Bírálói vélemény

Kámán András doktorandusz „Analysis of composite materials in 3D printing technologies" című doktori értekezésének átdolgozott változatáról (2026. július 27.)

Készítette: Dr. Závodi-Fodor Zsófia

A Jelölt az első bírálatomban megfogalmazott észrevételek mindegyikét komolyan vette, és nemcsak formálisan reagált rájuk, hanem a dolgozat egészét végiggondolva, koncepcionális szinten javított a munkáján. Az értekezés terjedelme 111 oldalról 127 oldalra nőtt, ennél azonban sokkal fontosabb, hogy a szerkezete áttekinthetőbbé, a gondolatmenete pedig lényegesen meggyőzőbbé vált. Az alábbiakban fejezetenként foglalom össze a tapasztaltakat.

Bevezetés és szakirodalmi áttekintés (1–2. fejezet). A bevezető fejezet kibővült, és most már kifejezetten megnevezi a kutatási rést – a nyomtatási paraméterek és körülmények hiányos dokumentálását a szakirodalomban –, majd fejezetről fejezetre végigvezeti az olvasót a dolgozat ívén. Ezzel pontosan az a narratív követhetőség valósult meg, amelynek hiányát korábban jeleztem. A 2.2.2 alfejezet fókuszáltabbá vált, a poliamid mátrixanyag tárgyalása során a Jelölt kitér a szálak extrúzió közbeni önrendeződésére és annak a fröccsöntéssel szembeni előnyére, valamint a porozitásrendszer irányfüggésére is. Külön öröm számomra a „Critical review of the literature" alfejezet, amely valódi kritikai gondolatmenettel mutat rá az alacsonyabb kategóriájú nyomtatók korlátaira és a hiányos módszertani dokumentációra – majd a Jelölt saját munkájával példát is mutat. A több mint 450 nyomtatási paraméter, a főbb géptartozékok és a nyomtatási körülmények teljes körű közzétételével. Az új, szemléletes ábrák (2.2–2.5) tovább segítik a dolgozat olvasását, érthetőségét.

Anyagok és módszerek (3. fejezet). A nyitó mondat jól reprezentálja a dolgozat egészét, miszerint a reprodukálhatóság és az átláthatóság kimondottan célja volt a munkának. A Jelölt tételesen megnevezi a nyomtatót, a vezérlőszoftver verzióit és a fő mechanikai, illetve anyagadagoló egységeket, majd hivatkozásokkal együtt felsorolja az elvégzett kalibrációkat (extrúziós szorzó, visszahúzás, rezonanciakompenzáció, nyomáselőretolás, ferdeségkorrekció) – ezzel a kalibrációra vonatkozó kérdésemre teljes és meggyőző választ adott. A poliamid nedvességérzékenységét illetően rögzíti a 70 °C-on 24 órán át tartó szárítást és a nyomtatás alatti folyamatos szárítást, mindhárom filament adatlapját pedig önálló táblázatokban közli. Kifejezetten értékelem az új 3.1.2 alfejezetet, amely a szakítóvizsgálat körülményeit adja meg. A vizsgálógépet és az 5 kN-os erőmérő cellát, a 40 mm-es befogási távolságot, a 2 mm/min húzási sebességet, valamint az extenzométer mellőzésének korrekt, szakmailag megalapozott indoklását. Az új MATLAB-alfejezet és a bővített SEM-rész tovább teljesíti a képet.

A próbatest méretének és geometriájának hatása (4. fejezet). A fejezet elejére került új ábra a három fő vonalstruktúrát mutatja be, a méretezett próbatestrajz és a hozzá tartozó táblázat pedig immár egyértelműen dokumentálja mind a tizenöt vizsgált méretkombinációt, azonos mérőhossz mellett – erre irányult a geometriai definíciókat firtató kérdésem, és a válasz maradéktalanul kielégítő. A Jelölt megadja a vizsgált tartományokat is, és külön megmagyarázza, hogy az egyes geometriai arányok fizikailag mit jelentenek. Nagyra értékelem, hogy a kiugró értékek kezelésének szabálya is explicitté vált, valamint hogy a szórásokat csoportonként, átlagértékkel együtt ábrázoló négy új diagram – és a mellékletben elhelyezett további tizenhat ábra – most már adatszerűen is alátámasztja a „trend nélküli" megállapítást. A következtetés megfogalmazása ennek megfelelően árnyaltabb és bátrabb lett, a Jelölt az összehasonlíthatóságot immár a rendkívül alacsony réteg- és vonalszámú próbatestekre is kiterjeszti.

Paraméterhatások és korrelációs elemzés (5. fejezet). A dolgozat legjelentősebb szerkezeti változtatása, hogy a Pearson-analízis átkerült a kísérleti eredmények mellé. Ezzel a korábban általam is szóvá tett látszólagos ellentmondás is helyre került. A Jelölt nyíltan kimondja, hogy az összevont korrelációs kép nem illeszkedett a mért trendekhez és éppen ez vezetett a struktúra szerinti újracsoportosításhoz. A módszertani leírás is teljesebb: megjelennek az alapegyenletek, a paraméterek −1 és 1 közötti normálása, az értelmezési küszöbök, valamint – külön dicsérendő módon – a Fisher-eloszláson alapuló 95%-os konfidenciaintervallum-mátrixok. Az 5.4.5 alfejezet anyagonként, pontokba szedve értelmezi a szén- és üvegszál-erősítésű minták eltérő viselkedését, ami sokat segít az olvasónak.

Modellezés (6. fejezet). A fejezet letisztult és célratörő lett. Külön elismerésem, hogy a Jelölt megindokolja a választott modellalak korlátait, mivel jellemzőnként két szint állt rendelkezésre, a modell elsőrendű, kereszthatás- és eltolástagokat tartalmaz – ez elegáns és őszinte válasz a túlparaméterezettséggel kapcsolatos aggályra. A megoldás módja, a determinációs együttható definíciója és a kapott R^2 értékek egyaránt szerepelnek, sőt a Jelölt nyíltan felvállalja, hogy a struktúra szerint kategorizált, egyszerűsített lineáris megközelítés gyengébben teljesít. Ez a fajta önkritikus tárgyalásmód a tudományos igényesség jele. Az új hőtérképek

szemléletesen mutatják a hőmérséklet és a rétegvastagság együttes hatását, a mért és számított értékek pedig a mellékletben egymás mellett is ellenőrizhetők.

Összefoglalás (7. fejezet). A tézispontok formailag és tartalmilag is erősödtek, alpontokra bontva, pontosabban fogalmazva állnak az olvasó előtt. Az első tézispont kiterjed az alacsony réteg- és vonalszámú esetekre, a porozitás közömbösségét pedig a nyomáselőretolás-kalibrációhoz köti. A második tézispontban megjelenik egy valóban új és hasznos módszertani ajánlás is: a rétegvastagságot célszerű a fúvókaátmérőhöz viszonyítva megadni, mert így megszűnik a két paraméter rejtett összefonódása a korrelációs elemzésben.

Összegzés. Meggyőződésem, hogy a Jelölt kiváló munkát végzett. Az átdolgozott értekezés alapos, jól dokumentált, reprodukálható és őszintén önkritikus kutatásról tanúskodik, amelynek eredményei mind tudományos, mind ipari szempontból értékesek. A Jelölt kutatói érettségét jól mutatja, hogy az észrevételeket nem tehernek, hanem lehetőségnek tekintette.

A dolgozatot elfogadásra javaslom. Javaslom a disszertáció nyilvános vitára bocsátását és sikeres védés esetén a PhD fokozat odaítélését.

Veszprém, 2026. szeptember 18.

Dr. Závodi-Fodor Zsófia
bíráló

Az alábbi kérdéseket a további gondolkodás örömére, beszélgetésre invitáló szándékkal teszem fel.

Kérdéseim a Jelölthöz

1. Mely kalibrációs lépést tartja a leginkább nélkülözhetetlennek az eredmények megbízhatósága szempontjából?
2. Milyen további anyagrendszerekre tartaná érdemesnek kiterjeszteni a bemutatott módszertant?
3. Mit gondol, a felállított modell a vizsgált paramétertartományon kívül is használható lenne-e?
4. Ipari környezetben melyik eredményét tartja a leginkább hasznosíthatónak?