Doktori (PhD) értekezés tézisei

Kompozit anyagrendszerek vizsgálata 3D nyomtatási technológiákban

Kámán András

Pannon Egyetem

Vegyészmérnöki és Anyagtudományok

Doktori Iskola

Témavezetők:

Dr. Egedy Attila



Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék

Veszprém

2026

1. Előzmények, célkitűzés

Doktori kutatásom a 3D nyomtatásban alkalmazott kompozit anyagok vizsgálatával foglalkozott, azzal a céllal, hogy a 3D nyomtatás kutatási folyamatát összehasonlíthatóbbá és megbízhatóbbá tegye, amelyet elsősorban a nyomtatott struktúrák egyedi sajátosságai akadályoznak; különös tekintettel a szálerősített poliamid 3D nyomtatóanyagokra.

Már vannak jól bejáratott standard próbatest-geometriák, amiket a műanyagipar használ, mint a "kutyacsont" alakú szakító próbatest, azonban a nagy strukturális sokszínűségnek hála, amelyet a 3D nyomtatással el lehet érni, a próbatestek nem feltétlenül viselkednek azonosan különböző struktúrák és paraméterek esetében. Ebből kifolyólag kérdéses a kutatások és mintadarabok közötti összehasonlíthatóság. Doktori kutatásom során a 3D nyomtatott tárgyak két fő struktúra típusát vizsgáltam.

Célom, hogy a 3D nyomtatott testek egyedi belső struktúráját a kutatási folyamat részévé tegyem, ahelyett, hogy az akadályt jelentene, és átfogó tanulmányt készítsek a nyomtatási paraméterek hatásáról a 3D nyomtatott tárgyak viselkedésére és mechanikai tulajdonságaira vonatkozóan.

2. Tézisek

I. **A bemutatott bizonyítékok és megfigyelések alapján bebizonyítottam, hogy a szénszállal erősített nylon mintadarab mérete és alakja nem befolyásolja annak szilárdságát, függetlenül attól, hogy milyen szerkezetből és extrudált szálakból áll, amennyiben az ajánlott nyomtatási paramétereket kerülnek beállításra; így a különböző alakú mintadarabok eredményei összehasonlíthatóak még az alacsony réteg- vagy extrudált szálszámú (2–4 közötti tartományban lévő) minták esetében is.**

Továbbá kimutattam, hogy a nyomásfelépüléssel végzett anyaglerakásának kalibrálás után a minták porozitása kissé változhat, ez azonban nem befolyásolja azok szilárdságát.

Fontosabb kapcsolódó publikációk: 1
Fontosabb kapcsolódó konferenciák: 1

II. **Bemutattam a legfontosabb nyomtatási paraméterek hatásainak vizsgálatát. Pearson-korreláció alkalmazásával, valamint a szakítószilárdsági vizsgálatok során kapott mérési adatokkal való összevetés révén részletesen bemutattam e paraméterek hatását a három felhasznált anyagrendszer mechanikai tulajdonságaira. Nyilvánvalóvá vált, hogy az adatok elemzéséhez új megközelítésre volt szükség, nevezetesen a minták strukturális paraméterei – jelen esetben a kitöltési orientáció és a fúvóka átmérője – alapján történő kategorizálására**

1. Bebizonyítottam, hogy az extrudált szálak keresztmetszeti területe (ELCSA) nem befolyásolja a 3D-nyomtatott minták mechanikai tulajdonságait; ezzel szemben a két paraméter, amelyből az ELCSA áll – nevezetesen a fúvóka átmérő és a rétegmagasság – igenis hatással van rájuk. Továbbá a rétegmagasságot a fúvókaátmérőhöz viszonyított relatív értékben kell megadni, és nem önálló paraméterként saját méretértékkel, mivel ez kiküszöböli a két paraméter közötti függőséget a korrelációelemzés során, és hangsúlyozza azt a tényt, hogy a rétegmagasság befolyásolja az extrudált vonalak alakját.
2. A három felhasznált anyagrendszer között az egyetlen következetes tendencia az volt, hogy a magasabb hőmérséklet és a 0°-os kitöltési orientáció mindig nagyobb szilárdsági és Young-modulus értékeket eredményezett. Ez a tendencia elsősorban annak köszönhető, hogy az ajánlott tartományon belüli magasabb hőmérséklet mellett az egyes extrudált szálak közötti kötés erősebbé válik, továbbá az említett extrudált vonalak orientációja párhuzamos a szakítóvizsgálat irányával, akkor ezek a kötések kisebb szerepet játszanak a teljes próbatest szakítószilárdságában, mint a 45°-os orientáció esetén, különösen akkor, ha az extrudált szálakon belül azonos orientált kompozit szálak is találhatóak.

   A többi paraméterre vonatkozóan nem vonhatók le hasonló következtetések

Fontosabb kapcsolódó publikációk: 2, 3
Fontosabb kapcsolódó konferenciák: 2, 4

III. Bebizonyítottam, hogy polinomiális fekete doboz modell illesztés segítségével prediktálhatók a mechanikai tulajdonságok; a Pearson-korrelációs analízissel ellentétben a modell illesztés esetében sokkal jobb eredményeket hozott, amikor az anyagcsoportokat nem a strukturális paramétereik alapján kategorizáltam – ez elsősorban annak köszönhető, hogy a kategorizálás esetén a modell illesztés lineáris modellre korlátozódik, amely nem bizonyult elegendőnek a 3D-nyomtatott minták viselkedésének prediktálásához.

Tehát a strukturális paraméterek szerinti differenciálás nemcsak, hogy nem szükséges a modell illesztés esetében, hanem sokkal rosszabb eredményeket is hoz, ami azt jelenti, hogy a paraméterek hatásait lineáris modellel nem lehet prediktálni.

Fontosabb kapcsolódó publikációk: 2, 3
Fontosabb kapcsolódó konferenciák: 3

3. Hasznosítási lehetőségek

Doktori kutatásom során megállapítottam, hogy a szénszállal erősített nylon minták méretüktől és geometriájuktól függetlenül összehasonlíthatók. Ezt követően – a sima és az üvegszállal erősített nylon anyagok bevonásával – bemutattam a legfontosabb nyomtatási paraméterek mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatását, különös figyelmet fordítva a strukturális paraméterek szerinti megkülönböztetésére, amelyek jelentősen befolyásolhatják a paraméterek hatását. Így egyértelműen alátámasztottam, hogy a nyomtatási paraméterek és a mechanikai tulajdonságok közötti kapcsolat jobb megértése érdekében célszerű a mintacsoportokat szerkezeti paraméterek alapján elkülöníteni.

Ezen felül polinomiális modell illesztés segítségével kiváló modellteljesítménnyel prediktáltam a mechanikai tulajdonságok értékeit a nyomtatási paraméterek alapján. Ugyanakkor ugyanaz a megközelítés, azaz a mintacsoportok strukturális paraméterek alapján történő elkülönítése, jelentősen rontotta a predikció pontosságát, így erre a célra nem előnyös.

Publikációs lista

A doktori értekezés alapját képező közlemények

1. Kámán, A., Meszlényi, A., Jakab, M., Kovács, A., & Egedy, A. (2025). Effect of Geometry and Size on Additively Manufactured Short-Fiber Carbon-Nylon Composite Under Tensile Loading. *Polymers*, *17*(3), 401. IF: 5.8 (2025), (Q1)

2. Kámán, A., Balogh, L., Tarcsay, B. L., Jakab, M., Meszlényi, A., Turcsán, T., & Egedy, A. (2024). Glass fibre-reinforced extrusion 3D-Printed composites: experimental and numerical study of mechanical properties. *Polymers*, *16*(2). IF: 5.8 (2025), (Q1)

3. Kaman, A., Balogh, L., Jakab, M., Meszlenyi, A., Tarcsay, B. L., & Egedy, A. (2023). The effect of 3D printing process parameters on nylon based composite filaments: Experimental and modelling study. *Chemical Engineering Transactions*, *100*, 481-486. IF: 0.88 (2025), (Q3)

A doktori értekezés alapját támogató konferencia részvételek:

1. Kámán András, Egedy Attila, Jakab Miklós: Próbatest méretének és alakjának hatása az extrúziósan 3D nyomtatott nylon szálakra, 53. Műszaki Kémiai Napok Konferencia Absztrakt kötet 2025, Veszprém: Pannon Egyetemi Kiadó, p. 40. (2025), ISBN: 9789633962992

2. Kámán András, Egedy Attila, Jakab Miklós: Kompozit anyagrendszerek vizsgálata 3D nyomtatási technológiákban,

Pannon Egyetem, Mérnöki Kari Tudományos Konferencia 2021. szeptember 15., Veszprém: Pannon Egyetem, p. 22. (2021), ISBN: 9789633962152

3. Kámán András, Egedy Attila, Jakab Miklós: Nylon bázisú extrúziós 3D nyomtatott testek szimulációs vizsgálata, Műszaki Kémiai Napok 2024 Konferencia, Veszprém: Pannon Egyetem, p. 49. (2024), ISBN: 9789633962800

4. Kámán András, Egedy Attila, Jakab Miklós: Nylon bázisú extrúziós 3D nyomtatott testek kísérleti és szimulációs vizsgálata, Műszaki Kémiai Napok 2023 Konferencia, Veszprém: Pannon Egyetem, p. 47. (2023), ISBN: 9789633962565