

# Kompozit filamentek 3D nyomtathatósági vizsgálata

Investigation of the 3D printability of some composite filaments

Topa Martin<sup>a</sup>, Tóka Bence<sup>b</sup>, Béres Levente Sándor<sup>c</sup>, Kovács Sándor<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., junior kutató, martin.topa@bayzoltan.hu

<sup>b</sup> Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., junior kutató, bence.toka@bayzoltan.hu

<sup>c</sup> Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., tudományos munkatárs, levente.beres@bayzoltan.hu

<sup>d</sup> Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., tudományos munkatárs, sandor.kovacs@bayzoltan.hu

## Kulcsszavak

additív gyártás, szálhúzásos technológia (FFF), kompozitok, mechanikai tulajdonságok, gyártási paraméterek

## Keywords

additive manufacturing, fused filament fabrication (FFF), composite materials, mechanical properties, manufacturing parameters

## Absztrakt

Napjainkban az additív technológiák tovább folytatták térnyerésüket a prototípusgyártás és funkcionális darabgyártás területén. Előbbi a korszerű gyártóberendezések és technológiák drasztikus fejlődésének, utóbbi pedig a korszerű – szálerezítéses – polimerek piacra lépésének köszönhetően vált népszerűvé széles körben. Az alábbiakban az egyes kompozit filamentek 3D nyomtathatósága került összehasonlításra, a technológiai sajátosságok és az egyes egységek, valamint beállítási lehetőségek egymásra gyakorolt hatásainak figyelembevételével. Végül a mechanikai tulajdonságok alapján egy rangsort állítottunk fel, mely az egyes beállításoknak a végtermékre gyakorolt hatását jellemezte.

## Abstract

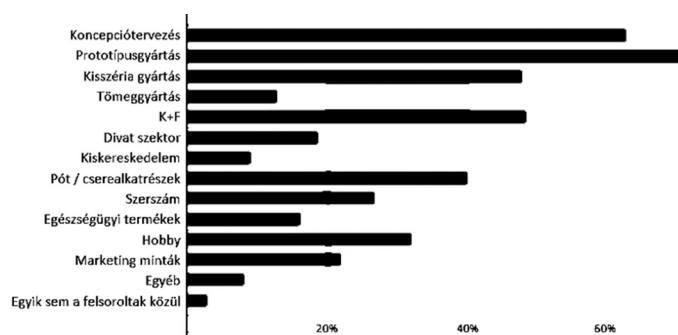
Today, additive technologies have continued making inroads in the field of prototyping and functional parts manufacturing. The former has become popular thanks to the dramatic development of advanced manufacturing equipment and technologies, while the latter thanks to the advancement of fibre-reinforced polymers. In the followings, the printability of each composite filament is compared, taking into account the material specific characteristics and slicer setting options on each other. Finally, a ranking based on mechanical properties is provided to determine the impact of some settings on the final product.

## 1. Bevezetés

Az additív gyártás (Additive Manufacturing) a hagyományos (anyagleválasztó) megmunkáló eljárásokkal szemben, mint például az esztergálás, fúrás, marás a végső geometria eléréséhez nem anyagot távolít el a folyamat közben, hanem anyagréteg felhelyezéssel hozza létre, építi fel rétegről rétegre a kívánt geometriát.

A 3D nyomtatási eljárások nem egyeznek meg teljes mértékben az additív gyártásokkal, hiszen az előbbi részhalmaza az utóbbinak.

Az additív gyártás atyjának Charles W. Hull mondható, aki egy műanyagipari cégnél bútorelemekre UV fény segítségével helyezett fel műanyag rétegeket. Felismerte, hogy ezekből a rétegekből akár több ezret is egymásra helyezhet, és a megfelelő számítógépes paraméterek meghatározása mellett végül összefüggő térbeli alakzatot nyerhet. Szabadalmát 1986-ban jegyeztette be „Három dimenziós objektumok létrehozása sztereolitográfia által” címmel. Még ebben az évben megalapította vállalatát 3D Systems néven, mely a mai napig piacvezető, emellett az első felépítő elven működő gépet is létrehozta a 3D Systems SLA-1-et (1987) [1].

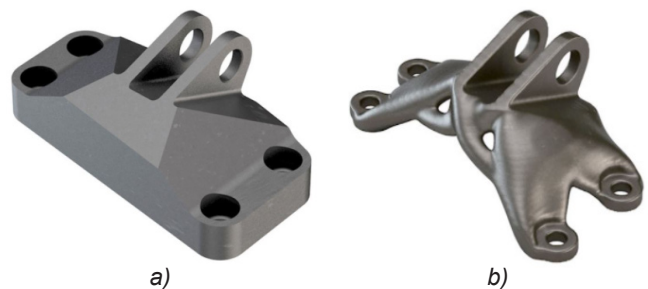


1. ábra: Felhasználási célok eloszlása additív gyártással készült termékek esetén [2]

Az additív gyártás egy dinamikusan fejlődő és nagy potenciált tartalmazó gyártástechnológia. A Sculpteo statisztikai adatokkal foglalkozó cég 2019-es felmérése [2] alapján elmondható, hogy 3D nyomtatást valamilyen formában alkalmazó cégeknél még mindig a koncepciótervezés és prototípusgyártás mondható elsődleges célnak (lásd 1. ábra). Az is megfigyelhető, hogy arányosan a tömeggyártás és szerszámkészítés (Rapid Tooling) is megjelent a piacon és egyre nagyobb szerepet kap az alapanyagok fejlődésének köszönhetően.

Általánosan véve a gyártástechnológia előnyei:

- gyorsabb átfutás: a hagyományos eljárásokkal szemben gyorsabb a tervek kivitelezésében;
- alakadás nagy szabadsága: szinte bármilyen forma és elrendezés lehetséges, csekély korlátokkal;
- változtatások esetén költséghatékony módosítás: drasztikus változások esetén sincs szükség egy új és drága szerszám legyártására (pl. fröccsöntés);
- tömegcsökkentés/generatív tervezés (lásd 2. ábra): cél egy olyan geometriai kialakítás, ahol az eredeti funkciók ugyanúgy teljesülnek, viszont egy egyedi más technológiával aligha kivitelezhető formaterv mellett, melyhez rendelkezésre állnak különböző tömegoptimalizáló célszoftverek.



2. ábra: Topológiai optimalizálás [3]  
a) szubsztraktív elven kialakított geometria,  
b) generatív tervezéssel előállított termék

## Korlátok:

- kezdeti beruházás és fenntartás költsége, hiszen ezen gépek általában (főként ipari megmunkálásokhoz) magas üzemeltetési költséggel bírnak;
- korlátozott alapanyag paletta: az utóbbi időben a fémnyomatás, porkohászati technológiák elterjedésének köszönhetően az alapanyagok tárháza is folyamatosan bővül. Sokféle polimer alapanyag felhasználható (PLA: politejsav, ABS: akrilnitril-butadién-sztirol Nylon), viszont amely szélsőséges esetben képes kiváltani pl. acél, alumínium elemeket (pl. PA12+CF15, mely poliamid és szénzál keveréke), kevés áll rendelkezésre, amennyiben csak polimer típusú anyagról beszélünk.
- a technológia alkalmazásához szükséges tudás hiánya: éppen emiatt kezdték el a gyártó cégek ezen tudás átadását és integrálását a tantervi hálóban, legyen szó közép- vagy felsőoktatásról.

## 2. Különböző nyomtatási beállítások vizsgálata

Kutatásunk következő fázisában különböző polimer kompozitokat vizsgáltunk. A hat eltérő anyagnál, különböző beállítások (eltérő kitöltési arány, eltérő nyomtatási irány és szög) mellett elemeztük a nyomtathatóságot és egytengelyű szakítóvizsgálat során a mechanikai tulajdonságokat.

### 2.1 Anyagok és tulajdonságaik

A következőkben ismertetésre kerülnek az általunk választott és nyomtatott alapanyagok összetétel és tulajdonság szerint rendezve. Mindegyik anyag tiszta PLA, vagy PLA-szerű és kis mennyiségben tartalmaz egyéb adalék anyagokat (pl. fa, fém), így kialakítva a végső kompozitot (keveréket). Fontos megjegyezni, hogy a táblázatos (mechanikai tulajdonságokra vonatkozó) értékek a nyers szálon végzett vizsgálatokra vonatkoznak.

#### • PLA Plus (Filanora - Filacorn)

Magyar gyártmányú, speciális összetételű anyag, mely jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, mint egy hagyományos PLA (lásd 1. táblázat). Ár/érték arányban a legjobb választás lehet általános igények kielégítésére.

1. táblázat: PLA Plus mechanikai tulajdonságai [4]

Y irányú nyomtatás, 0,2 rétegmagasság, 100 % kitöltés	Szabvány	
Szakítószilárdság	85 MPa	ISO 527
Young modulus	75 MPa	ISO 527
Szakadási nyúlás	3,31 %	ISO 527
Hajlítószilárdság	30 MPa	ISO 178
Ütőmunka	5,1 kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179
Sűrűség	1,24 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183

#### • Flax PLA (Extrudr)

Lenszállal erősített PLA-szerű kompozit. A len természetben megtalálható növényi alapú szál, szakítószilárdsága elérheti az 1500 MPa-t. A természetes szál alapú kompozitoknál a legnagyobb kihívást mindig a mátrix és a hozzáadott anyag közötti megfelelő adhézió kialakítása

okoza, hiszen rossz alapanyag előkészítésnél a mechanikai tulajdonságok is csökkennek (lásd 2. táblázat), ezek valamennyire későbbi hőkezeléssel javíthatóak.

2. táblázat: Flax PLA mechanikai tulajdonságai [5]

Y irányú nyomtatás, 0,2 rétegmagasság, 100 % kitöltés	Szabvány	
Szakítószilárdság	43 MPa	ISO 527
Young modulus	3400 MPa	ISO 527
Szakadási nyúlás	3,00 %	ISO 527
Hajlítószilárdság	30 MPa	ISO 178
Sűrűség	1,45 g/cm <sup>3</sup>	ISO 2781

#### • SteelFill

Korrózióálló acél részecskékkel töltött PLA-szerű kompozit. Jó felületminőséggel rendelkező, fémszerű kinézetű nagy sűrűséggel rendelkező alapanyag (lásd 3. táblázat), melynek nyomtatása nagymértékű kopásnak teszi ki és könnyen eltömítheti a fúvókát. Használata rendkívül körülményes. Nyomatás során az acél szemcsék hajlamosak összegyűlni a fúvókában és a fűtőtest falára feltapadni. Ebben az esetben eltávolításuk nem lehetséges a gép megsértése nélkül. Ezekre mindenképp érdemes odafigyelni és elkerülni.

3. táblázat: SteelFill mechanikai tulajdonságai [6]

Y irányú nyomtatás, 0,2 rétegmagasság, 100 % kitöltés	Szabvány	
Szakítószilárdság	23 MPa	ISO 527
Young modulus	3000 MPa	ISO 527
Szakadási nyúlás	1 - 3 %	ISO 527
Hajlítószilárdság	30 MPa	ISO 178
Ütőmunka	10 KJ/m <sup>2</sup>	ISO 180
Sűrűség	3,13 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183

#### • Wood PLA

PLA alapú fa szálerősítéses kompozit (lásd 4. táblázat). Esztétikus, fa hatást kelt, sűrűsége révén könnyű. Közepesen jól nyomtatható, nagymértékű kopásnak teszi ki és könnyen tömíti el a fúvókát. Általában 70 % PLA-t és 30 % fa szálat tartalmaz a keverék. Az általunk használt 60-40 arányban oszlik meg, itt hatványozottan igaz, hogy a fúvóka mérete nem lehet kisebb, mint 0,4 mm, mivel a fa szálak beragadhatnak és beéghetnek a fúvókába. Az anyag rendkívül hajlamos a szálasodásra, ezek a szálak a nyomtató többi alkatrészére idővel kiülnek, emiatt rendszeres takarítást és karbantartást igényel használata.

4. táblázat: Fa alapú PLA mechanikai tulajdonságai [7]

Y irányú nyomtatás, 0,2 rétegmagasság, 100 % kitöltés	Szabvány	
Szakítószilárdság	40 MPa	ISO 527
Young modulus	3200 MPa	ISO 527
Szakadási nyúlás	2,00 %	ISO 527
Hajlítószilárdság	43 MPa	ISO 178
Sűrűség	1,23 g/cm <sup>3</sup>	ISO 2781

#### • Polylite PLA (PolyLite - Polymaker)

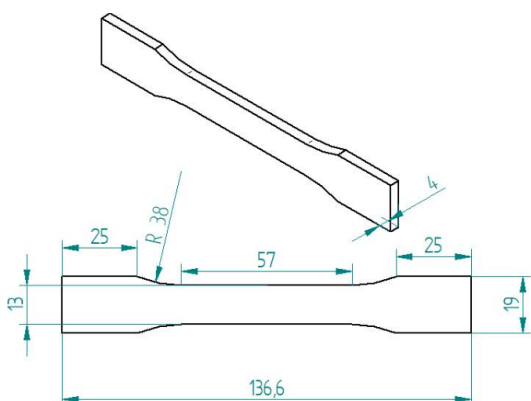
Jó minőségű, minden irányban jól nyomtatható PLA (lásd 5. táblázat), egységára valamivel drágább, mint az átlagos anyagoké.

**5. táblázat: PolyLite mechanikai tulajdonságai [8]**

Y irányú nyomtatás, 0,2 rétegmagasság, 100 % kitöltés		Szabvány
Szakítószilárdság	45,7 - 47,5 MPa	ISO 527
Young modulus	3151 - 3415 MPa	ISO 527
Szakadási nyúlás	1,7 - 2,1 %	ISO 527
Hajlítási szilárdság	82,2-88 MPa	ISO 178
Ütőmunka	2,68-2,72 kJ/m <sup>2</sup>	ISO179
Sűrűség	1,13 - 1,24 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183

**2.2 A próbatest geometriája**

A mechanikai tulajdonságok vizsgálatára laposzakító próbatesteket nyomtattunk (lásd 3. ábra), mely során változtattuk a kitöltés szintjét és a darab dőlésszögét. Később ezeket hasonlítottuk össze az egyes változatokra vonatkozóan ISO 527 szabvány szerinti szakítóvizsgálatokkal. A vizsgálatok során gyakran nem megfelelő helyen történt meg a szakadás vagy a szorítópofoák összepréselték a próbatest fejrészét (nyomtatási hibák vagy nem elegendő vastagság miatt), így a mérések többszöri megismétlésre kerültek. A kapott eredményeket összevetettük a vizsgálatokkal. Amennyiben súlyos nyomtatási rendellenességet tapasztaltunk, úgy azon eredményeket nem vettük figyelembe. Az összesítés végül a szórások és átlagok figyelembevételével készült.

**3. ábra:** Lapos szakító próbatest**2.3 Nyomtatási beállítások összefoglalása**

A próbatestek nyomtatása előtt szükséges a nyomtatás előtervezése, amelyet az Ultimaker Cura szoftver segítségével készítettünk el. Minden esetben a kitöltés mértékének és a nyomtatási szögnek a hatását vizsgáltuk, a további beállítások kis mértékben változtak, az adott anyagnak megfelelően. A vizsgált paraméterekre (falak száma, rétegvastagság, burkoló rétegek, hűtés) elkészítettük a próbatestek nyomtatási előterveit, mely alapján kinyomtatásra kerültek. A visszahúzás mértékét és sebességét konzekvensen állítottuk be, mivel egyik anyag sem igényelt más értékeket. A nyomtatási sebességeket viszont változtatnunk kellett. Ennek oka, hogy az FFF (szálhúzásos) technológia használatában nincs egy univerzális, általános nyomtatási sebesség.

A szeletelő program a G-kódot úgy építi fel, hogy a darabot több, különböző részre osztja és azokra generálja le a szükséges pályákat. Ezeket a pályákat nem ugyanazzal

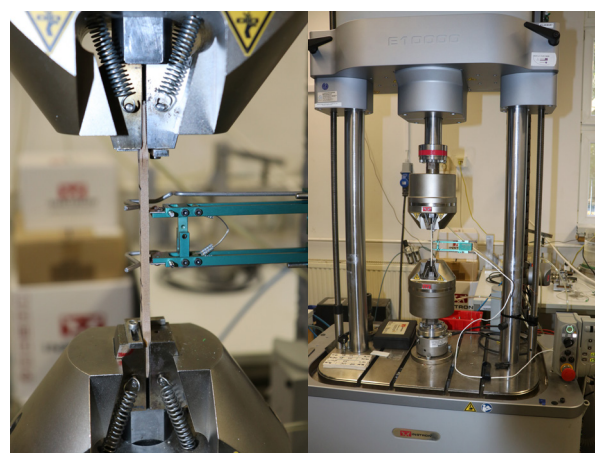
a sebességgel nyomtatunk. Az első rétegek nagyon fontosak, hiszen ezek biztosítják a megfelelő tapadást a tárgyasztalhoz, így itt a legkisebb a fűvóka sebessége (jelen esetben 10 mm/s). A falak nyomtatása is több kategóriára bonthatók. Vannak burkoló falak, melyek esztétikai szempontból fontos szerepet töltenek be, így itt a sebességet 20 mm/s-ra állítottuk. A belső falak, az x-y síkban található alsó és felső burkoló rétegek, habár nem látszódo felületet alkotnak, ők adják a mechanikai szilárdság döntő hányadát. Itt valamennyi pontatlanságot megengedhetünk, ezért a sebesség ennél a résznél 30 mm/s volt. A térkitöltési struktúra nem élvez semmilyen prioritást ezen elvek alapján, így itt 60 mm/s-mal, vagy még gyorsabban is nyomtathatunk. Fontos megjegyezni, hogy a kompozit anyagok (leginkább a fa és acéltöltetes filamentek) nem alkalmazhatóak tartósan réz fűvókával, mert alkalmazásuk abrazív tulajdonságaik miatt a fűvóka intenzív kopásával jár együtt. Az általunk alkalmazott keményfém fűvóka hőátadása jelentősen alacsonyabb volt, ezért a belső terek 30-40 mm/s, a belső burkoló rétegek pedig 20 mm/s sebességgel kerültek nyomtatásra. Ez a hatás általánosságban kompenzálható nagyobb teljesítményű fűtőblokk használatával vagy jobb hőátadási tényezővel bíró fűvókával. A fűvóka és a tárgyasztal hőmérsékleteit a különböző anyagok esetén a 6. táblázat tartalmazza.

**6. táblázat: Alapanyagfüggő nyomtatási paraméterek**

Anyag	Nyomtatási hőmérséklet [°C]	Asztal hőmérséklet [°C]	Kitöltés típusa	Hűtő ventilátor
PLA PLUS	225	60	Octet	100% a 3. réteg után
Steelfill	210	60	Octet	100% a 3. réteg után
Polylite	210	60	Octet	100% a 3. réteg után
Wood PLA	180	40	Octet	100% a 3. réteg után
Flax PLA	215	60	Octet	100% a 3. réteg után

**3. A szakítóvizsgálat menete**

A mérés során öt anyagra vonatkozóan 120 darab (minden anyagnál 3 különböző irány és 2 kitöltési arány mellett

**4. ábra:** Szakítóvizsgálat:

- a) Instron E10000 szakítóberendezés,  
b) Epsilon axiális extenzométer

4 darab került elszakításra) próbatestet vizsgáltunk meg. A szakító vizsgálatokat a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. Mechanikai Anyagvizsgáló Laboratóriumában végeztük el, Instron E10000 uniaxiális szakítóberendezés használatával (lásd 4. ábra). A próbatestekre befogás után, 90 darab esetén Epsilon (3542-025M-100-LHT) típusú nyúlásmérőt helyeztünk el manuálisan, 30 darabot pedig a elmozdulás- és deformációmérésre alkalmas GOM Aramis 3D mérőberendezéssel vizsgáltuk, 50 mm-es kezdeti jeltávolsággal (lásd 5. ábra) és 2 mm/perc húzási sebességgel.



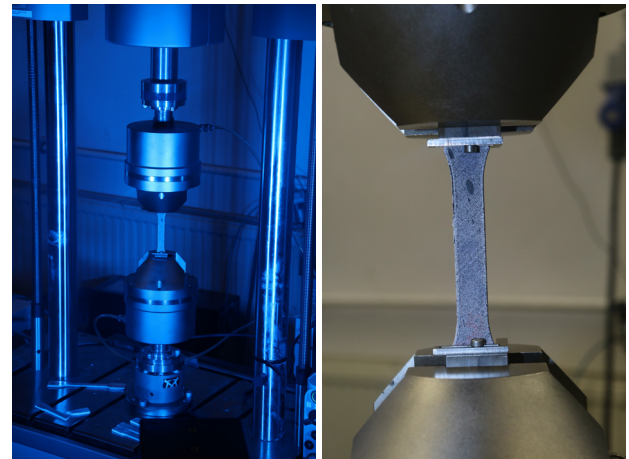
5. ábra: PLA Plus anyagú szakítópróbatestek kezdeti jeltávval ellátva

A próbatestek szakítása során több fa, illetve a fémkompozit anyagból 20%-os kitöltöttséggel készített próbatest mérése értékelhetetlen lett, mivel a befogás pillanatában a szakító próbatest fejrésze összetört. Ezen hibával rendelkező eredményeket nem vettük figyelembe. A szakítóvizsgálat során a jeltávon kívül szakadt próbatesteket (6. ábra) az eredmények kiértékelésénél – amennyiben nagy eltérést mutattak – nem vettük figyelembe.



6. ábra: Jeltávon belüli és kívüli szakadás

A GOM Aramis 3D precíziós mérőműszer (lásd 7. ábra) esetében a szakító vizsgálat annyiban tér el a hagyományos extenzométerrel végzett vizsgálatától, hogy ekkor a próbatesteket speciális fehér festékekkel és ezt követően fekete pontokkal vonják be, melynek hatására a csatolt optikai berendezés dedikált pontokat tud felismerni. A szakítás során a 2 db nagy képkockasebességű kamera a teljes vizsgálatot rögzíti, melyet később GOM Correlate szoftver segítségével lehet kiértékelni. Egy általunk definiált hálóval került bevonásra a darab, mellyel a cél a vizsgálatok során a 3D elmozdulások, 3D deformációk, sebességek és gyorsulások, felületi alakváltozások, digitális



7. ábra: Gom Aramis vizsgálat

képi korreláció (DIC) meghatározása volt. Esetünkben síkbeli alakváltozásokat vizsgáltunk, melyből erő-elmozdulás értékek kerültek meghatározásra.

#### 4. Kiértékelés

A gyártási módszer tekintetében elmondható, hogy az additív gyártási mód nem irányfüggetlen. A késztermék mechanikai tulajdonságai tükrözni fogják a nyomtatási beállításokat. Jelen esetben nem vizsgáltuk a nyomtatási sebesség és a hőmérsékletek által okozott különbségeket. Ezek növelése pozitív hatással járhat a mechanikai tulajdonságokra, mivel a gyorsabb nyomtatás és a magasabb hőmérséklet jobb rétegeközi adhéziót eredményezhet. Amennyiben a fűtőtest képes biztosítani a polimer számára a megfelelő hőátadást a darab nagyobb erőhatások elviselésére is képes lehet, de ez jelen esetben nem volt a kutatás tárgya.

A nyomtatási irányt tekintve a fektetett ( $0^\circ$ ) modellek sokkal nagyobb elmozdulásokat voltak képesek elviselni tönkremenetelig, ezt követte a  $45^\circ$ -os, vagyis a ferdén nyomtatott és végül az állított, vagyis a  $90^\circ$ -os darabok. Ez magyarázható a technológiából adódó gyengeségekből. A darabok nyúlását nagyban befolyásolja az egyes rétegek között létrehozható adhézió erőssége, illetve a rétegek érintkező felületének nagysága. A látható elmozdulások értékei tükrözik a darab rétegei között lévő érintkezési felületek mértékét.

A kitöltöttség befolyásoló szerepét tekintve fontos azt tisztáznunk, hogy a kitöltés mértéke nem azt jelenti, hogy egy 100%-os darab tömege ötszöröse lenne a 20%-os darabénak. Ez azért van, mert a kitöltöttség csak a belső térfogatra, a falakon belüli részre értendő, nem a teljes darabra. Így amennyiben célunk a darabok tömegének csökkentése és a minél kevesebb anyaghasználat, úgy figyelembe kell vennünk a megfelelő számú és méretű fal alkalmazását is. Ám ebben a munkában a fal méreteinek és rétegszámának változtatásával nem foglalkoztunk.

Ennek ismeretében kijelenthető az is, hogy a belső térfogat kitöltöttsége hatással van a darabok által elviselt maximális terhelés mértékére. A nagyobb kitöltés nagyobb terhelés elviselését teszi lehetővé (7. táblázat). Általában a teljes kitöltés 2-3-szoros szakítószilárdság

növekedést eredményezett. A 45°-os nyomtatás esetén ez a növekedés kisebb mértékű, míg az álló vagy fekvő eseteknél nagyobb. A tömeg növekedése a 20 % és 100 % -os eset között legtöbbször másfélszeres, habár – erősen alámetszett darabok esetén – ahol támaszanyagot is kell alkalmaznunk, ez az érték kevesebb lesz. Érdekes jelenség, hogy esetünkben a falak alkotta burkoló térfogat közel azonos térfogatmennyiséget foglalt el a belső hálóval. Egy nagyobb test esetén, ahol a külső rész lényegesen kevesebb térfogatot tesz ki a teljes térfogat arányában, a tömegnövekedés jóval jelentősebb lesz, míg a szakítószilárdság növekedése a belső háló sűrítésével nem lesz ilyen mértékű. Ezért nem állíthatjuk egyértelműen, hogy amennyiben a darab tömege másfélszer nagyobb, akkor a mechanikai tulajdonságok is 2-3-szor jobbak lesznek. Egyéb paraméterek változtatásával és konzekvens tervezéssel, gyorsabb nyomtatással, több fal alkalmazásával, optimális geometriával és magasabb nyomtatási hőmérsékletekkel feljavítható a kisebb töltöttségű darabok által elviselt erők mértéke, így anyagot spórolva meg csökkenthetőek a gyártási és átfutási idők, valamint a végső darab tömege is.

#### 4.1 Eredmények gyártástechnológiai elemzése

A különböző nyomtatásalak vizsgálata esetén levonható az a következtetés, hogy az egyes adalékanyagok csökkentették a darab mechanikai tulajdonságait. A SteelFill vagy Wood PLA anyagok sokkal rosszabbul teljesítettek, mint a tiszta polimerek, azaz a PLA PLUS vagy PolyLite. A kompozitok alkalmazása ellen szól továbbá, hogy körülményes a nyomtatásuk. Gyakori eldugulásokat okoznak, használatuk rendszeres és sűrű karbantartásokat tesz szükségesszerűvé, az erős abrazív tulajdonságok miatt nem alkalmazhatóak az egyébként jó hőátadási tulajdonságokkal rendelkező rézfűvőkák, így a gyártásuk is lassabb. Ámbár előnyeik a kiváló felületminőség, a jó esztétikai megjelenés, és azon tulajdonságuk, hogy nagyon jól tudják utánozni a fémek vagy természetes anyagok megjelenését, tapintását. Az összesített (alapanyagokat, egyes nyomtatási beállításokat, mechanikai tulajdonságokat tartalmazó) adatokat a 7. táblázat részletezi.

**7. táblázat:** Az egyes nyomtatási változatok mechanikai tulajdonságok szerint rendezve (csökkenő sorrendben)

Alapanyag	Nyomtatási irány	Kitöltöttség	Szakadáskor fellépő erő	Szakítószilárdság (mérnöki feszültség alapján)
PLA_PLUS	0°	100 %	2320 N	46,64 MPa
PolyLite	0°	100 %	2160 N	44,18 MPa
PolyLite	45°	100 %	2137 N	38,53 MPa
PolyLite	90°	100 %	1892 N	35,09 MPa
Flax PLA	0°	100 %	1440 N	29,47 MPa
PLA_PLUS	45°	100 %	1384 N	26,69 MPa
PLA_PLUS	0°	20 %	1240 N	24,88 MPa
PolyLite	45°	20 %	1261 N	22,49 MPa
Wood	0°	100 %	1140 N	21,90 MPa
PolyLite	0°	20 %	1088 N	20,89 MPa
Flax PLA	45°	100 %	999 N	18,59 MPa
Flax PLA	0°	20 %	876 N	18,02 MPa

Steelfill	0°	100 %	872 N	17,72 MPa
PolyLite	90°	20 %	942 N	17,33 MPa
PLA_PLUS	90°	100 %	919 N	16,99 MPa
Flax PLA	90°	100 %	912 N	16,90 MPa
Flax PLA	45°	20 %	751 N	13,77 MPa
PLA_PLUS	45°	20 %	693 N	12,96 MPa
Wood	0°	20 %	436 N	8,62 MPa
Wood	45°	100 %	444 N	7,78 MPa
Steelfill	90°	100 %	393 N	7,31 MPa
Wood	90°	100 %	400 N	6,88 MPa
Flax PLA	90°	20 %	338 N	6,20 MPa
Steelfill	0°	20 %	306 N	6,17 MPa
PLA_PLUS	90°	20 %	211 N	4,00 MPa
Steelfill	45°	100 %	13 N	0,24 MPa

## 5. Összefoglalás

Az általunk vizsgált polimerek megfelelő alkalmazásának kulcsfontosságú pillére a tervezés, a gyártás és az anyagjellemzők kapcsolatának megalkotása. Mivel a 3D nyomtatás egy új gyártási eljárás, nincs bevett gyakorlat egyik oldalról sem, viszont a megfelelő termékek megszületéséhez nem csak a gyártási paramétereknek kell megfelelniük, hanem a tervezésnél már gondolni kell a technológiára és ahhoz megfelelő geometria kialakításra. Ezen kívül az újfajta PLA polimerek tulajdonságai nagyban befolyásolni fogják mindkét folyamatot, így érdemes egy jól alkalmazható rendszer kialakítására törekedni a megfelelő anyagfelhasználás, a selejteket minimalizálása és a technológiahelyes folyamatok érdekében.

Elsősorban fontos meghatározni a környezeti paramétereket, amelyek ideálisak a termeléshez, másodsorban az egyes darabok megalkotásához szükséges technológiai paramétereket kell megválasztani. Valamint az így kapott próbatesteken érdemes már bevett eljárások szerint lefolytatni anyagvizsgálatokat, amelyek megadják a tervezés számára fontos tulajdonságokat.

Kutatásainkat FFF nyomtatón végeztük. Részletesen összehasonlításra kerültek az elérhető mechanikai tulajdonságú PLA és PLA-hoz hasonló kompozit anyagok, különböző nyomtatási beállítások mellett. A mechanikai tulajdonságokat befolyásoló beállítások (pl. nyomtatási irány, kitöltési arány) változtatásával került legyártásra 120 db szabványos szakító próbatest.

Végül a próbatestek elszakításra és kiértékelésre kerültek egy hagyományos nyúlásmérő, valamint egy 3D-s precíziós szkennelő (GOM Aramis) adatai alapján. Ezen eredmények, valamint a megalkotott anyag és technológia vizsgáló módszer fontos alapját képezheti a későbbiekben a 3D nyomtatási eljárások termékspecifikus tanulmányozásának, illetve összehasonlításának.

## Köszönetnyilvánítás

A TKP2020-NKA-18 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2020-4.1.1-TKP2020 program finanszírozásában valósult meg.

## Irodalomjegyzék

- [1] 3D Systems, Our Story: <https://www.3dsystems.com/our-story> (letöltés dátuma: 2021.09.27.)
- [2] Sculpteo: The State of 3D Printing (2019): <https://info.sculpteo.com/the-state-of-3d-printing-report> (letöltés dátuma: 2021.09.27.)
- [3] New technology: A topológia-optimalizálás és a fémnyomtatás közös sikere a GE repülőgép-konzol pályázatán. <https://newtechnology.hu/a-topologia-optimalizalas-es-a-femnyomtatasi-kozos-sikere-a-ge-repulogep-konzol-palyazatan/> (letöltés dátuma: 2021.09.27.)
- [4] Filanora: PLA BIO plus - 3D nyomtató szál műszaki adatlap. [https://www.filanora.eu/custom/filament/image/data/srattached/314bb761368336d7abbc278298537b88\\_PLA%20BIO%20plus%20m%20C5%B1szaki%20adatlap.pdf](https://www.filanora.eu/custom/filament/image/data/srattached/314bb761368336d7abbc278298537b88_PLA%20BIO%20plus%20m%20C5%B1szaki%20adatlap.pdf) (letöltés dátuma: 2021.10.25.)
- [5] extrudr FLAX: Material Data Sheet. [https://cdn-3d.niceshops.com/upload/file/MaterialDataSheet\\_FLAX.pdf](https://cdn-3d.niceshops.com/upload/file/MaterialDataSheet_FLAX.pdf) (letöltés dátuma: 2021.10.25.)
- [6] colorFabb SteelFill: Material Data Sheet. [https://colorfabb.com/media/datasheets/tds/colorfabb/TDS\\_E\\_ColorFabb\\_SteelFill.pdf](https://colorfabb.com/media/datasheets/tds/colorfabb/TDS_E_ColorFabb_SteelFill.pdf) (letöltés dátuma: 2021.10.25.)
- [7] extrudr WOOD: Technical Data sheet. [https://www.3djake.hu/extrudr/fenyo?sai=3327&gclid=CjwKCAjwq9-mLBhB2EiwAuYdMtRFedx2vKJCADggEFKS2DB8reayom2R8G29raUD3Z9VpAUKYFnP0BoCdmQQAuD\\_BwE](https://www.3djake.hu/extrudr/fenyo?sai=3327&gclid=CjwKCAjwq9-mLBhB2EiwAuYdMtRFedx2vKJCADggEFKS2DB8reayom2R8G29raUD3Z9VpAUKYFnP0BoCdmQQAuD_BwE) (letöltés dátuma: 2021.10.25.)
- [8] PolyLite PLA: Technical Data Sheet. [https://c-3d.niceshops.com/upload/file/PolyLite\\_PLA\\_TDS\\_V3.pdf](https://c-3d.niceshops.com/upload/file/PolyLite_PLA_TDS_V3.pdf) (letöltés dátuma: 2021.10.25.)

A Magyar Roncsolásmentes Vizsgálói Szövetség kiadványa

# Anyagvizsgálók Lapja

Az Ország vezető szaklapja

## Hidrogén Töltőállomás lefedettség Európában

**ELŐZETES!**

Magyarország helyzete

Szomszéd országok helyzete

Akvamarin projekt

Hidrogén előállításának, tárolásának és szállításának problémáikái

Balaton ANKÉT Hidrogén szekció

2022/III.  
lapszám