

AZ ÚJRAHÁLÓZÁS PARAMÉTEREINEK VIZSGÁLATA A REVERSE ENGINEERING FOLYAMAT SORÁN

INVESTIGATION OF REMESHING PARAMETERS IN THE REVERSE ENGINEERING PROCESS

Dr. Borbás Lajos*, Dr. Hlinka József**, Dr. Ficzer Péter***

ABSTRACT

The spread of additive manufacturing technologies in industry is becoming increasingly common, especially with the advancement of Industry 4.0. These technologies enable the rapid and efficient production of components, but also demand a higher level of quality from the manufactured products. Layer-by-layer construction methods result in an anisotropic material model, which complicates the sizing of components. Although the subject has been studied by many, less attention has been paid to surface anisotropy. This problem can be due to the file conversion process or the staircase effect caused by the technology. Manufacturing parameters such as layer thickness and orientation also affect surface quality. This study presents the effect of the reverse engineering step setting used during re-measurement on surface quality.

1. BEVEZETÉS

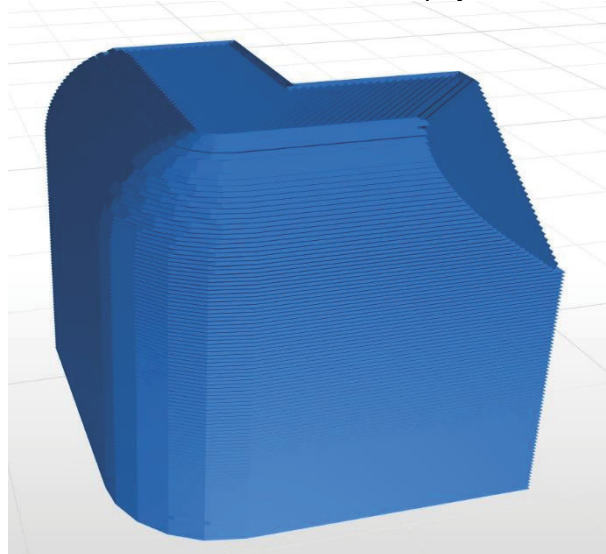
Manapság az additív gyártástechnológiák egyre elterjedtebbek és mind szélesebb körben alkalmazzák őket. Az ipar 4.0 által generált igényeknek sok esetben csak ennek a technológiának az alkalmazásával lehet megfelelni [1]. Ugyanakkor az ily módon előállított alkatrészekkel szemben támasztott igények is egyre magasabbak. A rétegről-rétegre építkező technológiára jellemző, hogy többnyire anizotrop anyagmodellt ad, aminek következtében az alkatrészek mechanikai méretezése lényegesen összetettebb feladat [2]. Ezt a területet sokan vizsgálták, ugyanakkor a felületi anizotropiáról már kevesebben értekeznek [3], [4], [5]. Ennek persze több oka is lehet, pl. a gyártás előkészítéshez szükséges fájlkonverzió, de a technológiából (2.5 D megmunkálás) adódó lépcsőhatás is itt említendő [6], [7]. Továbbá a gyártási paraméterek, úgy mint rétegvastagság, orientáció szintén befolyásolják a kész darabok felületi minőségét. Természetesen több lehetőség is létezik a felületi minőségek módosítására, javítására [8], [9], [10]. Ugyanakkor sok esetben csak a gyártó berendezések, gépek nyomtatók pontosságáról

beszélünk, amikor egy elkészült, legyártott darabot vizsgálunk, visszaellenőrzzük, visszamérünk [11]. Ezeknek a visszaméréseknek is természetesen van egy pontossága, ezek során is hibákat viszunk a rendszerbe, lehet nem a darab a pontatlan, hanem a mérés [12].

Jelen tanulmányban egy, a visszamérés során használt reverse engineering lépés beállításának hatását kívánjuk szemléltetni.

2. MÓDSZERTAN

A 3D nyomtatás esetében a rétegenkénti felépítés következtében kialakul egy lépcső. Ennek a lépcsőhatásnak a mértéke függ az adott felület helyzetétől, így, hiába dolgozik pontosan a nyomtató, már a szerszámpályák tervezése során beviszünk egy hibát. Ez jól látható módon megjelenik az 1. ábrán bemutatott, slicer-ben látható szerszámpályák esetén is.



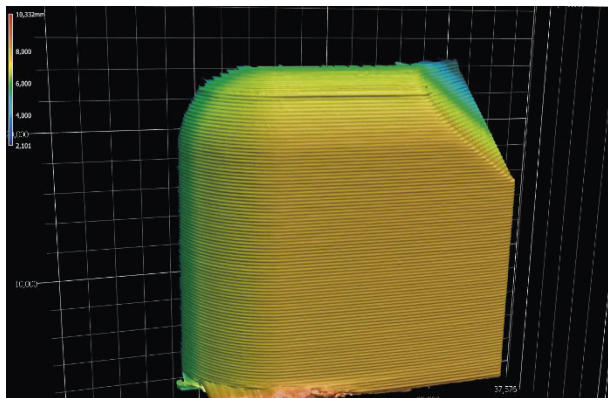
1. ábra Szerszámpályák a szeletelő szoftverben

Egy tesztadarab beszkennelt látható a 2. ábrán, amin megfigyelhetők a különböző alaksajátosságok okozta lépcsőhatások. Ugyanaz az az alaksajátosság orientáció függvényében más felületi minőséget eredményezhet.

* Professor Emeritus, EDUTUS Egyetem, Műszaki Intézet

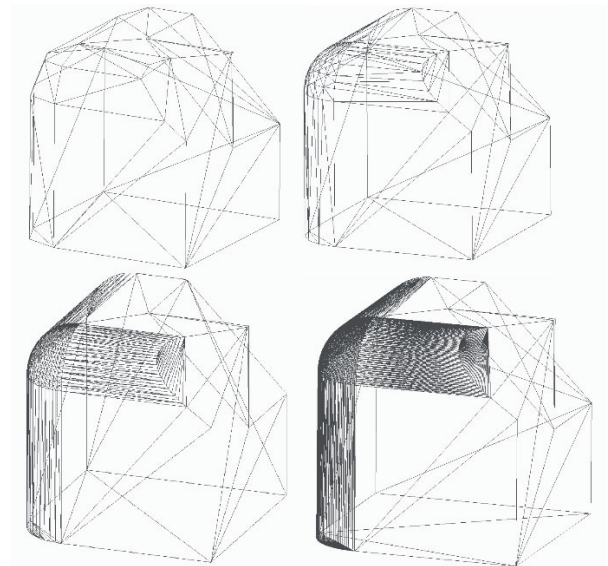
** egyetemi adjunktus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépárműtechnológia Tanszék

*** egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék



2. ábra A vizsgált geometria eltérő felületeinek szkennelt képe

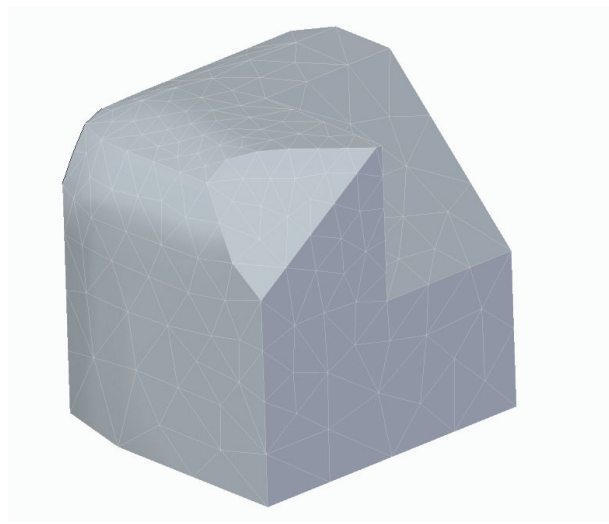
További kényeszerű hiba, hogy a nyomtatás sebességét is befolyásoló lépés, a rétegmagasság megválasztása során szintén eltérő mértékű hibát viszünk a rendszerbe. De még ezen lépések előtt, már a CAD geometriából a gép számára használható stl (standard triangular language) fájlba történő átalakítás során is hibát generálunk. Természetesen ezen hibának a mértékét elővigyázatos tervezéssel átgondolt tűrésekkel szinte minimálisra csökkenthetjük a fájlkonverzió során. Eltérő tűrésekkel történő fájlkonverzió eredményit szemlélteti a 3. ábra. Az ábrán jól megfigyelhető, hogy a fájlkonverzió tűrésének csökkentésével csak a görbült felületeken változik a kapott stl fájl. Minél finomabb a tűrés, annál jobban követi az eredeti CAD geometriát.



3. ábra CAD-stl fájlkonverzió különböző tűrésekkel

Ebben a tanulmányban a legdurvább stl konverzió (3. ábra bal felső) eredményeként adódó darab eltéréseinek vizsgálata kerül bemutatásra reverse engineering módszerek segítségével. Ma már a legtöbb CAD szoftver rendelkezik reverse engineering modullal. Vizsgálatainkat SolidEdge-ben végeztük. Itt

lehetőségünk van eltérés vizsgálatok elvégzésére. Ugyanakkor meg kell említeni, hogy nagyon durva stl (amilyen pl. a vizsgált eset is) esetén a túl nagy hálóméret miatt nem lehetséges egy lépésben összehasonlítani a CAD és az stl geometriát. A későbbiekben azt is látni fogjuk, hogy amennyiben lehetséges is lenne, nem is célszerű, mert a durva háló jelentősen torzítja az eredményeket. Ezért célszerű újra hálózni az stl geometriát. Ebben az esetben a vizsgált geometriát kisebb, egyenletesen elosztott háromszögelemekkel fedjük le. Egy ilyen újra hálózott geometriát mutat a 4. ábra.

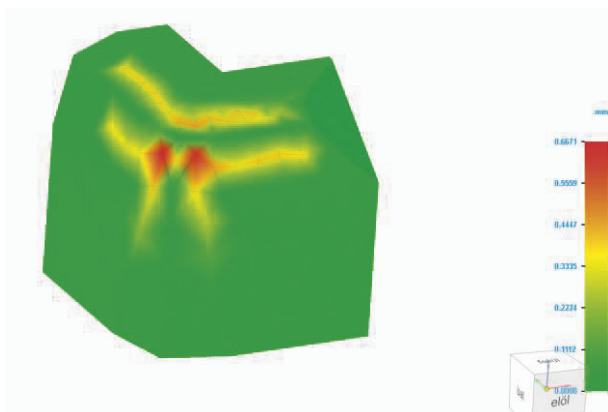


4. ábra Újra hálózott stl modell

A 4. ábrán látható újrachálózott geometria 6,75 mm átlagos elemoldalmérettel rendelkező háromszög elemekkel lett lefedve. Így már elvégezhető az összehasonlítás az eredeti CAD geometriával. Érdemes azonban megvizsgálni a 4. ábrán látható hálót a 3. ábrán balra fent látható hálóval összevetve jelentős a különbség. A továbbiakban a vizsgálat tárgya, hogy az újrachálózás paramétereként használt átlagos elemméret módosítása hogyan hat az eredeti CAD geometriával való eltérés meghatározásának pontosságára,

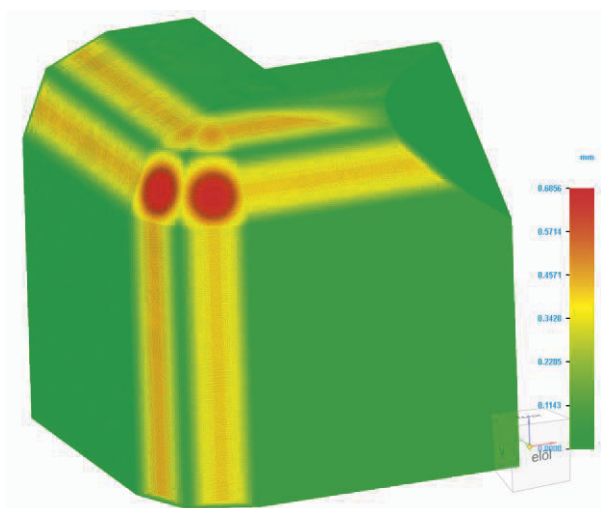
3. EREDMÉNYEK

A durva stl háló eltéréseit az eredeti CAD geometriától több, összesen öt különböző átlagos elem oldalmérettel (6,75 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,3 mm, 0,1 mm) újrachálózva vizsgáltuk. Az 5. ábrán látható a legdurvább, 6,75 mm-es oldalmérettel történő újra hálózás utáni eltérés vizsgálat eredménye.



5. ábra Eltérés vizsgálat eredményei 6.75 mm elem oldalmérettel újra hálózva a durva stl modellen

Érdeemes megfigyelni, hogy a kritikus, nagy eltéréseket mutató részekben nem elégséges ez a hálósűrűség. Összevetve a 6. ábrán látható 0,1 mm-es átlagos elemoldalmérettel készült analízis eredményeivel, látványos és szembetűnő a különbség.



6. ábra Eltérés vizsgálat eredményei 0,1 mm elem oldalmérettel újra hálózva a durva stl modellen

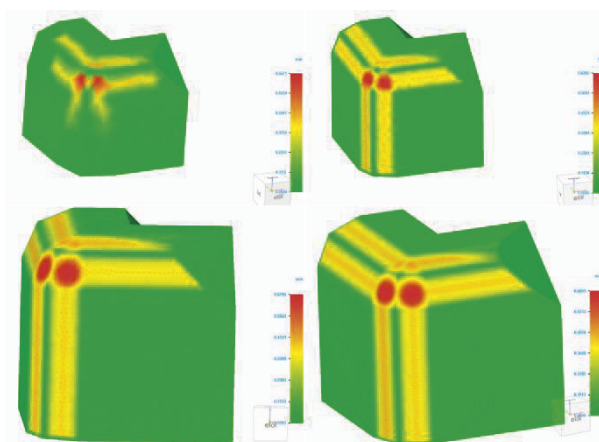
A kapott eredményeket a háló elemszáma és az átlagos elem oldalméret függvényében mutatja az 1. táblázat.

1. táblázat Eltérések az elemszám függvényében

Elem méret (mm)	Elemszám	Eltérés (mm)
6,75	236	0,667064
1	2594	0,678177
0,5	10449	0,679614
0,3	31482	0,685532
0,1	289128	0,685623

4. VIZSGÁLAT

A 7. ábrán együtt, vizuálisan is megfigyelhetők a különböző hálósűrűségek által eredményezett eltérésvizsgálatok eredményei.



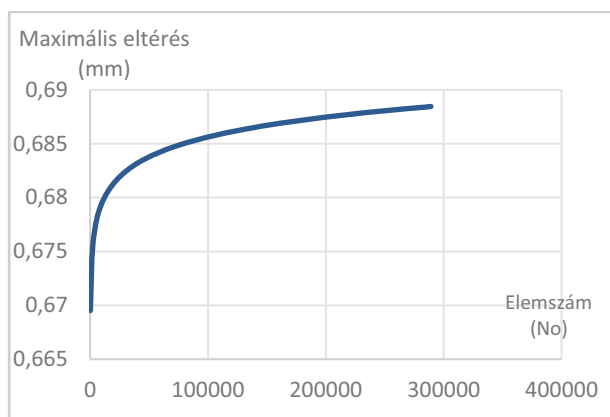
7. ábra Eltérés vizsgálat eredményei különböző elemszámmal újra hálózott modellek esetén

Az ábrát alaposan megfigyelve látható, hogy a kis hálósűrűség esetén jellegre is eltérőek a CAD geometriától való eltérések. Megfigyelhetjük, hogy a 6. ábra bal felső részén pl. csak foltosan tapasztalhatók az eltérések, míg a jobb alsó ábrán (0,3 mm elemméret) már egyértelműen végig futnak a sávok a lekerekítések mentén.

A számértékektől függetlenül – várakozásunknak megfelelően – megállapítható, hogy a sík felületeken nincs eltérés a CAD geometriához képest, míg a görbült felületek (lekerekítések esetén van. Továbbá szintén jól megfigyelhető, hogy a lekerekítéseknél változó az eltérés, ami szintén várható volt. Ezek a megállapítások igazolják, hogy a reverse engineering modulon belüli eltérés vizsgálat alkalmas a kívánt célra, az eredmények az elméleti háttérrel összefügnak.

Ugyanakkor érdemes megfigyelni azt is, hogy a kettős lekerekítés (saroklekerekítés, gömbfelület) esetén az eltérések még jelentősebbek.

A számszerű eredményeket célszerű diagramban ábrázolva vizsgálni. Így, a görbe jellegéből, alakjából megállapítható, hogy megfelelő hálósűrűséggel dolgoztunk-e. A jelen vizsgálat eredményeit a 8. ábrán látható diagram illusztrálja.



8. ábra Maximális eltérések az elemszám függvényében

Megállapítható, hogy kis elemszámok esetén bár jelentősen változik a görbe alakja, a pontosságbeli eltérés kb. 0,15 mm alatt maradt még így is. Természetesen ez sok mindentől függ, ezért egy ehhez hasonló konvergenciagörbét mindenképp célszerű felvenni minden egyes darab esetén.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Összességében megállapítható, hogy bár a szoftvereink, mérőműszereink manapság már képesek igen nagy pontossággal dolgozni, a megfelelő elméleti háttér nélkül jelentős hibákat vihetünk be a fájlkonverziók, mérések, és a visszaellenőrzések során. Így egy-egy gyártóberendezés pontosságának megítélésakor érdemes elővigyázatosan eljárni, fogalmazni.

6. IRODALOM

[1] ALBERT, J., TAKÁCS, Á.: *Additív gyártás biomimetikai megközelítéssel*, GÉP, 74(4), 9-12., (2023)

[2] KOVÁCS, N. K., KOVÁCS, J. G.: *Developments in the field of rapid prototype production*, Materials Science Forum (Vol. 589, pp. 421-425). Trans Tech Publications Ltd., (2008), <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.589.421>

[3] AHN, D., KWEON, J. H., KWON, S., SONG, J., LEE, S.: *Representation of surface roughness in fused deposition modeling*. Journal of Materials Processing Technology, 209(15-16), 5593-5600., (2009), <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2009.05.016>

[4] JIN, Y. A., LI, H., HE, Y., FU, J. Z.: *Quantitative analysis of surface profile in fused deposition modelling*, Additive Manufacturing, 8, 142-148., (2015) <http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2015.10.001>

[5] PEREZ, C. L.: *Analysis of the surface roughness and dimensional accuracy capability of fused deposition modelling processes*. International Journal of Production Research, 40(12), 2865-2881., (2002), <http://dx.doi.org/10.1080/00207540210146099>

[6] KÓNYA, G., FICZERE, P.: *The Effect of Layer Thickness, Orientation of the Workpiece on the Micro-, Macrogeometric Properties, the Machining Time of the Part during 3D Printing*, Periodica Polytechnica Mechanical Engineering, 67(2), pp. 143-150, (2023), <https://doi.org/10.3311/PPme.21473>

[7] PANDEY, P. M., REDDY, N. V., & DHANDE, S. G.: *Improvement of surface finish by staircase machining in fused deposition modeling*, Journal of materials processing technology, 132(1-3), 323-331., (2003), [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00953-6](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00953-6)

[8] KÓNYA, G., FICZERE, P.: *The Effect of Layer Thickness and Orientation of 3D Printed Workpieces, on The Micro-and Macrogeometric properties of Turned Parts*, Acta Polytechnica Hungarica, 21(2)., (2024), DOI 10.12700/APH.21.2.2024.2.13

[9] HANON, M.M., ALSHAMMAS, Y., ZSIDAI, L.: *Effect of print orientation and bronze existence on tribological and mechanical properties of 3D-printed bronze/PLA composite*, Int J Adv Manuf Technol 108, 553-570 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05391-x>

[10] FICZERE, P., LÁSZLÓ, N.: *Surface Modification Methods of Plastic Components Produced by Additive Manufacturing: A Review*, Design of Machines and Structures, 13(2), 53-68. (2023), <https://doi.org/10.32972/dms.2023.017>

[11] DÖMÖTÖR, C.: *Reconstruction of Simple Parts Using FDM Technology*. Design of Machines and Structures, 13(2), 13-21., (2023), <https://doi.org/10.32972/dms.2023.013>

[12] MAKKAI, T., SARKA, F.: *CAD Modelling of a Milling Insert*, Design of Machines and Structures, 13(2), 81-92., (2023), <https://doi.org/10.32972/dms.2023.019>