

3D NYOMTATÁSNÁL ALKALMAZHATÓ KITÖLTÉSI MINTÁZATOK HATÁSA AZ ÜTŐMUNKÁRA ÉS ANNAK SZÓRÁSÁRA

Lennert József Richárd – Sárosi József

Abstract: Ezen tanulmány célja, hogy megvizsgálja az FDM 3D nyomtatásnál gyakran alkalmazott Cura programban található különböző kitöltési mintázatok ütőmunkára gyakorolt UNI EN ISO 180 szabványú hornyolatlan PLA próbatestek segítségével. Mivel az említett programban több, mint 10 féle különböző kialakítású kitöltésből választhatunk, így mind a hobbi célú mind pedig az ipari felhasználók számára kulcsfontosságú kérdés, hogy az egyes kitöltések esetében az elkészülő alkatrész milyen mechanikai tulajdonságokat produkál. Emellett fontos megállapítani, hogy létezik-e olyan mértékű különbség az egyes kitöltések által biztosított mechanikai tulajdonságok között, amely már esetlegesen veszélyezteti az egyes alkatrészek használhatóságát. A tanulmányban fontos szerepet kap annak megállapítása, hogy az ütőmunka szempontjából melyek a legkedvezőbb és legkedvezőtlenebb kitöltési mintázatok.

Abstract: The aim of this study is to investigate the effect of different Cura infill patterns on the impact strength using UNI EN ISO 180 unnotched specimens manufactured of PLA by using the FDM 3D printing technology. In Cura there are more than 10 different infill patterns, this is the reason why it is crucial both for the industrial users and the hobbyists to know how these infill patterns influence the mechanical properties of the 3D printed parts. Furthermore, it is important to determine, whether there is a so big difference among the mechanical properties provided by different infill patterns, which can significantly endanger the usability of the parts. In the study it plays a key role to assess which infill patterns are the most and the least favourable from the point of view of impact strength.

Kulcsszavak: PLA, 3D nyomtatás, kitöltési mintázat, additív gyártás, ütőmunka

Keywords: PLA, 3D printing, infill pattern, additive manufacturing, impact strength

1. Bevezetés

Napjaink egyik legdinamikusabban és leggyorsabban fejlődő gyártástechnológiája az additív gyártás vagy más néven 3D nyomtatás, amelyet sokan csak, mint a jövőt meghatározó egyik technológiát tartanak számon. A 3D nyomtatás azonban napjainkra egy gyűjtőfogalommá vált, hiszen számtalan különböző alapanyagú és elvű 3D nyomtatási eljárást különböztetünk meg. A legelterjedtebb 3D nyomtatási alapanyagok továbbra is a különböző műanyagokat tekinthetjük, amelyet számtalan különböző formában alkalmaznak 3D nyomtatásra hiszen megkülönböztetünk szálhúzásos (FDM), műgyantás (Sztereolitográfia [SLA]), por alapú (SLS, MJF) 3D nyomtatást (Dizona et al., 2018; Shahrubudina et al. 2019). A műanyagok mellett egyre inkább teret hódítanak az alapanyagként fémet használó 3D nyomtatók. A fémporos 3D nyomtatás (DMLS) segítségével többek között acél, alumínium és titán porból állíthatunk elő 3D nyomtatott alkatrészeket. A 3D nyomtatáshoz alkalmazható alapanyagok változatosságát jellemzi, hogy léteznek kerámia és szálerősítéses kompozit nyomtatók is (Shahrubudina et al., 2019). Emellett az építőiparban megjelent betont használó 3D nyomtatók épületek, míg az orvostudomány területén teret hódító bioanyagokkal nyomtató készülékek implantátumok és

különböző szervek kinyomtatását teszik lehetővé (Yilmaz et al., 2021; Bozkurt–Karayel, 2021). A 3D nyomtatásnak számos előnye van. Ezek közül mindenképpen fontos kiemelni, hogy optimális esetben a 3D nyomtatás nem termel hulladékot, hiszen a keletkező melléktermékek, mint például a támaszanyag az FDM nyomtatást követően könnyedén újrahasznosítható és megfelelő eljárásokat alkalmazva ismét nyomtatásra alkalmas anyaggá alakítható (Nadagouda et al., 2020). Számos esetben a 3D nyomtatáshoz alkalmazott nyomtatóanyag már alpból valamilyen hulladék újra felhasználásával jön létre (Pinho et al., 2020). A technológia másik fő előnye, hogy minden egyes eljárás esetében rétegről-rétegre építkeznek, így olyan komplex alakzatok hozhatók létre vele, amelyek más megmunkálási eljárások esetében rendkívül nehezen, költségesen vagy éppen rendkívül sok hulladék keletkezésével hozhatók csak létre (Nadagouda et al., 2020). A 3D nyomtatás esetében számos különböző nyomtatási paraméter közül választhatunk, mint például kitöltés, rétegvastagság, kitöltési mintázat stb. (Prabhakar et al., 2021). A különböző paraméterek közül a mechanikai igénybevételek nem kitett nyomtatványok esetében csak azokat szokták figyelembe venni, amelyek a nyomtatvány esztétikáját és költségét befolyásolják, így a rétegvastagságot és a kitöltést. A helyzet azonban teljesen más, ha a készülő alkatrész mechanikai hatásoknak is ki van téve, hiszen ebben az esetben már olyan tényezők is befolyásolják az adott alkatrész használhatóságát, mint a nyomtatás iránya, illetve a nyomtatáskor használt kitöltés típusa (Hanona et al., 2021; Srinivasan et al., 2020). Köszönhetően a 3D nyomtatás térhódításának egyre több tudományos cikk foglalkozik a különböző 3D nyomtatási paraméterek mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatásával. A témában megjelenő cikkek többsége azonban a 3D nyomtatási paraméterek folyáshatárra vagy szakítószilárdságra gyakorolt hatásával foglalkozik (Srinivasan et al., 2020; Dorčiak et al., 2019; Tandon et al., 2021). Természetesen szép számmal akadnak olyan publikációk is, amelyek valamely paraméter ütőmunkára gyakorolt hatásával foglalkoznak. Azonban fontos kiemelni, hogy ezen publikációk nagy többsége a 3D nyomtatási paraméterek ütőmunkára gyakorolt hatását hornyolt próbatestek esetében vizsgálta, mivel a feszültség gyűjtő hely jelenléte az ütőmunka drasztikus csökkenését idézi elő (Mishra et al., 2021). Számos publikáció foglalkozott a nyomtatás során alkalmazott kitöltés, kitöltési minta, nyomtatási sebesség, nyomtatási hőmérséklet, nyomtatási rétegvastagság és egyéb paraméterek mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatásával (Lennert–Sárosi, 2021; Wang et al., 2017). Ezen kutatások során minden esetben megállapításra került, hogy a különböző 3D nyomtatási paraméterek valamekkora mértékű hatást gyakorolnak a 3D nyomtatott próbatest mechanikai tulajdonságaira, azonban az egyes paraméterek befolyásoló hatásának mértéke eltérő és nagyban függ attól, hogy mely mechanikai tulajdonság esetében vizsgálták azt (Wang et al., 2021).

2. Anyag és módszer

A vizsgálatokhoz politejsavat alkalmaztunk, amelyet általában PLA-nak nevezünk. Ez egy olyan biológiailag lebomló, hőre lágyuló műanyag, amelyet az esetek túlnyomó többségében magas keményítőtartalmú gabonafélékből állítanak elő.

Köszönhetően annak, hogy biológiailag lebomló anyagról beszélünk a PLA rendkívül előnyösnek tekinthető hulladékgazdaságosság szempontjából. A PLA-t emellett rendkívül kedvező 3D nyomtatási tulajdonságok jellemzik hiszen könnyedén nyomtatható és nem igényel speciális nyomtató teret sem. Fontos kiemelni, hogy a PLA mechanikai tulajdonságok tekintetében nem veszi fel a versenyt az FDM 3D nyomtatás során alkalmazott műszaki műanyagokkal, de számos tanulmány bizonyítja, hogy bizonyos alkalmazási területeken a PLA alkalmazása előnyösebb lehet, mint az FDM nyomtatásban elérhető műszaki műanyagoké. Erre egy kiváló példa a 3D nyomtatott spacerek alkalmazása a víztisztítás területén.

A mérésekhez elvégzéséhez egy 5J-os ingafejjel rendelkező Galdabini Impact 25 típusú Charpy-féle ütőművet alkalmaztunk (1. ábra). Ez az ingafej ideális mérési körülményeket biztosít az alacsonyabb ütőmunka értékkel rendelkező műanyagok, mint például a PLA vizsgálatához, ezért esett rá a választás. Műszaki műanyagok vizsgálatára ez a gép csak bizonyos esetekben alkalmas, mivel egyes műszaki műanyagok megfelelő vizsgálatához ennél nagyobb ingafejre van szükség.

1. ábra: Galdabini Impact 25 ütővizsgáló



Forrás: A szerzők szerkesztése.

A vizsgálatokhoz UNI EN ISO 180 típusú hornyolatlan próbatesteket használtunk. Ennek oka, hogy a Galdabini Impact 25 ezzel a szabvánnyal képes dolgozni, amely nagy mértékben megkönnyíti a mérések kiértékelését. Az UNI EN ISO 180 típusú hornyolatlan próbatestek 80×10×4 mm-esek és nem tartalmaznak feszültség gyűjtő helyet. A választás azért a hornyolatlan típusra esett, mivel a tudományos publikációk és a gyártók által biztosított anyaggal kapcsolatos technológia leírások túlnyomó többsége hornyolt próbatesteken mért ütőmunka értéket tartalmaz, azonban egyes esetekben a készülő alkatrész nem tartalmaz kifejezett feszültséggyűjtő helyet, így fontos lehet tudni a hornyolatlan próbatest esetén fellépő ütőmunka értékeket is.

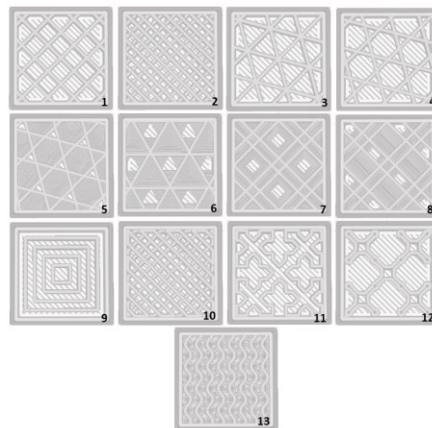
A mérések minden esetben szobahőmérsékleten történtek ezzel biztosítva az eredmények összehasonlíthatóságát. A mérések során a két végén alátámasztott

próbatetek közepére az ütőgép kalapácsa ütést mért, amelynek következtében a próbatetek eltörtek és ezáltal azok ütőmunkája meghatározhatóvá vált. A mérésekhez szükséges 3D nyomtatott PLA próbatetek elkészítéséhez egy Creality CR-10S Pro V2 nyomtatót alkalmaztam. A nyomtatáshoz szükséges különböző Gcode-ok elkészítéséhez az Ultimaker Cura 4.8 elnevezésű programot használtam, amely a nyomtatási paraméterek rendkívül széles skálájának módosítását tette lehetővé számomra. Ezzel a programmal készültek el a különböző kitöltési iránnyal rendelkező próbatetek Gcode-ja. Ezek a próbatetek minden esetben a 80×10 mm-es oldalukon kerültek nyomtatásra, ezzel biztosítva, hogy a próbatetek pozicionálása ne befolyásolja a mért eredményeket. Fontos kiemelni, hogy a program összesen 13 féle különböző kitöltési mintázat alkalmazását teszi lehetővé, amelyekből néhány rendkívül stabilnak és mechanikailag kifejezetten előnyösnek tűnik, míg egyes mintázatok inkább látványosnak, mint sem mechanikai igénybevételekkel szemben tartósnak tűnnek. A nyomtatáshoz Filaticum PLA Advanced filament volt alkalmazva 215 °C-os nyomtatási és 60 °C-os építő tálcá hőmérséklettel, valamint 45%-os kitöltéssel és 0,2 mm-es rétegvastagsággal. Minden egyes kitöltéssel 10 próbatest készült az átlagos ütőmunka és a szórás értékek minden esetben az ezen próbatesteken elvégzett mérések eredményeinek segítségével kerültek megállapításra.

A legideálisabb kitöltési mintázat megtalálása érdekében a szoftver által biztosított összes kitöltési mintázat megvizsgálásra került az ütőmunka, illetve annak szórása szerint. Ezek a kitöltési mintázatok a 2. ábrán láthatók.

2. ábra: A vizsgált kitöltési mintázatok

1. Grid, 2. Lines, 3. Triangles, 4. Tri-Hexagon, 5. Cubic, 6. Cubic Subdivision, 7. Octet, 8. Quarter Cubic, 9. Concentric, 10. Zig Zag, 11. Cross, 12. Cross 3D, 13. Gyroid



Forrás: A szerzők szerkesztése.

3. Eredmények

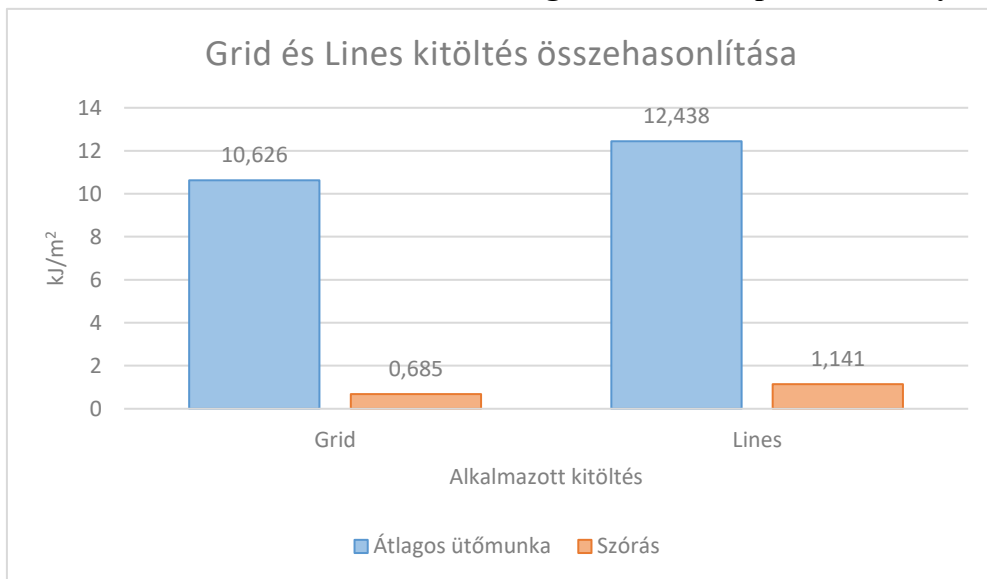
A 3D nyomtatás során alkalmazott kitöltési mintázat egy rendkívül fontos tényező hiszen a nyomtatáshoz választott mintázat teljes mértékben meghatározza a készülő

alkatrész belső szerkezetét és így az alkatrész mechanikai tulajdonságainak egy jelentős hányadát is. Így mechanikai igénybevétel jelenléte esetén fontos figyelembe venni, hogy egy kitöltési mintázat mennyire tekinthető stabilnak és homogénnek az alkalmazott kitöltési sűrűség esetében. Emellett fontos megemlíteni, hogy bizonyos kitöltési mintázatok csak adott kitöltési sűrűségig érhetők el ténylegesen, mivel egy bizonyos érték felett a gép már nem képes tökéletesen megvalósítani a tényleges mintát. Egyes kitöltési mintázatok alkalmazása esetén a kitöltés végső formája nagy mértékű hasonlóságot mutatott, ezért ezek külön is összehasonlításra kerültek.

3.1. Grid és Lines eredményeinek összehasonlítása

A Grid (2. ábra/1) és Lines (2. ábra/2) kitöltés alkalmazása végeredményében egy rendkívül hasonló négyzet rácsos kitöltési szerkezetet eredményez. A fő különbség, hogy a Lines kitöltés esetében egy sokkal sűrűbb négyzet rácsot kapunk végeredményben, illetve, hogy még a Grid kitöltés egymásra épülő négyzet rácsokból áll addig a Lines kitöltés esetében rétegenként egymással párhuzamos egyenesekből épül fel a végeredményként kapott négyzet rács. A Grid és Lines kitöltések vizsgálata során kapott eredményeket a 3. ábra szemlélteti.

3. ábra: A Grid és Lines kitöltések vizsgálata során kapott eredmények



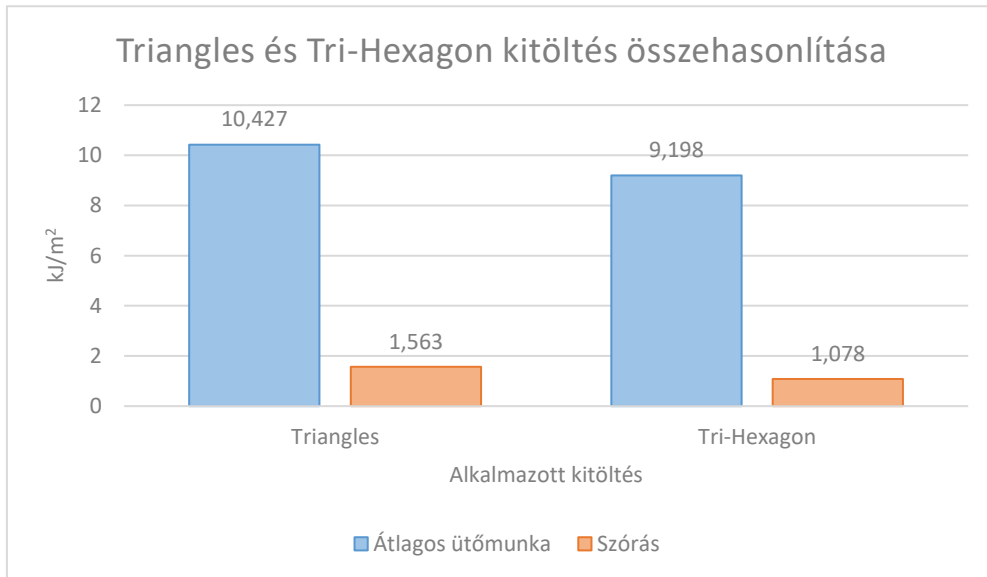
Forrás: A szerzők szerkesztése.

Ahogy azt a 3. ábra is szemlélteti a Lines kitöltése esetében nagyobb átlagos ütőmunka érték tapasztalható, amelyhez azonban nagyobb szórás is társul. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a Lines kitöltéssel készült próbatestek átlagos ütőmunkája 17%-kal és az egyes próbatesteken mért ütőmunka értékek szórása 66%-kal nagyobb, mint a Grid kitöltéssel készült próbatesteké.

3.2. Triangles és Tri-Hexagon összehasonlítása

A Triangles (2. ábra/3) és Tri-Hexagon (2. ábra/4) esetében szintén egy rendkívül hasonló mintázatot kapunk végeredménynek. Itt a fő különbséget az adja, hogy a Tri-Hexagon kitöltés esetében sokkal kisebb háromszögekből és hatszögekből épül fel a belső kitöltés szerkezete, illetve a Triangles esetében szintén megfigyelhető hatszögeket alkotó háromszögeknek a hatszögön belül elhelyezkedő oldalai hiányoznak a Tri-Hexagon esetében. A Triangles és Tri-Hexagon kitöltéssel készült próbatestek vizsgálata során kapott eredményeket a 4. ábra szemlélteti.

4. ábra: A Triangles és Tri-Hexagon kitöltések vizsgálata során kapott eredmények



Forrás: A szerzők szerkesztése.

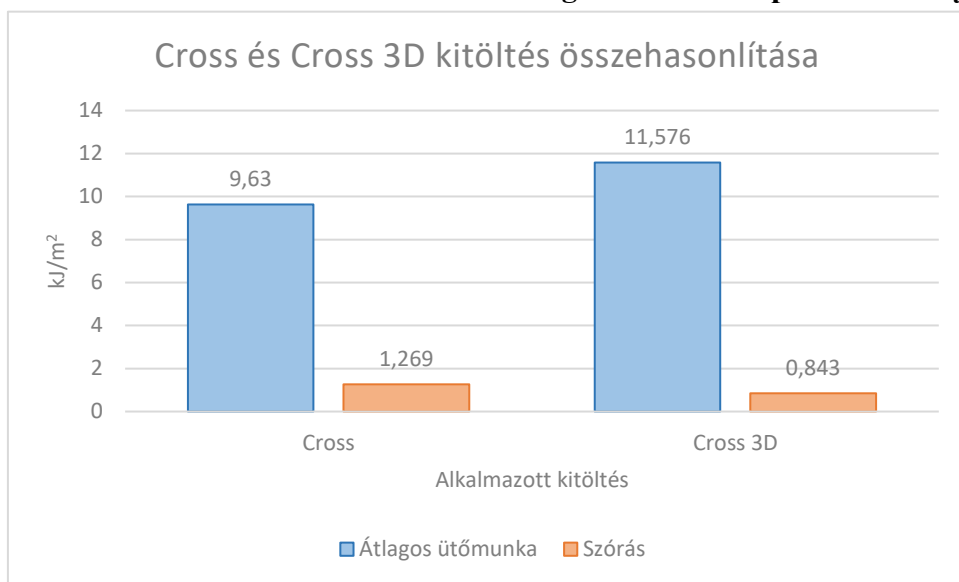
Ahogy az a 4. ábrán is látható a két kitöltés között mind szórás mind az átlagos ütőmunka szempontjából eltérés adódik. Az átlagos ütőmunka esetében a háromszögekből felépülő Triangles kitöltés teljesít jobban ugyanis átlagos ütőmunka értéke megközelítőleg 13%-kal nagyobb, mint a háromszögekből és hatszögekből álló Tri-Hexagon kitöltésé. A szórás szempontjából azonban a Tri-Hexagon kialakítás tekinthető kedvezőbbnek, hiszen az ezzel a kitöltéssel készült próbatestek esetében a Triangles kitöltés esetében tapasztalt szórásnál 31%-kal alacsonyabb szórás érték volt mérhető a vizsgált próbatesteken.

3.3. Cross és Cross 3D összehasonlítása

A Cross (2. ábra/11) és Cross 3D (2. ábra/12) kitöltés, ahogy arra a nevük is utal végeredményként valamilyen kereszt alakú kitöltési mintázatot eredményeznek, amelyek esetében a fő különbséget a kitöltés által adott kereszt alakzat formája, illetve a kereszttek alakjából adódóan a kitöltést nem tartalmazó részek mérete és

elhelyezkedése jelenti. Az ezen kitöltések vizsgálata során kapott átlagos ütőmunka értékeket és szórásokat az 5. ábra szemlélteti.

5. ábra: A Cross és Cross 3D kitöltések vizsgálata során kapott eredmények



Forrás: A szerzők szerkesztése.

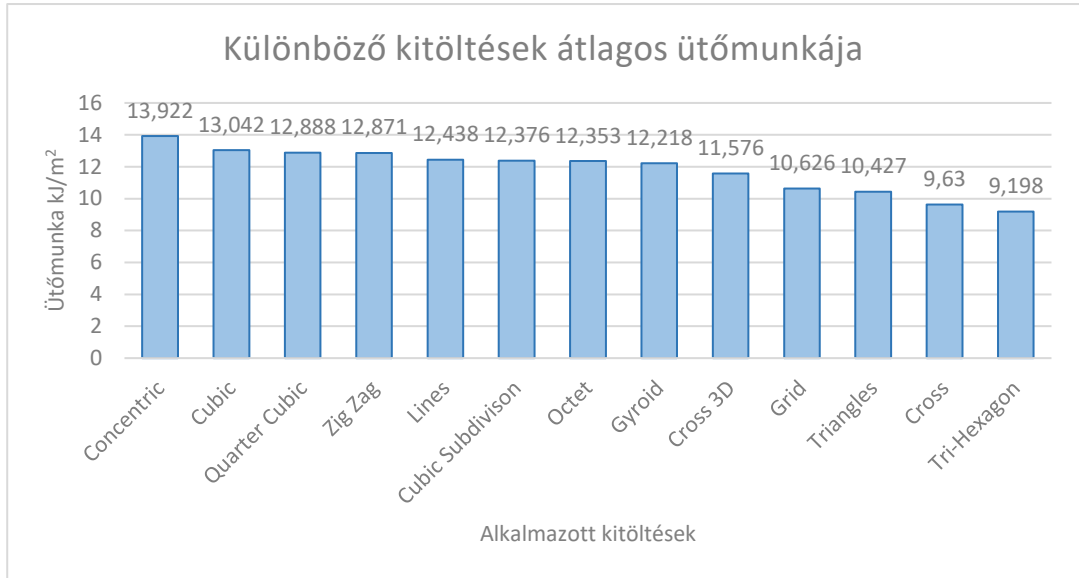
Ahogy azt az 5. ábra is szemlélteti jelentős eltérés adódik a két kitöltés között, hiszen a Cross kitöltés során mért átlagos ütőmunka értékek megközelítőleg 17%-kal kisebbek, mint a Cross 3D vizsgálata során mért értékek, valamint a Cross kitöltéssel készült próbatestek szórása a Cross 3D-vel készült próbatestek szórásának 1,5-szerese, amely hatalmas különbségnek tekinthető.

3.4. Összes mérési eredmény összehasonlítása

Az nagy mértékben hasonlító kitöltések eredményeinek bemutatása során már láthatóvá vált, hogy az egyes kitöltési mintázatok esetén különböző mértékű eltérések jelentkeznek mind az átlagos ütőmunka mind pedig a szórás terén. A különböző kitöltések esetében mért értékek alapján számított átlagos ütőmunka értékeket a 6. ábra míg a szórás értékeket a 7. ábra szemlélteti.

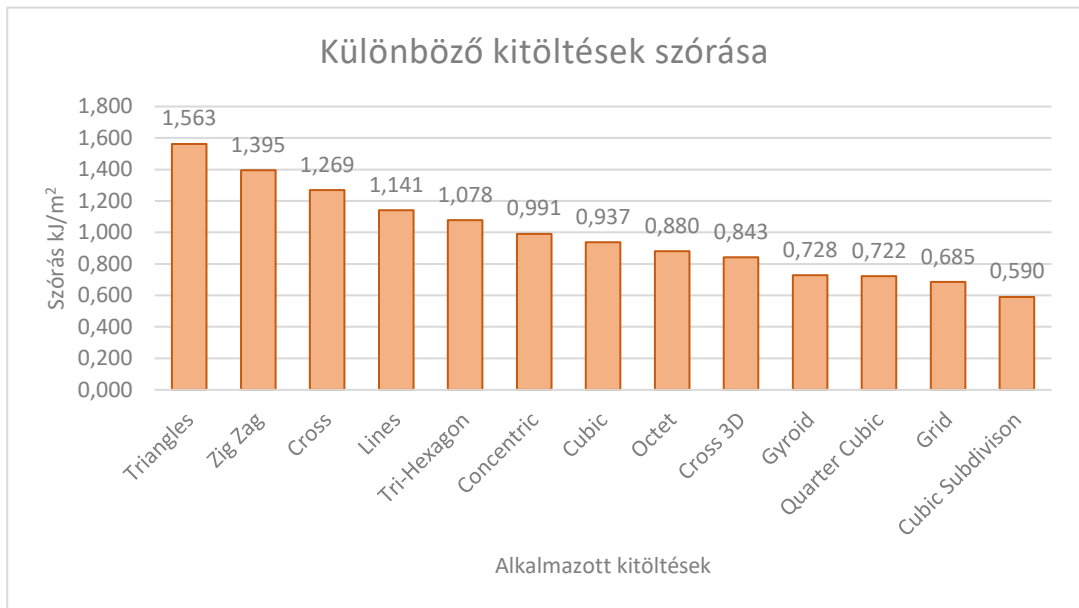
Ahogy azt a különböző kitöltések átlagos ütőmunkáját szemléltető 6. ábra is mutatja az egyes kitöltési mintázatokhoz sok esetben nagy mértékben eltérő átlagos ütőmunka értékek tartoznak, amely jól bizonyítja, hogy a kitöltési mintázat megfelelő megválasztásával az alkatrész mechanikai ellenállóképessége és élettartama is nagy mértékben befolyásolható. A különböző kitöltésekből adódó eltérés mértékét jól jelzi, hogy a legnagyobb átlagos ütőmunka értéket produkáló Concentric kitöltésen mért értéknek a legkisebb ütőmunka értéket produkáló Tri-Hexagon kitöltés csupán 66%-át volt képes felvenni.

6. ábra: A különböző kitöltések átlagos ütőmunkája



Forrás: A szerzők szerkesztése.

7. ábra: A különböző kitöltésekhez tartozó szórás értékek



Forrás: A szerzők szerkesztése.

Ahogy az a különböző kitöltésekhez tartozó szórásértékeket bemutató 7. ábrán is látható a szórás értékek és az átlagos ütőmunkaértékek alakulása között semmilyen konkrét összefüggés nem figyelhető meg. Azonban az könnyedén megállapítható, hogy az alkalmazott kitöltési mintázat a vizsgált próbatestek ütőmunkaértékeinek szórására nagy mértékben hatott és az egyes kitöltési mintázatok ütőmunkájának szórásában komoly eltérések jelentkeznek. Ezt jól mutatja, hogy a legkisebb szórás

értékkel rendelkező Cubic Subdivision kitöltés szórás értéke csupán 37%-a a legnagyobb szórás értékkel rendelkező Triangles kitöltés szórásának. Ez az eltérés jól jelzi, hogy a megfelelő kitöltési mintázat kiválasztása mennyire fontos, akkor amikor a cél az, hogy egy gyártási sorozaton belül az alkatrészek mechanikai tulajdonságaiban minél kisebb eltérés adódjon.

4. Következtetések

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a nyomtatás során alkalmazott kitöltési mintázat nagy mértékben meghatározza az adott próbatest ütőmunkáját és annak szórását is. A vizsgálat során a több nagy mértékben hasonlító mintázaton elvégzett vizsgálat során kapott eredmények is jól mutatják, hogy az alkalmazott belső szerkezetben jelentkező kis mértékű eltérés is jelentősen befolyásolja az alkatrész ütőmunkáját. Azonban az a sokszor megfigyelhető tendencia nem figyelhető meg, hogy a nagyobb ütőmunkával rendelkező próbatestek nagyobb szórás értékekkel is rendelkeznek. Összességében megállapítható, hogy a megfelelően kiválasztott kitöltési mintázat nagy mértékben hozzájárulhat egy alkatrész megfelelő mechanikai tulajdonságaihoz és az alkatrész élettartamához.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-1-SZTE-313 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

- Bozkurt Y., Karayel E. (2021): 3D printing technology; methods, biomedical, applications, future opportunities and trends, *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 1430-1450. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.050>
- Dizona J. R. C., Espera Jr. A. H., Chena Q., Advincula R. C. (2018): Mechanical Characterization of 3D-printed Polymers, *Additive Manufacturing*, 20, 44-67. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.12.002>
- Dorčiak F., Vaško M., Handrik M., Bárnik F., Majko J. (2019): Tensile test for specimen with different size and shape of inner structures created by 3D printing, *Transportation Research Procedia*, 40, 671-677. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.095>
- Hanona M. M., Dobos J., Zsidai L. (2021): The influence of 3D printing process parameters on the mechanical performance of PLA polymer and its correlation with hardness, *Procedia Manufacturing*, 54, 244-249. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.07.038>
- Lennert J. R., Sárosi J. (2021): Investigation of 3D Printing Parameters Affecting the Impact Strength, *International Journal of Engineering, Annals of Faculty of Engineering Hunedoara*, 19 (2), 133-139.
- Mishra K. P., Senthil P., Adarsh S., Anoop S. M. (2021): An investigation to study the combined effect of different infill pattern and infill density on the impact strength of 3D printed polylactic acid parts, *Composites Communications*, 24, <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.100605>
- Nadagouda N. M., Ginn M., Rastogi V. (2020): A review of 3D printing techniques for environmental applications, *Current Opinion in Chemical Engineering*, 28, 173-178. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2020.08.002>

- Pinho C. A., Amaro M. A., Piedade P. A. (2020):, 3D printing goes greener: Study of the properties of post-consumer recycled polymers for the manufacturing of engineering components, *Waste Management*, 118, 426-434. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.003>
- Prabhakar M. M., Saravanan K. A., Lenin H. A., Leno J. I., Mayandi K., Ramalingam S. P. (2021): A short review on 3D printing methods, process parameters and materials, *Materials Today: Proceedings*, 45 (7), 6108-6114. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.225>
- Shahrubudina N., Leea T. C., Ramlana R. (2019): An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications, *Procedia Manufacturing*, 35, 1286-1296. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>
- Srinivasan R., Kumar N. K., Ibrahim J. A., Anandu V. K., Gurudhevan R. (2020): Impact of fused deposition process parameter (infill pattern) on the strength of PETG part, *Materials Today: Proceedings*, 27 (2), 1801-1805. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.777>
- Tandon S., Kacker R., Sudhakar G. K. (2021): Experimental investigation on tensile properties of the polymer and composite specimens printed in a Triangular pattern, *Journal of Manufacturing Processes*, 68 (A), 706-715. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.05.074>
- Wang L., Gramlich M. W., Gardner J. D. (2017): Improving the impact strength of Poly(lactic acid) (PLA) in fused layermodeling (FLM), *Polymer*, 114, 242-248. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.03.011>
- Wang P., Zou B., Ding S., Li L., Huang C. (2021): Effects of FDM-3D printing parameters on mechanical properties and microstructure of CF/PEEK and GF/PEEK, *Chinese Journal of Aeronautics*, 34 (9), 236-246. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.05.040>
- Yilmaz B., Rashid A. A., Mou A. Y., Evis Z., Koç M. (2021): Bioprinting: A review of processes, materials and applications, *Bioprinting*, 23, e00148. <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2021.e00148>