

Kovács Zoltán,<sup>1</sup> Daruka Norbert,<sup>2</sup> Dénes Kálmán,<sup>3</sup>  
Ember István,<sup>4</sup> Vég Róbert<sup>5</sup>

## Kitöltési mintázatok a 3D-nyomtatásban és azok hatása az alkatrész tulajdonságaira<sup>6</sup>

### Infill Patterns in 3D Printing and Their Impact on the Properties of Parts

#### Absztrakt

A 3D-nyomtatás technológiája napjainkra széles körűvé vált, nagyon sok eljárás ismert, és az alapanyagok köre is bővül. Ez az additív gyártástechnológia már nemcsak a termékeket előállító vállalatok számára, hanem szinte mindenki számára elérhetővé vált. Egyre többen vásárolnak otthoni használatra, hobbicélokra valamilyen 3D-nyomtatót. A 3D-nyomtatás technológiája viszonylag egyszerűnek tűnik, egy megrajzolt vagy az internetről letöltött tárgy .stl formátumát kell feldolgozni egy szeletelőprogramban a nyomtató számára, majd elindítani a nyomtatást. Többféle szeletelőprogram ismert, viszont közös bennük, hogy számtalan paramétert lehet beállítani a megfelelő nyomtatás érdekében. Az egyik ilyen fontos paraméter a test belsejének kitöltési mintája, amely hatással van a nyomtatási időre,

<sup>1</sup> Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék, e-mail: [kovacs.zoltan@uni-nke.hu](mailto:kovacs.zoltan@uni-nke.hu)

<sup>2</sup> Robbanóanyag-ipari szakmérnök, e-mail: [daruka.norbi@gmail.com](mailto:daruka.norbi@gmail.com)

<sup>3</sup> Építőmérnök, e-mail: [denes.kalman.1975@gmail.com](mailto:denes.kalman.1975@gmail.com)

<sup>4</sup> Tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék, e-mail: [ember.istvan@uni-nke.hu](mailto:ember.istvan@uni-nke.hu)

<sup>5</sup> Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: [vegh.robert@uni-nke.hu](mailto:vegh.robert@uni-nke.hu)

<sup>6</sup> A 2022-2.1.1-NL-2022-00012 számú „Koopratív Technológiák Nemzeti Laboratórium” projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Laboratóriumok pályázati program finanszírozásában valósult meg.

*a felhasznált alapanyag mennyiségére és a nyomtatott tárgy felhasználhatóságára. A cikk bemutatja a különböző kitöltési mintázatokat, jellemzőiket, ismerteti főbb felhasználási területüket.*

*Kulcsszavak: kitöltési minta, kitöltési tényező, 3D-nyomatás*

## Abstract

*3D printing technology is now widespread, with a large number of processes and a growing range of materials. This additive manufacturing technology is now available not only to companies that make products, but to almost everyone. More and more people are buying 3D printers for home use, for hobby purposes. The technology of 3D printing seems relatively simple, you have to process the .stl format of a drawn object, or an object downloaded from the internet, in a slicer program for the printer and then start printing. There are several types of slicing softwares, but what they have in common is that you can set a wide range of parameters to get the right print. One of these important parameters is the infill pattern inside the body, which affects the printing time, the amount of raw material used and the usability of the printed object. The article describes the different infill patterns, their characteristics and their main uses.*

*Keywords: infill pattern, infill factor, 3D printing*

## Bevezetés

A 3D-nyomatás mint additív eljárás napjaink egyik leggyorsabban és legdinamikusabban fejlődő gyártástechnológiája. A 3D-nyomatást akár gyűjtőfogalomként is felfoghatjuk, mivel nagyon sok különböző nyomtatási eljárást különböztethetünk meg (például szálhúzásos [FDM – *fused deposition modeling*], műgyantás [SLA – *stereolithography*] vagy poralapú [SLS – *selective laser sintering*]), amelyek számos alapanyagot használnak fel a nyomtatás során (például műanyagok, fémek, kerámia és akár fa is). Szilárdságukat vágott vagy folyamatos szálerősítéssel (szén- vagy üvegszál, kevlár) fokozhatják.<sup>7</sup>

A 3D-nyomatást eleinte gyors prototípusok készítésére használták, de manapság már igen széles körű az alkalmazása. Az iparon belül az egyedi alkatrészek gyártása mellett már kisebb szériában is gyakran 3D-nyomatási technológiákat használnak fel.<sup>8</sup> Az orvostudományon belül a fogászat és az implantátumok előállítására jellemző felhasználási forma, de már a csökkent beszerzési és üzemeltetési árak miatt a háztartásokban is megjelentek a hobbicélú 3D-nyomatók. Mindeközben folyamatosan bővül a professzionális alkalmazások száma is. Számos helyen kutatják a technológia katonai felhasználásának lehetőségeit, sőt már a műveleti területen történő alkalmazására is vannak kísérletek.<sup>9</sup>

<sup>7</sup> HEGEDŰS 2023a: 62.

<sup>8</sup> GYARMATI 2023; GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022.

<sup>9</sup> VÉGVÁRI 2023.

A 3D-nyomtatás során a nyomtatandó elem rétegről rétegre épül fel, ezáltal olyan komplex alakzatok hozhatók létre, amelyek más gyártási eljárással nehezen, egyáltalán nem, vagy pedig csak sok hulladék keletkezésével állíthatók elő. A 3D-nyomtatás fontos előnye, hogy optimális esetben nem termel hulladékot. Az FDM-nyomtatás során keletkező hulladék (például a támaszanyag) megfelelő eljárásokkal ismét nyomtatásra alkalmas anyaggá alakítható. A 3D-nyomtatás további előnye, hogy az alkatrész üregességét változtatni lehet. Gyártás szempontjából egy üreges alkatrész kevesebb időt és anyagfelhasználást igényel, mint egy tömör, ezáltal a teljes tömeg és a költség is csökken. A 3D-nyomtatás minősége sok paraméter megfelelő beállításától függ. A mechanikai igénybevételnek nem kitett nyomtatványok esetén a különböző beállítási paraméterek közül csak azokat szokták figyelembe venni, amelyek a nyomtatvány esztétikáját és az előállítási költségét befolyásolják, vagyis a rétegvastagságot és a kitöltést. Mechanikai igénybevételnek kitett nyomtatványok esetén a nyomtatás iránya és a nyomtatáskor használt kitöltési minta típusa is befolyásolja az előállított alkatrész használhatóságát.<sup>10</sup>

A nyomtatáshoz megválasztott kitöltési mintázat teljes mértékben meghatározza a nyomtatandó alkatrész belső szerkezetét, és ezáltal az alkatrész mechanikai tulajdonságainak egy jelentős hányadát is. A mechanikai igénybevétel esetén számításba kell venni azt a tényt is, hogy a kitöltési mintázat mennyire stabil és homogén az alkalmazott sűrűség esetén. Egyes kitöltési mintázatok csak bizonyos sűrűségig érhetők el ténylegesen, mivel egy adott érték fölött a nyomtató már nem tudja a tényleges mintát tökéletesen létrehozni.

Annak ellenére, hogy a 3D-nyomtatást gyakran gyors prototípusgyártásnak nevezik, valójában a nyomtatás többnyire sok időt vesz igénybe, főként egy jó minőségű nyomtatvány elkészítésekor. A nyomtatandó elemet az adott követelményeknek megfelelően nem feltétlenül tömör tárgyként nyomtatják, hanem üreges elemként, amelyet különféle geometriai alakzatokkal töltenek meg az anyagfelhasználás optimalizálása és a nyomtatási idő csökkentése érdekében. Az üreges nyomtatott tárgyak gyakran nem elég erősek, teljesen tömör tárgyak nyomtatása viszont sok alapanyag felhasználásával jár. Az FDM-nyomtatással ritkán készítenek szilárd alkatrészeket, általában az elem belsejét kitöltik egy, a célnak megfelelő meghatározott mintával, adott sűrűséggel. Ez a sűrűség 0%-tól (teljesen üreges) 100%-ig (tömör tárgy) terjedhet. A 100%-os kitöltés esetén az erősség szempontjából nem igazán számít a kitöltési minta típusa, de a nyomtatási idő optimalizálása szempontjából igen.<sup>11</sup>

A kitöltési mintát a szeletelőprogramban lehet beállítani (például Cura vagy adott 3D-nyomtató gyári szeletelőprogramja), ahol a program különféle mintákat ajánl, amelyek mindegyikének megvannak a maga jellemzői, erősségei és fontosabb alkalmazási területei. A kitöltési mintákat külön-külön is lehet értékelni, de akár különböző szempontok alapján csoportosítani is lehet őket.

A Cura 5.2-es vagy újabb verziójában 14-féle kitöltési minta áll rendelkezésre, amelyeket felhasználhatóságuk szerint csoportosíthatjuk:

<sup>10</sup> LENNERT-SÁROSI 2021: 47.

<sup>11</sup> KREATE 2024.

- egyszerű és gyors 3D-nyomatványokhoz (modellek, figurák): vonalak, cikcakk, villám;
- prototípusokhoz és közepesen erős alkatrészekhez: rács, háromszögek, három-hatszög;
- erős és funkcionális alkatrészekhez: kocka, osztott kocka, negyed kocka, oktett, giróid;
- rugalmas 3D-nyomatványokhoz: körkörös, kereszt, 3D kereszt.<sup>12</sup>

Természetesen nem ilyen egyértelmű az adott kitöltési minta alkalmazási területe, mert egyes minták szélesebb körben használhatók. A nyomtatott elem erősségét nemcsak a kitöltési minta típusa határozza meg, hanem a kitöltési sűrűség és a kitöltési vonalak iránya is, mindezek együttesen nemcsak az alkatrész mechanikai tulajdonságait határozzák meg, de hatással vannak az utólagos megmunkálás lehetőségeire és az elérhető felületi minőségre is.<sup>13</sup>

## Kitöltési minták egyszerű és gyors 3D-nyomatványokhoz

Jellemző kitöltési sűrűségük 0–15% között van. Ezekkel az alacsony kitöltési értékekkel gyorsan elő lehet állítani a nyomtatványokat, amelyek nincsenek nagy erőhatásoknak kitéve (például modellek, különféle figurák).

### *Vonalak minta (lines)*

A legismertebbnek nevezhető kitöltés a 3D-nyomatásban a vonalak alkalmazása. Pontosan azt jelenti, amit a szó közöl, vagyis egyenes vonalak 3D-ben nyomtatva az x vagy y tengely mentén. A minta folyamatos vonalakat használ, amelyek egy irányban futnak, ezáltal töltve ki a 3D-nyomtatott test belsejét (1.a ábra). A kitöltő vonalak egymáshoz képest 90°-os szögben követik egymást, minden következő rétegben. Felülről nézve a minta rácsmintának tűnik, azzal a különbséggel, hogy minden rács két rétegből áll. Mivel a mintában a vonalak párhuzamosan futnak, így egyenletesebben osztják el a felső rétegek súlyát és feszültségét a test belsejében, megakadályozva a koncentrált nyomási pontok kialakulását. A minta segít elkerülni a 3D-nyomatás „párnázottságát”, amikor a nyomtatott test felső felületei egyenetlenek lesznek (párnaszerű megjelenés). A vonalak minta gyorsan nyomtatható, kevés alapanyagot használ fel, a szeletelőprogram számára könnyen számítható. Hátránya, hogy gyenge szilárdságot biztosít mind vízszintes, mind függőleges irányban. Jó választás olyan kicsi elemek nyomtatásához, amelyeknek nem kell túl erősnek lenniük.<sup>14</sup>

<sup>12</sup> GOLDSCHMIDT 2024.

<sup>13</sup> ZENTAY-HEGEDŰS-VÉGVÁRI 2022.

<sup>14</sup> PRANAY 2024.

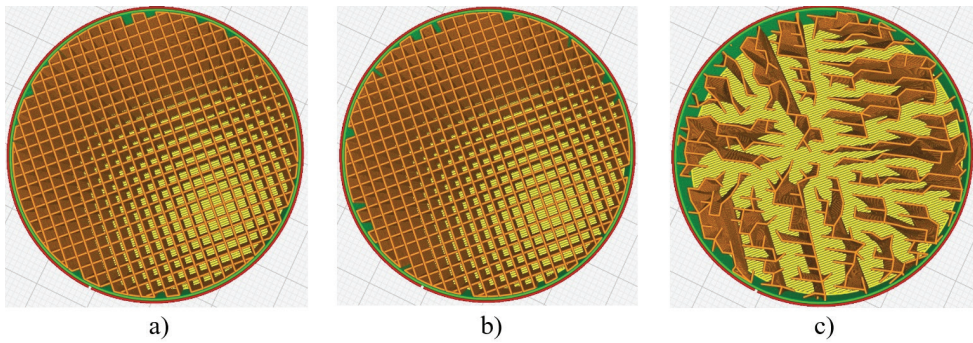
### *Cikcakkminta (zig zag)*

A cikcakkminta részben hasonlít a vonalmintához, a különbség az, hogy egy rétegben váltakozó vonalak találhatók, amelyek ellentétes irányban haladnak, ami cikcakkmintát eredményez (1.b ábra). A minta csökkenti a filamentszál visszahúzásának szükségességét, így FDM-technológia mellett gyorsabb nyomtatást tesz lehetővé. Az egymást metsző átlós vonalak kellő erősítést adnak, ami a nyomtatvány belsejét megfelelően meg tudja támasztani. A kitöltési minta vezetése minden réteggel irányt változtat, ami szép nyomtatványt biztosít. A cikcakkminta egyszerű elemek nyomtatásához ideális, mivel kevesebb felső réteget igényel a kis hézagok miatt, rövidebb a nyomtatás ideje, és kevesebb az alapanyag-felhasználás is. A minta alkalmazásának hátránya, hogy az alkatrész z irányban csak kis igénybevétel elviselésére alkalmas.

### *Villámminta (lightning)*

A villámkitöltés inkább külső támaszként működik, mint hagyományos kitöltésként, mivel olyan belső szerkezetet hoz létre, ami a tárgy nehezebben nyomtatható részeit támasztja alá, és alig, vagy egyáltalán nem támasztja meg azokat a részeket, ahol a nyomtatás anélkül is befejezhető. A villámkitöltéssel gyorsabb nyomtatás hozható létre, kevesebb anyagfelhasználással, mint az előző kettőnél. A villámkitöltés úgy működik, hogy azonosítja és támogatja a modell azon belső területeit, amelyeknek támasztékra van szükségük a nyomtatás során. A létrejövő támaszték egy elágazófa-szerű szerkezet lesz, ami villámcsapásra emlékeztet (1.c ábra). A villámkitöltés hatékonysága abból adódik, hogy a külső támaszokkal ellentétben, amelyeknek az építőlemezen kell kezdődniük, a villámtámaszok bárhol kezdődhetnek és végződhetnek a modell belső falán, így kevesebb anyagot használ fel, és a nyomtatott tárgy nagy része teljesen üreges maradhat. A villámkitöltés bonyolultsága miatt a szeletelési idő kismértékben megnő. Villámkitöltésnél a kitöltés százalékos aránya és a felhasznált anyag közötti kapcsolat nem lineáris, a kitöltés mennyisége a nyomtatandó tárgy geometriájától függ. Magas kitöltési százalékot nem célszerű alkalmazni a tárgy erősségének növelése érdekében, inkább másik kitöltési mintát kell választani. A villámkitöltés jól alkalmazható nem funkcionális tárgyak nyomtatására, például nagy belső felülettel rendelkező tárgyaknál (szobor). A nyomtatáshoz legalább 2-3 falréteget célszerű használni.<sup>15</sup> Igen gyakori az alkalmazása az SLA-nyomtatók esetében, ahol a technológia sajátossága miatt a támasztékok száma és kialakítása nem befolyásolja a nyomtatási sebességet.

<sup>15</sup> Lásd: <https://ultimaker.com/learn/how-to-print-like-a-flash-with-lightning-infill/>



1. ábra: a) vonalak minta, b) cikcakkminta, c) villámminta

Forrás: a szerzők szerkesztése

## Kitöltési minták prototípusokhoz és közepesen erős alkatrészekhez

Jellemző kitöltési sűrűségük 15–50% között van. Kis és közepes igénybevételeknek kitett alkatrészek nyomtatásához a rács, háromszög vagy három-hatszög kitöltési mintát kell alkalmazni, amelyek közepes erősséget biztosítanak. A vonalak mintához képest a nyomtatási idő például FDM-technológia esetében akár 25%-kal is nagyobb lehet.

### Rácsminta (grid)

Rácsminta esetén a nyomtatófej keresztirányban mozog, az egymásra merőlegesen futó metsző vonalak rácsmintát hoznak létre (2.a ábra). A rácsmintának jobb a réteg-tapadása, mint az egyenes vonalú (vonalak minta) kitöltésnek. Azokon a helyeken, ahol a nyomtatási utak keresztezik egymást, az alapanyag felhalmozódik, ami a nyomtatás során zajt kelt, vagy akár nyomtatási hibát is okozhat, amikor a nyomtatófej átmege rajta. A minta alakja a nyomtatás során végig ugyanaz marad, ezáltal minden irányban hasonló szilárdságot ad az alkatrésznek. A rácsminta viszonylag kis mennyiségű alapanyag felhasználásával közepes szilárdságot nyújt. Egyenletes alátámasztást biztosít a felső felületnek, de a nagy terhelést nem képes elviselni.<sup>16</sup>

### Háromszögek minta (triangles)

Hasonló a rácsmintához, mivel a nyomtatószál útjai egy rétegben keresztezik egymást, viszont három irányban nyomtatva háromszög alakú zsebek keletkeznek a 3D-nyomtatvány belsejében (2.b ábra). Mivel az egymásba illeszkedő háromszögek egyenletesebben osztják el az erőket a nyomtatvány belsejében, növekszik annak szilárdsága. A belső háromszögek erős szerkezetet hoznak létre, ezért a z irányú

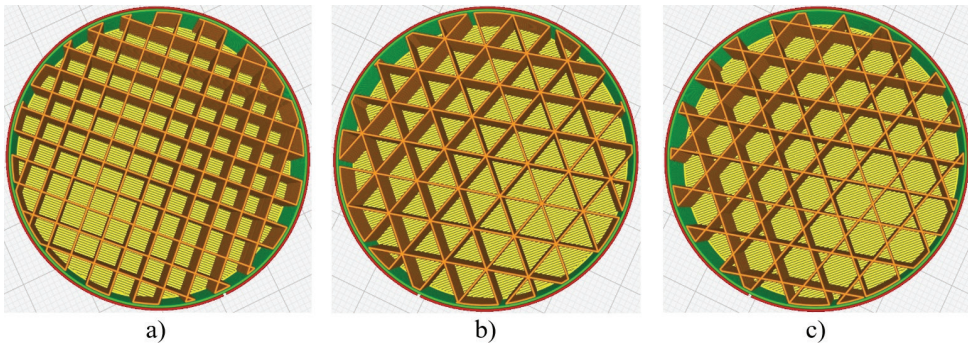
<sup>16</sup> OMKAR 2022.



erőhatároknak is képes nagyobb mértékben ellenállni. Különböző prototípusok előállítására kiválóan alkalmas a háromszögminta, mivel nagyobb nyomtatási sebességgel, jelentős szilárdságot biztosít, és jó nyírési ellenállással rendelkezik, viszont nyomtatás során a sok irányváltoztatás a nyomtatószál megszakadásához vezethet. A nyomtatási idő és anyagfelhasználás tekintetében szinte azonos a rácsmintával.<sup>17</sup>

### Három-hatszög minta (tri-hexagon)

A három-hatszög minta a háromszögletű és hatszögletű minták keveréke, ahol a kitöltő vonalak egy rétegen belül keresztezik egymást. A kitöltő vonalak a háromszögmintához hasonlóak, de kissé el vannak tolvá, így a minta minden rétegnél egyedi háromszög- és hatszögmintát hoz létre. A háromszögeket és a hatszögeket alkotó vonalak három irányban futnak, de nem találkoznak ugyanabban a helyzetben (2.c ábra). A háromszögek és a hatszögek együttműködése jó szilárdságot biztosít a minden irányból fennálló terhelésekkel szemben. A nyomtatás ideje a háromszögmintának megfelelő, a minta jól megtámasztja a felső rétegeket. Az azonos szilárdság vízszintes és függőleges irányban alkalmassá teszi a mintát prototípusok és közepes mechanikai szilárdságot igénylő alkatrészek nyomtatására.<sup>18</sup>



2. ábra: a) rácsminta, b) háromszögek minta, c) három-hatszög minta

Forrás: a szerzők szerkesztése

### Kitöltési minták erős és funkcionális alkatrészekhez

Jellemző kitöltési sűrűségük 50% fölött van. Olyan alkatrészek nyomtatásához alkalmasak, amelyek több irányú terhelésnek vannak kitéve, valamint nagy szilárdságot igényelnek (például polctartó). Ezek a kitöltési minták biztosítják az erők egyenletes

<sup>17</sup> RAFIQUIL 2020.

<sup>18</sup> EKARAN 2023.

elosztását, iránytól függetlenül. Ezeknek a mintáknak a nyomtatása hosszabb időt vesz igénybe, de előnyük, hogy tartós, mégis könnyű alkatrészeket lehet általuk előállítani.<sup>19</sup>

### *Kockaminta (cubic)*

A nyomtatás útvonalai egy rétegen belül keresztezik egymást, és a létrehozott minta olyan kockákat eredményez, amelyek egyik sarka lefelé néz (3.a ábra). A kocka alakú minta csökkenti a párnázás kialakulásának esélyét. A kitöltés belsejében légszákok jönnek létre, amelyek hőszigetelésként szolgálnak, és ezáltal a nyomtatvány a vízen lebeghet. A kocka alakú kitöltés minden irányban jó szilárdságot és megfelelő esztétikát biztosít.

### *Osztottkocka-minta (cubic subdivision)*

Az osztottkocka-minta hasonló a kockamintához, azzal a különbséggel, hogy a 3D-nyomatvány középső része üreges. A nagyobb kockák a nyomtatvány közepén, a kisebbek pedig a szélén találhatóak (3.b ábra). Alacsony kitöltési százalék esetén a nyomtatvány közepe teljesen üres lehet. A kockamintához képest a nyomtatási idő jelentősen lerövidül, javítja a szilárdság-tömeg arányt, mivel a kockák elég sűrűek ahhoz, hogy megfelelő erőt és tartást biztosítsanak, és elég könnyűek ahhoz, hogy ne eredményezzenek túl nagy súlyt. A minta hátránya, hogy nem alkalmas nagy terhelés elviselésére, a szeletelés számításigényes, így több időt vesz igénybe, és alacsony kitöltési százalék a felső réteg megereszkedését okozhatja.<sup>20</sup>

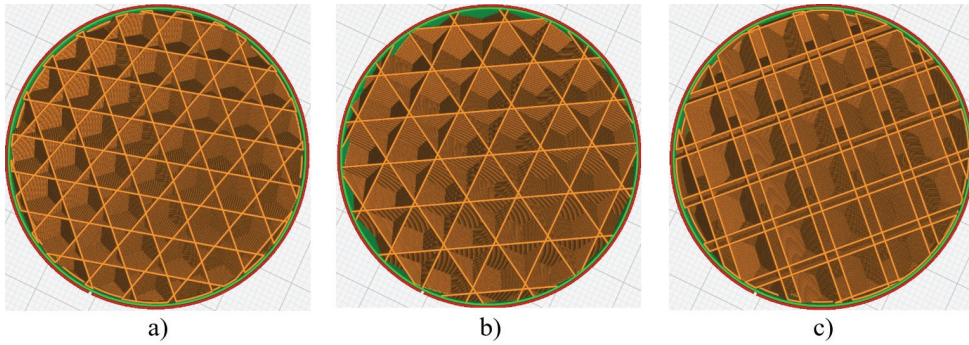
### *Negyedkocka-minta (quarter cubic)*

A negyedkocka-minta kis kockákat és téglalap alakú formákat tartalmaz, amelyek rács alakban vannak elrendezve, ezáltal nagyobb anyagsűrűséget és jobb mechanikai tulajdonságokat tesz lehetővé (3.c ábra). Mivel a minta kis kockákat tartalmaz, hatékonyan osztja el a súlyt, jó szilárdságot biztosít kisebb falvastagság mellett. A kockák rácsszerű elrendezése esztétikusabbá teszi a nyomtatványt. A negyedkocka-minta alkalmas olyan alkatrészek előállítására, amelyeknek egyszerre kell erősnek és könnyűnek lenniük. Hátránya, hogy plusz réteget kell elhelyezni a nyomtatvány tetején a párnázottság elkerülése érdekében.

<sup>19</sup> Maker.io Staff 2021.

<sup>20</sup> PRUSA 2024.





3. ábra: a) kockaminta, b) osztottkocka-minta, c) negyedkocka-minta

Forrás: a szerzők szerkesztése

### Oktettminta (octet)

Az oktettminta 3D-kockákból és -tetraéderekből áll, így erős belső szerkezetet hoznak létre, főként ott, ahol a két forma találkozik (4.a ábra). Az oktettminta az alkatrésznek minden irányban jó nyírási ellenállást nyújt. A minta komplex formák 3D-nyomtatására alkalmas, mivel erős belső szerkezettel rendelkezik, csökkenti a párnázást, és kiváló szilárdságot biztosít. A minta hátránya, hogy a hosszabb kitöltési vonalak áthidalási és megereszkedési problémákat okozhatnak.<sup>21</sup>

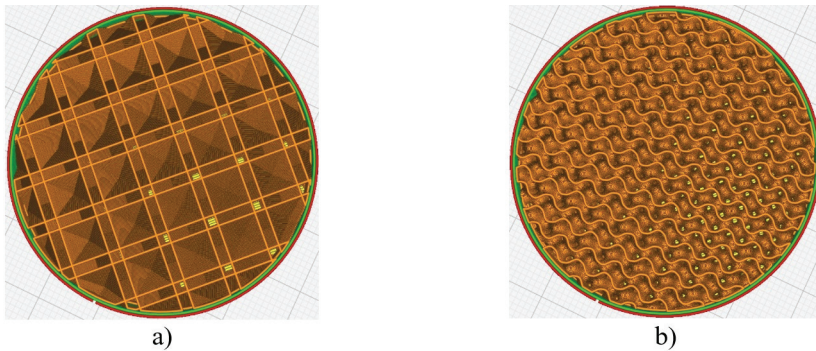
### Gyroidminta (gyroid)

A gyroidkitöltés viszonylag új, például a Cura esetében csak a 3.6-os verziójában, 2018-ban vezették be. A gyroidkitöltés az egyik legfejlettebb és legelőnyösebb kitöltési minta a nyomtatott alkatrész szilárdság/tömeg arányának szempontjából. A gyroid metsző 2D-hullámvonalakból álló 3D-geometria, amelynek nincsenek egyenes vonalai, és amely erős szerkezetet hoz létre. A gyroidmintával külső héj nélküli tárgyak is nyomtathatók. A kitöltési sűrűséget minimalizálni lehet változatlan nyírószilárdság mellett. A gyroidkitöltés hullámvonalak folyamatos nyomtatásával jön létre, ahol minden réteg különbözik az előzőtől, így hozva létre az összetett hullámos mintát. A gyroidkitöltéssel már 10%-os kitöltési tényezővel is jó szilárdság érhető el. A gyroidkitöltés egyik előnye, hogy lehetővé teszi közel izotróp tulajdonságú részek nyomtatását. Izotrópnak nevezzük azokat az anyagokat, amelyek ugyanolyan szilárdságot és anyagtulajdonságokat mutatnak függetlenül attól, hogy milyen irányú terhelésnek vannak kitéve. A gyroidkitöltés nem tökéletesen izotróp, de a köbös szimmetriája miatt hasonló tulajdonságokat biztosít.<sup>22</sup> A kinyomtatott 3D-s tárgy ellenállása mindhárom tengelyen hasonló. A gyroidkitöltésnek van az egyik legjobb

<sup>21</sup> EKARAN 2023.

<sup>22</sup> BOISSONNEAULT 2024.

sűrűség/szilárdság aránya a különböző minták közül. Ugyanolyan szilárdságú alkatrész előállításához kevesebb alapanyagra van szükség, mint más nagyobb sűrűségű kitöltési minták esetén. A nyomtatás sebessége a gyroidminta íves szerkezete miatt gyorsabb lehet a többi kitöltéshez képest. A minta hátrányaként lehet említeni, hogy mivel összetettebb, mint a 2D-s kitöltési minták, szignifikánsan hosszabb szeletelési időt igényel. Ha a kitöltési tényező túl nagy, és a kitöltő hullámok túl közel vannak egymáshoz, akkor a nyomtatófej mozgása rezgéseket kelthet a nyomtatóban, ami nyomtatási hibákat okozhat. Ezek a hibák elkerülhetők kisebb sűrűségű nyomtatás alkalmazásával. A kitöltőminta tetszetős geometriája miatt, illetve hogy héj nélkül is lehet nyomtatni, alkalmas esztétikus modellek (például lámpa, váza) előállítására. A gyroidminta a könnyű súly és a megfelelő szilárdság miatt jól alkalmazható a gépjármű- és repülőgépiparban, ahol az üzemanyag-felhasználás hatékonysága a súlycsökkentéstől nagymértékben függ.<sup>23</sup>



4. ábra: a) oktettminta, b) gyroidminta  
Forrás: a szerzők szerkesztése

## Kitöltési minták rugalmas 3D-nyomtatványokhoz

Kitöltési sűrűségük 0–100% között van, vagyis adott alkatrész igénybevétele, használati jellege határozza meg a kitöltés nagyságát. A kör-, kereszt- és 3D keresztminták biztosítják a legjobb rugalmasságot 3D-nyomtatott alkatrészeknek.

### Körkörös minta (*concentric*)

A mintát koncentrikus körök sorozata hozza létre, ahol a kitöltés követi a modell kerületi vonalait, és a középpont felé kisebbíti azokat. Kocka nyomtatása esetén a kitöltés sok függőleges négyzetből fog állni, henger nyomtatása esetén a koncentrikus kitöltés koncentrikus köröket hoz létre a henger belsejében (5.a ábra). A körkörös minta esetén a kitöltés illeszkedik a nyomtatvány alakjához, ezáltal könnyen hajlíthatóvá

<sup>23</sup> WEYHAUPT 2021; CHANDLER 2017.

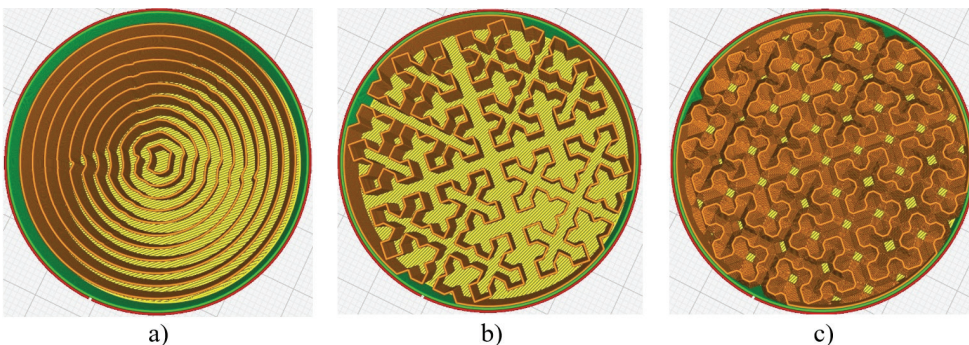
és rugalmasabbá teszi az alkatrészt. Olyan nyomtatványokhoz is alkalmas, ahol a belső szerkezetnek nem kell jelentős mechanikai igénybevételt elviselnie. A körkörös minta alkalmazása rugalmas alapanyag használatával optimális. A minta jellegzetes vizuális megjelenést hoz létre a nyomtatvány belsejében, ami áttetsző vagy félig áttetsző anyagon keresztül is látható. A minta gyorsabban nyomtatható, mivel létrehozása általában körkörös irányú folyamatos mozgást tartalmaz. A minta alkalmazásának előnye, hogy a sűrűség változtatásával szabályozható a merevség, vagyis a nyomtatvány rugalmassága, kevesebb az alapanyag-felhasználása és könnyen szeletelhető. A minta hátránya, hogy a felső rétegek könnyen megereszkednek a kitöltési sűrűség csökkentésével, valamint hogy ez az egyik leggyengébb kitöltési minta.<sup>24</sup>

### Keresztminta (cross)

A minta keresztező vonalakat tartalmaz, amelyek keresztrácsot hoznak létre. A rács és a keresztek közötti hézag miatt rugalmas és sok hajlítást elvisel. A keresztminta jól alkalmazható olyan tárgyakhoz, amelyeknek hajlíthatónak kell lenniük (például telefontok). A kitöltő minta felülről nézve keresztre emlékeztet, ami áttetsző alapanyagnál dekoratív mintát nyújt (5.b ábra). FDM-nyomtatás során kevés szálvisszahúzást igényel, ami által a nyomtatási idő lerövidül. A minta alkalmazásának hátránya, hogy vízszintes (x-y) irányban nem nyújt kellő szilárdságot, míg függőleges (z) irányban nem elég rugalmas.

### 3D keresztminta (cross 3D)

A keresztminta 3D-s változata, amely a nyomtatandó tárgy belsejében összekapcsolt keresztekből álló 3D-rácsot tartalmaz (5.c ábra). A 3D keresztminta minden irányban azonos szilárdságot biztosít, kevesebb alapanyag-felhasználással jár, és átlátszó anyag használata esetén esztétikus megjelenést nyújt. A minta bonyolultabb, tovább tart a szeletelés.<sup>25</sup>



5. ábra: a) körkörös minta, b) keresztminta, c) 3D keresztminta

Forrás: a szerzők szerkesztése

<sup>24</sup> PRUSA 2024.

<sup>25</sup> PRANAY 2024.

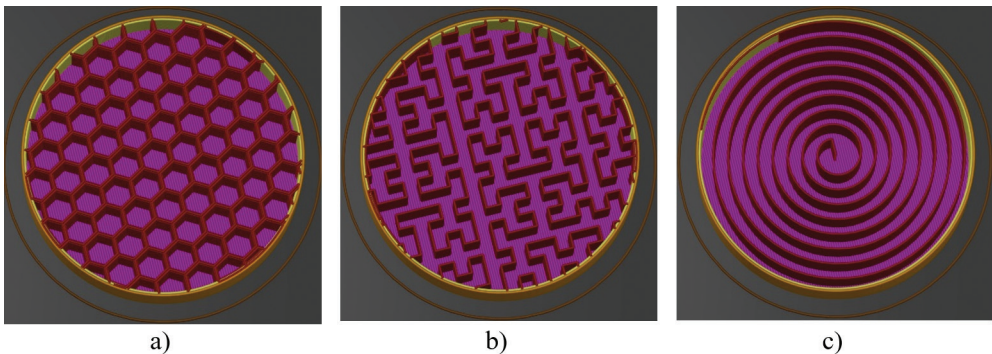
## Egyéb kitöltési minták

Természetesen a Cura szeletelőprogramon kívül még sok egyéb, úgynevezett gyári szeletelőprogram létezik, amelyet a különböző gyártmányú 3D-nyomtatókhoz ajánlanak a forgalmazók. Ezekben a más típusú programokban megtalálhatóak a Cura-ban már látott kitöltési mintázatok, vagy azok valamilyen kisebb módosítással ellátott változatai, vagy pedig ezektől eltérő geometriát nyújtó mintázatok (például a SuperSlicer szeletelőprogramban megtalálható: méhsejt, Hilbert-görbe és az Arkhimédeszi akkord is).

A méhsejtkitöltés (6.a ábra) egy hatszögekből álló rácsot alkot, ahol a nyomtatási pályák nem keresztezik egymást, és amelynek fő előnye a nagy mechanikai ellenállása. Hátránya, hogy magas anyagfelhasználással jár, és a nyomtatási idő is jelentős mértékben megnő emiatt.

A Hilbert-görbe kitöltő minta (6.b ábra) egy téglalap alakú labirintust hoz létre a test belsejében. A minta előnye az esztétikus megjelenés, és mivel a test több nagy üregre van osztva, könnyen megtölthető a célnak megfelelően valamilyen folyadékkal. A kitöltő minta hátránya a hosszú nyomtatási idő.

Az Arkhimédeszi akkord (6.c ábra) egy spirál alakú minta, amely bizonyos fokú rugalmassággal rendelkezik, főként, ha rugalmas alapanyagból állítjuk elő. A spirális kitöltés megkönnyíti a folyadékkal feltöltést. Mivel egyszerű geometriáról van szó, mind anyagot, mind időt meg lehet takarítani a minta alkalmazásával.<sup>26</sup>



6. ábra: a) méhsejtminta, b) Hilbert-görbe minta, c) Arkhimédeszi akkordminta

Forrás: a szerzők szerkesztése

A kitöltési minta mellett jelentősége van a kitöltési vonal irányának is, amely alapértelmezésként  $45^\circ$ -ra van állítva, ezáltal FDM-technológia esetén mind az x irányú, mind az y irányú motor együttesen dolgozik a nagyobb nyomtatási sebesség érdekében. Adott esetben a megfelelő rugalmasság vagy szilárdság elérésére a kitöltési szöveget célszerű lehet megváltoztatni. Ugyanakkor például SLA-technológia használata mellett a kitöltés tájolása nem befolyásolja a nyomtatási időt, azt szabadon lehet állítani például a várható mechanikus igénybevételnek megfelelően.

<sup>26</sup> SuperSlicerHu, lásd: [https://sz-ga.gitbook.io/superslicerhu/konfig/print\\_settings/kitoeltesi-mintak](https://sz-ga.gitbook.io/superslicerhu/konfig/print_settings/kitoeltesi-mintak)



A kitöltés a legtöbb esetben egyenletes, de egyes programokban lehetséges állítani, hogy a kitöltés sűrűsége nagyobb legyen a kerület felé. A kitöltési sűrűség változtatásával az alkatrész szilárdságának és merevségének megtartása mellett kevesebb anyagot lehet felhasználni. A kitöltési sűrűség változtatásának másik módja, amikor a z tengely irányában változik a kitöltő minta sűrűsége, vagyis a kitöltés az alkatrész tetejének közelében sűrűbb lesz, mint az alján. Az általánosan használt szeletelőprogramok nem támogatják sem az egy alkatrészen belül, sem a nyomtatási meneten belül a kitöltési minták változtatását.

## Kitöltési minták FDM-technológias nyomtatási ideje és filamentfelhasználása

A kitöltési mintázatok általános jellemzése után célszerű megvizsgálni, hogy az egyes minták milyen nyomtatási idővel és alapanyag-felhasználással járnak együtt a legáltalánosabban alkalmazott FDM-nyomtatók esetében. Mivel a nyomtatási idő azonos nyomtatási jellemzők és adott kitöltési mintázat esetén is különböző lehet más geometriájú modellek esetén, ezek összehasonlítása fontos. A kitöltési mintázatok jellemzőinek összehasonlításához három mintatestet választottunk ki, egy 50 x 50 x 50 mm-es kockát, egy 50 mm átmérőjű gömböt és egy funkcionális alkatrészt.

A kiválasztott mintatestek közül a kocka formája fogja legkevésbé befolyásolni a kitöltési mintázatot, mivel csak egy vékony héjjal rendelkeznek, és a falai is merőlegesek, valamint a rétegek nagysága tetszőleges kitöltési minta mellett is közel azonos. A gömb forma is szabályos alakzat, azzal a fontos különbséggel, hogy az oldalfalak nem függőlegesek, és minden réteg különböző nagyságú. Mivel a 3D-nyomtatások alapvetően nem kockák és gömbök, hanem valós alkatrészek vagy egyéb tárgyak, amelyek formája szabálytalan, és akár szerteágazó lehet, valamint sok esetben könnyítésekkel vannak ellátva, szükséges egy ilyen tárgynál is elvégezni a vizsgálatot. A szabályos tárgyak eredményeihez hasonlítva egy komplexebb alkatrész eredményeit pontosabban meg lehet határozni, hogy melyik kitöltési minta mennyire befolyásolja a nyomtatási időt és a felhasznált alapanyag mennyiségét. Mivel számos szeletelőprogram van használatban, az összes ilyen programban található kitöltési mintázatot feldolgozni hatalmas munka lenne, ami nem feltétlenül volna célszerű, és a különböző programokban található minták között elég nagy átfedés tapasztalható. Ezért a széles körben használt Cura szeletelőprogramban található 14 darab kitöltési mintát hasonlítjuk össze egymással, mivel ez a program nemcsak széleskörűen felhasználható, de mivel ingyenes, mindenki számára elérhető is. A három különböző mintadarabot a rögzített főbb beállítási jellemzők mellett hat különböző kitöltési sűrűség változtatásával nyomtatjuk, miközben rögzítjük a nyomtatási időt és a szükséges filament hosszúságának nagyságát. A kapott eredményeket táblázatos formában közöljük, és vonjuk le a következtetéseket.

A nyomtatás során alkalmazott főbb beállítási jellemzők:

- nyomtató típusa: Ultimaker S3;
- filament: PLA;
- fúvóka mérete: 0,4 mm;

- rétegvastagság: 0,1 mm;
- falvastagság: 1 mm;
- alsó/felső vastagság: 1 mm;
- nyomtatási/kitöltési sebesség: 70 mm/s;
- nyomtatófej utazási sebessége: 150 mm/s;
- visszahúzási sebesség: 45 mm/s.

A nyomtatás során alkalmazott beállítási értékek közül csak a legfontosabbakat ismertettük, azokat, amelyeknek a legnagyobb hatása van a nyomtatási időre és a felhasznált alapanyag-mennyiségre. Természetesen számos egyéb jellemző van a Cura szelektálóprogramban, amelyek megváltoztatása lehetséges, de az alapbeállítások állandóra vételével, a kitöltési tényező megváltoztatásával összehasonlíthatók a különböző kitöltési minták alapanyag-felhasználásai és nyomtatási idői.

1. táblázat: Kitöltési minták nyomtatási idejének változása a kitöltési sűrűség változásának függvényében 50 x 50 x 50 mm-es kocka nyomtatása esetén

Fsz.	Kitöltési minta neve	Kitöltési sűrűség (%)					
		10	30	50	70	90	100
		kitöltési minta nyomtatási ideje (óra.perc)					
1	rács	5.10	7.21	9.39	11.58	14.14	15.24
2	vonalt	5.00	7.18	9.36	11.55	14.13	15.20
3	háromszög	4.57	7.16	9.34	11.52	14.12	15.16
4	három-hatszög	4.54	7.11	9.30	11.47	14.10	15.13
5	kocka	4.58	7.16	9.33	11.51	14.10	15.19
6	osztott kocka	4.45	6.24	7.27	8.15	8.54	9.16
7	oktett	4.57	7.16	9.35	11.49	14.07	15.18
8	negyed kocka	4.59	7.14	9.35	11.50	14.07	15.18
9	körkörös	4.39	7.03	9.26	11.49	14.12	15.23
10	cikcakk	4.57	7.16	9.34	11.52	14.13	15.20
11	kereszt	4.54	8.32	12.10	17.08	22.32	24.33
12	3D kereszt	4.53	7.58	11.09	14.50	19.08	20.38
13	gyroid	5.01	8.11	13.03	18.01	23.13	25.53
14	villám	3.55	4.12	4.22	4.26	4.34	4.39

Forrás: a szerzők szerkesztése

Az 1. táblázatban látható, hogy a 14 db kitöltési mintából 9 db szinte teljesen azonos nyomtatásiidő-jellemzőkkel rendelkezik. Az osztottkocka-minta viszont lényegesen kisebb, a kereszt-, 3D kereszt- és gyroidminták pedig sokkal nagyobb nyomtatási idővel. A villámminta nyomtatási ideje alig mutat eltérést a kitöltési sűrűség változtatása



közben, ami betudható annak, hogy igazából a minta inkább alátámasztásként szolgál, és a test belsejének nagy része üreges marad. Mivel a test formája (kocka) adott, ezért a kitöltési sűrűség változtatásának alig van hatása a nyomtatási időre. A villámmintánál, miközben a kitöltés 10%-ról 100%-ra nő, a nyomtatási idő mindössze 19%-kal növekszik.

2. táblázat: Kitöltési minták nyomtatásához szükséges filament hosszúságának változása a kitöltési sűrűség változásának függvényében 50 x 50 x 50 mm-es kocka nyomtatása esetén

Fsz.	Kitöltési minta neve	Kitöltési sűrűség (%)					
		10	30	50	70	90	100
		nyomtatáshoz szükséges filament hosszúsága (m)					
1	rács	4,01	7,46	10,92	14,39	17,85	18,70
2	vonat	4,01	7,46	10,92	14,40	17,87	18,70
3	háromszög	3,98	7,47	10,93	14,39	17,85	18,71
4	három-hatszög	3,91	7,35	10,83	14,29	17,74	18,61
5	kocka	4,00	7,45	10,89	14,36	17,85	18,70
6	osztott kocka	3,40	5,66	6,89	7,76	8,51	8,63
7	oktett	3,96	7,46	10,91	14,36	17,76	18,70
8	negyed kocka	3,98	7,42	10,91	14,35	17,80	18,70
9	körkörös	3,47	7,05	10,63	14,22	17,81	18,70
10	cikcakk	3,98	7,47	10,93	14,39	17,86	18,70
11	kereszt	3,60	6,49	9,17	12,06	14,81	15,31
12	3D kereszt	3,52	6,05	8,54	11,09	13,62	14,05
13	gyroid	4,01	7,43	10,72	14,14	17,47	18,31
14	villám	2,20	2,43	2,55	2,58	2,71	2,72

Forrás: a szerzők szerkesztése

A kitöltési minták nyomtatásához felhasznált filament hosszának a változásai láthatók a 2. táblázatban. A 14 db kitöltési mintából 10 db szinte azonos filamentfelhasználással rendelkezik. A gyroidminta érdekessége, hogy benne van az azonos felhasznált alapanyag csoportjában, ugyanakkor viszont az 1. táblázat szerint a legmagasabb nyomtatási idővel rendelkezik. Az osztottkocka-kitöltéshez használt anyagmennyiség a növekvő kitöltési százalékok esetén akár az 50%-os érték alá is csökkenhet a kocka- (rács- stb.) mintához képest. A kereszt- és 3D keresztminták sajátossága, hogy annak ellenére, hogy hosszú nyomtatási idővel rendelkeznek, a felhasznált alapanyag mennyisége mégis csökken. A villámminta itt is egyenletes, alig növekvő emelkedést mutat, mivel a kitöltési százalék növekedése lényegesen nem befolyásolja a nyomtatási idő mellett a felhasznált alapanyag mennyiségét sem.

3. táblázat: Kitöltési minták nyomtatási idejének változása a kitöltési sűrűség változásának függvényében 50 mm átmérőjű gömb nyomtatása esetén

Fsz.	Kitöltési minta neve	Kitöltési sűrűség (%)					
		10	30	50	70	90	100
		kitöltési minta nyomtatási ideje (óra.perc)					
1	rács	2.55	4.08	5.20	6.32	7.43	8.20
2	vonalt	2.56	4.08	5.20	6.32	7.43	8.19
3	háromszög	2.54	4.07	5.19	6.31	7.42	8.18
4	három-hatszög	2.53	4.06	5.18	6.30	7.41	8.17
5	kocka	2.54	4.07	5.19	6.31	7.42	8.18
6	osztott kocka	2.46	3.38	4.10	4.37	5.00	5.08
7	oktett	2.56	4.09	5.21	6.34	7.46	8.22
8	negyed kocka	2.57	4.09	5.21	6.34	7.46	8.22
9	körkörös	2.44	4.00	5.13	6.24	7.36	8.13
10	cikcakk	2.54	4.07	5.19	5.31	7.44	8.19
11	kereszt	2.59	4.40	6.54	9.23	12.05	13.29
12	3D kereszt	2.56	4.26	6.15	8.13	10.19	11.22
13	gyroid	2.56	4.39	7.10	9.45	12.30	13.53
14	villám	2.27	2.36	2.41	2.44	2.49	2.50

Forrás: a szerzők szerkesztése

4. táblázat: Kitöltési minták nyomtatásához szükséges filament hosszúságának változása a kitöltési sűrűség változásának függvényében 50 mm átmérőjű gömb nyomtatása esetén

Fsz.	Kitöltési minta neve	Kitöltési sűrűség (%)					
		10	30	50	70	90	100
		nyomtatáshoz szükséges filament hosszúsága (m)					
1	rács	2,16	3,97	5,77	7,56	9,36	9,80
2	vonalt	2,21	3,99	5,78	7,58	9,37	9,80
3	háromszög	2,15	3,97	5,76	7,56	9,36	9,80
4	három-hatszög	2,12	3,94	5,74	7,54	9,32	9,77
5	kocka	2,15	3,95	5,76	7,55	9,34	9,78
6	osztott kocka	1,85	2,98	3,53	4,05	4,49	4,43
7	oktett	2,20	3,99	5,78	7,58	9,37	9,81
8	negyed kocka	2,20	3,98	5,78	7,57	9,37	9,81

Fsz.	Kitöltési minta neve	Kitöltési sűrűség (%)					
		10	30	50	70	90	100
		nyomatáshoz szükséges filament hosszúsága (m)					
9	körkörös	1,87	3,73	5,59	7,45	9,32	9,78
10	cikcakk	2,15	3,97	5,76	7,56	9,38	9,81
11	kereszt	2,08	3,43	4,91	6,32	7,82	8,16
12	3D kereszt	1,98	3,23	4,55	5,83	7,18	7,49
13	gyroid	2,16	3,99	5,68	7,45	9,22	9,63
14	villám	1,27	1,40	1,05	1,51	1,59	1,55

Forrás: a szerzők szerkesztése

Gömb mintatest különböző kitöltési mintáinak változó kitöltési sűrűséggel történő nyomtatásakor hasonló tendenciákat kapunk, mint a kocka nyomtatásakor. A kockánál levont következtetések a gömb nyomtatásakor is alapvetően igazak, minimális számszerű eltérésekkel, ami abból adódik, hogy a gömb alakja meghatározza, hogy más és más nyomtatási rétegek alakulnak ki. Megállapítható, hogy mindkét elemi mintatest hasonló nyomtatási idővel és filamentfelhasználási jellemzőkkel rendelkezik.

A harmadik elemzés egy valóságos alkatrész (váltókar gömbfej ágyazása) esetében történik, ahol többféle geometria előfordul, illetve a nyomtatás során alátámasztásokat is célszerű alkalmazni. Az alátámasztás jelen esetben egy második extruderrel valósul meg. PVA, vagyis vízzel oldható filament alkalmazásával. Az alapbeállítási jellemzők megegyeznek a kocka és a gömb beállításaival, kiegészítve a támasztékra vonatkozókkal:

- támasz elhelyezése: mindenhol;
- támasz túlnyúlási szöge: 45°;
- alátámasztás kitöltési sűrűsége: 50%;
- alátámasztás nyomtatási sebessége: 35 mm/s.

5. táblázat: Kitöltési minták nyomtatási idejének változása a kitöltési sűrűség változásának függvényében adott alkatrész nyomtatása esetén

Fsz.	Kitöltési minta neve	Kitöltési sűrűség (%)					
		10	30	50	70	90	100
		kitöltési minta nyomtatási ideje (óra.perc)					
1	rács	9.28	9.39	9.49	9.58	10.07	10.11
2	vonat	9.28	9.40	9.49	9.59	10.07	10.11
3	háromszög	9.28	9.40	9.49	9.58	10.07	10.12
4	három-hatszög	9.25	9.40	9.49	9.57	10.07	10.10
5	kocka	9.27	9.39	9.49	9.57	10.07	10.11
6	osztott kocka	9.14	9.32	9.47	10.02	10.15	10.21

Fsz.	Kitöltési minta neve	Kitöltési sűrűség (%)					
		10	30	50	70	90	100
		kitöltési minta nyomtatási ideje (óra.perc)					
7	oktett	9.26	9.39	9.48	9.58	10.07	10.12
8	negyed kocka	9.26	9.39	9.49	9.58	10.07	10.12
9	körkörös	8.54	9.03	9.19	9.35	9.51	9.57
10	cikcakk	9.28	9.40	9.49	9.58	10.08	10.13
11	kereszt	9.27	9.39	9.57	10.09	10.30	10.39
12	3D kereszt	9.28	9.39	9.52	10.03	10.22	10.29
13	gyroid	9.22	9.37	9.53	10.09	10.25	10.34
14	villám	8.58	9.05	9.09	9.11	9.14	9.14

*Forrás: a szerzők szerkesztése*

6. táblázat: Kitöltési minták nyomtatásához szükséges filament hosszúságának változása a kitöltési sűrűség változásának függvényében adott alkatrész nyomtatása esetén

Fsz.	Kitöltési minta neve	Kitöltési sűrűség (%)					
		10	30	50	70	90	100
		nyomtatáshoz szükséges filament hosszúsága (m)					
1	rács	4,90	5,06	5,21	5,36	5,52	5,53
2	vonall	4,90	5,06	5,21	5,36	5,52	5,53
3	háromszög	4,90	5,06	5,21	5,36	5,52	5,53
4	három-hatszög	4,86	5,06	5,20	5,36	5,50	5,52
5	kocka	4,90	5,05	5,21	5,37	5,51	5,53
6	osztott kocka	4,52	4,71	4,91	5,12	5,33	5,38
7	oktett	4,88	5,05	5,21	5,36	5,51	5,54
8	negyed kocka	4,89	5,05	5,21	5,36	5,51	5,54
9	körkörös	4,43	4,57	4,79	5,13	5,47	5,55
10	cikcakk	4,90	5,06	5,21	5,36	5,52	5,54
11	kereszt	4,85	4,96	5,13	5,21	5,41	5,41
12	3D kereszt	4,86	4,96	5,10	5,17	5,37	5,37
13	gyroid	4,84	5,01	5,17	5,33	5,49	5,50
14	villám	4,44	4,48	4,51	4,52	4,54	4,52

*Forrás: a szerzők szerkesztése*

Egy funkcionális alkatrész nyomtatása esetén a kitöltési minták nyomtatási idejének és a filament hosszának változási tendenciái megegyeznek a kocka és gömb mintatest nyomtatásával, különbség inkább a kitöltési sűrűség változásában látható. Amíg

a kocka és a gömb nyomtatásakor a 10% és a 100% kitöltés között háromszoros, négyszeres különbségek adódnak mind a nyomtatási idő, mind az alapanyag-felhasználás tekintetében, addig a funkcionális alkatrésznél ezek a különbségek alig 1,1–1,2-szeresek. Ezek a kicsi változások abból adódnak, hogy a funkcionális alkatrész alakja jelentősen eltér az elemi formáktól, nem nagy belső üreggel rendelkezik, hanem sok vékony fala van, ahol a falvastagság miatt kevésbé meghatározó a belső rész kitöltése. További idő- és anyagfelhasználással jár a támaszték elkészítése is, ami szintén megnöveli a nyomtatási időt és a felhasznált anyag mennyiségét. Amennyiben a kapott eredményekből levesszük a sok falvastagság és támaszték elkészítéséhez szükséges időt és anyagmennyiséget, akkor alapvetően hasonló értékeket kapunk, mint a kocka és a gömb esetében.

## Összefoglalás

A cikk összefoglalta és felhasználásuk szerint (egyszerű és gyors nyomtatványokhoz, prototípusokhoz és közepesen erős alkatrészekhez, erős és funkcionális alkatrészekhez valamint rugalmas nyomtatványokhoz) csoportosította a különböző kitöltési mintákat, jellemezte azokat, és megfogalmazta az adott minták felhasználási lehetőségeit. Bemutatta alkalmazásuk főbb előnyeit és lehetséges hátrányait. Útmutatást nyújtott az egyes kitöltési minták 3D-nyomatás során történő alkalmazására. Próbatestnyomtatásokkal hasonlította össze egymással a különféle kitöltési mintákat, és határozta meg az azok nyomtatásához szükséges időfelhasználást és alapanyag-mennyiséget. A vizsgálatokat három próbatest esetén végeztük el, egy kocka, egy gömb és egy tényleges funkcionális alkatrész esetén. A három próbatest nagymértékben különbözött egymástól, mert a kocka esetén csak függőleges és merőleges oldalakkal számolhattunk, a gömb esetén viszont minden réteg nagysága különböző és az oldalfalak is ferde felületekből álltak, a funkcionális alkatrész pedig egyesítette mindkét elemi próbatest jellemzőit. A mintadarabokat hat különböző kitöltési sűrűség változtatásával nyomtattuk, közben rögzítettük a nyomtatás időszükségletét és a felhasznált filament hosszúságát. A három különböző próbatest nyomtatása esetén a különböző kitöltési minták nyomtatási idejének és filamentfelhasználásának tendenciái hasonló jelleget mutattak, különbség a kitöltési sűrűség változásában tapasztalható.

## Felhasznált irodalom

- BOISSONNEAULT, Tess (2024): *Understanding the Gyroid Infill in 3D Printing*. Online: [www.wevolver.com/article/gyroid-infill](http://www.wevolver.com/article/gyroid-infill)
- CHANDLER, David L. (2017): *Researchers Design One of the Strongest, Lightest Materials Known*. Massachusetts Institute of Technology. Online: <https://news.mit.edu/2017/3-d-graphene-strongest-lightest-materials-0106>
- EKARAN, Sammy (2023): *Which Infill Pattern Should You Use for 3D Prints?* Online: [www.tomshardware.com/how-to/choose-infill-pattern-for-3d-prints](http://www.tomshardware.com/how-to/choose-infill-pattern-for-3d-prints)

- GOLDSCHMIDT, Benjamin (2024): *Cura Guide to the Best Infill Patterns*. Online: [https://all3dp.com/2/cura-infill-patterns-all-you-need-to-know/#google\\_vignette](https://all3dp.com/2/cura-infill-patterns-all-you-need-to-know/#google_vignette)
- GYARMATI József (2023): Lánctalpas jármű kormányzása és ennek 3D modellezése. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(3), 51–61. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.3.5>
- GYARMATI József – HEGEDŰS Ernő – GÁVAY György (2022): Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó: Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 113–126. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>
- HEGEDŰS Ernő (2023a): Szálerősítéses anyagok 3D-s nyomtatásának hadiipari alkalmazási lehetőségei I. rész. *Haditechnika*, 57(4), 62–66. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.4.12>
- HEGEDŰS Ernő (2023b): Szálerősítéses anyagok 3D-s nyomtatásának hadiipari alkalmazási lehetőségei II. rész. *Haditechnika*, 57(5), 49–55. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.1.09>
- KREATE (2024): *Introduction*. Online: [www.kreate3d.be/infill/](http://www.kreate3d.be/infill/)
- LENNERT József Richárd – SÁROSI József (2021): 3D nyomtatásnál alkalmazható kitöltési mintázatok hatása az ütőmunkára és annak szórására. *Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok*, 16(3–4), 47–56. Online: <https://doi.org/10.14232/jtgf.2021.3-4.119-132>
- Maker.io Staff (2021): *Selecting the Correct 3D Printing Infill Pattern in Cura*. Online: [www.digikey.com/en/maker/tutorials/2021/selecting-the-correct-3d-printing-infill-pattern-in-cura](http://www.digikey.com/en/maker/tutorials/2021/selecting-the-correct-3d-printing-infill-pattern-in-cura)
- OMKAR, Kumbhar (2022): Different Infill Patterns in 3D Printing. *Medium*, 2022. december 13. Online: <https://medium.com/@omkar.kumbhar20/assessment-of-different-infill-patterns-in-3d-printing-46f5bae71d99>
- PRANAY, Gharage (2024): *Cura Infill Patterns: Which of the 14 Are Best, Fastest, and Strongest?* Online: <https://clevercreations.org/cura-infill-patterns-best-fastest-strongest/>
- PRUSA, Josef (2024): *Infill Types and Their Properties*. Online: [https://help.prusa3d.com/article/infill-patterns\\_177130](https://help.prusa3d.com/article/infill-patterns_177130)
- RAFIQUL, Islam (2020): Cura Infill Patterns | A Definitive Guide. *Medium*, 2020. április 8. Online: <https://iamrafiqul.medium.com/cura-infill-patterns-6dd62be22d77>
- SuperSlicerHu: *Kitöltési minták*. Online: [https://szi-ga.gitbook.io/superslicerhu/konfig/print\\_settings/kitoeltesi-mintak](https://szi-ga.gitbook.io/superslicerhu/konfig/print_settings/kitoeltesi-mintak)
- Ultimaker: *How to Print Like a Flash with Lightning Infill*. Online: <https://ultimaker.com/learn/how-to-print-like-a-flash-with-lightning-infill/>
- VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában. *Katonai Logisztika*, 33(1–2), 177–198. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-1-2-177>
- WEYHAUPT, Adam G. (2021): *Meet the Gyroid*. Online: <https://plus.maths.org/content/meet-gyroid>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2022): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei. 3. rész. *Haditechnika*, 57(2), 57–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11>