség*

A technológiák jellege miatt a forgácseltávolítás jelentős anyagvesztéssel jár. Ha egy alkatrész drágább anyagból készül, akkor fontos figyelembe venni az leválasztott anyag mennyiségét is. Ezt a paramétert magasabbra kell tenni a sorrendben, ha nem szeretnénk, hogy a gyártás során sok felesleges anyag keletkezzen. Additív részről a támasztékok miatt fontos figyelembe venni, mivel itt a veszteség egy jóval drágább alapanyag.

#### *2.1.6. Posztprocesszalás szükségessége*

Ez hőkezelés, köszörülés, bevonatolás vagy támaszték eltávolításának szükségességét jelenti. Egy tipikus probléma lehet a csavarfej számára kialakított furatok tetején kialakítandó felfekvési terület. Ez jellemzően öntött alkatrészeknél fordul elő, de mivel a fémnyomtatás normál körülmények között hasonló felületminőséget képes elérni, az utómunkálatok a gyártás szükséges és nélkülözhetetlen részei. Természetesen a kivételek olyan részek, amelyek nem igényelnek ilyen felületeket, vagy nem ilyen minőségűek. [4], [5]

#### *2.1.7. Alkatrész tömege*

Egyes ipari területek kifejezetten kritikusnak tartják az alkatrészek tömegét. Ezekben az esetekben a topológiai és generatív tervek jönnek létre. Ezeknek köszönhetően olyan alakzatokat tervezhetünk, amelyek megfelelő erővel ellenállnak a feszültségeknek, de alakjuk miatt könnyebbek. Ez a funkció tovább finomítható megfelelő könnyebb anyagok kiválasztásával. Továbbá additív gyártás esetén van lehetőség különböző kitöltések használatára, így csökkentve a tömeget, ezért a nyomtatás kimagaslóan teljesít ezen területen, míg a forgácsolás esetén leginkább csak az anyagminőséggel lehet nagyobb hatást elérni.

### 2.1.8. Anyag és gépi költségek

A forgácsoláshoz szükséges alapanyag beszerzése lényegesen olcsóbb, mint a nyomtatáshoz, de sajnos, amint azt már tárgyaltuk, nem feltétlenül tudunk semmilyen anyagot gazdaságosan forgácsolni, mivel ez a gép teljesítményétől, a szerszám anyagától és az anyag forgácsolhatóságától is függ. Nyomtatás esetén a magasabb költséget az alapanyag jelenti, mivel itt az anyagot por formájában kell felhasználni, ami megnöveli az előállítási költségeket (kb. 150 Dollár kilogrammonként). Ennek ellenére lehetnek olyan esetek, amikor ez a módszer jobban megéri, mivel a por lehetővé teszi számunkra, hogy mechanikus ötvözt hajtsunk végre, és ezáltal olyan erős anyagokkal dolgozzunk, amelyekhez drága és speciális eszközökre lenne szükség a vágás során. Továbbá annak ellenére, hogy az alapanyag drágább, kevesebb hulladék keletkezik, így a vásárolt / felhasznált anyag aránya újrahasznosítás szempontjából kimondottan jónak mondható. A gyártás során a gépek árát is figyelembe kell venni. A szokásos 5-tengelyes maró hozzávetőlegesen 100 000 Euró, és ez még nem tartalmazza a szerszámkészlet és a készülékek árát, amely minden bizonnyal 2-3000 Euróval növeli a költségeket a speciálisan tervezett szerszámok miatt. Ennek árát vissza kell hozni a nyereségből, továbbá maga a gép karbantartása és üzemeltetése egyéb költségekkel is jár, ami a speciálisabb gépeknél is növekszik. A gép költsége mellett a szakértelem is nagyon fontos, hogy kinek kell kezelnie ezeket a gépeket, és megterveznie a gyártást. Ennek a szakértelemnek a fizetése nagyjából megegyezhet az additív és a szubtraktív oldalon, bár a nyomtatási szakértelem jelenleg drágább lehet, mivel még kevésbé általános területről beszélünk. Fontos megjegyezni, hogy az 5-tengelyes marási műveletek a CAM rendszerekben csak korlátozott beállítási lehetőségeket kínálnak a szerszám pályák létrehozásához, vagyis az 5 tengelyes marási műveletek könnyen kezelhetők, de „felkészültségük” miatt nem biztosítják a teljes irányítást a szerszám pályák felett. Éppen ezért a forgácsoló szakemberek ismerete is magasabb szinten várható el, növelve ezzel értéküket. Tehát a paramétert a sorrend elején kell használni, ha figyelembe akarjuk venni az alkatrész pénzügyi határait.

### 2.1.9. Mennyiség

Az előállítandó mennyiségnél fontos figyelembe venni, hogy marás esetén közepes sorozatgyártásnál (~ 1000 darab) csökken egy darab ára a legjobban. A nyomtatás esetében a tömeggyártás, amint azt korábban említettük, nem csökkenti jelentősen a darabok árát, de egy ciklus alatt több darab is előállítható. Mivel a fémnyomtatást általában prototípusok és pótalkatrészek gyártására használják, érezhető, hogy nem a nagyüzemi gyártási tevékenység erőssége.

1. Táblázat: A technológiák helyezése adott paramétereken belüli összehasonlításnál

Paraméterek	5-tengelyes marás	DMLS	LDT
Felületi érdesség	1	2	3
Gyártási idő	1	3	2
Gyártási költség	1	2	3
Gyárthatóság	3	1	2
Alapanyag	1	2	2
Anyagvesztés	3	2	1
Posztprocesszálás szükségessége	1	3	2
Alkatrész tömege	3	1	1
Anyag & gépi költség	1	2	3
Mennyiség	1	2	2

### 3. SZÁMÍTÁS

A paramétereket fontossági sorrendbe kell rendezni. A lista első elemének kell lennie a legfontosabb paraméternek, a kevésbé fontos paramétereket pedig a lista vége felé kell felvenni. A létrehozott sorrend szerint a három vizsgált technológiát három különböző oszlopra osztjuk, úgy, hogy a paraméterek az M mátrixban az adott sorrendben legyenek elrendezve. Az új táblázatnak, az 1. táblázathoz hasonlóan, fel kell tüntetnie a vizsgált technológia helyezését egy adott paraméter esetén. A súlyozás 10 és 1 közötti tartomány, amely a legfontosabbnak ítélt elemet bünteti a legjobban. A súlyozási értékek megadják a W (1) oszlopvektort.

$$W = \begin{pmatrix} 10 \\ 9 \\ 8 \\ 7 \\ 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Az értékek összege egy egész számot ad. Minél alacsonyabb a szám, annál hatékonyabb az adott technológia, mivel nem sok pontot ért el a legjobban súlyozott paramétereknél. Ennek százalékos formában való kifejezéséhez ki kell számolni a rendelkezésre álló minimális és maximális értékeket, így megkapva a munkatartományt (számítási tartományt). A legmagasabb (2) és a legalacsonyabb (3) érték közötti különbség adja meg ezt tartományt, amely más súlyozási skálák esetén dinamikusan változik.

2. Táblázat: 5-tengelyes marás esetében a súlyozás és részeredmények értékei

Paraméterek	Súlyozás	Helyezés	Érték
Felületi érdesség	10	1	10
Gyártási idő	9	1	9
Gyárthatóság	8	3	24
Alkatrész tömege	7	2	14
Alapanyag	6	1	6
Gyártási költség	5	1	5
Posztprocesszálas és szükségessége	4	1	4
Anyagvesztés	3	3	9
Mennyiség	2	1	2
Anyag & gépi költség	1	1	1

A munkaterület meghatározásakor a legalacsonyabb elérhető értéket (ami a legjobb) le kell vonni az eredményből (az értékek

összege), majd el kell osztani a munkaterület egy százalékával. Ez százalékos eredményt ad, de demonstratívabb, ha a jobb eredmény a magasabb százalék, ezért 100-at le kell vonni a kapott értékből, és ez egy hatékonysági százalékot (4) ad a választott sorrendnek ez technológián belül.

$$Best\ result = \sum_{n=1}^{10} \bar{W}_i \quad (2)$$

$$Worst\ result = \sum_{n=1}^{10} 3 \cdot \bar{W}_i \quad (3)$$

$$Percentage_{sax} = 100 - \left[ \frac{Result_{sax} - Best\ result}{\frac{Value\ set}{100}} \right] \quad (4)$$

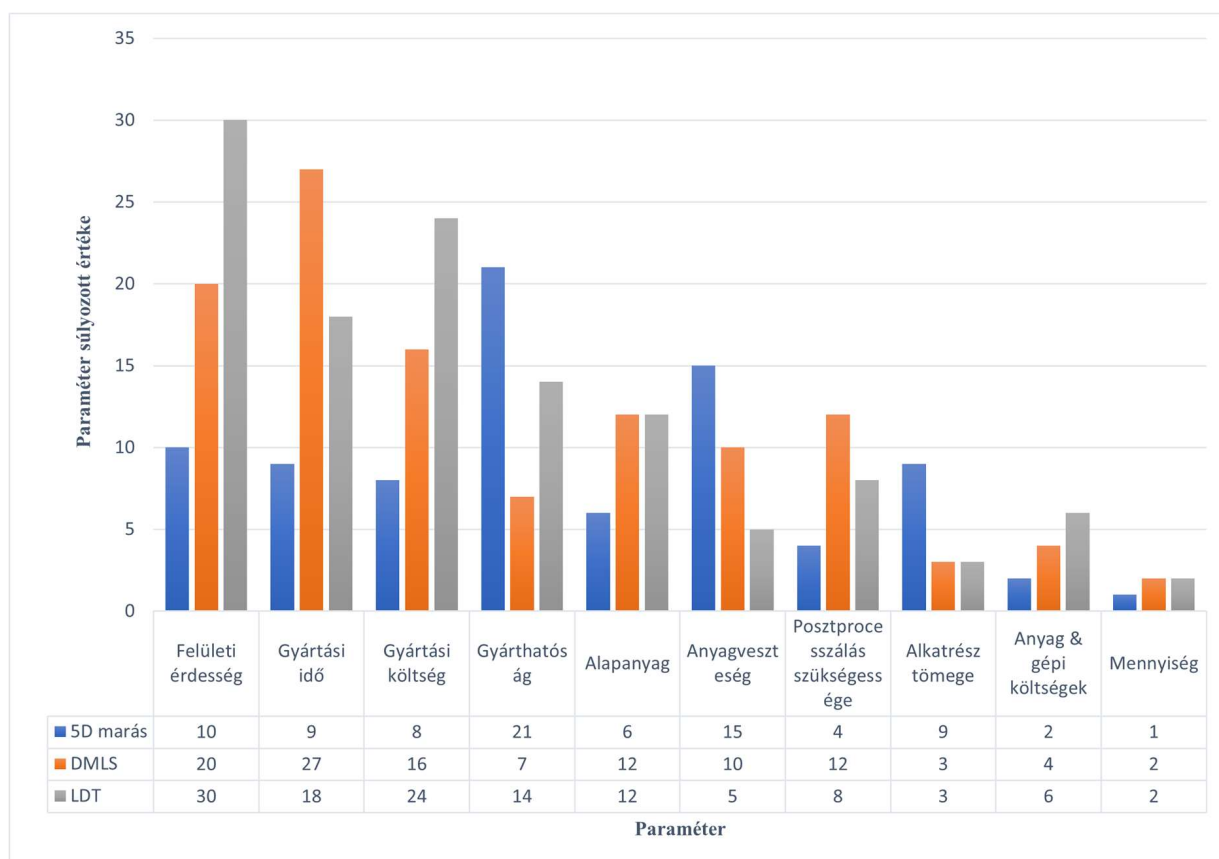
#### 4. EREDMÉNYEK

A végeredmények azt mutatják, hogy a példa fontossági sorrendünk az 5-tengelyes marást tenné a legjobb technológiai választásnak részünkről.

2. Táblázat: Az értékek összege adja egy adott technológia erősségét a megadott paraméter sorrend esetében

	5-tengelyes marás	DMLS	LDT
Értékek összege	85	113	122

Az 1. ábrán megfigyelhetjük, hogy csak háromszor volt a legtöbbet megbüntetett technológia. A DMLS ötször kapta a legmagasabb büntetést, az LDT pedig hatszor. Ez az arány megfigyelhető az eredményekben is. (4. táblázat)



1. ábra A súlyozás által szerzett büntetőpontok eloszlása a technológiák között

## 5. VIZSGÁLAT

3. Táblázat: Az végeredmények százalékos értékei

	5-tengelyes marás	DMLS	LDT
<b>Eredmény</b>	79%	54.5%	43.6%

Az első ábra jól mutatja, hogyan alakul a büntetési pontok hozzáadása a paraméterlista előrehaladtával. A súlyozás lépései kiterjedtek az eredmények közötti különbségeket, ami jó lehet, ha csak hozzávetőleges eredményt akarunk elérni, de egy kifinomult számítási modell esetében ez nem tolerálható. Az eredmények eloszlása finomítható több alkatrész és gyártási paraméter figyelembevételével. Azoknál a paramétereknél, ahol a döntetlen található, meg kell határozni az összesnél egy eldöntött sorrendet. Emiatt szigorúbb kritériumokkal kell tesztelni a technológiákat abban az esetben, ha egy paraméter első, második és harmadik helyezését szeretnénk meghatározni. Ez még pontosabbá teszi az eredményt. A további paraméterek vizsgálatának szükségességét tovább jelzi, hogy az additív

technológiákat csak négyszer tekintettük nyertesnek egy paraméteren belül. A paraméterek közötti kapcsolatok meghatározása fontos feladat, mert ha olyan paramétert veszünk, amely komoly hatással van (vagy esetleg megváltoztatja) egy másikra, akkor a másik paramétert nagy valószínűséggel a kiválasztási sorrend hasonló részein kell figyelembe venni.

## 6. KONKLÚZIÓ

Egy alapvető súlyozási modellt használtunk annak meghatározására, hogy a vizsgált technológiák közül melyik a leoptimalisabb az alkatrészünk előállításához, ha bizonyos paraméterek között sorrendet állítunk fel. Az eredmények azt mutatják, hogy több paraméterre és a súlyozási rendszer finomítására van szükség. Az eredmények iránya rendben van, de nem elég pontos. További célunk a modell továbbfejlesztése a paraméterek relatív súlyozásának és érzékenységének meghatározásával. Ezen túlmenően, az eredmények tesztelésére és megvizsgálására különböző próbadarabokkal szükségesek, amelyek egyszerre csak egy technológiának kedveznek, így pontosabb képet kapunk a modell viselkedéséről.

## HIVATKOZÁSOK

- [1] Seregi B., Ficzer P. Borbás L.,  
Fémalkatrészek additív és szubtraktív  
módon történő gyártásának  
összehasonlítása, Acta Periodica, 2021,s  
DOI 10.47273/AP.2021.22.18-32
- [2] Norman Emme Woldman, Robert C.  
Gibbons, Machinability and Machining of  
Metals, McGraw-Hill, 1951
- [3] Akash Bhatia, Anuj Kumar Sehgal, Additive  
manufacturing materials, methods and  
applications: A review, Materials Today:  
Proceedings, 2021, ISSN 2214-7853
- [4] Abdul Wahab Hashmi, Harlal Singh Mali,  
Anoj Meena, Improving the surface  
characteristics of additively manufactured  
part: A review, Materials Today:  
Proceedings, 2021, ISSN 2214-7853
- [5] Weltsch Z., Comparative study of the  
joining technologies of vehicle bodywork  
sheets, IOP CONFERENCE SERIES:  
MATERIALS SCIENCE AND  
ENGINEERING 448 Paper: 012061 (2018)
- [6] Hlinka J.,Bán K.,Examination of Additive  
Manufactured Parts With Bending Test,  
PERNER'S CONTACTS 19 : Special Issue  
2 pp. 108-115. 8 p. (2019)