

Kender-PLA kompozit filament 3D nyomtatásának elemzése

Analysis of 3D printing of hemp-PLA composite filament

Csőrgő Zsombor László^a, Kovács Sándor^b, Topa Martin^c, Rédey Soma^d

^{a,b,c}Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.

^ajunior kutató, zsombor.csorgo@bayzoltan.hu

^bvezető kutató, sandor.kovacs@bayzoltan.hu

^cjunior kutató, martin.topa@bayzoltan.hu

^dVilhemp Kft., alapító COO, soma.redey@vilhemp.hu

Kulcsszavak

additív gyártás,
kender,
kompozitok,
mechanikai tulajdonságok,
3D nyomtatás

Keywords

additive manufacturing,
hemp,
composite materials,
mechanical properties,
3D printing

Absztrakt

Az additív gyártás területén a 3D nyomtatás szálhúzásos technológiája egyre inkább elterjedt iparág. Az alábbiakban egy biokompozit anyag – amelynek alapját politejsav (PLA) és kender, mint mezőgazdasági növény alkotja – előállítása, illetve nyomtathatósága került vizsgálat alá. Ezen paraméterek optimalizálása és a technológiai sajátosságok feltárása valósult meg. Összehasonlításra kerültek a gyárthatósági eltérések a biokompozit és a hagyományos PLA anyagminőség között. Végezetül a kompozit anyagok mechanikai tulajdonságait és a belőlük készült termékek szerkezet integritását vizsgáltuk és vetettük össze a tiszta PLA esetével.

Abstract

In the field of additive manufacturing, the filament drawing technology of 3D printing is becoming an increasingly common industry. Below, the production and printability of a biocomposite material – consisting of polylactic acid and hemp, an agricultural plant – was examined. The optimisation of these parameters and the identification of technological specificities have been carried out. The manufacturability differences between the biocomposite and the traditional PLA material quality were compared. Finally, the mechanical properties of the composite materials and the structural integrity of the products made from them were investigated and compared with the case of pure PLA.

1. Bevezetés

Az additív gyártástechnológiák (Additive Manufacturing) az anyagrétegek egymásra építésével állítják elő a kívánt végterméket, jellemzően 3D nyomtató segítségével. A háromdimenziós nyomtatás fő alkalmazási területei közé tartozik manapság a prototípus gyártás (Rapid Prototyping) és a hobbi szintű felhasználás otthoni körülmények között, de a technológia fejlődésével már az ipari fém és az orvostechnikai protézis gyártás is kezd teret hódítani magának.

A 3D nyomtatás technológiájának előnyei, hogy tetszőleges geometriát fajlagosan olcsón, és hatékonyan elő tudunk vele állítani, ezért prototípus gyártásra kis szériás termelésre a legjobb választás. Emellett könnyű tesztelhetőséget is biztosít, amely segítségével a tervezési hibák is könnyen feltárhatóak. Viszont tömeggyártás esetén a hagyományos eljárások jelenleg még mindig hatékonyabban, termelékenyebben és olcsóbban [1].

Kutatásunk célja egy környezettudatos polimer mátrixú kompozitanyagok felhasználásával történő additív gyártástechnológia vizsgálata, az optimális 3D nyomtatásos gyártástechnológia meghatározása, valamint az így készült termékek mechanikai és szerkezetintegritási tulajdonságainak tanulmányozása volt.

Megvizsgálva a műanyagokkal dolgozó 3D nyomtatásos eljárásokat, a filamenttel dolgozó FDM (Fused Deposit Modeling) módszer lett kiválasztva, mivel ez biztosította a legnagyobb szabadságot számunkra a kompozit anyagminőségének megválasztásában.

A mátrix alapanyagának a politejsavat (PLA) választottuk, amely megújuló erőforrásokból készül, emellett kiváló mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik és az egyik legelterjedtebb poliészter [2, 3]. Az önmagában is biodegradábilis polimer környezetbarát tulajdonságait kívántuk továbbfejleszteni, kiszélesíteni, az adott kompozit CO₂ kibocsátásának további csökkentésével, ami járulékosan a költséges mátrix-polimer ár mellett költséghatékonyt

is eredményez. Ehhez leginkább hosszúságú szállítási láncot nem igénylő, helyben, további gyártási, termelési eljárás nélkül, melléktermékként egyébként is előálló töltőanyagot kellett találnunk. Erre a célra a legjobb lehetőség a mezőgazdasági hulladékok, melléktermékek felhasználása.

2. Természetes szállal erősített PLA biokompozitok előállítása és tulajdonságai

Piackutatást végezve egy olyan – még nem létező – kompozit filamentek előállítását és vele történő termékgyártást céloztuk meg, amely – a mezőgazdasági melléktermékként előállt – kenderrostot tartalmaz, ezzel növelve a kompozit természetes úton elbomló térfogatarányát, amelyhez nem szükséges ipari komposztálási eljárás sem.

A kender egyik legnagyobb pozitív tulajdonsága, hogy szinte gondozásmentes növényről beszélünk, bárhol megterem, előállítása alacsony költségű. Amellett, hogy Magyarországon is könnyen elérhető a mezőgazdasági termelőktől, a növény azon hulladéknak tekinthető részei, amelyek nem szükségesek az elsődleges felhasználáshoz, a kompozit gyártásunkhoz teljes mértékben megfelelőnek bizonyultak. A másik pozitív tulajdonsága a kenderrost szálaknak a szilárdsági tulajdonságai, amelyek az egyik legjobbak a világon már alkalmazott bioszálakhoz képest (1. táblázat).

1. táblázat: A kender paraméterei [4]

Megnevezés	Kender
Sűrűség [g/cm ³]	1,29
Cellulóz-tartalom [%]	70,2 – 70,4
Hemicellulóz-tartalom [%]	17,9 – 22,4
Lignin-tartalom [m/m%]	3,7 – 5,7
Átmérő [µm]	-
Szakítószilárdság [MPa]	550 – 590
Húzómodulus [GPa]	70
Szakadási nyúlás [%]	1,6
Világtermelés [10 ³ tonna]	214

A gyártáshoz kender melléktermékből előállított őrleményt, illetve PLA granulátumot szereztünk be.

A biokompozitok gyártási folyamata a kenderszálak tovább őrlésével, majd hosszmérete szerinti frakciókra bontásával kezdődött, amelyhez különböző méretű szitákat alkalmaztunk. Ezzel célunk az volt, hogy különböző szálméretekkkel és töltöttséggel eltérő kompozit anyagminőségeket állítsunk elő. A továbbiakban ezen anyagminőségekkel megvizsgáljuk a gyárthatóságot, és a kompozit anyagok mechanikai szerkezetintegritási tulajdonságait.

A természetes szálak legsúlyosabb hátránya a hidrofil jellegük, amely gyenge felületi adhézióhoz vezethet a rost és az alapanyag között. Ez már a szítálás során visszatérő problémát jelentett, azaz magas környezeti páratartalom esetén a kender könnyen magába szívta a vizet, valamint a kenderőrlemény olaj tartalma is az előzőhöz hasonló gondokat okozott. Ezek következtében az anyag megtapadt a szitákban a folyamat során, ezáltal eltömítette azokat. A probléma kiküszöbölését a sziták rendszeres tisztításával, a szitarázó berendezés technológiai paramétereinek optimális beállításával, a töltet-tömeg meghatározásával, megfelelő szitaméret megválasztásával, valamint a kenderrostok szítálás előtti szárítószekrényben történő szárításával értük el:

- A betáplált anyagmennyiség 100 gramm volt egy szitáló futtatás során.
- Sziták futtatásonként mosva, szárítva lettek.
- Szitarázó technológiai paraméterei: 10 perc futási idő, 1,5 mm/g-os amplitudó, szakaszos üzem 12 másodperces rázó ciklusokkal.
- Szitaméret: összesen 6 különböző lyuk-átmérőjű szitát alkalmaztunk 100 µm-től 800 µm-es nagyságig (100 µm, 150 µm, 200 µm, 300 µm, 400 µm, 800 µm).
- A kenderrost szárítása során 3 kilogrammnyi őrlemény 24 órán át volt a 105°C-os szárító berendezésben.

A szitarázó berendezés segítségével a beimportált 40 kilogrammnyi kenderrost őrleményt három különböző csoportba különítettük el:

- <100 µm alatti kenderszál, amiből 8,5 kg mennyiség keletkezett
- 100-200 µm közötti kenderszálból 9,5 kg szitálódott le
- 200-300 µm közötti kenderszál tartományban 7,1 kg szitált anyagot állítottunk elő

Ezen mennyiségeket 6 hét alatt állítottuk elő a laborberendezéseinken. A nagyobb szemcseméreteket nem alkalmaztuk további vizsgálatainkban.

A leszitált és frakciókra osztott kenderszálak az újbóli szárítást követően kompaundálásra kerültek. A kompaundálás során a gyártás egy változó geometriájú ikercsigás extruderrel valósult meg, amely berendezés gyorsan és nagy mennyiségben volt képes a kender-PLA kompaund előállítására.

A frakcionálás miatt és az azt követő többszörös szárítás következményeként, a kompaundálás során nem jelentek más hasonló kender keverékek esetén jellemző technológiai hibák, például a kender feltapadása az adagoló garatba vagy dugulás.

A kompaund gyártás során sikerült 20 %-os töltöttségi

szintet elérni, amely igazán kiemelkedő eredménynek számított.

A keletkezett biokompozit granulátumokból szálhúzásos technikával működő berendezés segítségével különböző töltöttségű és szemcseméretű filamentek gyártása valósult meg. A filament szálhúzása során a 6,6 %-os töltöttségi érték volt a legnagyobb, amelynél a gyártás zökkenőmentesen végbement. Nagyobb százaléku töltöttség esetén a gyártó berendezés extruder fejében dugulás keletkezett, amelynek köszönhetően az anyag elakadt benne. A problémát a kender anyagából történő lakkszerű kiválás okozta, amely feltehetően – a már korábban említett – kenderrostok olajoságának, és a gyártási folyamat magas hőmérsékletének volt köszönhető (1. ábra).



1. ábra: A tömődés és a lakkszerű kiválás a filament gyártása során

A megvalósított filamenteket a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: A előállított kender-PLA filamentek típusai

Szemcseátmérő [µm]	Töltöttség [m/m %]
0-100	1,68
	3,3
	6,6
100-200	1,68
	3,3
	6,6
200-300	0,83
	3,3
	6,6

Az elkészült különböző összetételű filamentekről általánosságban elmondható, hogy esztétikailag szépek és jellegzetes esszenciát tartalmazó illatuk van, de merevebbek, mint a hagyományos műanyagból készült huzalok.

3. Nyomatási beállítások és tapasztalatok a biokompozit anyagnál

Az általunk használt anyagokkal való nyomtatások során összehasonlításra kerültek a gyártás során az optimális nyomtatási beállítások a hagyományos PLA és az általunk használt kilenc különböző összetételű kender tartalmú PLA anyagminőségek között.

3.1 Nyomtatás folyamán szerzett tapasztalatok

A biokompozit filamentekkel történő nyomtatás nagyobb odafigyelést igényel, mint a hagyományos PLA-val való nyomtatás. Ezekkel az anyagokkal végzett nyomtatások során többször fordult elő meghibásodás a gyártás folyamán. A nyomtatások közben megfigyelt legnagyobb



2. ábra: A vetemedés jelensége

problémát a nyomtató fej eltömődése jelentette, amelyet egy szennyező anyag vagy a biokompozitban található, rossz orientációjú kenderrost jelentette, ezáltal útját állva az anyag szabad áramlásának. A másik jelentős probléma a biokompozit filamentek ridegsége volt, amelynek köszönhetően könnyen eltörték a huzalszálak a nyomtatás közben. Ez a jelenség a magasabb töltöttséggel rendelkező filamentek esetében volt megfigyelhető. A kender tartalmú PLA filamentekre jellemző nyomtatási meghibásodás volt ezeken felül a vetemedés jelensége (2. ábra), amely a nagy felületen tapadó modelleknél volt jellemző. A vetemedés során a próbatetek elhajlása, deformációja volt megfigyelhető. Ezt a problémát a fűthető asztal hőmérsékletének növelésével, illetve a munkadarab tapadási felületének növelésével tudtuk orvosolni.

Az általunk használt anyagokkal történő nyomtatás során megfigyelhető volt a pókhálózás jelensége, amely során az olvadt filament hajszálvékony szájakat hagyott a nyomtatott darab részei között. Az effektus nem okozott nyomtatási problémákat, csak esztétikailag rontotta kis mértékben a munkadarabokat. A jelenséget redukálni tudtuk az anyag visszahúzásával, a hőmérséklet csökkentésével, illetve a nyomtatott modellek közötti távolságok csökkentésével.

3.2 Nyomtatási beállítások összefoglalása

A gyártás megkezdése előtt szükség volt a nyomtatás előtervezésére és az optimális nyomtatási beállítások megtalálására. Ennek kapcsán próbanyomtatásokat végeztünk el a biokompozit anyagokkal. Az általános paramétereket, mint a falvastagság, rétegvastagság, hűtés vagy a burkoló rétegek számát egyezményes értékre állítottuk be, mivel ezeknél az értékeknél nem igényelt egyik anyagminőség sem különös módosítást. Viszont további beállítások esetében a tiszta PLA-hoz képest változtatásokat kellett végrehajtani a kender-PLA anyagok nyomtatása során, ezek összefoglalását a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: Megváltoztatott paraméterek

Megnevezés	Hagyományos PLA	Kender – PLA kompozit
Extruder hőmérséklete	215 °C	185 °C
Fűthető asztal hőmérséklete	60 °C	45 °C
Első réteg nyomtatási sebessége	120 %	150 %
Első réteg extrudálási szélességének százalékos aránya	100 %	120 %

Az eltérő beállítások leginkább a hőmérséklet változtatásában, illetve az első rétegek nyomtatása során volt szükséges, amelyeknek köszönhetően a gyártási folyamat sikeresen végbement.

4. A biokompozitból nyomtatott próbatetek

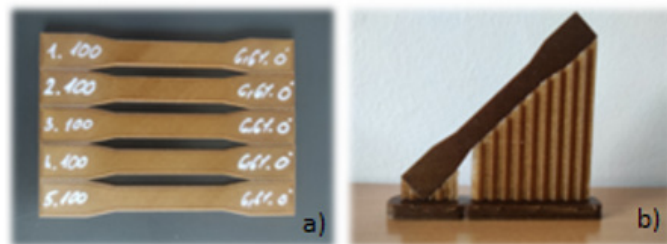
A különböző 3D nyomtatott anyagminőségek mechanikai és szerkezetintegritási viszonyait vizsgáltuk a következő lépésekben.

A mechanikai tulajdonságok meghatározására szakítópróbatesteket, valamint különböző termékek szerkezetintegritási vizsgálatának érdekében fogaskerék próbatesteket és ortézis talpakat gyártottunk. Az elkészített munkadarabok esetén egyezményesen teljes, vagyis 100%-os kitöltési értékkel dolgoztunk, ennek köszönhetően a próbatetek teljesen tömörnek tekinthetők.

4.1 Szakítópróbatetek

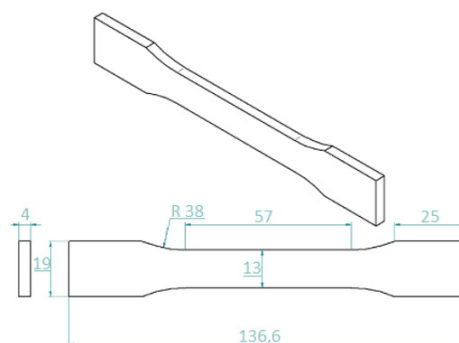
A szakító próbatesteknél kilenc különböző kompozit anyagminőséggel (2. táblázat) és a tiszta PLA-val végzett nyomtatások során a próbatesteket három különböző pozícióban nyomtattuk ki (3. ábra), amelyek a nyomtató asztalon való eltérő elhelyezkedésükben nyilvánult meg:

- Fekvő pozícióban (0°-ban pozícionálva)
- Álló pozícióban (90°-ban pozícionálva)
- Átlós pozícióban (45°-ban pozícionálva)



3. ábra: Szakítópróbatetek
a) fekvő pozícióban
b) átlós pozícióban

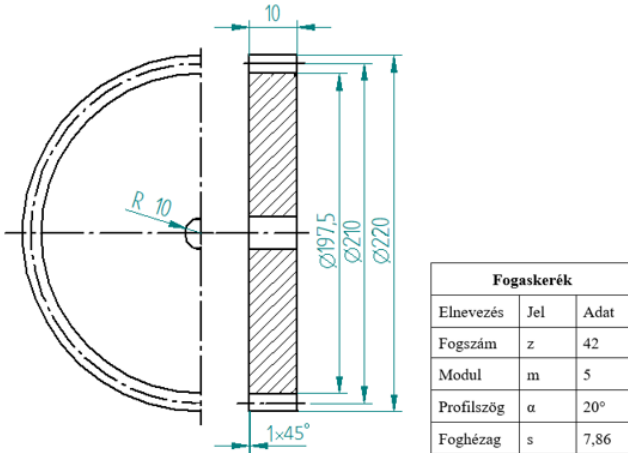
A különböző pozícióknak köszönhetően a nyomtatások során a rétegek eltérő irányban épültek fel, ebből adódóan a rétegek közötti kohézió is megváltozott. Mindegyik anyagból minden pozícióban 5 darab próbatest készült el. Egy próbatest méreteit az előtervezés során a következőkben határoztuk meg: 136,6 x 19 x 4 mm (4. ábra).



4. ábra: A szakítópróbatest befoglaló méretei

4.2 Fogaskerek

A fogaskerék vizsgálathoz választott geometria egy 5-ös modulú fogaskerék, amely 42 darab egyenes, evolvens fogazattal rendelkezik. Az osztókör átmérője 210 mm, fogszélesség 10 mm (lásd 5. ábra).

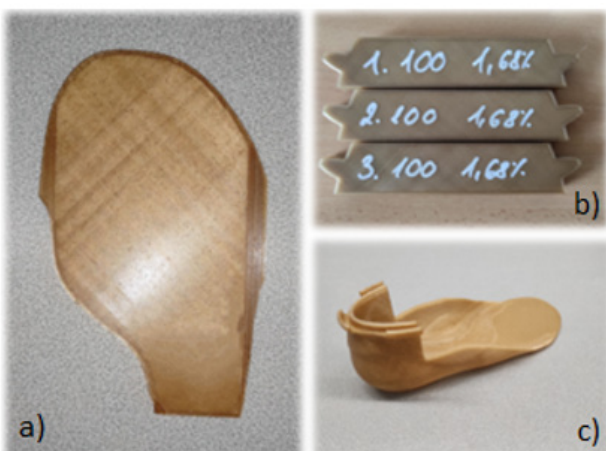


5. ábra: A teljes fogaskerék alkatrészrajza

A vizsgálat célja az adott kompozit anyagból előállított fogaskerék fogának szerkezetintegritási vizsgálata, amely ebben az esetben a fog törésig történő maximális terhelhetőségének a megállapítása volt.

Próbatest geometriaként a fogaskerék egy fogát és a tányérhoz csatlakozó részét vettük figyelembe úgy, hogy könnyedén befogható a vizsgálati szorító pófákba. Anyagtakarékossági megfontolások alapján úgy alakítottuk ki a geometriát, hogy a próbatest végén 1-1 fog helyezkedett el (6.b ábra).

A fogaskerekeket a 2. táblázatban felsorolt anyagminőségekből és a tiszta PLA anyagból nyomtattuk ki. Mindegyik anyagtypusból 3 darab próbatest készült el, azonban a próbatest kialakításának köszönhetően egy anyagtypusnál 6 db terhelési vizsgálat lett elvégezve, amelyeknek átlagolt értékét a 4. táblázat tartalmazza.



6. ábra: Nyomtatott próbatestek
a) ortézis talprész;
b) fogaskerék;
c) teljes ortézis modell

4.3 Ortézis talp

Vizsgálataink ezen részében az ortézis szerkezetintegritási vizsgálatával foglalkoztunk. Az ortézis egy orvosi segédeszköz, amely a test meghatározott pontjait védi, rögzíti vagy támaszt nyújt neki, jellemzően végtag törések, ficamok, szalag-megnyúlások esetén.

Az ortézis talprész jellemző tönkremenetelének oka a megbotlás miatti rossz támpontú terhelés, a lábujjak alatt. Az ortézis talp szerkezetintegritásának ilyen módú megszűnését elemeztük mechanikai vizsgálattal.

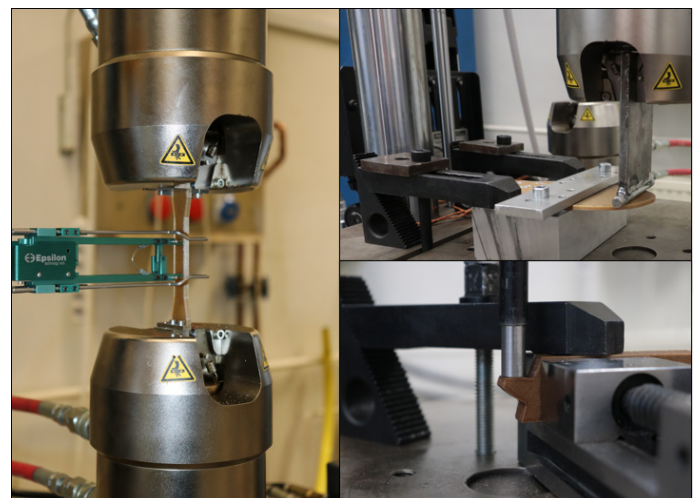
Vizsgálataink első részében a teljes ortézis talp redukálásával, egyszerűsítésével foglalkoztunk a nyomtatás gyorsítása és a szükséges filament mennyiség csökkentésének érdekében. Az egyszerűsítést úgy hajtottuk végre, hogy az a tönkremenetel lefolyását érdemben ne befolyásolja, viszont a próbatest befoghatóságát elősegítse. Az így kapott geometria a 6.a ábrán látható.

Az ortézis talpak esetében a kilenc különböző anyagminőségből (2. táblázat) és a tiszta PLA-ból 5-5 próbatest nyomtatása valósult meg.

5. Nyomtatási mérések és eredmények a kender tartalmú PLA esetében

Az elkészült próbatestek vizsgálata a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. Mechanikai Anyagvizsgáló Laboratóriumában valósult meg. A lapos szakítópróbatestek esetében egy Instron E10000 uniaxialis szakítóberendezés állt a rendelkezésünkre. A másik két típusú munkadarab esetén is ezzel a berendezéssel végeztük el a vizsgálatokat, amelyeknél egy-egy befogást alkalmaztunk és vertikális irányban fentről lefelé terheljük a próbatesteket (7. ábra).

Az elvégzett terhelési vizsgálatok kiértékelését követően a maximális erő értékeiket átlagoltuk az eltérő anyagtypusú próbatestek esetében, ezeket az értékeket a 4. táblázat tartalmazza. A szakítópróbatesteknél a fekvő (0°-os) pozícióban kinyomtatott próbatestek értékei vannak feltüntetve, mivel ebben az esetben voltak a terhelési értékek a legnagyobbak.



7. ábra: Próbatest befogások a vizsgálatok során

4. táblázat: Átlagos maximális terhelési értékek

Töltöttség	Átlagos maximális erő [N]		
	Fogaskerék	Ortézis talprész	Szakító próbatest
Tiszta PLA	3272,6	529,0	2343,9
0-100 µm 1,68 % kompozit	2998,6	507,4	2337,8
0-100 µm 3,3 % kompozit	2510,6	456,0	1877,2
0-100 µm 6,6 % kompozit	1577,6	424,4	1191,6
100-200 µm 1,68 % kompozit	2631,9	476,4	2029,1
100-200 µm 3,3 % kompozit	2394,6	439,2	2217,5
100-200 µm 6,6 % kompozit	1704,3	388,0	1568,6
200-300 µm 0,83 % kompozit	2908,9	498,2	2173,5
200-300 µm 3,3 % kompozit	1951,1	436,0	1771,2
200-300 µm 6,6 % kompozit	1351,2	337,2	1068,8

A szakító próbatesteknél kiértékelésre kerültek az átlagos alakváltozási, feszültségi és rugalmassági modulus értékei is a különböző anyagminőségeknél, amelyet az 5. táblázat tartalmaz. A feltüntetett értékek a fekvő (0°-os) pozíciójú nyomtatású próbatestekhez tartoznak.

5. táblázat: Szakítópróbatestek átlagos alakváltozási, feszültségi és Young modulus értékei

Töltöttség	Átlagos szakadási nyúlás [%]	Átlagos szakítószilárdság [MPa]	Átlagos rugalmassági modulus [GPa]
Tiszta PLA	2,61	46,02	2,87
0-100 µm 1,68 % kompozit	2,17	44,79	3,03
0-100 µm 3,3 % kompozit	2,14	34,59	2,46
0-100 µm 6,6 % kompozit	2,06	22,25	1,86
100-200 µm 1,68 % kompozit	1,90	42,78	3,07
100-200 µm 3,3 % kompozit	2,57	38,19	2,78
100-200 µm 6,6 % kompozit	1,97	29,73	2,52
200-300 µm 0,83 % kompozit	2,63	41,66	2,83
200-300 µm 3,3 % kompozit	2,62	33,74	2,53
200-300 µm 6,6 % kompozit	1,85	20,12	1,76

A kapott eredmények segítségével elkészítettük a munkadarabok erő-elmozdulás diagrammait. A szakító próbatestek esetében pedig a feszültség-alakváltozás görbéket állítottuk elő, és elemeztük. Néhány eredményül kapott diagram a 8. és 9. ábrán látható.

5.1 Eredményből levont következtetések

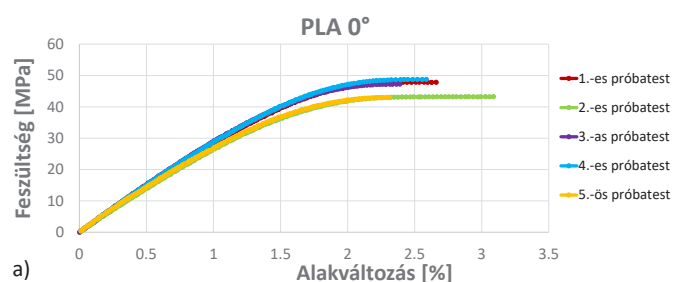
A legyártott termékek mechanikai és szerkezetintegritási vizsgálatai alapján a következő megállapításokat vontuk le:

- A kender szemcseméretének csökkentésével növelhető a termék szilárdsági tulajdonsága, a szakítószilárdság és a rugalmassági modulus értéke adott töltöttségi szint mellett
- A szemcseméret növelésével a nyomtatott termék szívóssága növelhető az adott töltöttség mellett
- A kenderrel való töltöttség növelése csökkenti a

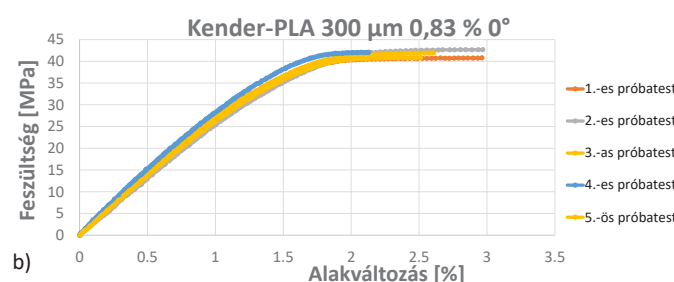
szilárdságot és a szívósságot is, köszönhetően a töltőanyag ismert hidrofíli tulajdonságai miatt létrejövő gyenge adhézióknak a kender-PLA határfelületen.

- Az anyagár minimalizálásához kellő maximális töltőanyag-tömegarány mellett, a legjobb szilárdsági tulajdonságokat 100-200 µm átlagos szemcseméretű kenderőrlemény használatával érjük el.

Továbbá azt találtuk, hogy fekvő nyomtatással 200-300 µm szemcseméret esetén a 0,83-3,3%-ig szívósabb a kompozit anyag szakadási nyúlása a tiszta PLA-hoz képest. Ugyanennél a nyomtatási beállításkor a 0-100 és 100-200 µm szemcseméretű, 1,68%-os töltöttségű kender-PLA kompozit esetén a rugalmassági modulus mutatott nagyobb értéket a tiszta PLA-val szemben (5. táblázat).

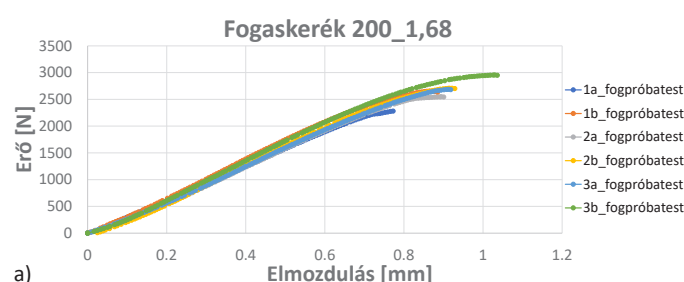


a)

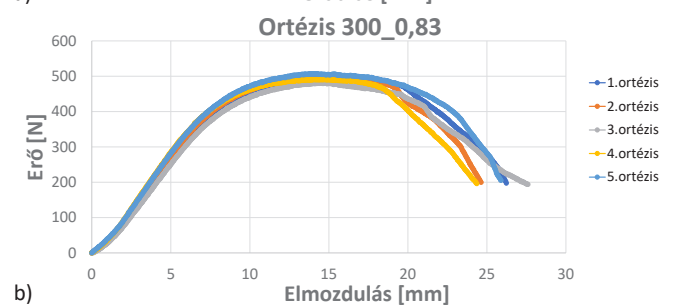


b)

8. ábra: Szakítópróbatest feszültség – alakváltozás diagrammja
a) Tiszta PLA esetén;
b) 200-300 µm 0,83 m/m%-os kompozitnál



a)



b)

9. ábra: Erő – elmozdulás diagrammok
a) Fogaskerék próbatest 100-200 µm 1,68 m/m% kompozitnál;
b) Ortézis próbatest 200-300 µm 0,83 m/m% kompozitnál

6. Összefoglalás

Munkánkban mezőgazdasági melléktermékekkel erősített PLA kompozit gyárthatóságát, mechanikai és szerkezetintegritási tulajdonságait vizsgáltuk.

A környezettudatosság jegyében mezőgazdasági hulladékként a kenderrostot választottuk. Az első komolyabb kihívást a kender szitálása, frakciókra bontása jelentette olajossága, hidrofil tulajdonságai miatt. A szitálás esetén szitamosást, szárítást, technológiai paraméterek megfelelő optimalizálását kellett alkalmaznunk. A sikeresen elvégzett szitálási folyamat eredményeként a kender három különböző frakcióra bontottuk a szálméretük függvényében (0-100 µm, 100-200 µm, 200-300 µm-es névleges szemcsemérettel, a 300 mikrométer feletti méretet hulladéknak tekintve).

A szárításoknak köszönhetően a kender-PLA-val való kompaundálása sikeresen végbement. A kompaundálás következményeként 20%-os kompaund granulátumot sikerült előállítanunk az eltérő frakciókban. A filament gyártása során a maximálisan elérhető kender térfogat-százaléka 6,6% volt. A kender-PLA filamentet 6,6%, 3,3%, 1,68% és 0,83% tömegszázalékos töltöttséggel tudtuk előállítani. Nagyobb töltöttség esetén a kenderből kiváló anyagból képződő lakkréteg megállította a gyártási folyamatot.

A 3D nyomtatások során a különböző biokompozit anyagok esetén meghatároztuk az optimális nyomtatási beállításokat. A hagyományos PLA-val történő gyártáshoz képest elsősorban a hőmérsékleten és a nyomtatási sebességeken változtattunk. A beállítások módosításával a nyomtatás hibáit lecsökkentettük, eredményes és fahasztású, esztétikus próbatesteket kaptunk eredményül.

A mechanikai és szerkezetintegritási vizsgálatokhoz a következő próbatesteket terveztük és készítettük el: szabványos lapos szakító próbatest, fogaskerek minta és ortézis talprész. A próbatesteket az adott felhasználásnak vagy szabványos vizsgálati előírásoknak megfelelően

különböző terhelési állapotoknak vetettük alá és értékeltük ki őket az anyagvizsgáló laboratóriumunkban.

Eredményképpen azt kaptuk, hogy bizonyos esetekben a szívósság, illetve a rugalmassági modulus javítható a tiszta PLA-hoz képest, ám a kender őrlémmel való töltöttség növelésével a szilárdság és a szívósság is csökkent. Továbbá a szemcseméret-növelés csökkenti a szilárdságot, ugyanakkor növeli a szívósságot. Maximális töltöttség mellett a legnagyobb szilárdságot 100-200 µm átlagos szemcseméretű kenderőrlémmel érjük el.

Köszönetnyilvánítás

A kutatási munka a TKP2020-NKA-18 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2020-4. 1. 1-TKP2020 program finanszírozásában valósult meg.

Köszönetet szeretnénk mondani a Vilhemp Kft.-nek, hogy biztosították számunkra a szükséges mennyiségű kenderőrlémmel, valamint munkánk sikeres végrehajtásához nyújtott hozzájárulásukért.

Irodalomjegyzék

- [1] CNC media: Minden, amit a 3D-nyomtatásról tudni kell. <https://www.cnc.hu/2020/05/minden-amit-a-3d-nyomtatasarol-tudni-kell/> (2022.11.08.)
- [2] Auras R., Lim L-T., Selke S. E. M., Tsuji H.: Poly(lactic acid) synthesis, structures, properties, processing, and applications. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey (2010).
- [3] Fabio A. Cruz Sanchez, Hakim Boudaoud, Mauricio Camargo, Sandrine Hoppe, Polymer Recycling in an Open Source Additive Manufacturing Context: Mechanical Issues. Additive Manufacturing Volume 17, 2017 October, 87-105.
- [4] Abhijit Sudamrao Getme, Brijesh Patel, A Review: Bio-fiber's as reinforcement in composites of polylactic acid (PLA). Materials Today: Proceedings, Volume 26, Part 2, 2020 March 25, 2116-2122.



Előfizetés megújítás! Még most sem késő!

Ne felejtse el

a meglévő előfizetését megújítani vagy

új előfizetését elindítani!

2023 első száma elérhető márciusban!

Írjon a marovisz@marovisz.hu email címre!

