Kámán András

„Analysis of composite materials in 3D printing technologies"

c. Ph.D. értekezésének bírálata.

Témavezető: *Dr. Egedy Attila* egyetemi docens

1. Általános megállapítások.

Kámán András bevezetéssel, *7 fejezetben*, *87 oldal szöveg terjedelemmel*, *84 hivatkozott irodalommal,* jelölés- és rövidítésjegyzékkel tárgyalja a címben jelzett PhD kutatását.

A dolgozat témája, az FFF (fused filament fabrication) technológiával történő 3D nyomtatás, a technológiai paraméterek terméktulajdonságokra való hatása, kétségkívül aktuális, számos intézményben kutatott.

A dolgozat nyelve angol, a nyelvhelyességet elfogadhatónak ítélem meg. A dolgozat megfelelően szerkesztett, az ábrák és diagramok szépek, segítik a dolgozat gondolatmenetének követését, az eredményeket jól reprezentálják.

2. A dolgozat felépítése

A *Bevezetés (1. fejezet, 1. oldal, 3 oldal terjedelem*) bemutatja a téma aktualitását és ismerteti a dolgozatban tárgyalt területeket, valamint felsorolásszerűen ismerteti az egyes fejezetek tartalmát.

Az *Irodalmi áttekintés (2. fejezet, 4. oldal, 12 oldal terjedelem*) című célja a 3D nyomtatás releváns területeinek és az itt elérhető kutatási eredményeknek a bemutatása, és ez alapján a kutatási hézag definiálása, aminek csak részben felel meg. Az irodalom feldolgozása felszínes, gyakoriak a nem megfelelően megalapozott kijelentések, amik akár igazak is lehetnek, de igényelték volna a hivatkozással történő alátámasztást.

Az első alfejezet a 3D nyomtatási technológiák kategorizálásával foglalkozik. A jelölt saját szempontok szerint osztja fel a technológiákat, de a felosztás eredményén nem igazán látszik, hogy a kategorizálási szempontokat hogyan alkalmazta. A szövegben a hivatkozás valószínűleg nem jó, a kategorizált technológiák a 2.1 helyett a 2.2 ábrán láthatók. Kitér arra, hogy a szakirodalom sem egységes ezen a téren.

3 alfejezetben tér ki az egyes technológiák bemutatására és összehasonlítására, a technológiák leírása megfelelő, azonban a gyártási fényképek helyett esetleg jobb lett volna a technológiák működését bemutató ábrák használata. A feldolgozott irodalmak nagyrészt megfelelőek, egy lektorálatlan kézirat van közöttük, amit talán cserélni lett volna érdemes.

Az irodalomkutatás második fejezetében az extrúziós 3D nyomtatás területére fókuszál. A kezdő bekezdéseben eléggé súlyos kritikát fogalmaz meg a rendelkezésre álló irodalmi források minőségére és reprodukálhatóságára vonatkozóan, azonban ez a megadott hivatkozásokkal, különösen hogy nem tér ki a hiányosságaikra, nincs meggyőzően alátámasztva. A general overview fejezetben érdemes lett volna egy átfogó áttekintést adni a technológia fejlődéséről. Külön kiemeli az aktuális kutatás szempontjából releváns munkákat, és röviden elemzi a kiemelt eredményeket.

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., T. épület 305
Tel.: 06-1-463-2003 | Fax: 06-1-463-1527 | E-mail: pt@pt.bme.hu | www.pt.bme.hu

Management System ISO 9001:2015 ISO 14001:2015
TÜVRheinland CERTIFIED
www.tuv.com ID 9105017911

A szakirodalom kritikai elemzésében megfogalmaz problémákat, amiket alá is támaszt cikkekkel, azonban a problémák és a tézisek között nincs megfelelően szoros kapcsolat, jó lett volna jobban részletezni, hogy a reprodukálhatóság és a jól dokumentált vizsgálatok mellett a dolgozat konkrét tézisszerű eredményei hogyan adnak választ az irodalom fennálló kérdéseire.

Anyagok és módszerek (3. fejezet, 16. oldal, 9 oldal terjedelem) címet viseli a harmadik fejezet. Kicsit furcsa a felosztás, hogy az anyagokat és a nyomtatási technológiát egy fejezetben ismerteti. Apróság, hogy az elektronmikroszkópiánál a mintaelőkészítés (pl. aranyozás) leírása kimaradt.

A próbatest méret és geometria hatásának a végső húzószilárdságra való hatásának vizsgálata (Inquiry into the effect of specimen size and geometry on the final tensile strength) (4. fejezet, 25. oldal, 18 oldal terjedelem) címet viseli a negyedik fejezet. Kérdés, hogy mit jelent a „végső" húzószilárdság a címben, húzószilárdságot, vagy szakítószilárdságot? Ismerteti a próbatest méretet, a szabványos befogási távolság ennél a próbatestnél 25,4 mm. Korábban 40 mm-es befogási távolságot írt a mérési módszer ismertetésénél, miért tért el a szabvány javasolt értékétől? A dolgozatban PA-ból nyomtatott testeket vizsgál. Fontos lenne definiálni, hogy ezeket milyen állapotban (szárítva, kondicionálva) vizsgálta. A különböző próbatestgeometriák rajzait közölni kellene. A 4.7. ábra a próbatest melyik részéről készült? A keresztmetszet alapján nem azonosítható. A folytatásban a különböző keresztmetszetű csak kontúrból vagy csak kitöltésből álló próbatestek tárgyalására tér át. Megfigyelései alapján a keresztmetszet nagysága függvényében jellemző trend nem figyelhető meg, a dűznivastagság szerint azonban a csoportok elkülönülnek. A 4.9-es ábrától kezdődően a mérési pontok egyes méréseknek, tehát 1-1 próbatestnek felelnek meg? Mi okozza a szórást az x tengely mentén? A levont konklúzió, miszerint a keresztmetszettől és ennek paramétereitől nem függ a próbatesten mért szakítószilárdság, ahogy a Jelölt is írja, csak részben igaz. Kompozitok és textíliák esetén közismert, hogy van egy minimális méret, amiben 3-5 ismétlődő egység van; ezután a keresztmetszetet növelve a mért tulajdonságok valóban nem változnak. Ez igaz a nyomtatott szerkezetre is a vizsgált tartományban, az a tartomány, ahol a kis keresztmetszet miatt már csak néhány ismétlődő egység van jelen, a dolgozatban nem került vizsgálatra. Továbbá, jelen általánosítás szerint a geometriának nincs hatása a szilárdságra, ha szigorúan vesszük, akkor ez alapján lehet különböző feszültséggyűjtő helyekkel terhelt próbatesteket is nyomtatni, amelyeknek ezek alapján nem lehet alacsonyabb a szilárdsága.

A 3D nyomtatási folyamat paramétereinek szakító tulajdonságokra való hatásának vizsgálata (Investigation of the 3D printing process parameters and their effect on tensile properties) (5. fejezet, 43. oldal, 35 oldal terjedelem) címet viseli az ötödik fejezet. A bevezetett extrudált vonal keresztmetszet paraméter bemutatásánál miért lesz alacsonyabb a valós ellipszis az elméleti magasságnál (5.3-mas ábra)? Az 5.4-es ábrán láthatóan ferdén áll a mért alakzat, így a méretvonalak nem pontosak. A dűznik bemutatása zavaros, nem derül ki, hogy miért jobb az egyik, mint a másik. Az 5.6-5.19-es ábráknál szükség lenne a szórások feltüntetésére, így egyszerűbb lenne a különbségek értékelése. A fejezet végén közölt kategorizálási eredmények és Pearson-korrelációs elemzés értékes része a dolgozatnak.

A Különböző gyártási paraméterekkel előállított komplex szerkezeti 3D nyomtatott elemek modellezése és szimulációja (Modeling and simulating the complex structural 3D printed specimens based on different printing parameters) (6. fejezet, 78. oldal, 7 oldal terjedelem) címet viseli a hatodik fejezet. A fejezetben polinom alakú modellt illeszt a mért adatokra, amit a Pearson analízis eredményei alapján egyszerűsít. A hatások értékelése különböző kategorizálások alapján érdekes, az illesztett görbe jól közelíti a méréseket, azonban a fizikai tartalom nem látszik. Mit tekint a fejezet fő eredményének? Az illesztett függvényt, ami anyagonként teremt kapcsolatot a tulajdonságok és a technológiai paraméterek között, vagy a függvény létrehozásához használt módszert?

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., T. épület 305
Tel.: 06-1-463-2003 | Fax: 06-1-463-1527 | E-mail: pt@pt.bme.hu | www.pt.bme.hu

Management System ISO 9001:2015 ISO 14001:2015
TÜVRheinland CERTIFIED
www.tuv.com ID 9105017911

A *Jelölt* tudományos eredményeit 3 tézisben foglalta össze *a Konklúzió (7. fejezet, 85. oldal, 4 oldal terjedelem*) című fejezetben.

Az 1. tézis a mért húzószilárdság próbatest geometriától való függetlenségét jelenti ki, amennyiben a megfelelő gyártási paraméterekkel készülnek a próbatestek. A tézis kijelentése érthető, bár talán kicsit túlzó a teljes általánosítás. Az első kijelentéshez hozzáteszi, hogy a megfelelő kihozatal-kalibráció után bár enyhén változó porozitás jön létre, annak nincs hatása szilárdságra. Összességében a tézist el tudom új tudományos eredményként fogadni, amennyiben a hangsúly a geometria hatásának a megfelelő technológiával való kompenzálhatóságán van.

A 2. tézis az eredmények Pearson-féle korrelációs elemzését és ennek hatékonyságát taglalja, ez valóban átfogó képet ad az egyes hatásokról, elfogadható új tudományos eredménynek. A tézis külön a) és b) megállapítást is tartalmaz, amik közötti kapcsolat nem teljesen egyértelmű.

A 3. tézis a modellillesztés hatékonyságát mutatja be. Érdemes lett volna az illesztett modell egyenletét és paramétereit a tézisbe befoglalni, azonban a dolgozat korábbi fejezetét figyelembe véve, összességében a tézis elfogadható új tudományos eredményként.

A *Jelölt* kísérleti eredményiről összességében kijelenthető, hogy számos kísérletet hajtott végre, az eredmények kiértékelése megfelelő, az alkalmazott kiértékelési repertoár igényes, a korrelációs analízissel és a modellezéssel jelentősen támogatta a mérések eredményeinek mélyebb elemzését.

A dolgozatot sikeres nyilvános vita után **elfogadásra javaslom**.

Budapest, 2026. november 4.

Dr. Szebényi Gábor

Egyetemi docens

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., T. épület 305
Tel.: 06-1-463-2003 | Fax: 06-1-463-1527 | E-mail: pt@pt.bme.hu | www.pt.bme.hu

TÜVRheinland CERTIFIED
Management System
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
www.tuv.com
ID 9105017911