

SOPRONI EGYETEM
LÁMFALUSSY SÁNDOR KÖZGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
Termékmenedzsment és -marketing mesterszak



A műanyag hulladék újrahasznosításának folyamata és lehetőségei a modern gazdaságban

Vaskeba László

Konzulens: Dr. Bednárík Éva

Sopron
2025

Soproni Egyetem
Lámfalussy Sándor Közgazdaságtudományi Kar
Üzleti Tanulmányok Intézet

DIPLOMADOLGOZAT FELADATKIÍRÁS

A diplomadolgozat készítőjének neve:
Vaskeba László

A diplomadolgozat címe:
A műanyag hulladék újrahasznosításának folyamata és lehetőségei a modern gazdaságban

A diplomadolgozat megírásával kitűzött feladatok:

1. Szakirodalmi áttekintés készítése az additív gyártástechnológiákról, a PLA újrahasznosítás lehetőségeiről és azok környezeti hatásairól.
2. A vendéglátóipar szerepének vizsgálata Magyarországon, különös tekintettel Győr-Moson-Sopron megye sajátosságaira és fenntarthatósági törekvéseire.
3. Újrahasznosított PLA alapanyag feldolgozása szűrőberendezés alkalmazásával, valamint a gyártási és anyagtulajdonságok laboratóriumi vizsgálata.
4. Kérdőíves kutatás készítése a vendéglátóhelyek körében a PLA termékek ismertségéről, elfogadottságáról és piaci fogadókészségéről.
5. A kutatási eredmények értékelése és fejlesztési javaslatok megfogalmazása újrahasznosított PLA termékek bevezetésére a vendéglátásban.

Konzulens: Dr. Bednárík Éva, egyetemi docens

Sopron, 2025.05.04.

PH.

Dr. Németh Nikoletta
intézetigazgató

NYILATKOZAT

Alulírott, Vaskeba László (WN894S), jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a "A műanyag hulladék újrahasznosításának folyamata és lehetőségei a modern gazdaságban" című (megfelelő rész jelölendő)

- ☐ házi dolgozat;
- ☐ tudományos diákköri dolgozat;
- ☒ diplomadolgozat;
- ☐ szakdolgozat;
- ☐ záródolgozat;
- ☐ szakmai beszámoló

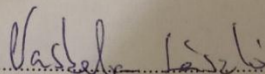
(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, valamint az egyetem által előírt, a dolgozat készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében¹.

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt, illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg**.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat**.

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Kelt: Győr, 2025. 05. 07.



A hallgató neve
hallgató

¹ 1999. évi LXXVI. Tv. 34. § (1) a mű részletét – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez hiven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

36. § (1) nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára – a cél által indokolt terjedelemben – szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást – a szerző nevével együtt – fel kell tüntetni, ha csak ez lehetetlennek nem bizonyul.

Vaskeba László

2025

Termékmenedzsment és -marketing mesterképzési szak

Soproni Egyetem

Lámfalussy Sándor Közgazdaságtudományi Kar

Konzulens: Dr. Bednárík Éva

egyetemi docens

A műanyag hulladék újrahasznosításának folyamata és lehetőségei a modern gazdaságban

The Process and Potential of Plastic Waste Recycling in the Modern Economy

A 3D nyomtatási technológia az elmúlt évtizedben forradalmasította az egyedi gyártást, ugyanakkor a nyomtatási folyamatok során keletkező műanyag hulladék kezelésére még nem született egységes megoldás. A dolgozat célja, hogy feltárja a PLA alapú nyomtatási hulladék újrahasznosításának lehetőségeit és kihívásait, különös tekintettel a nyomtatási minőség megőrzésére és a piaci alkalmazhatóságra. A technológiai vizsgálatok során egy kísérleti szűrőberendezést fejlesztettem, amely képes az extrúziós folyamat közben kiszűrni a PLA-ba keveredett idegen anyagokat, ezáltal javítva az újrahasznosított filament homogenitását és nyomtathatóságát. Az anyagvizsgálati módszerek – MFI, CT, SEM, szakító-, ütő- és hajlítótesztek – segítségével feltártam a szűrés hatását a filament minőségére és a végtermék tulajdonságaira.

A technológiai kísérleteket piaci oldalról is megerősítettem: saját kutatás keretében felmértem, hogy a Győr-Moson-Sopron vármegyei vendéglátóegységek mennyire nyitottak az újrahasznosított PLA-ból készült designer termékekre. A kérdőíves kutatás alapján megállapítható, hogy a fenntarthatóság és az egyedi térélmény iránti igény növekvő tendenciát mutat a szektorban. A dolgozat gyakorlati háttérét a saját startup vállalkozásom, az EcoFab3D adja, amely környezettudatos, újrahasznosított PLA-ból készült designertermékeket kínál. A termékeket a Hollow Design Club márkanév alatt forgalmazzuk, különös tekintettel a vendéglátás, belsőépítészet és ajándéktárgy-gyártás igényeire. A kutatás célja, hogy technológiai és piaci oldalról is hozzájáruljon a PLA újrahasznosításának skálázhatóságához és gyakorlati elterjedéséhez.

László Vaskeba

2025

Product management and marketing master programme

University of Sopron

Alexandre Lamfalussy Faculty of Economics

Supervisor: Dr. Éva Bednárík

associate professor

The Process and Potential of Plastic Waste Recycling in the Modern Economy

A műanyaghulladék újrahasznosításának folyamata és lehetőségei a modern gazdaságban

The rapid growth of 3D printing technology has revolutionized customized manufacturing across various industries. While offering significant benefits—such as material efficiency, low-cost prototyping, and design flexibility—this technology also generates increasing amounts of plastic waste, which currently lacks a widely adopted recycling solution. This thesis explores the recycling potential of PLA-based 3D printing waste, with a focus on enhancing printability and material quality through a custom-developed filtration device.

A key contribution of this research is the design and production of a modular filter system capable of removing foreign contaminants from molten PLA during the extrusion process. The resulting recycled filament was subjected to comprehensive material testing, including MFI measurements, tensile, impact, bending, and CT/SEM analysis. The goal was to determine the optimal filter fineness that balances efficient contaminant removal with safe extrusion pressure, while maintaining mechanical integrity and dimensional accuracy of printed parts.

Beyond the technical focus, this study also addresses the commercial feasibility of recycled PLA products. A questionnaire-based market research was conducted among hospitality businesses in Győr-Moson-Sopron County to assess their openness to using eco-friendly, recycled designer products. The results highlight a growing demand for sustainable and aesthetically unique interior design solutions in the hospitality sector.

The practical background of the thesis is supported by the author's own startup, EcoFab3D, which specializes in recycled PLA-based design products. These are marketed under the brand name Hollow Design Club, targeting cafés, restaurants, and other businesses seeking environmentally conscious yet stylish solutions. This thesis aims to contribute to the scalability and market integration of recycled PLA through both technological innovation and strategic market positioning.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	1
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	2
2.1. ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA	2
2.2. ÚJRAHASZNOSÍTÁS NEHÉZSÉGEI	3
2.3. PLA ÚJRAHASZNOSÍTÁS ÉS HATÁSAI	4
3. A VENDÉGLÁTÓEGYSÉGEK SZEREPE A MODERN GAZDASÁGBAN	6
3.1. A VENDÉGLÁTÁS MAGYARORSZÁGON	7
3.2. A VENDÉGLÁTÁS SAJÁTOSSÁGAI GYŐR-MOSON-SOPRON MEGYÉBEN.....	8
4. SZEKUNDER KUTATÁS	9
4.1. PIACI KIHÍVÁSOK KUTATÁSA	9
4.2. KÍSÉRLETI TERV	10
4.3. FOLYAMAT LEÍRÁSA	11
4.4. SZÜRŐBERENDEZÉS TERVEZÉSE ÉS GYÁRTÁSA	12
4.5. SZÜRÉS HATÁSA AZ EXTRUDÁLÁSI FOLYAMATRA	13
4.6. SZÜRÉS HATÁSA A NYOMTATHATÓSÁGRA	15
4.6.1. MFI vizsgálat.....	15
4.6.2. Filament és próbatestek méretpontossága	16
4.7. SZÜRÉS HATÁSA AZ ANYAGTULAJDONSÁGOKRA	18
4.7.1. Űtővizsgálat.....	19
4.7.2. Szakítóvizsgálat	20
4.7.3. Hajlítóvizsgálat	21
4.7.4. CT vizsgálat.....	21
4.7.5. SEM vizsgálat.....	24
5. ÚJRAHASZNOSÍTÁSI TRENDEK ÉS PIACRAVITELI LEHETŐSÉGEK AZ ÚJRAHASZNOSÍTOTT PLA ALAPANYAGOK VONATKOZÁSÁBAN	26
6. KÉRDŐÍVES KUTATÁS – ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEK	29
6.1. A MINTA ÖSSZETÉTELE ÉS REPREZENTATIVITÁSA	29
6.2. A VENDÉGLÁTÓEGYSÉGEK MÉRETE.....	30
6.3. KÖRNYEZETTUDATOSSÁG MEGÍTÉLÉSE, ÚJRAHASZNOSÍTOTT ANYAGOK JELENLEGI HASZNÁLATA .	31
6.4. A PLA TERMÉKEK ISMERTSÉGE ÉS PIACI FOGADÓKÉSZSÉGE	32
6.5. BESZERZÉSI DÖNTÉSEK FŐ SZEMPONTJAI.....	33
6.6. HELYI GYÁRTÁSÚ PLA TERMÉKEK IRÁNTI ÉRDEKLŐDÉS	34
7. KÉRDŐÍVES KUTATÁS – TERMÉKORIENTÁLT KÉRDÉSEK.....	36
7.1. SZALVÉTATARTÓ.....	36
7.2. VÁZA.....	38
7.3. LÁMPABÚRA.....	40
7.4. AKUSZTIKAI PANEL	41
7.5. A KÉRDŐÍV NYITOTT KÉRDÉSÉNEK RÉSZLETES ELEMZÉSE	42
7.5.1. Pozitív fogadtatás és lelkesedés.....	43

7.5.2	<i>Funkcionalitással kapcsolatos megfontolások</i>	43
7.5.3	<i>Tájékoztatási hiányosságokra utaló észrevételek</i>	44
7.5.4	<i>További kreatív javaslatok</i>	44
8.	EREDMÉNYEK ÉS KONKLÚZIÓ	45
8.1.	SZÜRÉS HATÁSA AZ EXTRUDÁLÁSI FOLYAMATRA	45
8.2.	SZÜRÉS HATÁSA A NYOMTATHATÓSÁGRA	46
8.3.	SZÜRÉS HATÁSA AZ ANYAGTULAJDONSÁGOKRA	46
8.4.	A VÉGFELHASZNÁLÓI VISSZAJELZÉSEK SZEREPE AZ OPTIMALIZÁLÁSBAN	47
8.5.	EREDMÉNYEK ÖSSZEGZÉSE	48
8.6.	TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK	49
	IRODALOMJEGYZÉK	51
	MELLÉKLETEK	I
1.	SZ. MELLÉKLET: 3D CT FELVÉTEL	II
2.	SZ. MELLÉKLET: 2D CT FELVÉTEL	III
3.	SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZÜRÉS: 200 MESH)	IV
4.	SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZÜRÉS: 120 MESH)	V
5.	SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZÜRÉS: 80 MESH)	VI
6.	SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZÜRÉS: 60 MESH)	VII
7.	SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZÜRÉS: 40 MESH)	VIII
8.	SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZÜRÉS: 20 MESH)	IX
9.	SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZÜRÉS: NINCS SZÜRÉS)	X
10.	SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 01	XI
11.	SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 02	XII
12.	SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 03	XIII
13.	SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 04	XIV
14.	SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 05	XV
15.	SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 06	XVI
16.	SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 07	XVII
17.	SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 08	XVIII
18.	SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 09	XIX
19.	SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 10	XX
20.	SZ. MELLÉKLET: EXTRUDÁLÁSI FOLYAMAT	XXI
21.	SZ. MELLÉKLET: FUTÓSZALAGOS HŰTÉS	XXII
22.	SZ. MELLÉKLET: GRANULÁLÁSI MŰVELET	XXIII
23.	SZ. MELLÉKLET: FILAMENT GYÁRTÁS	XXIV
24.	SZ. MELLÉKLET: SZŰRŐ HASZNÁLAT UTÁN	XXV

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Az additív gyártástechnológia módjainak sematikus ábrázolása	3
2. ábra: PLA újrahasznosítási ciklusainak vizsgálata.....	4
3. ábra: A nyomtatott terméket befolyásoló tényezők.....	5
4. ábra: Vendéglátóhelyek száma a 2023-as KSH adatok alapján	7
5. ábra: Vendéglátóegységek száma Győr-Moson Sopron vármegyében a 2023-as KSH adatok alapján.....	8
6. ábra: Újrahasznosítás folyamata	11
7. ábra: Kísérleti szűrőberendezés összeszerelési vázlata	13
8. ábra: Exp.1 idő-nyomás diagram	14
9. ábra: Nyomásnövekedés meredeksége a MESH érték függvényében.....	15
10. ábra: MFI kísérlet eredményei	15
11. ábra: Nyomtatási szálak méretpontossága.....	16
12. ábra: Nyomtatott próbadarabok méretpontossága	17
13. ábra: Csoportátlagok közötti szignifikáns eltérés: a) Filament átmérő vizsgálata, b) Próbatest szélességének vizsgálata	18
14. ábra: Szennyező a szűretlen nyomtatási szálban	18
15. ábra: Fajlagos ütemmunkák átlaga a mesh érték függvényében	19
16. ábra: Szakítószilárdság és rugalmassági modulus a MESH szám függvényében	20
17. ábra: Szakítóvizsgálat próbatestek és eredmények értékelés Exp1 esetében	20
18. ábra: Hajlítóvizsgálat eredménye.....	21
19. ábra: Hajlító próbatestek és a hajlítóvizsgálat eredménye Exp1 esetében	21
20. ábra: A szennyezők eloszlása 3D nézetben és metszeti képen.....	22
21. ábra: Szennyezők PCA2 méretének eloszlása a különböző szűrések esetében.....	23
22. ábra: Szennyezők méret szerinti eloszlása a szűretlen minta esetében	23
23. ábra: CT vizsgálat eredményeinek összegzése.....	24
24. ábra: SEM kép: Szennyezéstől mentes nyomtatási szerkezet.....	24
25. ábra: SEM kép: Szennyezők a töretfelületen	25
26. ábra: SEM kép: Szálszerű idegenanyagok	25
27. ábra: Vizsgált vendéglátóegységek típusai	29
28. ábra: Vendéglátóegységek befogadóképességének százalékos eloszlása	30
29. ábra: Környezettudatosság a vizsgált vendéglátóegységek körében	31
30. ábra: Az újrahasznosított PLA-ból készült termékek használatára való hajlam százalékos megoszlása a vendéglátóegységek körében	32
31. ábra: Vásárlást befolyásoló tényezők.....	33
32. ábra: PLA termékek helyi gyártása iránti kereslet vendéglátóhelyeken.....	34
33. ábra: Újrahasznosított PLA-ból készült szalvétatartó	37
34. ábra: Szalvétatartó értékelése a vizsgált vendéglátóhelyek körében	37
35. ábra: Újrahasznosított politejsavból készült váza	39
36. ábra: Vendéglátóhelyek fizetési hajlandósága helyi gyártású PLA vázáért.....	39
37. ábra: Újrahasznosított PLA-ból készült lámpabúra	40
38. ábra: Akusztikai panel.....	41
39. ábra: Fizetési hajlandóság újrahasznosított akusztikai panelek iránt	42
40. ábra: Optimális szűrőbetét keresése	49

1. BEVEZETÉS

A 3D nyomtatás mára az egyedi gyártás egyik legmeghatározóbb technológiájává nőtte ki magát. Előnyei – mint az anyagtakarékosság, gyors prototípusgyártás és alacsony költség – miatt mind a hobbi-, mind az ipari szektorban rendkívül népszerű. Ugyanakkor a nyomtatási folyamat melléktermékeként nagy mennyiségű műanyag hulladék keletkezik, amelynek újrahasznosítása jelenleg nem megoldott széles körben. Magyarországon évi több tonnányi ilyen jellegű hulladék keletkezik, amely gyakran keverten, szennyeződve kerül begyűjtésre, jelentősen megnehezítve a hatékony feldolgozást.

Dolgozatom célja, hogy a valós piaci környezetből származó, kevert PLA hulladékból kiindulva olyan újrahasznosítási eljárást dolgozzak ki, amely technológiai szempontból is életképes, és megfelel a gyakorlati alkalmazhatóság követelményeinek. Ennek érdekében kifejlesztettem és legyártottam egy saját tervezésű, moduláris szűrőberendezést, amely az extrúziós folyamat során képes kiszűrni az idegen anyagokat az ömledékből. A gyártott filamenteket különböző anyagvizsgálatoknak vetettem alá annak érdekében, hogy feltérképezsem a szűrés hatását a nyomtathatóságra és az anyagtulajdonságokra.

A kutatás nem csupán technológiai irányból közelíti meg a problémát. A dolgozat gyakorlati részében saját kérdőíves kutatást végeztem a Győr-Moson-Sopron vármegyei vendéglátóegységek körében, hogy feltérképezsem, mennyire nyitottak az újrahasznosított PLA-ból készült designtermékek alkalmazására. A vendéglátóipar ugyanis nemcsak jelentős térformáló hatással bír, hanem az egyik legdinamikusabban fejlődő szolgáltatási szektor, ahol a fenntarthatóság, az esztétikum és az egyediség kézzelfogható versenyelőnyt jelenthet.

A kutatás során szerzett eredményeket saját startup vállalkozásomban, az EcoFab3D-ben is hasznosítani kívánom. A vállalkozás célja újrahasznosított PLA-ból készült design termékek fejlesztése és gyártása, amelyeket a Hollow Design Club márkanév alatt kínálunk vendéglátóhelyek, belsőépítészek és környezettudatos vásárlók számára. Dolgozatom tehát nemcsak elméleti és technológiai megközelítést alkalmaz, hanem piacképes, valós termékfejlesztési és piacraviteli lehetőségeket is bemutat.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

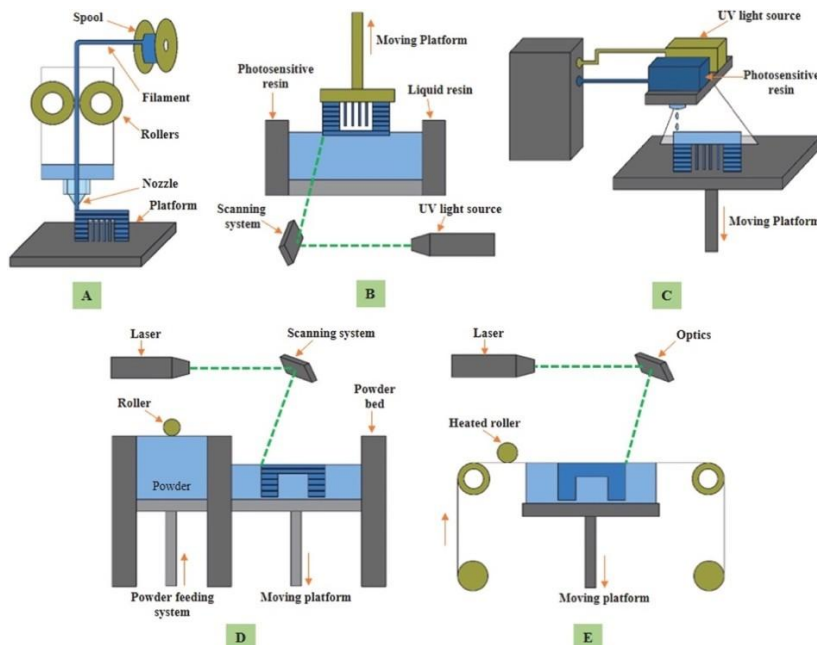
Ebben a főfejezetben az irodalmi áttekintésemet részletezem. Elsőként bemutatom az additív gyártás lehetőségeit. Ezt követően bemutatom a polimer újrahasznosítás nehézségeit, fókuszálva a PLA alapú hulladékok feldolgozására.

2.1. ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA

Az additív gyártástechnológia az elmúlt évtizedben nagy fejlődésen ment keresztül és népszerűségének növekedése máig töretlen. A technológiát a mérnöki területeken túl számos más iparágban is alkalmazzák, mint például: orvostudomány, divat, oktatás. A 3D nyomtatás előnyeik közé tartozik, hogy nagy tervezési szabadságot biztosít, hiszen rendkívül bonyolult alakzatok valósíthatóak meg rövid időn belül, mindez anyagtakarékos gyártás mellett. [1]

Az additív gyártástechnológiának több alfajtája is létezik, melyek eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek a nyomtatható anyag és a végtermék minőségét illetően. Az egyik legelterjedtebb technika, ipari és hobbi szinten egyaránt, a Fused Deposition Modeling (továbbiakban: FDM), amely lényege a rétegek egymásra építése, hőre lágyuló műanyag szál extrudálása segítségével (lásd 1. ábra A rész). Az additív gyártástechnológiák közül ez a legköltséghatékonyabb. A PolyJet technológia a hagyományos tintasugaras nyomtatók működéséhez hasonlítható a legjobban. A működésének alapja, hogy a nyomtatófejek fotopolimert csepegtetnek a munkalapra, majd azt ultraviola fény segítségével térhálósítják (lásd 1. ábra C rész). A PolyJet nyomtatás lehetővé teszi a sima felületű, többszínű precíziós prototípusok gyártását, így előszeretettel alkalmazzák protézisek és implantátumok gyártásához. Egy másik additív gyártástechnológiai módszer a sztereolitográfia (továbbiakban: SLA). A technológia alapját képezi a gyanta alapanyag, melyet egy pásztázó lézersugár térhálósít ki (lásd 1. ábra B rész). A továbbfejlesztett modellekben az adott rétegek szilárdítása akár egyidejűleg is történhet. A módszer rendkívül anyagtakarékos, hiszen a termék elkészítését követően a felesleges folyékony gyanta lecsöpög a tartályba, így a továbbiakban felhasználható marad. További 3D nyomtatási megvalósítás a Selective Laser Sintering (továbbiakban SLS). A technológia különlegessége, hogy ebben az esetben szál és gyanta helyett, por alapanyag kerül felhasználásra. A porszemcsék összeolvasztása lézernyaláb segítségével történik (lásd 1. ábra D rész). Az SLA technológiához hasonlóan, a felesleges anyag eltávolítható a kész darabról, azonban a tisztítási folyamat körülményes lehet. Az FDM technológiával szemben, a por alapanyag miatt, itt további munkavédelmi intézkedésekre van szükség. Az ötödik additív gyártástechnológiai módszer a Laminated Object Manufacturing (továbbiakban: LOM) technika. A LOM alapja, hogy vékony lapokat hővel egymáshoz

ragasztanak, valamint a termék kontúrja kivágásra kerül egy lézer segítségével (lásd 1. ábra E rész). Ez a módszer meglehetősen lassú nyomtatást tesz lehetővé, továbbá anyagpazarló is. [1]



1. ábra: Az additív gyártástechnológia módjainak sematikus ábrázolása

Forrás: M.A. Islam (2024) p. 4.

A továbbiakban csak az FDM nyomtatási technológiával foglalkozok, hiszen legszélesebb körben ez a módszer terjedt el.

2.2. ÚJRAHASZNOSÍTÁS NEHÉZSÉGEI

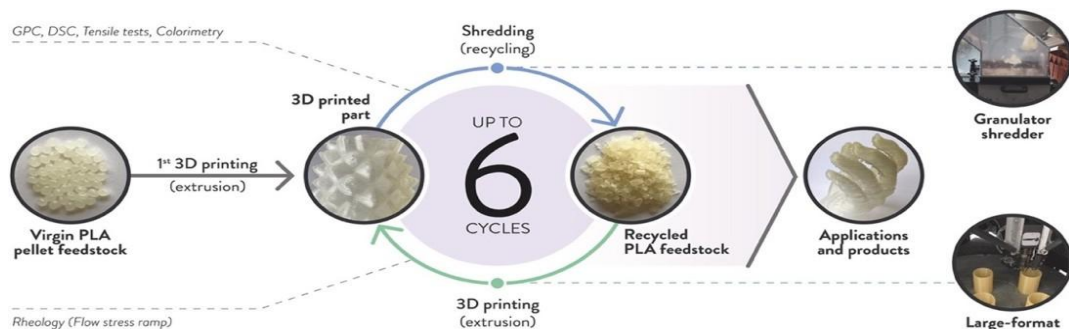
Az újrahasznosított anyagok minőségének értékelésénél több szempont figyelembevételre is szükséges lehet. Szakirodalmakban széles körben találhatunk vizsgálatokat az említett témában. Fontos szempont a minta keveredési foka továbbá azokban jelenlévő idegenanyagok mennyisége. Továbbá a szennyeződések jelenléte negatív hatással lehetnek a feldolgozott polimer mechanikai tulajdonságaira. A polimerek anyagszerkezete az újrahasznosítási folyamat során termomechanikai degradációt szenved el. Ebben az esetben számos anyagvizsgálati módszert kell alkalmazni a mechanikai és anyagszerkezeti tulajdonságok változásának a meghatározására. Az említett szempontokat értékelve következtetéseket lehet levonni a feldolgozott polimer életciklusára, továbbá felhasználhatóságára adott gyártási műveletek során. [2], [3]

A szakirodalmakban kidolgozott folyamatok és eljárások mindegyike azzal a kritériummal él, hogy a kiinduló anyag szűz polimer, így az egyik legfontosabb szempont vizsgálatára nem kerül sor, ami a kevertégi fok, illetve a szennyezők hatásának a vizsgálata az újrahasznosított polimerre. [2]–[4]

2.3. PLA ÚJRAHASZNOSÍTÁS ÉS HATÁSAI

Az FDM nyomtatáshoz használt egyik legelterjedtebb anyag a politejsav (továbbiakban: PLA), mely biológiailag lebomló polimer. A PLA széles körben használható használati tárgyak elkészítéséhez, valamint az újrahasznosítási folyamata is kivitelezhető. [2], [3]

Az újrahasznosított PLA potenciális alternatívát kínál a gyári PLA anyagokkal szemben. Az újrahasznosított anyagból készült termékek a környezeti szempontokat figyelembe véve mindenképp pozitív hatású, azonban az alapanyag többszöri feldolgozása a mechanikai tulajdonságok romlását, így a végtermék alacsonyabb minőségét okozhatja. Ebben a vonatkozásban fontos információ lehet, hogy egy adott műanyagot hányszor lehet újból feldolgozni, míg a mechanikai tulajdonságai nem kezdenek el drasztikusan romlani. Kísérletekben már vizsgálták a PLA újrahasznosítási ciklusai hatására bekövetkező anyagminőség romlást a következő kísérleti folyamattal: darálás, extrudálás 3D nyomtatóval, majd az anyagvizsgálati műveletek (lásd 2. ábra). Fontos azonban, hogy a kísérletben granulátumos nyomtatót alkalmaztak, így a filamenthúzásnál történő újabb ömlesztéstől megkímélve az alapanyagot. A kiinduló granulátum szűz PLA volt. A kísérletekből megállapították, hogy az újrahasznosítási ciklusok számának növekedésével egyre nagyobb mértékű az anyag molekulatömegének a csökkenése. A kiindulási mintához képest a hatodik ciklust követően felére csökkent a molekulatömeg. Ezzel szemben, az anyag termikus tulajdonságai a feldolgozási ciklusok következtében alig változtak meg. A kezdeti anyaghoz képest a hatos mintánál, mindössze 2,3°C-kal csökkent az olvadási hőmérséklet. Azonban az entalpiaváltozás nagy növekedést mutat a ciklusok növelésével. A különböző ciklusokból származó alapanyaggal 3D nyomtatási próbát is végeztek. A nyomtatásokból megállapítható, hogy a darabok minősége meglehetősen egyenletesen alakult, azonban a kezdeti áttetsző színű darab sárga, barna árnyalatúvá alakult.[4], [5], [6]



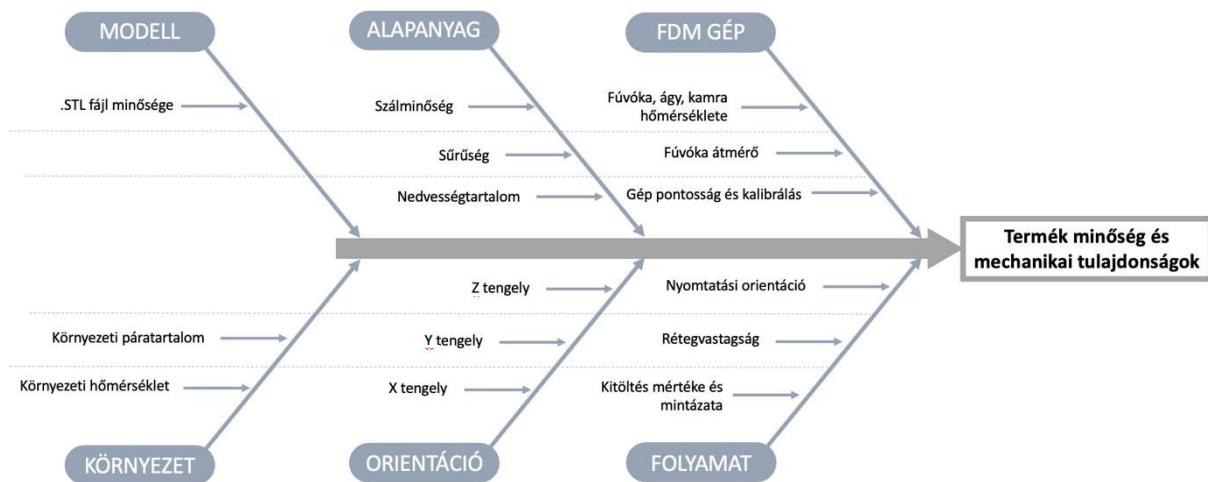
2. ábra: PLA újrahasznosítási ciklusainak vizsgálata

Forrás: A. Romani (2024) p. 25.

Az irodalomban bemutatott kutatás részletesen elemzi a PLA termomechanikai degradációját az egyes újrahasznosítási ciklusokat követően. A kísérletek alapján meghatározták, hogy egyszerű formák nyomtatásához maximum öt, bonyolultabb geometriák esetében maximum

három újrahasznosítás ciklusig használható az anyag, a minőség túlzott romlása nélkül. Az irodalomban vizsgált eset azonban nagyon specifikus. A hulladékok gyűjtésénél ritkán fordul elő, hogy a hulladékkeverék összetevői megegyező ciklusszámmal rendelkeznek. Így a kutatás kiterjesztése fontos lehet a kevert hulladékok vizsgálatára is (különböző ciklusszámú PLA hulladékok összekeverése és a kialakuló anyagtulajdonságok vizsgálata) az újrahasznosítási folyamat skálázhatósága szempontjából. [4]

Az FDM nyomtatók rendkívül sok beállítási lehetőséget kínálnak, így a kialakult anyagtulajdonságokat a nyomtatási paraméterek is nagymértékben befolyásolják. A nyomtatott darab minőségére hatással van a nyomtatási hőmérséklet, ágyhőmérséklet, a nyomtatás orientációja, a kitöltés mértéke és mintája, a nyomtatási rétegvastagság és még sok más egyéb paraméter (lásd 3. ábra).[7]



3. ábra: A nyomtatott terméket befolyásoló tényezők

Forrás: M. Bhayana (2023) p. 4.

Több kutatásban is megállapították, hogy a nyomtatási orientáció, valamint a nyomtatási hőmérséklet kritikus fontosságúak a kialakuló darab tulajdonságai szempontjából. A magasabb nyomtatási hőmérsékletnek köszönhetően a megszilárdulás folyamata lassabban zajlik le, amely a rétegek közötti kötések minőségének a javulását okozza. Az x tengellyel 90°-os szöget bezáró nyomtatási irányultság bizonyult a legkedvezőbbnek, 0°-nál voltak a legalacsonyabbak a mechanikai tulajdonságok. A kitöltési mintázatot illetően, PLA esetében megállapították, hogy a háromszög alakú kitöltési mintázattal készült próbatesteknek nagyobb a teherbíró képessége, összehasonlítva a tri-hexagon és a koncentrikus kitöltési mintákkal. [8]–[10]

3. A VENDÉGLÁTÓEGYSÉGEK SZEREPE A MODERN GAZDASÁGBAN

A vendéglátás a modern gazdaság egyik meghatározó ágazata, amely nem csupán a turizmushoz és a szolgáltatási szektorhoz kapcsolódik szorosan, hanem komplex gazdasági, társadalmi és kulturális szerepet is betölt. Funkciója messze túlmutat az ételek és italok kiszolgálásán: közösségi terek működtetéséről, kulturális élmények közvetítéséről, munkahelyteremtésről és gazdasági értékteremtésről van szó. A vendéglátás minden ország gazdaságának szerves része, különösen az urbanizált, idegenforgalom által is erősen érintett régiókban, ahol turisztikai, társadalmi és környezeti hatásai is jelentősek.[11]

Az európai kontinensen a vendéglátóipar a szolgáltatási szektor egyik legnagyobb alágazataként van jelen. Az Eurostat 2023-as adatai szerint Európában több mint 2,3 millió vendéglátóegység működik, amelyek összesített éves árbevétele meghaladja az 1,1 billió eurót. Az ágazat több mint 11 millió főnek biztosít munkalehetőséget, és különösen fontos szerepet játszik a fiatalok, pályakezdők, illetve a részmunkaidőben dolgozók foglalkoztatásában. A vendéglátóegységek típusát tekintve az éttermek, kávézók, bárók, gyorséttermek, catering szolgáltatók, valamint a különböző rendezvény- és szálláshelyekhez kapcsolódó étkezési lehetőségek alkotják a legnagyobb részt.

A vendéglátóipar ágazati struktúrája ugyanakkor erősen tagolt. Egyrészt megfigyelhetjük a globális láncok és multinacionális étteremhálózatok jelenlétét, másrészt ugyanilyen fontos szerepet játszanak a kis- és középvállalkozások, családi tulajdonban lévő, helyi kötődésű vendéglátóhelyek. Az ágazat érzékenyen reagál a gazdasági és társadalmi változásokra: a turizmus alakulása, az infláció, a fogyasztói szokások módosulása, valamint a munkaerőpiaci helyzet mind közvetlen hatást gyakorolnak a működésére.

Az elmúlt évtized különösen dinamikus időszakot hozott a vendéglátás számára. A COVID-19 járvány világszinten sújtotta az ágazatot, ám a krízishelyzet egyben új típusú alkalmazkodási formákat is hozott magával. Az éttermek és bárók jelentős része digitalizációs fejlesztésekkel, házhoz szállítási modellek bevezetésével, valamint a higiéniai és környezeti fenntarthatóság iránti fokozott érzékenységgel válaszolt az új kihívásokra. Ezzel párhuzamosan a fogyasztói magatartás is változott: a vendégek egyre inkább keresik a különleges, személyre szabott, fenntartható élményeket, és értékelik azokat a vendéglátóhelyeket, amelyek nemcsak a termék, hanem a környezet és a szolgáltatás szintjén is minőséget képviselnek.[12], [13]

A modern vendéglátásban egyre hangsúlyosabbá válik a design, a technológiai innováció és a környezettudatosság. A vendégtér, mint térélmény, ma már nem csupán funkcionális, hanem emocionális élményforrás is: fontos szerepet játszik a hangulat, az esztétikum, az akusztikai komfort és az anyaghasználat. Ebben a kontextusban a környezetbarát alapanyagok, az

újrahasznosított bútorok, az energiahatékony berendezések és az egyedi arculatot közvetítő terek komoly versenyelőnyt jelenthetnek.[14]

3.1. A VENDÉGLÁTÁS MAGYARORSZÁGON

Magyarországon a vendéglátás hosszú múltra tekint vissza, és mára az ország egyik legjelentősebb szolgáltatási szektora. A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) 2023-as adatai szerint az országban mintegy 44 000 vendéglátóegység működik, amelyek együttesen évi több száz milliárd forintos árbevételt generálnak. Az ágazatban közvetlenül több mint 120 000 ember dolgozik, míg a kapcsolódó iparágak révén ennél is nagyobb a gazdasági hatása – ide tartoznak például az élelmiszer-beszállítók, bútorgyártók, takarítócégek, logisztikai partnerek. A korábban leírt adatokat a 4. ábra szakszerűen bemutatja.



27.2.2.3. A vendéglátóhelyek száma vármegye és régió szerint

Területi egység		2020.		2021.		2022.		2023.	
neve	szintje	június 30.	december 31.	június 30.	december 31.	június 30.	december 31.	június 30.	december 31.
Vendéglátóhelyek összesen									
Budapest	főváros, régió	10 764	10 601	10 243	9 781	9 749	9 564	9 339	9 115
Pest	vármegye, régió	4 994	4 949	4 846	4 660	4 713	4 625	4 522	4 409
Közép-Magyarország	nagyregió	15 758	15 550	15 089	14 441	14 462	14 189	13 861	13 524
Fejér	vármegye	1 910	1 881	1 827	1 791	1 769	1 761	1 690	1 676
Komárom-Esztergom	vármegye	1 508	1 478	1 455	1 461	1 446	1 407	1 376	1 342
Veszprém	vármegye	2 616	2 587	2 592	2 535	2 529	2 460	2 455	2 387
Közép-Dunántúl	regió	6 034	5 946	5 874	5 787	5 744	5 628	5 521	5 405
Győr-Moson-Sopron	vármegye	2 523	2 521	2 491	2 476	2 467	2 433	2 388	2 310
Vas	vármegye	1 448	1 443	1 441	1 451	1 445	1 415	1 362	1 340
Zala	vármegye	1 794	1 773	1 766	1 724	1 764	1 749	1 710	1 654
Nyugat-Dunántúl	regió	5 765	5 737	5 698	5 651	5 676	5 597	5 460	5 304
Baranya	vármegye	1 926	1 901	1 795	1 763	1 771	1 769	1 716	1 693
Somogy	vármegye	2 482	2 438	2 426	2 351	2 368	2 290	2 218	2 159
Tolna	vármegye	1 053	1 036	975	968	968	955	920	920
Dél-Dunántúl	regió	5 461	5 375	5 196	5 082	5 107	5 014	4 854	4 772
Dunántúl	nagyregió	17 260	17 058	16 768	16 520	16 527	16 239	15 835	15 481
Borsod-Abaúj-Zemplén	vármegye	3 067	3 046	3 004	2 986	2 955	2 889	2 788	2 721
Heves	vármegye	1 645	1 616	1 571	1 528	1 546	1 529	1 515	1 493
Nógrád	vármegye	827	821	800	800	807	795	785	769
Észak-Magyarország	regió	5 539	5 483	5 375	5 314	5 308	5 213	5 088	4 983
Hajdú-Bihar	vármegye	2 162	2 146	2 089	2 076	2 060	2 009	1 968	1 976
Jász-Nagykun-Szolnok	vármegye	1 638	1 619	1 553	1 523	1 537	1 518	1 519	1 492
Szabolcs-Szatmár-Bereg	vármegye	2 297	2 270	2 206	2 143	2 130	2 071	2 035	1 990
Észak-Alföld	regió	6 097	6 035	5 848	5 742	5 727	5 598	5 522	5 458
Bács-Kiskun	vármegye	2 452	2 408	2 343	2 299	2 229	2 194	2 177	2 120
Békés	vármegye	1 711	1 668	1 623	1 572	1 546	1 511	1 479	1 424
Csongrád-Csanád	vármegye	2 015	1 988	2 013	2 036	2 029	2 003	1 952	1 914
Dél-Alföld	regió	6 178	6 064	5 979	5 907	5 804	5 708	5 608	5 458
Alföld és Észak	nagyregió	17 814	17 582	17 202	16 963	16 839	16 519	16 218	15 899
Ország összesen	ország	50 832	50 190	49 059	47 924	47 828	46 947	45 914	44 904

4. ábra: Vendéglátóhelyek száma a 2023-as KSH adatok alapján

Forrás: KSH (2023) alapján

A vendéglátóhelyek többsége mikro- és kisvállalkozás formájában működik, jellemzően családi tulajdonban. Az egységek jelentős része az alábbi három fő típusba sorolható:

- Étkezőhelyek – éttermek, bisztrók, kifőzdék, melyek az összes egység kb. 60%-át teszik ki.
- Italfogyasztó helyek – kávézók, borbárok, bárók (kb. 25%).

- Rendezvény- és alkalmi vendéglátás – catering szolgáltatók, mozgó éttermek (kb. 15%).

A vendéglátás a turizmus egyik alappillére, különösen Budapesten és a Balaton környékén, azonban az elmúlt években egyre nagyobb figyelmet kapnak a vidéki térségek is, ahol a helyi alapanyagokra, kulturális értékekre és egyedi gasztronómiai kínálatra épülő koncepciók egyre népszerűbbek.

3.2. A VENDÉGLÁTÁS SAJÁTOSSÁGAI GYŐR-MOSON-SOPRON MEGYÉBEN

Győr-Moson-Sopron megye különleges helyet foglal el a magyar vendéglátóipar térképén. Földrajzi elhelyezkedése – az osztrák és szlovák határ közelsége –, fejlett gazdasági infrastruktúrája, valamint kulturális öröksége révén kiemelkedő idegenforgalmi és gasztronómiai potenciállal rendelkezik. A régió három nagyvárosa – Győr, Sopron és Mosonmagyaróvár – jelentős turisztikai vonzerővel bír, mind belföldi, mind külföldi látogatók körében.

A megye vendéglátóhelyeinek száma 2023-ban meghaladta a 2 300 egységet, amelyek nagy része Győrben és Sopronban működik. Ezek között megtalálhatók a hagyományos magyar éttermek, fine dining egységek, modern bisztrók, kávézók, borozók stb., melyek mintegy 57,5%-át éttermek, büfék és gyorséttermek teszik ki, azaz összesen 1 302 működő egységről beszélhetünk ebben a kategóriában. A cukrászdák a vendéglátóhelyek 9,4%-át képviselik (212 egység), míg az italüzletek, kávézók, bárók, pubok és zenés-táncos szórakozóhelyek 749 egységgel a teljes kínálat 33,1%-át adják. A régió vendéglátópiaca dinamikusan fejlődik, amit jól jelez, hogy évről évre új egységek nyílnak, gyakran innovatív koncepcióval vagy tematikával.



27.2.2.3. A vendéglátóhelyek száma vármegye és régió szerint

Területi egység		2020.		2021.		2022.		2023.	
neve	szintje	június 30.	december 31.	június 30.	december 31.	június 30.	december 31.	június 30.	december 31.
Vendéglátóhelyek összesen									
Közép-Magyarország	nagyregió	15 758	15 550	15 089	14 441	14 462	14 189	13 861	13 524
Fejér	vármegye	1 910	1 881	1 827	1 791	1 769	1 761	1 690	1 676
Komárom-Esztergom	vármegye	1 508	1 478	1 455	1 461	1 446	1 407	1 376	1 342
Veszprém	vármegye	2 616	2 587	2 592	2 535	2 529	2 460	2 455	2 387
Közép-Dunántúl	régió	6 034	5 946	5 874	5 787	5 744	5 628	5 521	5 405
Győr-Moson-Sopron	vármegye	2 523	2 521	2 491	2 476	2 467	2 433	2 388	2 310

5. ábra: Vendéglátóegységek száma Győr-Moson Sopron vármegyében a 2023-as KSH adatok alapján

Forrás: KSH (2023) alapján

Az utóbbi években egyértelműen érzékelhető a vendégek részéről megnyilvánuló igény a különleges térélményre, a minőségi környezetre és a környezettudatos működésre. A megyében egyre több vendéglátóhely fektet hangsúlyt arra, hogy enteriőrje egyedi, természetes anyagokkal és újrahasznosított elemekkel legyen kialakítva. Az egyedi dizájn, a lokálisan készült bútorok és dekorációs elemek nemcsak vizuális élményt nyújtanak, hanem erősítik a vendég lojalitását, hiszen a tudatos fogyasztók értékelik a fenntartható és helyi megoldásokat.

4. SZEKUNDER KUTATÁS

Ebben a főfejezetben a kutatásom részleteit fejtem ki. Először a piackutatásomat mutatom be a 3D nyomtatott hulladékok kapcsolatában, majd a hipotézisem vázolása következik. Ezt követően a kutatásom menetét részletezem, majd az újrahasznosítási folyamatot mutatom be részletesen. A dolgozatom kulcseleme a kísérleti szűrőberendezés, így annak tervezési és gyártási lépéseit is részletezem. Mindezek után kifejtem a mérési eredményeimet és következtetéseket vonok le a szűrés hatásairól.

4.1. PIACI KIHÍVÁSOK KUTATÁSA

A 3D nyomtatás során keletkező hulladékok újrahasznosítása során nagy kihívást jelent a feldolgozni kívánt minta meghatározása, ugyanis ezen hulladékok szétválasztása többféle módon is történhet. Piackutatásom alapján négy csoportot határoztam meg a szelektálás mértékének függvényében. Az első kategóriába esnek azok a személyek, akik egyáltalán nem választják szét a műanyag hulladékokat, így egyazon mintába kerülhet többféle műanyag is. A következő, második csoportba tartoznak azok, akik anyagtípust megkülönböztetve szelektálják a 3D nyomtatási hulladékot, így egy mintába például csakis PLA hulladék fog belekerülni. A harmadik csoportba soroltam azokat a személyeket, akik az adott műanyagfajtán belül szín szerint is megkülönböztetik a hulladékot, továbbá a negyedik csoportban már az anyagtulajdonságokat is figyelembe veszik. 3D nyomtatási szolgáltatásokkal folytatott interjúim során kiderült, hogy a saját folyamataikba a második csoportban bemutatott szelektálási módot tudnák leginkább implementálni. A szín szerinti különválogatás már nagyobb energiaráfordítást igényelne a vállalkozások részéről, továbbá az anyagtulajdonság szerinti (vagy márka szerinti) szelektálást nem találták megvalósíthatónak.

Ebben a tanulmányban az újrahasznosítani kívánt mintáim a kettes csoportban meghatározott személyektől származik, így az műanyag fajtája csakis PLA, azonban a különböző színű és anyagtulajdonságú hulladékok keverednek.

Jelen tanulmányban minden olyan anyagot szennyeződésnek, idegen anyagnak nevezek, melyek eltérőek a PLA-tól, hiszen csakis a PLA újrahasznosítási lehetőségét vizsgálom. A gyűjtés és a szétválogatási folyamatban szinte elkerülhetetlen, hogy szennyeződések kerüljenek a PLA műanyaghoz (például fémes szennyezők, fa, szövet, szerves anyagok). Továbbá az extrudálási folyamat során előfordulhat, hogy a csigákról válnak le olyan anyagok, amelyeket egy korábbi kísérletben, gyártásban alkalmaztak, annak ellenére, hogy utána ki lett járátva, tisztítva az extrúder. Ezek az idegenanyagok befolyásolhatják a gyártandó filament minőségét.

Ennek okán meghatározó lehet egy ömledékszűrő berendezés alkalmazása, amely az előbb említett szennyeződések szűri ki.

4.2. KÍSÉRLETI TERV

A dolgozatom fókuszában a PLA alapú 3D nyomtatából származó hulladék újrahasznosítási folyamatának optimalizálása áll. Az eddigi kutatásokkal ellentétben a kiinduló alapanyag nem szűz polimer, hanem a PLA nyomtatási hulladékok kevert formában. Az anyagok válogatása során nehézkes, hogy a PLA-tól eltérő anyagok ne kerüljenek a darálékba, így azok a továbbiakban problémát okozhatnak az extrúzió folyamatában, illetve az anyagminőségre is negatív hatással lehet. Ez indokolta a kísérleti szűrőszerszám tervezését és gyártását. A tervezett szűrőberendezés passzív elem, nem rendelkezik mozgó alkatrészekkel.

Hipotézisem alapján a szűrőszerszám segítségével az extrúziós folyamatban kiszűrhetők a szennyezők, így növelhető az újrahasznosított anyag nyomtathatósága és mechanikai tulajdonságai. A szűrőméret megválasztása kritikus fontossággal bír, hiszen meghatározza a kiszűrhető idegenanyagok méretét, azonban hatással van az extrúziós folyamat paramétereire is. Feltételezésem szerint egy bizonyos mesh szám (1 inch hosszon található szitaszövetek száma) felett a szűrőbetét túl gyorsan tömődne el, így az extrudálási nyomást olyan magasra növelve, hogy nem folytatható a művelet. Így léteznie kell egy optimális szűrőbetét mesh értéknek, amely megfelelően kiszűri a szennyezőket, így az újrahasznosított filament minőségét javítva, azonban az extrúziós nyomást sem emeli a biztonságos tartomány fölé.

Feltételezésem igazolása érdekében hatféle különböző mesh számú szűrőbetétet alkalmaztam. Összességében hét extrudálási folyamatot végeztem rendre a következő szűrőkkel: 200 mesh, 120 mesh, 80 mesh, 60 mesh, 40 mesh, 20 mesh, szűrő nélkül. Minden kísérlet esetében digitálisan mértem az idő–extrudálási nyomás görbét, mely alapján következtetések vonhatóak le az eltömődés gyorsaságára. Továbbá minden gyártásból származó granulátumot MFI vizsgálatnak vettem alá, hiszen ez a polimerrel történő gyárthatóság egyik legmeghatározóbb mérőszáma. Ennek segítségével meghatározható, hogy mely szűrővel készült filament használható leginkább 3D nyomtatáshoz. Végül mind a hét gyártásból származó filament szállal próbatesteket nyomtattam, így az anyagvizsgálatok alapján felderíthetők a mechanikai tulajdonságok. A kutatás során szakító-, hajlító- és ütővizsgálatokat végeztem a nyomtatott próbatesteken, valamint CT és SEM vizsgálatot.

Az alkalmazott feldolgozási folyamat részletei, a kísérleti szűrőberendezésem paraméterei és tervezési lépései, valamint az anyagvizsgálatok körülményei és eredményei alább olvashatóak.

4.3. FOLYAMAT LEÍRÁSA

A kutatásomban alkalmazott újrahasznosítási folyamat számos lépésből áll (lásd 6. ábra). Először a különválogatott PLA nyomtatási hulladékok darálására került sor. A folyamat késes darálóval (F.LLI VIRGINIO) történt. Ezt követően a darált műanyag 4 órán keresztül kiszáritásra került 80°C-on szárító kamrában (Faithful WGLL 125B), majd következett az extrúziós folyamat. Az extrudálási műveletet kétszigás extruderrel (Labtech Scientific LTE 20- 44) végeztem (lásd 20. sz. melléklet), melynek adatait mindvégig rögzítettem. Az extruder zónahőmérsékletei az etetőgarattól a szerszámgigáig rendre a következők voltak: 155°C, 155°C, 160°C, 160°C, 165°C, 170°C, 175°C, 180°C, 180°C, 185°C, 185°C. A csiga forgási sebessége

30 1/perc volt. Az extruder gép végére rögzítettem a kísérleti szűrőszerszámomat, melynek különlegessége, hogy a szűrőbetéteket cserélni lehet benne. A szerszámából kijövő szál levegőn lett hűtve ventilátorok segítségével, futószalag mentén (lásd 21. sz. melléklet). Ezután egyből a granulálógéphez (Labtech-Scientific-LZ120) lett irányítva a szál, így tudtam garantálni a feldolgozható granulátumot (lásd 22. sz. melléklet). A darálási sebesség 7 méter/perc volt. Ezt követően az granulátumot 1 órán keresztül a már előbb említett szárító kamrában kristályosítani hagytam 80°C-on. Kristályosításra azért volt szükség, hogy a következő lépésben történő szálgyártás során a granulátum ne tapadjon össze a hűtéssel nem rendelkező felmelegedett garatban. Következő lépésben történt a szabályozott átmérőjű szál gyártása. Ezt egy filament gyártó berendezéssel (3devo) valósítottam meg (lásd 23. sz. melléklet). A gép 1,75 mm átmérőjű szálgyártására volt beállítva, valamint a zónahőmérsékletei az etetőtől indulva rendre a következőképpen alakultak: 170°C, 185°C, 190°C, 170°C. A csiga forgási sebessége 3,4 1/perc volt. A készített filament mintákkal próbatesteket nyomtattam FDM technológiával (Crealty Ender 3), melyeken anyagvizsgálatokat végeztem.



6. ábra: Újrahasznosítás folyamata

Forrás: Saját szerkesztés

A kutatás során hét extrúziós kísérletet végeztem, amely változó paraméterei az alábbi táblázatban látható (lásd 1. táblázat).

1. táblázat: Kísérleti paraméterek és szűrőértékek

Forrás: Saját szerkesztés

Kísérlet azonosító	Szűrőbetét MESH szám	Szűrő lyukméret [mm]	Nyitott terület [%]	Megtámasztás	Összesített nyitott terület [%]
Exp1	200	0,077	37	van	19,24
Exp2	120	0,122	33	van	17,16
Exp3	80	0,178	31	van	16,12
Exp4	60	0,263	39	-	39
Exp5	40	0,411	42	-	42
Exp6	20	0,915	52	-	52
Exp7	szűrő nélkül	-	100	-	100

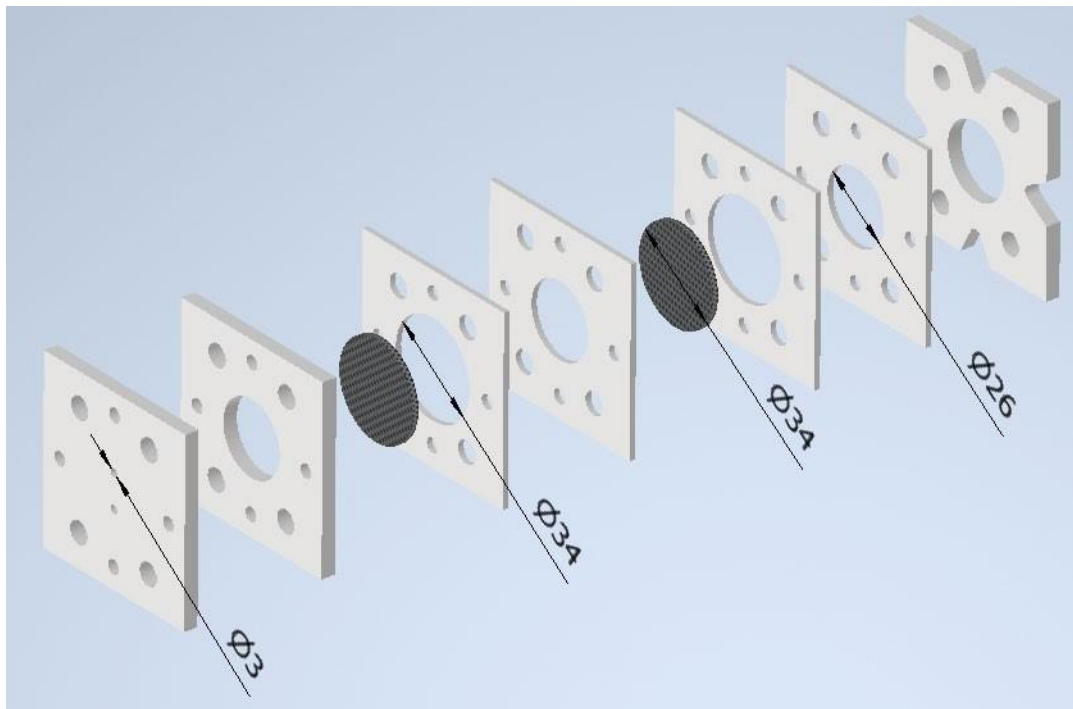
Az első három kísérlet esetében az alap szűrőbetét mögé megtámasztás is szükséges volt, melyet a táblázat is szemléltet. A támasz áteresztőképessége 52% volt. Így azonban a szerszám nyitottsága csökken. Ebben az esetben az összesített nyitott terület lesz a mérvadó, mely a két szűrő nyitottsági értékének szorzataként kaptam meg. A kísérleti szűrőszerszám kulcseleme a kutatásomnak, így a következő alfejezetben annak tervezési és gyártási lépéseit mutatom be.

4.4. SZÜRŐBERENDEZÉS TERVEZÉSE ÉS GYÁRTÁSA

A szűrőkészülék tervezésének legfőbb szempontjai voltak, hogy a különböző szűrőbetétek könnyen cserélhetőek legyenek, továbbá fontos volt, hogy saját erőforrásból meg lehessen valósítani a gyártást. A tervezéshez ezeket alapul véve egy réteges konstrukciót gondoltam ki, így ezen lemeztértegek közé történik a betétek beszorítása (lásd 7. ábra).

A kezdeti vázlatokat követően megterveztem az egyes darabokat CAD programban (Autodesk Inventor 2024), valamint megvizsgáltam az összeszerelhetőségét a 3D összeszerelési módban, mely az alábbi ábrán is látható. A berendezés hét rétegből tevődik össze. A szűrőbetétet hordozó lemezek 34 mm átmérőjű lyuk található, az azokat közrefogó rétegekre pedig 26 mm átmérőjű lyukakat helyeztem. Így biztosítható a betétek megfelelő felfekvése. A záróelemek vastagabb lemezből készültek (5 mm), a nagyobb terhelések kibírása érdekében. A berendezés zárólemezén kettő darab 3 mm átmérőjű lyuk helyezkedik el, melyen távozik a műanyag ömledék. Mivel a vékonyabb szűrők könnyebben elszakadhatnak, így mögégjük megtámasztás céljából perforált lemezt helyeztem el. Ezeknek a mérete megegyezik a szűrőbetét méretével. A lemezek kivágását abrazív vízvágó géppel (Flow Waterjet) valósítottam meg. Rendkívül fontos, hogy az

egyes lemezek megfelelően illeszkedjenek egymáshoz, hiszen a nagy nyomás hatására sem préselődhet ki az ömledék a rétegek között. A megfelelő illeszkedés érdekében a gyártást követően minden réteget gondosan sorjamenetesítettem, illetve a felületüket finomszemcsés csiszolópapírral megfelelően simára csiszoltam.



7. ábra: Kísérleti szűrőberendezés összeszerelési vázlata

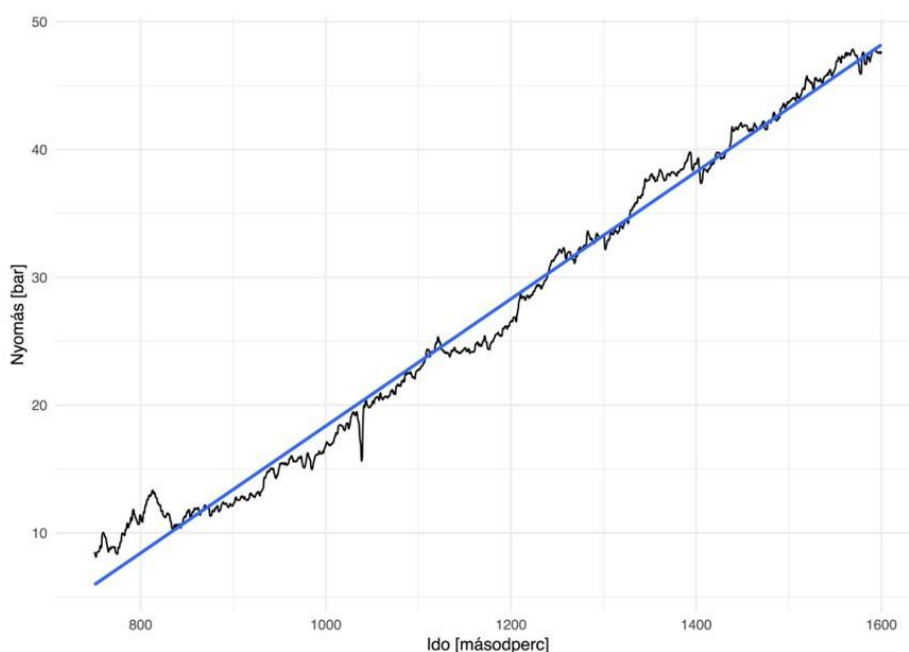
Forrás: Saját szerkesztés

Feltételezésem alapján az extrudálási folyamat során a szűrőbetét megfogja a szennyezőket, így az átfolyási terület folyamatosan csökkenni fog (lásd 24. sz. melléklet). Ez az extrúziós nyomás növekedését okozza. Azonban az idő-nyomás görbe meredeksége a szerszám tervezésekor ismeretlen paraméter volt, így fontos meghatározni, hogy milyen nyomásérték mellett végezhető biztonságosan a folyamat. Ennek okán a szűrőberendezést az extruder gépéhez rögzítő csavarokat méreteztem. A berendezés rögzítéséhez négy darab nagyszilárdságú (12.9 szilárdsági osztály) M8-as csavart alkalmaztam, melyeket 1,5-ös biztonsági tényező mellett méreteztem szakítószilárdságra. Az alap paraméterek alapján a maximális extrudálási nyomás 87,9 bar lehet. A kísérleteknél ezt a határértéket vettem alapul és az extrudálási folyamat során nem léptem túl a maximálisan meghatározott nyomásértéket.

4.5. SZÜRÉS HATÁSA AZ EXTRUDÁLÁSI FOLYAMATRA

A különböző szűrőbetétek alkalmazásának egyértelmű hatása van az extrúziós folyamatra. Feltételezésem alapján minél sűrűbb szövésű a szűrő, annál gyorsabban fog emelkedni a nyomás a folyamat során. A feltételezésem igazolásához 1 kg anyagot extrudáltam, továbbá a szűrőszerszám előtti pontban mértem a nyomásértéket a teljes extrúziós folyamat során, 0,1

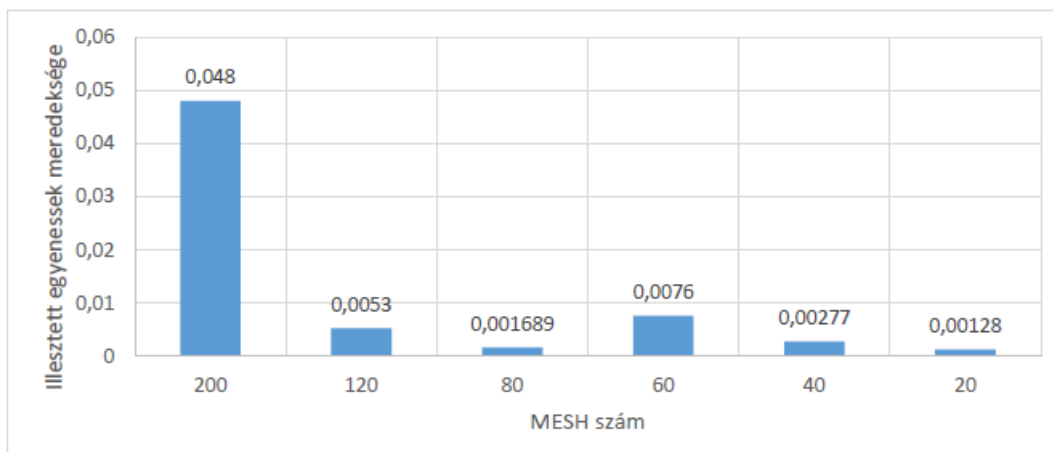
másodperces mintavételezéssel. Az adatokat .csv fájlban tároltam, majd az RStudio-ban elemeztem ki az adatokat. Az adatok tisztításaként, a kezdeti (amíg nem épült fel a nyomás és a nyomaték) és a végső szakaszt (nyomás és nyomaték lecsengése) nem raktam bele a vizsgált intervallumba. A nyomásérték felfutásának jellemzése érdekében lineáris regresszióval egyenest illesztettem a különböző szűrőkkel kapott idő-nyomás görbékre. Az alábbi ábrán is látható, hogy a nyomásérték felfutása lineárisan történik a vizsgált intervallumon (lásd 8. ábra). Az illesztett egyenesek egyenletében a meredekség az érdekes ismeretlen, így a továbbiakban érdemes azzal foglalkozni, hogy mi befolyásolhatja a meredekség értékek változását.



8. ábra: Exp.1 idő-nyomás diagram

Forrás: Saját szerkesztés

Az egyenes illesztést minden egyes kísérletből származó idő-nyomás görbére elvégeztem, majd kiolvastam a meredekségi értékeket. A kísérletekben a szűrőbetéteken kívül minden gépbeállítás és környezeti paraméter megegyezett. A meredekségeket ábrázoltam a mesh szám függvényében, amely alakulása alább látható (lásd 9. ábra). A diagramon látható, hogy 20-120 mesh között az értékek között nincs szignifikáns eltérés, azonban a 200 mesh értékű szűrőnél rendkívül megugrik az illesztett egyenes meredeksége, vagyis annak eltömődése sokkal gyorsabban történt. Fontos megjegyezni, hogy a mesh érték csupán a szűrőkön található lyukak számát határozza meg, azt nem tartalmazza, hogy azok milyen méretűek, így ebben az esetben nem a legcélszerűbb a mesh függvényében ábrázolás az értékeket. A lyukméret azonban biztosan releváns mérőszáma a betétnek, az eltömődés szempontjából, így azt is érdemes figyelembe venni a nyomásnövekedés szempontjából.



9. ábra: Nyomásnövekedés meredeksége a MESH érték függvényében

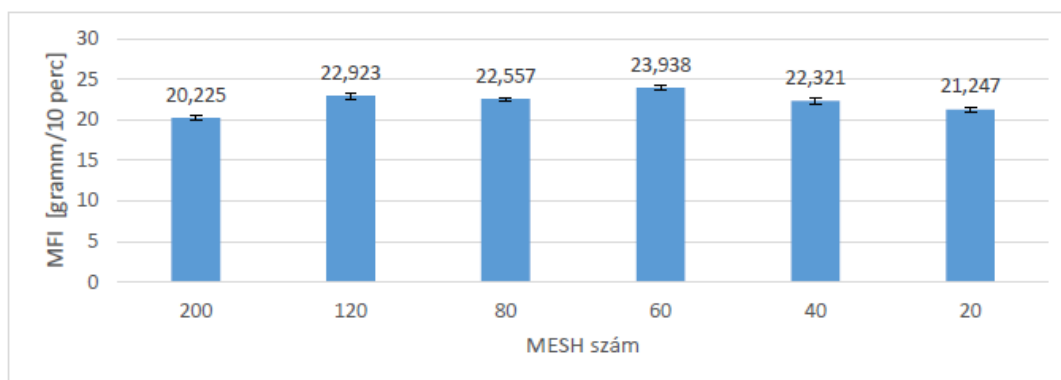
Forrás: Saját szerkesztés

4.6. SZŰRÉS HATÁSA A NYOMTATHATÓSÁGRA

Annak érdekében, hogy megállapítsam, hogy a szűrésnek milyen hatásai vannak a nyomtathatóságra, MFI vizsgálatot végeztem, továbbá a nyomtatási szál és a próbatestek méretpontosságát is vizsgáltam.

4.6.1. MFI vizsgálat

A műanyag gyártása és további feldolgozása szempontjából meghatározó mérőszám az MFI értéke. A különböző szűrőbetétekkel készített granulátumon MFI vizsgálatot végeztem, mely paraméterei a következőként alakultak. A vizsgálatot az ISO 1133 szabvány alapján végeztem CEAST 7023 mérőgépen. A kísérleteknél 6 gramm granulátum betöltése történt, 210°C-os hengerhőmérséklet mellett. Az alkalmazott nyomótömeg 2,16 kg volt, valamint a melegítés szakasza 5 percig tartott. A hat különböző kísérlet eredményét az alábbi diagramon foglaltam össze (lásd 10. ábra). Oszlopdiagramon ábrázoltam az MFI értékek átlagát a mesh szám függvényében, valamint jelöltem az átlagtól való eltéréseket. A kapott eredmények között szignifikáns eltéréseket nem tapasztaltam, valamint az adatok szórása is rendkívül alacsony.

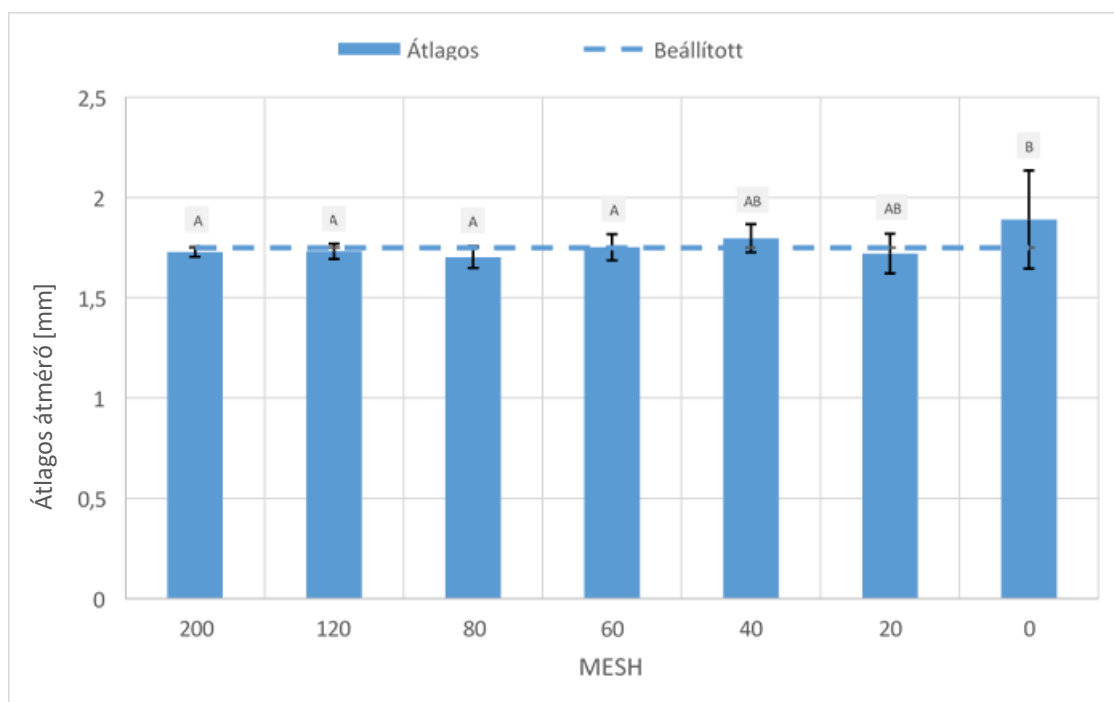


10. ábra: MFI kísérlet eredményei

Forrás: Saját szerkesztés

4.6.2. Filament és próbatestek méretpontossága

Az MFI érték alakulása mellett egy másik fontos tényezőt is kiemelnék, amely közvetlen hatással rendelkezi a filament nyomtathatóságára. A szűrőbetét lyukmérete egyértelműen meghatározza, hogy milyen méretű szennyezők kerülhetnek bele a nyomtatási szálba. Méretüktől függően a szennyezőanyagok kisebb nagyobb eltéréseket okozhatnak a nyomtatási szál átmérőjében. A nyomtatás során ez befolyásolhatja a nyomtatott darab méretpontosságát, valamint a kiemelkedően nagy szennyezők olyan mértékben megnövelhetik a szál átmérőjét, hogy akár teljes mértékben megakadályozhatják a szál mozgását. Feltételezésem alapján, a kisebb lyukméretű szűrőkkel méretpontosabb filament gyártható, amely a nyomtatott darabra is hatással van. Ennek bizonyítása érdekében a különböző szűrőkkel gyártott nyomtatási szálakon, valamint a próbatesteken méréseket végeztem. A szálak átmérőjét, valamint a próbatestek szélességét Mitutoyo digitális mikrométerrel vizsgáltam. A filamentek esetében 20 mintavételezés történt (10 cm-es távolságokban), mely eredményét diagramon ábrázoltam (lásd 11. ábra).

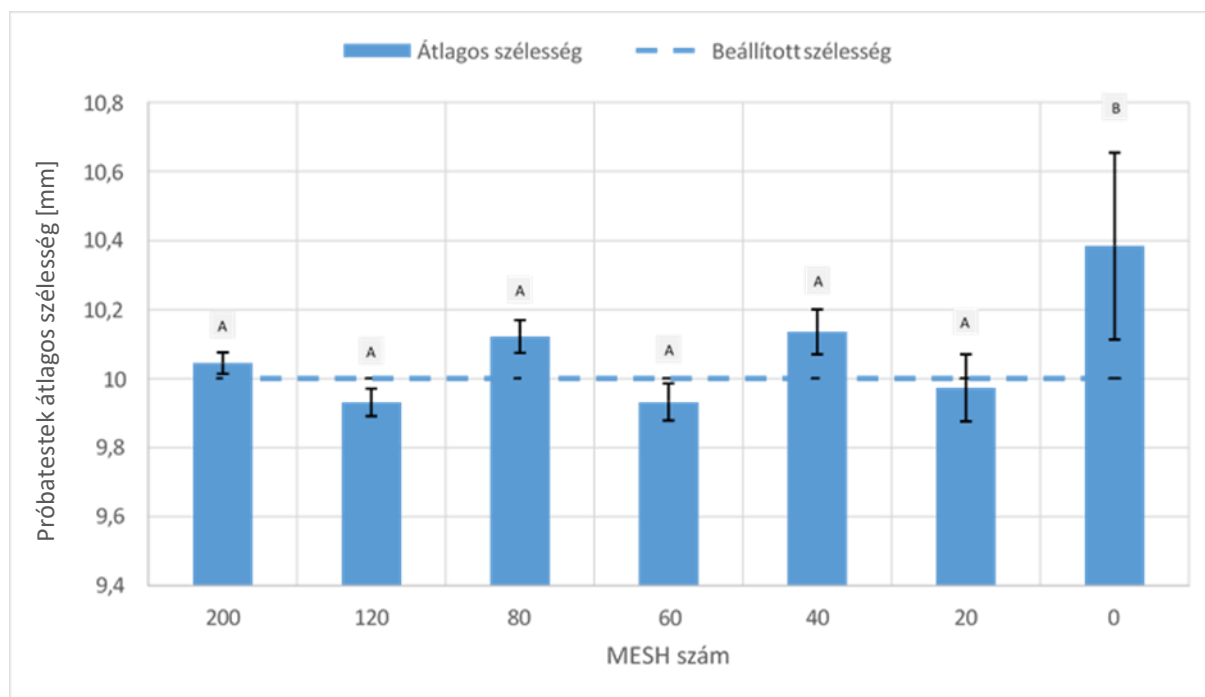


11. ábra: Nyomtatási szálak méretpontossága

Forrás: Saját szerkesztés

Az ábrán oszlopdiagrammal szemléltetem az átlagos szálátmérőt, valamint vízszintes kék szaggatott vonallal jelzem a filamentgyártó gépbe beállított értéket (1,75 mm). Az értékekből megállapítható, hogy az átlagos szálátmérő mesh 20-as értékig jól megközelíti a kívánt értéket, azonban a szűretlen filament (mesh 0) átlagos átmérője kiugró. Az átlagos átmérő mellett, sárga totemoszloppal ábrázoltam a szórások mértékét. A diagramon látható, hogy a mesh szám csökkenésével a szórásértékekben növekvő tendencia jelentkezik. A szűretlen szálon extrém méretű dudorokat is mértem (2,56 mm), illetve átmérőcsökkenéseket tapasztaltam (1,69 mm). Az

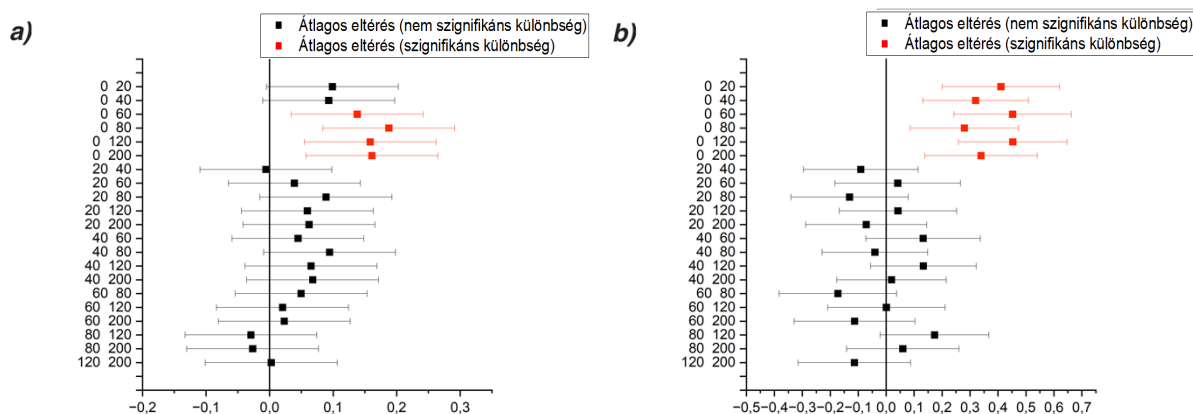
előző diagramhoz hasonlóan ábrázoltam a nyomtatott próbatestek (méretek 4.7-es fejezetben) méretpontosságát (lásd 12. ábra). A kék oszlopdiagramon megfigyelhető, hogy 200- 20 mesh között a próbatestek mérete 0,1 mm-es hibán belül marad a kívánt értékhez képest. Azonban a méretek szórásában növekvő tendencia figyelhető meg. Ez összefüggésbe hozható azzal, hogy minél ritkább szűrővel volt megsűrve a PLA hulladék, annál több, illetve nagyobb szennyező került a filamentbe, így annak átmérő értékeiben nagyobb volt a szórás. Ez negatív hatással van a próbatestek mérethelyességére is.



12. ábra: Nyomtatott próbadarabok méretpontossága

Forrás: Saját szerkesztés

A 11. ábra és 12. ábra bemutatott adatokon az OriginPro 2024 program beépített modulja segítségével varianciaelemzést (ANOVA) végeztem. Következő lépésben Tukey-tesztet futtattam le, így megkaptam, hogy mely csoportátlagok között van szignifikáns eltérés. Az egyes csoportokat a mesh szám alapján különböztettem meg, ez alapján lettek összehasonlítva a csoportátlagok. A teszt eredményeként, a program betűket rendel az egyes csoportokhoz. Ha két csoportátlag között statisztikailag jelentős különbség mutatkozik, akkor azok nem kaphatnak megegyező betűjelölést. A megegyező betűjelölésű csoportok között nincs szignifikáns különbség, statisztikai értelemben. A programban ábrázoltam a csoportátlagokat, mindkét vizsgálat esetén (lásd 13. ábra). A diagramon piros színnel van kiemelve, hogy a csoportátlagok eltérését alapul véve, mely minták között fedezhető fel jelentős eltérés. Az y tengelyen a mesh számok által meghatározott csoportok összehasonlítása látható.



13. ábra: Csoportátlagok közötti szignifikáns eltérés: a) Filament átmérő vizsgálata, b) Próbatess szélességének vizsgálata

Forrás: Saját szerkesztés

A statisztikai vizsgálatokon túl a nyomtatási folyamat során tapasztalt problémák elemzése is szükséges. Kiemelném, hogy a 20 és 40 mesh értékű szűrővel, valamint a szűrő nélkül gyártott (kísérlet: Exp7, Exp6, Exp5) filamenttel történő nyomtatás során többször jelentkezett hibás nyomtatás, melyet a szál elakadása, illetve a fűvóka eltömődése okozott. Ez azért következhetett be, mivel az egyes idegenanyagok nagymértékben megnövelték a filament alap átmérőjét, így akadályt képezve a folyamatos haladásnak (lásd 14. ábra). Az alábbi ábrán a szüretlen filamenttel történő nyomtatási folyamat látható. A jobb oldalon piros színnel jelöltem azokat a hibákat, amelyek a folyamatot akadályozhatják. A bal oldalon látható, ahogy a hibás szál közelít a szálellenőrző egység felé. A szál nem volt képes áthaladni a nyíláson, így a nyomtatás nem volt tovább folytatható.



14. ábra: Szennyező a szüretlen nyomtatási szálban

Forrás: Saját szerkesztés

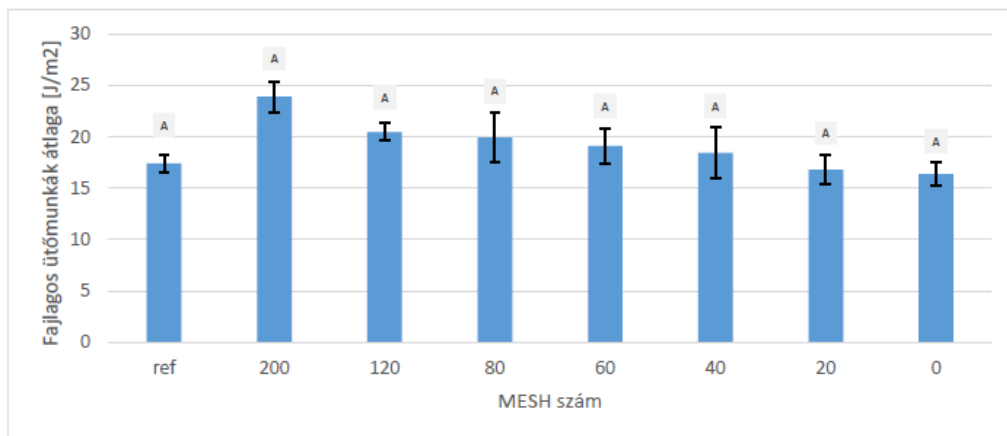
4.7. SZÜRÉS HATÁSA AZ ANYAGTULAJDONSÁGOKRA

A különböző szűrőkkel gyártott filamenttel nyomtatott próbatesszek mechanikai tulajdonságainak meghatározása érdekében ütő-, szakító- és hajlítóvizsgálatot végeztem. A

különböző vizsgálatokhoz készített próbatestek mindegyike azonos paraméterek mentén lett kinyomtatva. A nyomtatófej nyílása 0,4 mm, valamint annak hőmérséklete 210°C volt. Az asztalhőmérséklet 60°C-ra volt beállítva. A nyomtatás 50 mm/s sebesség mellett történt. A kitöltés mértéke 100%, továbbá a kitöltési stratégia 45° Grid volt. A kontúr rétegek értéke egy.

4.7.1 Ütővizsgálat

A Charpy-ütőmunka vizsgálatot az ISO 179 szabvány alapján végeztem el. A vizsgálatot Ceast 6545 lengőkalapácsos gépen végeztem el. A próbatesteket 62 mm-es befogási távolság mellett ütöttem el. Fontos megjegyezni, hogy csakis megfelelően lefutott nyomtatásból származó próbatesteken történt a kísérlet (fentebb említtem a nyomtatási hibákat, lásd 4.6.2). A próbatestek V-bemetszés nélkül, a következő paraméterek mentén lettek nyomtatva: 4 mm vastag, 10 mm széles, 80 mm hosszú. A vizsgálat első lépéseként minden próbatest szélességi és vastagsági méretét Mitutoyo digitális tolómérővel lemértem, amely a fajlagos ütőmunka számításához szükséges. Ezt követően megnéztem a vizsgálóberendezés szabadlengését, amely 0,09 J volt. Ezután elütöttem az összes próbatestet és diagramon ábrázoltam a fajlagos ütőmunkát a mesh érték függvényében (lásd 15. ábra). Az ábrán kék színnel ábrázoltam a különböző próbatestek fajlagos ütőmunkájának átlagát, amelyek az általam gyártott filamentből készültek. A vizsgálatban, egy kereskedelmi forgalomban vásárolt (ecoPLA fekete) PLA-ból is készítettem próbatesteket, melyet ref névvel különböztettem meg. A továbbiakban referencia anyagként hivatkozok ezekre a mintákra, azonban egy új és egy több anyagból újrahasznosított alapanyag összehasonlítása nem megalapozott. A diagramból megállapítható a mesh érték és fajlagos ütőmunka közötti összefüggés. A mesh szám növekedésével a fajlagos ütőmunka értékének az emelkedése figyelhető meg. Továbbá kiemelném, hogy a 200 mesh-nél szereplő érték több mint 37%-kal magasabb fajlagos ütőmunkát képvisel, mint a kereskedelmi forgalomban vásárolt referencia anyag, viszont ütőmunkájának szórása alacsonyabb.

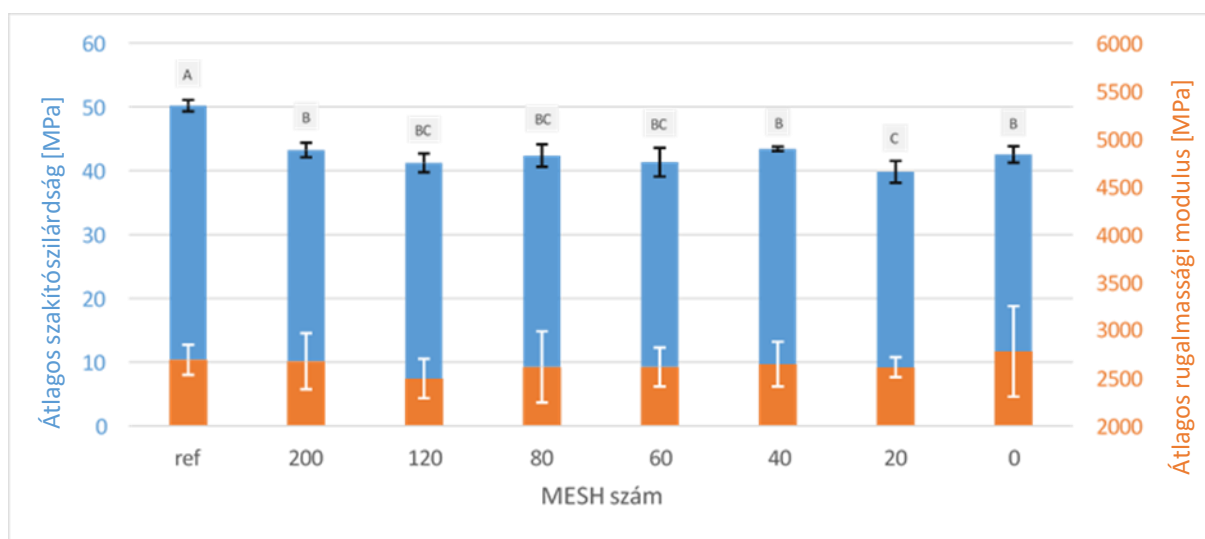


15. ábra: Fajlagos ütőmunkák átlaga a mesh érték függvényében

Forrás: Saját szerkesztés

4.7.2 Szakítóvizsgálat

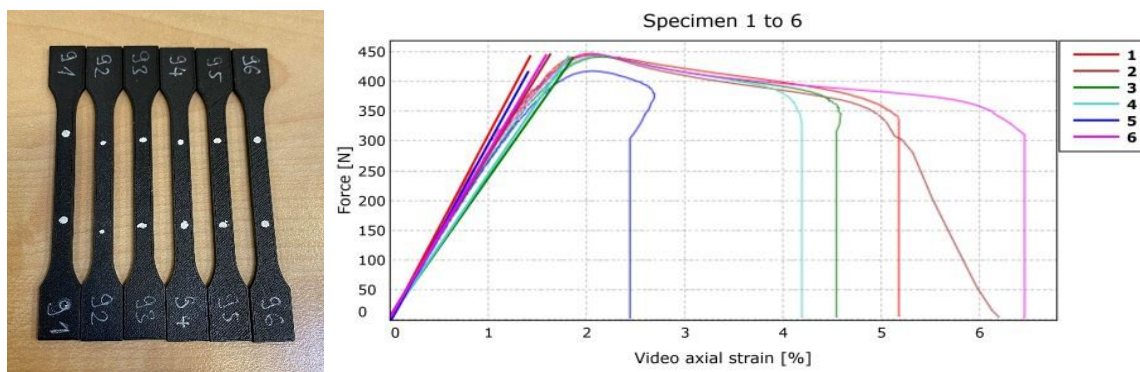
A szakítóvizsgálatot ISO 527 szabvány alapján, video extenzométerrel és egy 10 kN erőmérő cellával felszerelt Instron 3344 szakítógépen végeztem el. A próbatesteket ISO 527- 2:2012 1BA alapján méreteztem (lásd 17. ábra), melyek befogása 58 mm-es hosszon valósult meg. A rugalmassági modulus meghatározásához 1 mm/perc sebességgel történt a húzás, majd 5 mm/percre emelkedett 0,3 mm nyúlást követően. A méréseket a beépített mérőprogram segítségével diagramon ábrázoltam (lásd 17. ábra), valamint az eredményeket egy összesített diagramon mutatom meg (lásd 16. ábra). Az előző kísérlethez hasonlóan itt is alkalmaztam referenciát. Az eredményekben szignifikáns eltéréseket nem tapasztaltam. Az általam nyomtatott darabok és a referencia között az átlagos szakítószilárdságban 7 MPa-os eltérés van.



Forrás: Saját szerkesztés

16. ábra: Szakítószilárdság és rugalmassági modulus a MESH szám függvényében

Mivel a szakítóvizsgálatban a próbatest teljes térfogata terhelve (húzó feszültség) volt, így a szennyezők gyengítő hatása nem látható egyértelműen. Az ütővizsgálat esetében az erőbehatás sokkal koncentráltabban történik, egy adott keresztmetszetre, így abban az esetben egyértelműen látszik az idegenanyagok gyengítő hatása.

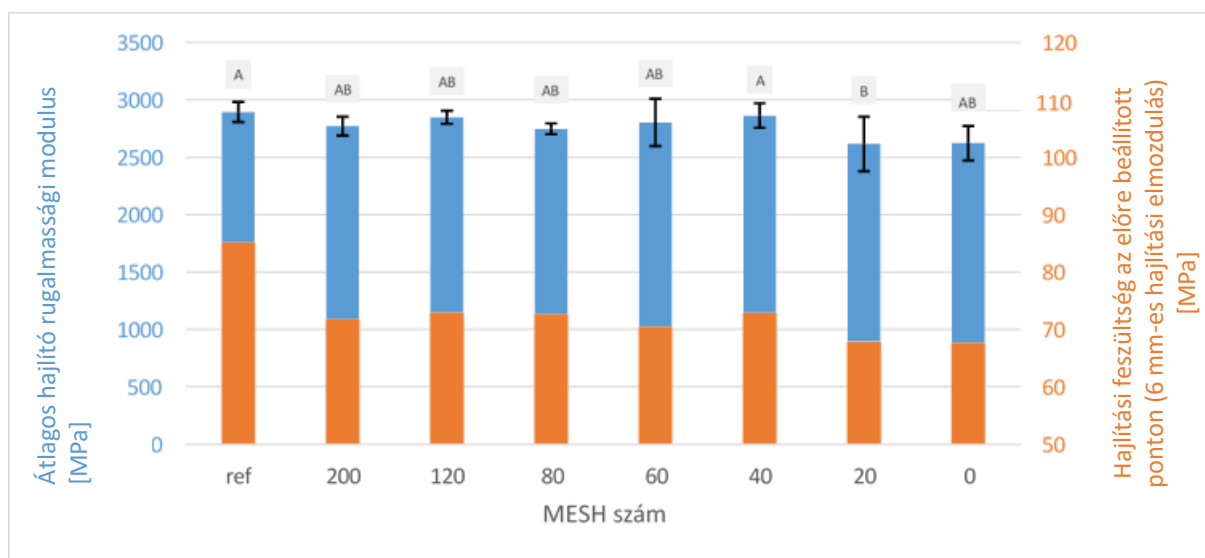


17. ábra: Szakítóvizsgálat próbatestek és eredmények értékelés Exp1 esetében

Forrás: Saját szerkesztés

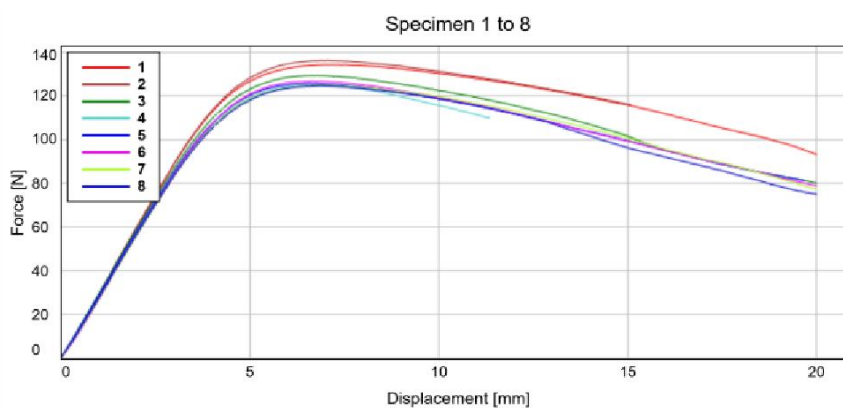
4.7.3 Hajlítóvizsgálat

A hajlítóvizsgálatot ISO 178 szerint végeztem el egy 3-pontos hajlító feltétellel és 10 kN-os erőmérő cellával felszerelt Instron 3344 szakítógépen. A vizsgálatot 64 mm alátámasztási távolsággal végeztem el. Az értékek a beépített program segítségével lettek kiértékelve (lásd 19. ábra). A vizsgálat eredményeit diagramon összesítettem (lásd 18. ábra). A saját mintáim és a referencia között az átlagos hajlító rugalmassági modulusban nincs szignifikáns eltérés (kék oszlopdiagram), azonban a referencia próbatestek átlagos hajlítási feszültsége 6 mm-es elmozdulásnál 20%-kal magasabb értéket képvisel, mint a mintáim átlaga (sárga oszlopok).



18. ábra: Hajlítóvizsgálat eredménye

Forrás: Saját szerkesztés



19. ábra: Hajlító próbatestek és a hajlítóvizsgálat eredménye Exp1 esetében

Forrás: Saját szerkesztés

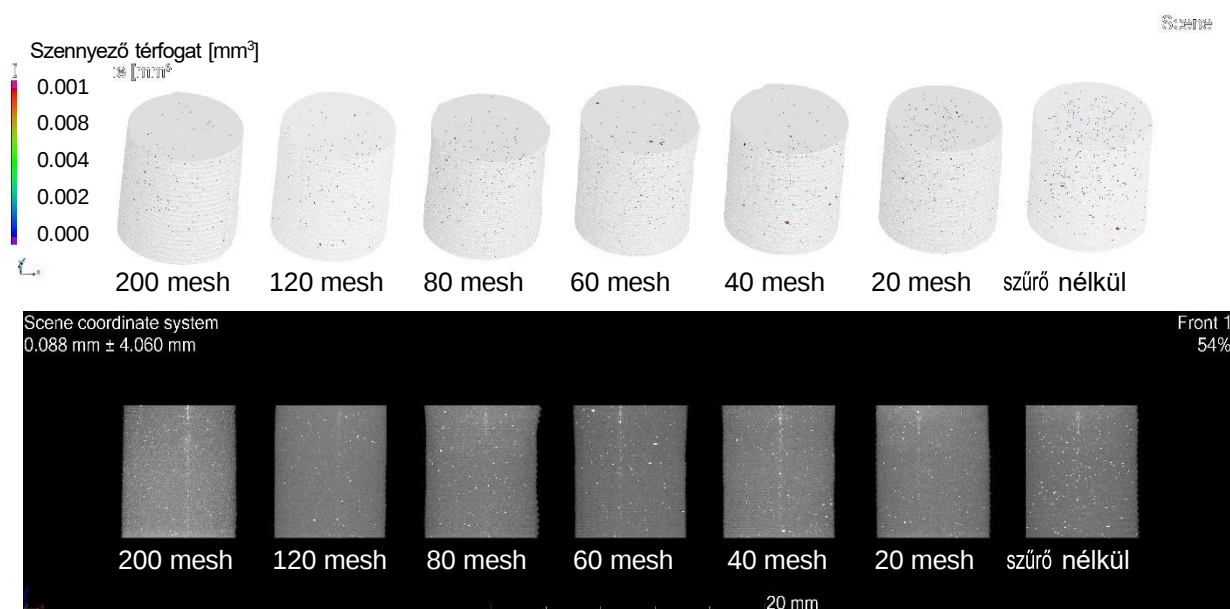
4.7.4 CT vizsgálat

A nyomtatott darabokba került szennyezők számának és méretének a vizsgálata érdekében CT felvételeket készítettem. A különböző szűréssel készített filamentekből hengeres próbatesteket nyomtattam. A vizsgálati berendezés YXLON Modular Y.CT volt, melyben egy PerkinElmer

detektor rögzítette a képeket. A sugárforrás egy FXE225 mikrofókuszú cső volt. A gép felbontóképessége 0,0118 mm/voxel. Fontos megjegyezni, hogy ebben a vizsgálatban

csak a PLA-tól nagyobb sűrűségű idegenanyagok mutathatóak ki. Azok az anyagok, amelyek a PLA-val közel azonos sűrűségűek (például: műanyag, fa, textil, szerves anyagok) nem láthatóak az alábbi felvételeken, azonban jelenlétük nem kizárható.

A CT vizsgálat során készült képeket 3D és 2D formában is ábrázoltam (lásd 20. ábra), valamint a nagyfelbontású képeket a dolgozat mellékletében helyeztem le (1. sz. melléklet, 2. sz. melléklet). Az ábrázolás célja, hogy szemléltessem a különböző szűréssel megvalósított próbatestekben található szennyezők méretét, illetve mennyiségét. Az alábbi ábrákon balról jobbra haladva rendre a következő szűrésből származnak a vizsgált mintadarabok: 200 mesh, 120 mesh, 80 mesh, 60 mesh, 40 mesh, 20 mesh, nincs szűrés. Az ábrán megfigyelhető, hogy balról jobbra haladva a szennyezők térfogata és darabszáma is növekvő tendenciát mutat. A 60 mesh-es szűréstől a darabokban már 0,001 mm³-nél nagyobb szennyezők is megfigyelhetők.

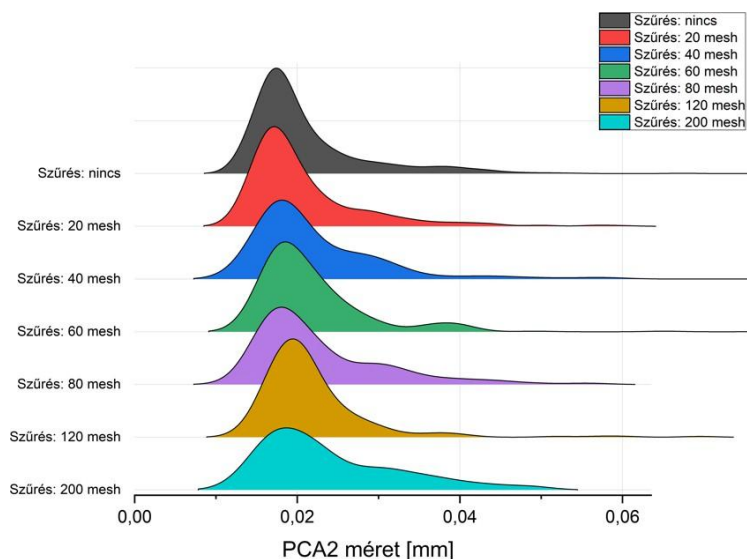


20. ábra: A szennyezők eloszlása 3D nézetben és metszeti képen.

Forrás: Saját szerkesztés

A képfeldolgozó szoftver segítségével kilistáztam az egyes próbatestekben fellelhető idegenanyagok számát, térfogatát, valamint PCA (Feret átmérők) méreteit (a szennyező három egymásra merőleges tengelyen mért mérete, melyben a PCA1 a legnagyobb, a PCA3 a legkisebb méret). Ez alapján minden próbatesthez készítettem egy hisztogramot, melyen a szennyezők mérete és előfordulási értéke látható (lásd 21. ábra). A mellékletben található minden szűréshez tartozó hisztogram (lásd 3. sz. melléklet - 9. sz. melléklet). A hisztogramokon jól látható a legjobban szűrt (200 mesh) és a szűretlen filamentből készült minták közötti szignifikáns különbség. A diagramsorozat alapján megállapítható, hogy a mesh szám csökkenésével növekvő

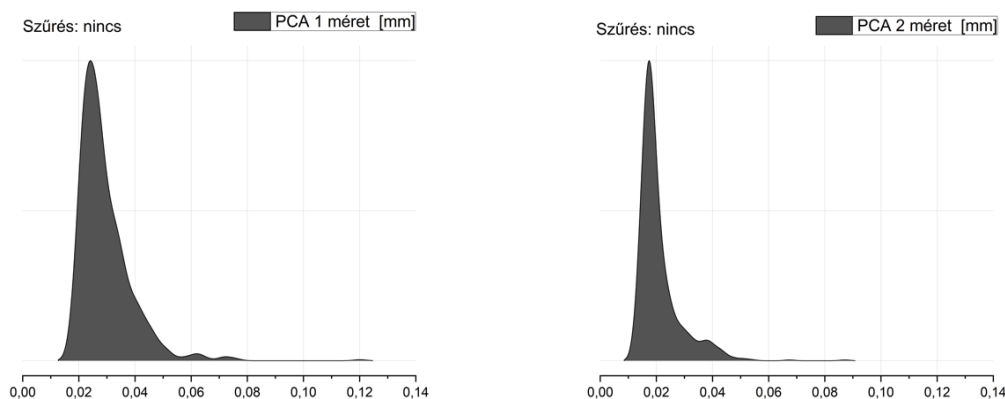
tendencia figyelhető meg a meghatározott szennyezők előfordulási értékében. A $[0,01; 0,03]$ mm-es méretintervallumban az előfordulás ugrásszerű növekedése figyelhető meg.



21. ábra: Szennyezők PCA2 méretének eloszlása a különböző szűrések esetében

Forrás: Saját szerkesztés

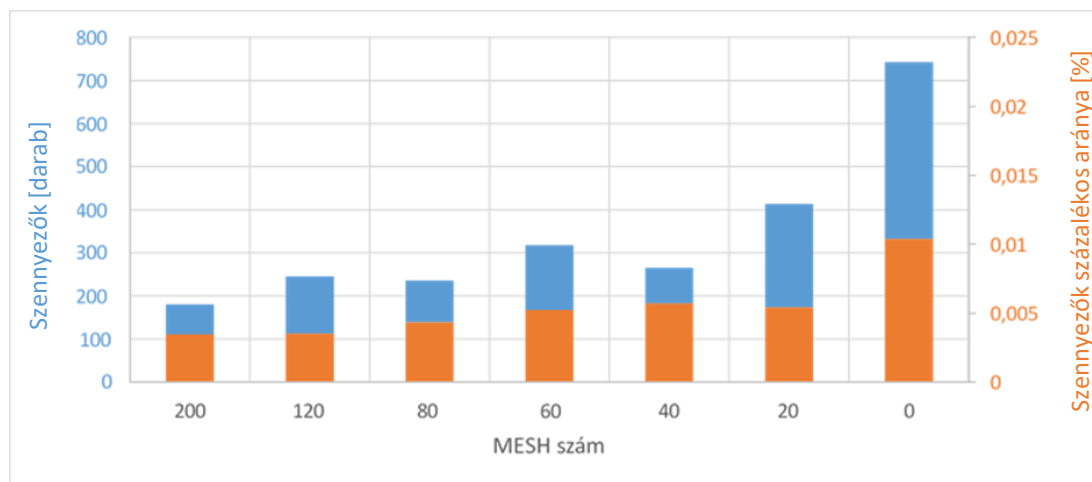
A szűrő nélküli kísérletből (Exp7) származó filamentból nyomtatott minták alaposabb vizsgálatával, további következtetéseket lehet levonni az alapanyagban található szennyeződésekre. Mivel jó közelítéssel a szűrőn található lyuk területe határozza meg, hogy mekkora szennyeződések képesek áthaladni rajta (elhanyagolva a szennyeződés deformációját, valamint a szűrőszálak deformációját), így kétdimenzióban vizsgálom tovább az idegen anyagokat. A szűretlen minta esetében, külön hisztogramon ábrázoltam a PCA1 és PCA2 méretek eloszlását (lásd 22. ábra). Az ábrán jól látható, hogy legnagyobb előfordulásban a $[0,01; 0,03]$ mm-es intervallumban koncentrálnak a szennyezők. Ez magyarázat lehet arra, hogy az idő-nyomás görbékre illesztett egyenesek meredeksége (lásd 9. ábra), miért csak a 200 mesh-es szűrés esetében ugrik meg drasztikusan.



22. ábra: Szennyezők méret szerinti eloszlása a szűretlen minta esetében

Forrás: Saját szerkesztés

Az alábbi diagramon összefoglalva látható, hogy a mesh szám csökkenése a próbatestekbe kerülő szennyezők számának és térfogathoz viszonyított százalékanak növekedését okozza (lásd 23. ábra).

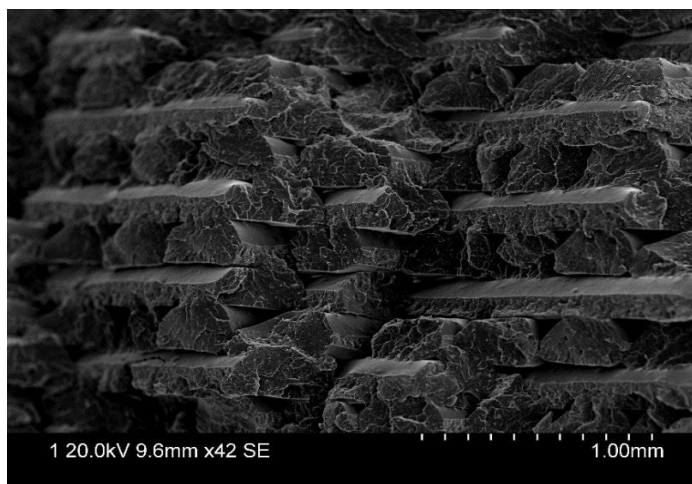


23. ábra: CT vizsgálat eredményeinek összegzése

Forrás: Saját szerkesztés

4.7.5 SEM vizsgálat

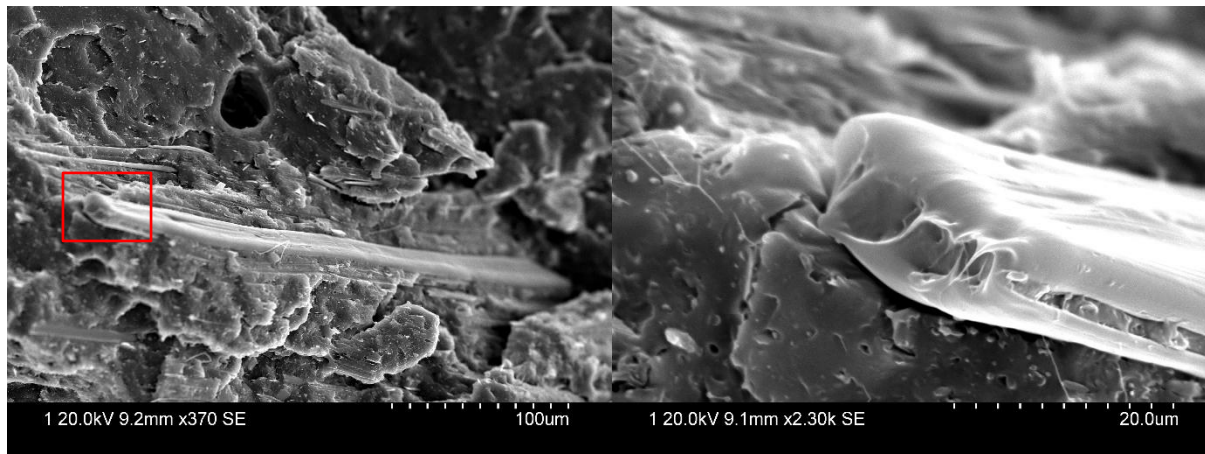
Az előző fejezetekben említett szennyezők további vizsgálata érdekében az ütővizsgálatból származó próbatestek töretfelületeit pásztázó elektronmikroszkóppal (továbbiakban: SEM) vizsgáltam. A töretfelületeket a vizsgálat előtt egy Emitech SC7620 porlasztásos bevonó készülék segítségével bearanyoztam annak érdekében, hogy ne töltődjön a minta SEM vizsgálat közben. Ezt követően az előkészített mintákat egy Hitachi S-3400 N elektronmikroszkóppal vizsgáltam, 20kV gyorsító feszültség mellett. A mikroszkóp segítségével akár több ezerszeres nagyításban is vizsgálhattam a töretfelületeket, illetve a nyomtatás szerkezetét (lásd 24. ábra). Az alábbi ábrán egy szennyezőktől mentes felület látható, amin jól kivehető az FDM 3D nyomtatási technológiára jellemző réteges szerkezet.



24. ábra: SEM kép: Szennyezéstől mentes nyomtatási szerkezet

Forrás: Saját szerkesztés

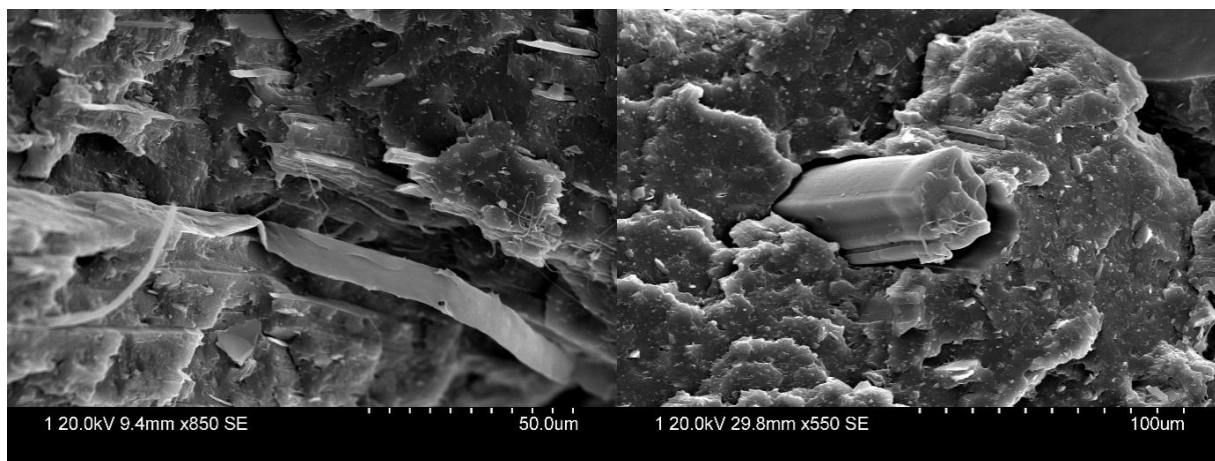
A vizsgálat folyamán azonban több idegenanyagról is sikerült felvételt készíteni, melyek az alábbi ábrán láthatóak (lásd 25. ábra). Az ábrán egy 0,25 mm hosszú, szálszerű idegenanyag látható. A jobboldali ábrán a szennyező vége látható, melyen képlékeny deformációt vélek felfedezni. Valószínűsítem, hogy PLA-tól eltérő műanyag lehet a képen.



25. ábra: SEM kép: Szennyezők a töretfelületen

Forrás: Saját szerkesztés

Továbbá érdemes megfigyelni a baloldali ábrán, a szálszerű szennyező felett kialakult üreget, melynek átmérője 0,04 mm. Feltételezem, hogy az üregben is egy szennyező helyezkedett el, amely az ütővizsgálat során kifordult a felületről. További hasonló idegenanyagokat fedeztem fel a többi minta felületén is. Egyes részekén nagymennyiségben jelen voltak a PLA-tól eltérő anyagok, amely az alábbi képen is látható (lásd 26. ábra).



26. ábra: SEM kép: Szálszerű idegenanyagok

Forrás: Saját szerkesztés

A további vizsgálati képek a mellékletben találhatóak (lásd 10. sz. melléklet - 19. sz. melléklet).

5. ÚJRAHASZNOSÍTÁSI TRENDEK ÉS PIACRAVITELI LEHETŐSÉGEK AZ ÚJRAHASZNOSÍTOTT PLA ALAPANYAGOK VONATKOZÁSÁBAN

Az utóbbi években világszerte egyre hangsúlyosabb szerepet kap az anyag- és energiatakarékosságot szem előtt tartó körforgásos gazdaság koncepciója. Ennek egyik legfontosabb célkitűzése a hulladékképződés csökkentése, valamint a már meglévő hulladék hasznosítása, lehetőség szerint magasabb hozzáadott értéket képviselő új termékek formájában. Az újrahasznosítás nem csupán környezetvédelmi szempontból vált elkerülhetetlenné, hanem a nyersanyagárak és -ellátási kockázatok növekedésével egyre inkább gazdasági szükségsszerűséggé is.

A műanyag hulladékok újrahasznosítása a globális hulladékgazdálkodás egyik legkritikusabb pontja. A 3D nyomtatás gyors térnyerésével új típusú hulladék keletkezik – elsősorban PLA alapú nyomtatási maradék –, amelynek kezelése külön kihívást jelent. A politejsav (PLA) népszerűsége annak köszönhető, hogy megújuló erőforrásból (pl. kukorica- vagy cukornád-keményítőből) származik, biológiailag lebomló, ugyanakkor az ipari feldolgozás során gyakran csak részlegesen hasznosítható újra. A PLA újrahasznosítása technikailag megvalósítható, de a fizikai és mechanikai tulajdonságok romlása, valamint a szennyeződések jelenléte nehezíti a feldolgozhatóságát.

A piaci bevezetés – azaz a piacraviteli stratégia – az egyik kulcskérdés abban, hogy az újrahasznosított anyagból előállított termékek valóban elérjék a fogyasztókat. A piacraviteli stratégia (go-to-market strategy) célja, hogy a termékfejlesztés eredményeinek üzletileg is sikeres hasznosítása történjen meg, azaz a termék ne csak technológiai, hanem piaci szempontból is életképes legyen. Ez különösen fontos olyan innovatív területeken, mint az újrahasznosított filamentek előállítása, ahol a vásárlók részéről még bizonytalan a fogadókészség.

A 3D nyomtatásra szánt újrahasznosított PLA filamentek piacravitelének több rétegű kihívása van. Egyrészt technikai értelemben szükséges az anyag homogenitása, stabil szálvastagság, szennyeződésmentesség és nyomtathatóság biztosítása – ezekkel a problémákkal foglalkozik a jelen dolgozat is. Másrészt azonban a piaci tényezők – fogyasztói bizalom, árazás, értékesítési csatornák és kommunikáció – legalább ilyen hangsúlyos szerepet játszanak.

A piacraviteli elméletek több modellt is kínálnak, de közös bennük, hogy hangsúlyozzák a célcsoport pontos meghatározásának és a megkülönböztető értékajánlatnak a fontosságát. A PLA alapú újrahasznosított filamentek esetén a célcsoport lehet például:

- oktatási intézmények (pl. iskolai műhelyek),
- környezettudatos hobbi-nyomtatók,
- kis- és középvállalkozások prototípusgyártásra,

- önkormányzati vagy közösségi alkotóműhelyek.

Az értékajánlat ebben az esetben a következő üzenet köré építhető: „Fenntartható, helyben újrahasznosított, megbízható minőségű filament – környezetkímélő gyártásból.” A stratégia megvalósításához a következő piacraviteli tényezőket szükséges átgondolni:

- Márkázás és narratíva: A fenntarthatóságra építő márkaimage növeli a vásárlói lojalitást. Fontos a transzparencia: honnan származik az újrahasznosított alapanyag, hogyan történik a feldolgozás (pl. a dolgozatban bemutatott szűrőberendezés alkalmazása).
- Értékesítési csatornák: Lehetőség van közvetlen értékesítésre (webshop, helyi maker közösségek), valamint közvetett csatornákra is (B2B partnerek, nyomtatószerzők, viszonteladók).
- Árstratégia: A PLA újrahasznosítás többletköltséget jelenthet, ugyanakkor a „zöld prémium” egyre több fogyasztónál elfogadott. Fontos azonban az ár-érték arány világos kommunikációja, valamint esetleges költségcsökkentő megoldások (pl. előfizetési rendszer, visszaváltási program, visszagyűjtés) bevezetése.
- Minőségbiztosítás: Elengedhetetlen a nyomtathatóság, méretpontosság és szilárdság folyamatos mérése, hogy a filament versenyképes alternatívát nyújtson a szűz anyaggal szemben. A dolgozatban részletesen bemutatott MFI-, szakító-, hajlító- és CT-vizsgálatok kiváló alapot szolgáltatnak a termékminőség igazolására.
- Fogyasztói edukáció: Mivel az újrahasznosított filament új termék kategória, fontos a vásárlók tájékoztatása: mire jó, mire nem, hogyan kezeljük. Ezt blogcikkkel, oktatóvideókkal, közösségi médiában történő kommunikációval lehet támogatni.

Az újrahasznosítási trendek – például az ipari szimbiózis, a helyi körforgások erősítése vagy az öko-design – mind olyan irányvonalak, amelyek megerősítik az új típusú környezettudatos termékek létjogosultságát. A dolgozat kísérleti eredményei és szűrőtechnológiai fejlesztései jól illeszkednek ezekbe a trendekbe, és alapot nyújtanak egy sikeres piacraviteli stratégia kidolgozásához.

A dolgozat gyakorlati kutatási részében azt vizsgálom, hogy a Győr-Moson-Sopron megyei vendéglátóegységek mennyire nyitottak az újrahasznosított PLA alapanyagból készült design termékek alkalmazására, különösen a belső tér kialakításában és arculati elemek megjelenítésében. A kutatás célja annak feltérképezése, hogy a térség vendéglátóipari szereplői mennyire érzékenyek a fenntarthatósági szempontokra, illetve hajlandóak-e innovatív, környezetbarát megoldásokat alkalmazni a vendégélmény fokozása érdekében. A kérdőíves felmérés keretében a célcsoportot éttermek, kávézók, bárók és szálláshelyek vendéglátóegységei alkották.

A felmérés gyakorlati alapját a saját alapítású startup vállalkozásom, az EcoFab3D szolgáltatotta, amely kifejezetten újrahasznosított PLA alapú design termékek fejlesztésével és gyártásával foglalkozik. A vállalkozás célja a 3D nyomtatási hulladék újrahasznosítása és értéknövelt formában való visszavezetése a vendéglátás, belsőépítészet és ajándéktárgy-gyártás piacára.

Az EcoFab3D saját márkája, a Hollow Design Club, egy letisztult, modern arculattal rendelkező termékcsalád, amely egyszerre képvisel esztétikai értéket és környezettudatosságot. A márka termékei közé tartoznak: faldekorációk, lámpabúrák, logózott pultkiegészítők, valamint egyedi tervezésű, limitált szériás tárgyak, amelyek különleges térélményt nyújtanak.

A kérdőíves kutatás lehetőséget biztosított arra, hogy valós piaci visszajelzéseket gyűjtsék a PLA újrahasznosításának alkalmazási lehetőségeiről, ezzel közvetlenül összekapcsolva a technológiai kísérleti eredményeket a helyi gazdasági és piaci realitásokkal. A válaszok alapján meghatározhatóvá válik, hogy milyen piacraviteli stratégiák mentén érdemes a PLA újrahasznosított termékeket bevezetni a vendéglátás szektorába – különös tekintettel a vidéki, de innovatív vállalkozói szemléletű szereplőkre. A kérdőív összeállítása során Naresh K. Malhotra „Marketingkutatás” című művének alapelveit vettem figyelembe, különös tekintettel a kérdéstípusok helyes megválasztására, a kérdések logikai sorrendjére, valamint a választható skálák alkalmazására a mérhetőség és értelmezhetőség biztosítása érdekében. [15]

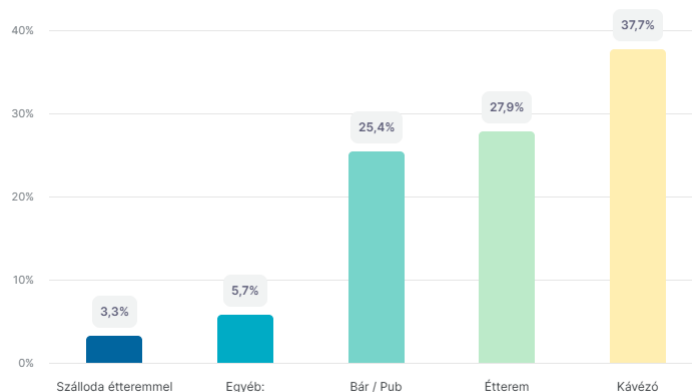
6. KÉRDŐÍVES KUTATÁS – ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEK

A kérdőíves adatfelvételtől származó részletes információk átfogó és sokrétű elemzése lehetővé tette a Győr-Moson-Sopron megyei vendéglátóipari egységek környezettudatossággal kapcsolatos komplex attitűdjeinek, az innovatív, újrahasznosított PLA (politejsav alapú) termékek ismertségének, valamint a termékek iránti piaci fogadókészségüknek a mélyreható feltárását. Az eredmények nemcsak a fenntarthatóbb működés iránti növekvő elköteleződésüket tükrözik, hanem részletes képet adnak azokról a sokszínű és egymással összefüggő tényezőkről is, amelyek dinamikus alakítják az új környezetbarát termékek piaci bevezetésének lehetőségeit az egyre komplexebb és gyorsan változó gazdasági környezetben.

6.1. A MINTA ÖSSZETÉTELE ÉS REPRESENTATIVITÁSA

A beérkezett 121 válasz részletes vizsgálata alapján megállapítható, hogy a minta a vendéglátó szektor rendkívül sokrétű típusait reprezentálja. A kérdőív első kérdésében felkértem a vendéglátóhelyek vezetőit, hogy válaszolják meg, milyen típusú vendéglátóegységet üzemeltetnek. Az éttermek (27,9%, 34 válasz) és a kávézók (37,7%, 46 válasz) együttesen a válaszadók közel 66%-át teszik ki, amely jelentős súlyt biztosít e két szegmens véleményének és attitűdjének az összkép alakulásában. A vendéglátóegységek százalékos megoszlását a 27. ábrán láthatjuk. Ez a domináns reprezentáció azt a következtetést vonja maga után, hogy az újrahasznosított PLA termékek piaci bevezetése során célszerű e két típus specifikus igényeit és működési sajátosságait kiemelten figyelembe venni. Például a kávézók esetében a fenntartható, esztétikus elviteles csomagolóanyagok iránti igény kiemelten magas lehet, míg az éttermeknél a minőségi, dizájnorientált asztali kiegészítők jelenthetnek vonzó alternatívát.

1. Milyen típusú vendéglátóegységet üzemeltet?



27. ábra: Vizsgált vendéglátóegységek típusai

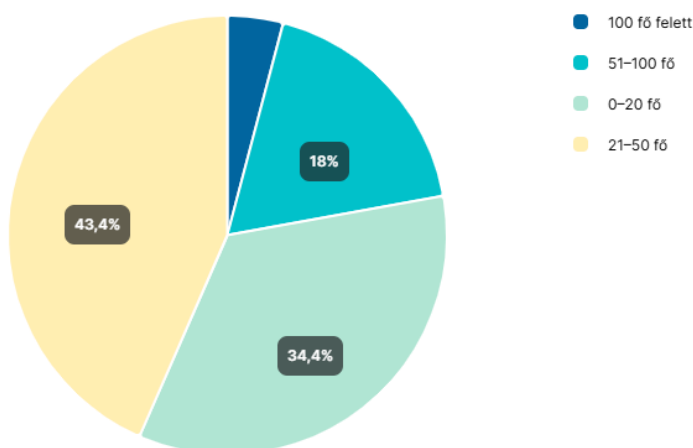
Forrás: Saját szerkesztés

A bárók és pubok 25,4%-os aránya (31 válasz) szintén figyelemre méltó, jelezve, hogy a szórakozóhelyek is jelentős potenciált képviselnek a fenntartható dizájn és dekorációs termékek piacán. A piaci stratégiák kialakításakor így érdemes figyelembe venni ezen helyszínek sajátos atmoszféráját és a vendégélmény központi szerepét. Bár a kisebb arányban képviselt büfék, cukrászdák, lángososok, kebabkocsik, szállodai éttermek és vendégházak összességében alacsonyabb részarányt mutatnak (egyenként 0,83–3,31% között), jelenlétük a minta heterogenitását erősíti, és jelzi, hogy a fenntartható termékek piaci stratégiáinak ezekre a szegmensekre is célszerű kiterjednie.

6.2. A VENDÉGLÁTÓEGYSÉGEK MÉRETE

A kérdőív második kérdésében a vendéglátóegységek méretére kérdeztem rá az üzletvezetőknél. A befogadóképesség szerinti bontás rávilágít arra, hogy a mintában túlsúlyban vannak a kis- és közepes méretű vállalkozások: a válaszadók 34,4%-a (42 válasz) 0–20 fő közötti, míg 43,4%-a (53 válasz) 21–50 fő közötti egységet üzemeltet. Ezeket az adatokat százalékos megoszlásban a 28. ábra mutatja be. A kisebb egységek költségérzékenysége és a gyors megtérülés iránti igénye indokolja, hogy az újrahasznosított PLA termékek bevezetési stratégiái rugalmas árképzéssel, alacsonyabb belépési küszöbvel és gyors alkalmazhatósággal legyenek kialakítva. A nagyobb, 51–100 fős, illetve 100 fő feletti egységek (összesen 22+4 válaszadó) esetében inkább a hosszú távú megtérülés, a fenntarthatósági célkitűzések és a társadalmi felelősségvállalás kerülhet előtérbe. A vármegyében található összes vendéglátóegységeknek a megoszlásáról 3.2 fejezetben olvashatunk.

2. Mekkora a vendéglátóegység befogadóképessége?



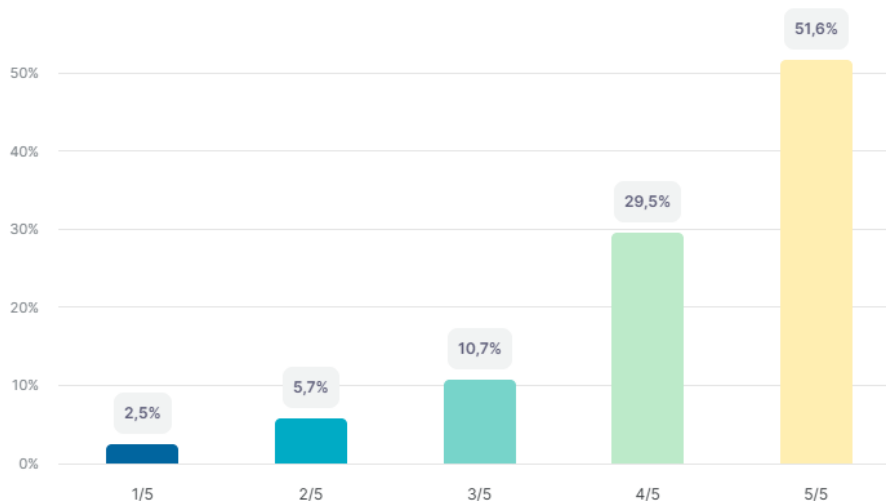
28. ábra: Vendéglátóegységek befogadóképességének százalékos eloszlása

Forrás: Saját szerkesztés

6.3. KÖRNYEZETTUDATOSSÁG MEGÍTÉLÉSE, ÚJRAHASZNOSÍTOTT ANYAGOK JELENLEGI HASZNÁLATA

A környezettudatosság megítélésére vonatkozó adatok kiemelkedően pozitív képet festenek: a válaszadók 51,6%-a maximális (5-ös), további 29,5%-a pedig 4-es értéket adott a környezettudatos működés fontosságára az ötfokozatú skálán. Az ebben a fejezetben korábban leírt adatokat a 29. ábrán tekinthetjük meg. Az átlagos érték 4,18, ami azt jelzi, hogy a Győr-Moson-Sopron vármegyei vendéglátósok körében a fenntarthatóság nemcsak divatos hívószó, hanem valódi értékrendi elem is. Ez a magas környezettudatossági szint kiváló alapot teremt az újrahasznosított PLA-termékek piaci bevezetéséhez. Ugyanakkor érdemes figyelembe venni azt is, hogy a magas értékelések ellenére a vásárlási döntések során az ár, a funkcionalitás és a design gyakran még mindig megelőzi a fenntarthatósági szempontokat. Ezért a PLA-termékek kommunikációját úgy szükséges felépíteni, hogy azok ne csak környezetbarát megoldásként, hanem gazdaságilag is racionális választásként jelenjenek meg.

3. Mennyire tartja fontosnak a környezettudatosságot a vállalkozása működésében? Kérem, értékelje 1-től 5-ig terjedő skálán, ahol az 1-es a legrosszabb, az 5-ös pedig a legjobb.



29. ábra: Környezettudatosság a vizsgált vendéglátóegységek körében

Forrás: Saját szerkesztés

A megkérdezettek 62,81%-a jelezte, hogy már jelenleg is használ valamilyen formában újrahasznosított anyagból készült termékeket. A leggyakrabban említett anyagok között szerepeltek a papír alapú eszközök (27,63%), az újrahasznosított műanyag (13,16%) és a fa alapú termékek (9,21%). Ez a tendencia azt mutatja, hogy a vendéglátóhelyek jelentős része már megkezdte az átállást a környezetkímélőbb megoldások irányába, így a PLA-alapú

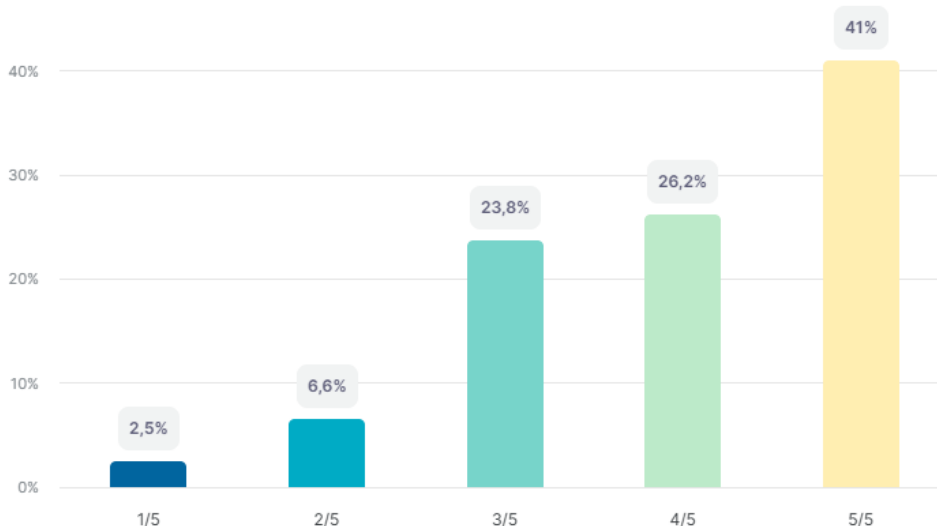
újrahasznosított termékek piaci elfogadottsága várhatóan nem egy "új szokás" erőltetésén, hanem egy meglévő trend kiterjesztésén alapulhat.

Ebből következik, hogy a PLA-termékek marketingjében hangsúlyozni kell a már megszokott környezetbarát termékekhez képest kínált többletértékeket, például a dizájn minőségét, a tartósságot, vagy a biológiai lebomlás gyorsaságát

6.4. A PLA TERMÉKEK ISMERTSÉGE ÉS PIACI FOGADÓKÉSZSÉGE

A kérdőív 7. kérdésében azt vizsgáltam, hogy a válaszadók mennyire lennének nyitottak az újrahasznosított PLA-ból készült termékek használatára saját üzlethelységükben. Kijelenthető, hogy a PLA-anyagok ismertsége még fejlődési szakaszban van: a válaszadók 20,5%-a nyilatkozott úgy, hogy hallott már a PLA-ról. Ez viszonylag alacsony arány, ugyanakkor a piaci fogadókésztséget vizsgálva a helyzet sokkal biztatóbb: a válaszadók 91%-a legalább közepes nyitottságot mutatott az újrahasznosított PLA-termékek iránt. (lásd 30. ábra.)

**7. Mennyire lenne nyitott arra, hogy ilyen típusú termékeket alkalmazzon a vendéglátóhelyén?
Kérem, értékelje 1-től 5-ig terjedő skálán, ahol az 1-es a legrosszabb, az 5-ös pedig a legjobb.**



30. ábra: Az újrahasznosított PLA-ból készült termékek használatára való hajlam százalékos megoszlása a vendéglátóegységek körében

Forrás: Saját szerkesztés

Ezek az eredmények azt támasztják alá, hogy az ismertség növelése és a fogyasztói edukáció kulcsfontosságú feladat a termékek sikeres piaci bevezetéséhez. Célszerű lenne komplex kommunikációs kampányokat indítani, amelyek magyarázzák a PLA-anyagok előnyeit más

anyagokkal szemben (például a hagyományos műanyagokhoz viszonyítva), és gyakorlati példákkal szemléltetik a felhasználási lehetőségeket.

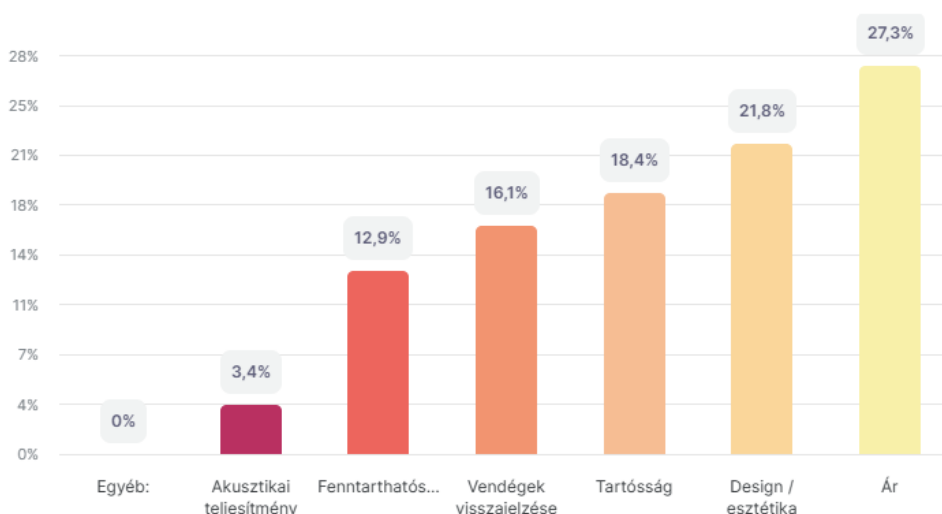
6.5. BESZERZÉSI DÖNTÉSEK FŐ SZEMPONTJAI

A válaszadók körében erős fogadókészség mutatkozott az újrahasznosított PLA-termékek iránt. A 76,86%-os nyitottsági arány rendkívül kedvező, ugyanakkor a vásárlási hajlandóság mögötti motivációk elemzése azt is megmutatja, hogy az ár és a minőség továbbra is döntő szerepet játszanak. Ez azt jelenti, hogy a sikeres piacra lépéshez az új termékek ár-érték arányát gondosan ki kell alakítani, figyelembe véve a kisebb és nagyobb egységek eltérő gazdasági lehetőségeit. Emellett az első vásárlásokat ösztönző akciók, mint például próbacsomagok vagy tesztprogramok szervezése, segíthetnek a kockázatteret csökkentésében és a termékek iránti bizalom kiépítésében.

A válaszadók 27,3%-a szerint az ár a legfontosabb szempont beszerzéseik során, ezt követi a design (21,8%), a tartósság (18,4%) és a fenntarthatóság (12,9%). Ezekre az adatokra a kérdőíves kutatás 8. kérdésében kaptam meg a választ, diplomadolgozatomban pedig a 31. ábrán láthatjuk a bekezdésben leírt adatokat. Ez a beszerzési hierarchia világosan mutatja, hogy bár a fenntarthatóság érték, nem a legelső döntési tényező a gyakorlatban.

A PLA-termékek piacra lépését tehát úgy kell megtervezni, hogy azok a költségérzékeny szegmensek számára is reális alternatívát jelentsenek, miközben a design, a funkcionalitás és a hosszú távú költségmegtakarítás előnyeit hangsúlyosan kommunikálják.

8. Mely szempontok befolyásolnák leginkább a döntését ezek alkalmazásával kapcsolatban? (Több válasz is megjelölhető)



31. ábra: Vásárlást befolyásoló tényezők

Forrás: Saját szerkesztés

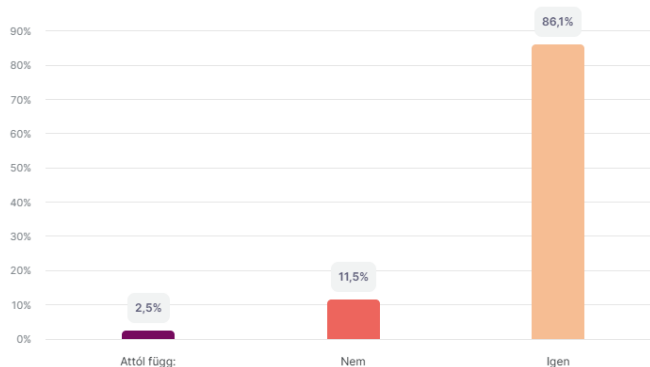
A vendéglátóegységek körében tapasztalható erősödő fenntarthatósági elkötelezettség mögött részben a vendégek elvárásai, részben pedig a pozitív vállalati imázs kialakításának szándéka húzódik meg. A válaszadók 62,81%-a úgy vélte, hogy vendégeik értékelnék a környezetbarát megoldások bevezetését, ami azt jelzi, hogy a fenntarthatóság nemcsak etikai, hanem üzleti szempontból is értéket képvisel.

A PLA-termékek sikeres bevezetése ezért nemcsak költségkérdés, hanem stratégiai marketingeszköz is lehet a vendéglátóhelyek számára, amely hosszú távon növelheti a vendéglojalitást és javíthatja az üzleti eredményeket is.

6.6. HELYI GYÁRTÁSÚ PLA TERMÉKEK IRÁNTI ÉRDEKLŐDÉS

A kérdőív tizenegyedik kérdésében arra kerestem választ, hogy mennyire érdekelné a válaszadó vendéglátóegységeket egy helyi gyártó által kínált, újrahasznosított PLA-alapú termékcsalád. Az eredmények rendkívül kedvező képet mutattak: a válaszadók 86,1%-a, azaz 105 fő jelezte, hogy nyitott lenne egy ilyen kínálatra (lásd 32. ábra) Ez az arány azt mutatja, hogy a környezetbarát megoldások iránti általános nyitottság mellett a helyi gyártású termékek különös vonzerővel bírnak a győri és Győr-Moson-Sopron vármegyei vendéglátósok körében. A helyi előállítás számos előnyt kínál a potenciális vásárlók számára, amelyeket érdemes kiemelni: rövidebb szállítási idők, közvetlenebb ügyfélkapcsolat, nagyobb rugalmasság az egyedi igények kezelésében, valamint a helyi gazdaság támogatásának pozitív üzenete. Ezek a tényezők különösen fontossá válnak a mai, gyorsan változó gazdasági környezetben, ahol a személyre szabott kiszolgálás és a gyors reakcióidő sokszor döntő jelentőséggel bír a versenyben maradás szempontjából.

11. Érdekelne, ha egy helyi gyártó kínálna újrahasznosított PLA (politejsav)-ból készült, egyedi tervezésű termékeket vendéglátóhelyek számára?



32. ábra: PLA termékek helyi gyártása iránti kereslet vendéglátóhelyeken

Forrás: Saját szerkesztés

A helyi gyártó előnyei között kiemelendő továbbá a fenntarthatóság elveinek még erőteljesebb érvényesítése is. A rövidebb szállítási távolságok csökkentik a szállítás közben keletkező károsanyag-kibocsátást, így a teljes termék-életciklus környezetterhelése is alacsonyabb lesz. Ez a szempont különösen fontos lehet azoknak a vendéglátóhelyeknek, amelyek környezettudatos imázs kialakítására törekednek, hiszen egy helyi, fenntartható gyártásból származó termék alkalmazása erősítheti a márka hitelességét és megbízhatóságát a vendégek szemében is.

Az érdeklődők magas aránya alapján kijelenthető, hogy az EcoFab 3D számára a helyi jelenlét hangsúlyozása stratégiai fontosságú tényező lehet a piaci bevezetés során. A helyi kötődés tudatos kommunikációja nemcsak a termékértékesítést segítheti elő, hanem hosszú távú, bizalmon alapuló üzleti kapcsolatok kiépítését is lehetővé teszi. A helyi vendéglátóegységek körében ugyanis erősen jelen van az a szemlélet, hogy amennyiben a minőség és az ár is megfelelő, elsőbbséget élveznek a környékbeli beszállítók az országos vagy nemzetközi vállalatokkal szemben. A válaszokból egyértelműen kiderül, hogy a személyesség, az egyedi igényekhez való igazodás és a gyors, rugalmas ügyintézés kiemelt érték a megkérdezett vendéglátósok számára.

Mindezek alapján az EcoFab 3D számára célszerű lenne olyan marketingstratégiát kialakítani, amely erőteljesen épít a helyi kötődésre és a fenntarthatósági előnyökre. Javasolt a helyi identitásra fókuszáló kommunikációs üzenetek megfogalmazása, mint például: „Győrben készül, Győrért” vagy „Helyi gyártású, fenntartható megoldások a vendéglátásban”. Emellett érdemes lenne részt venni helyi szakmai rendezvényeken, gasztronómiai fesztiválokon, környezetvédelmi tematikájú programokon, ahol személyes kapcsolat építhető ki a potenciális ügyfelekkel. A közvetlen bemutatók, mint például termékpróbák, workshopok, gyárlátogatások szintén hozzájárulhatnak a bizalomépítéshez és a termékek elfogadottságának növeléséhez. Az is eredményes lehet, ha az EcoFab 3D közvetlen partnerségi kapcsolatokat alakít ki helyi szakmai szervezetekkel, például a megyei kereskedelmi és iparkamarával vagy környezetvédelmi egyesületekkel.

7. KÉRDŐÍVES KUTATÁS – TERMÉKORIENTÁLT KÉRDÉSEK

A kutatás ezen fejezete kifejezetten a termékekre koncentrált: célja annak feltérképezése, hogyan viszonyulnak a vendéglátóipari egységek vezetői és döntéshozói a konkrét, újrahasznosított PLA-alapú designer termékekhez – esztétikai, funkcionális és ár-érték arány szempontjából. Míg az előző fejezetek a környezetvédelem, az újrahasznosítás és a fenntartható vendéglátás makroszintű trendjeit, valamint a piacra viteli elméleteket járták körül, itt a figyelem középpontjában a termékek valós piaci megítélése áll.

A kérdőív összeállításakor tudatos döntés volt, hogy a válaszadók ne csupán absztrakt fogalmak alapján nyilatkozzanak, hanem valós, vizuálisan bemutatott termékek értékelésére kerüljenek ösztönzésre. E módszertani megközelítés egyik legfőbb előnye, hogy lehetővé teszi a konkrét visszajelzések gyűjtését: a válaszadók nem általános véleményt formálnak a fenntarthatóságról, hanem meghatározott design- és használati jellemzőkkel rendelkező termékekről fejtik ki véleményüket.

A kérdéssorban bemutatott tárgyak – mint például szalvétatartó, váza, lámpabúra, vagy akusztikai panel – szándékosan sokféle funkciót és stílust képviselnek. E változatosság lehetőségét adott annak vizsgálatára, hogy mely típusú termékekre mutatkozik leginkább igény, melyekbe tudják beilleszteni azokat működési környezetükbe, és melyeknél ütköznek akadályokba – akár praktikus, akár stílusbeli, akár gazdasági okokból. A következő alfejezetekben tehát minden egyes termékre külön-külön részletes elemzés következik. A kvantitatív (értékelési skála) és kvalitatív (szöveges megjegyzések) adatok együttes vizsgálata alapján értékeljük a design, a funkció, az árképzés és a várható vendégreakciók aspektusait. Külön figyelmet kapnak azok a visszajelzések is, amelyek konkrét javaslatokat, kritikákat vagy fejlesztési irányokat tartalmaznak, mivel ezek valós piaci visszacsatolásként értelmezhetők.

A cél tehát nem csupán az, hogy számszerűsítsük az egyes termékek népszerűségét, hanem az is, hogy mélyebb összefüggésekre világítsunk rá: például arra, milyen funkciókkal ruházható fel egy újrahasznosított anyagból készült designer tárgy ahhoz, hogy valóban helyet kapjon a vendéglátás terében. A fejezet zárásaként pedig a válaszadók szabad szöveges megjegyzéseinek elemzése következik, amelyek különösen értékes gondolatokat tárnak fel a piac valós igényeiről és érzékenységről.

7.1. SZALVÉTATARTÓ

A kérdőív egyik legkézzelfoghatóbb, és a vendéglátás hétköznapi működésében leggyakrabban használt tárgyak közé tartozó elem volt az újrahasznosított PLA-ból készült szalvétatartó, melyet a 33. ábrán láthatunk. A válaszadók ennek kapcsán rendkívül pozitív

visszajelzéseket adtak, ami részben annak köszönhető, hogy ez a termék azonnal értelmezhető, és jól beilleszthető a meglévő működési folyamatokba, anélkül, hogy komolyabb átalakítást igényelne.

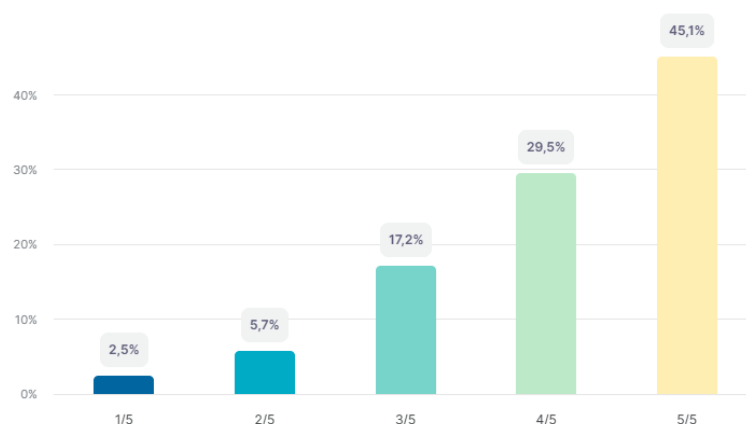


33. ábra: Újrahasznosított PLA-ból készült szalvétatartó

Forrás: Saját szerkesztés

A kapott értékelések alapján a szalvétatartó kapcsán a megkérdezettek közel 75%-a 4-es vagy 5-ös értékelést adott (lásd 34. ábra), tehát a tetszési indexe kifejezetten magasnak számít. A szalvétatartó előnyeit a válaszadók főként esztétikai és funkcionalitási szempontból emelték ki. Több kitöltő kiemelte, hogy „egyszerű, de látványos”, „vendégbarát megoldás”, illetve „jó beszédtéma, ha újrahasznosított anyagból van”.

13. Szalvétatartó (újrahasznosított PLA-ból készült designer termék) Kérem, értékelje 1-től 5-ig terjedő skálán, ahol az 1-es a legrosszabb, az 5-ös pedig a legjobb.



34. ábra: Szalvétatartó értékelése a vizsgált vendéglátóhelyek körében

Forrás: Saját szerkesztés

A kisebb kávézók és bárók különösen kedvezően fogadták ezt a terméket, mivel ezekben az egységekben gyakori az asztalok dekoratív kialakítása, és egy egyedi, mégis praktikus tárgy, mint a PLA-ból készült szalvétatartó, könnyen hozzájárulhat a hely arculatának erősítéséhez. Több kávézótulajdonos megjegyezte, hogy ha a termék logóval ellátható lenne, vagy színekben variálható formában készülne, akkor szívesen kihelyezné vendégasztalaira akár több darabot is.

Érdekes módon a nagyobb éttermek és szállodák is pozitívan nyilatkoztak, de náluk inkább a funkcionalitás volt az elsődleges szempont. Ők a letisztult, egyszerű formákat részesítenek előnyben, amely illeszkedik a már meglévő dizájnhoz, és könnyen tisztán tartható. Ezzel szemben a street food jellegű helyek – például lángososok vagy büfék – kevésbé látták a termék alkalmazhatóságát, mivel ezekben az egységekben nem feltétlenül kerülnek az asztalokra szalvétatartók, vagy egyszerűbb, eldobható megoldásokat alkalmaznak.

Árképzési szempontból a szalvétatartó esetében a válaszadók leggyakrabban a 1001–2000 Ft közötti ársávot jelölték meg reálisan elfogadható árként, ami figyelembe véve a termék használhatóságát, anyagát és esztétikai értékét, versenyképes és piacképes kategóriának tekinthető. Emellett többen jelezték, hogy akciós, több darabos csomag esetén még nagyobb érdeklődés mutatkozna a vásárlás iránt.

Következtetésként megállapítható, hogy a szalvétatartó az egyik legsikeresebb termékötlet a bemutatott tárgyak közül. Alkalmazása széles körben elképzelhető, különösen az olyan vendéglátóhelyeken, ahol fontos az asztali dekoráció és a vendégélmény tudatos formálása. A termék esztétikailag és funkcionálisan is jól teljesített, ára a válaszadók szerint elfogadható, így bevezetését különösen indokolt lenne prioritásként kezelni az EcoFab3D kínálatában.

7.2. VÁZA

A PLA-ból készült váza (lásd 35. ábra) egyike volt azoknak a termékeknek, amelyek a design, fenntarthatóság és praktikum hármasszempontjából kerültek bemutatásra a kérdőívben. A válaszadó vendéglátóhelyek vezetői és tulajdonosai alapvetően pozitívan fogadták a terméket: a kitöltők több mint 72%-a 4-es vagy 5-ös értékelést adott, és az összesített visszajelzések azt mutatják, hogy a váza vizuális megjelenése, anyaghasználata és formavilága összességében megfelel az elvárásoknak.

A kitöltők közül többen is kiemelték, hogy a termék különlegessége abban rejlik, hogy egyszerre hordoz magában természetes és modern stílusjegyeket. A természetesség érzetét a matt, kissé texturált felület, valamint a formatervezés adja, míg a modernitást az anyaghasználat és a letisztult vonalvezetés közvetíti. Ezek az esztétikai jegyek különösen jól rezonáltak a kávézók és bárók körében, ahol a vendégtér atmoszférájának kialakítása tudatosan szervezett folyamat, és minden apró részlet – egy váza is – hozzájárulhat a vizuális élményhez.



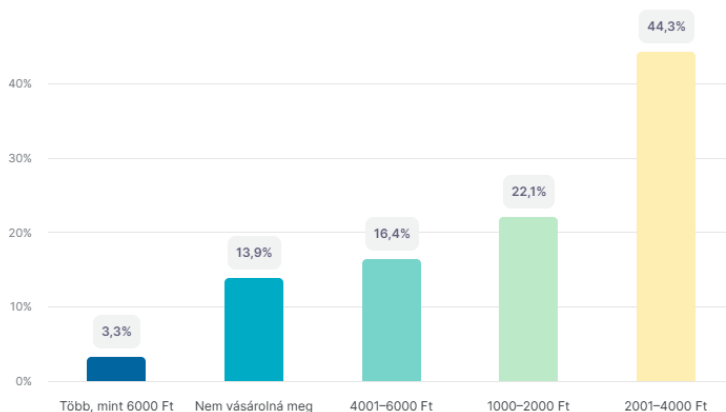
35. ábra: Újrahasznosított politejsavból készült váza

Forrás: Saját szerkesztés

Ugyanakkor az is egyértelműen látható volt az eredményekből, hogy a váza esetében a pozitív első benyomás ellenére a használhatóság szempontjából voltak fenntartások. Több válaszadó megjegyezte, hogy a váza alja túlságosan keskeny, emiatt könnyen felborulhat, különösen akkor, ha vízzel töltik meg, vagy nagyobb súlyú növényt helyeznek bele. Egy étteremvezető konkrétan azt írta: „A váza nagyon szép, és jól mutatna, de mivel az alja nagyon keskeny, ezáltal instabil, így se nem vásárolnám meg, se nem raknám ki. Ha nagyobb felületen érintkezne az asztallal, mindenképpen megvásárolnám.” Ez a visszajelzés jól szemlélteti, hogy egy designer termék esetében a funkcionalitás és az esztétikum közötti egyensúly kiemelten fontos.

Árkatégória szempontjából a válaszok alapján a legtöbben a 2001–4000 Ft közötti árat tartják reálisnak a vázáért. Néhányan jelezték, hogy ennél magasabb árat is elfogadnának, ha a termék tartóssága és stabilitása megerősítést nyerne. Ez arra enged következtetni, hogy a vásárlási hajlandóság a dizájn iránti tetszés és a funkció összehangolásán múlik. Az árkatégória százalékos megoszlását az újrahasznosított politejsavból készült váza tekintetében a 36. ábrán láthatjuk.

18. Mennyit lenne hajlandó fizetni érte?



36. ábra: Vendéglátóhelyek fizetési hajlandósága helyi gyártású PLA vázáért

Forrás: Saját szerkesztés

Összefoglalásként elmondható, hogy a PLA-ból készült váza jelentős piaci potenciállal bír, különösen a dizájnérzékeny, vendégtérre fókuszáló egységek – mint a kávézók és tematikus éttermek – körében. A stabilitás műszaki javítása, valamint többféle méret- és formavariáció bevezetése tovább növelheti a termék elfogadottságát.

7.3. LÁMPABÚRA

A PLA-alapú lámpabúra értékelése során a válaszadók elsődlegesen az esztétikai szempontokat emelték ki, ugyanakkor a funkcionális megközelítések is visszatérő elemei voltak a véleményeknek. A kitöltők több mint fele (kb. 57%) 4-es vagy 5-ös pontszámot adott a bemutatott termékre, ami biztató fogadtatást jelez egy olyan tárgy esetében, amely nem kézenfekvő berendezési elem minden vendéglátóhelyen.

A visszajelzések alapján a lámpabúra megjelenését a válaszadók modernnek, letisztultnak és látványosnak nevezték, különösen a kávézók, bárók és kisebb éttermek képviselői. Egyes megjegyzések szerint: „nagyon dizájnós, kellemes hangulatot áraszthat egy helyiségben”, illetve „különleges, figyelemfelkeltő, de nem hivalkodó”. Az ilyen visszajelzések alapján megállapítható, hogy a vendégek számára atmoszférát teremtő eszközökre való nyitottság egyértelműen jelen van. Az újrahasznosított PLA-ból készült lámpabúrát a 37. ábrán tekinthetjük meg.



37. ábra: Újrahasznosított PLA-ból készült lámpabúra

Forrás: Saját szerkesztés

Ugyanakkor előkerültek praktikus aggályok is: néhány válaszadó hangsúlyozta, hogy a lámpabúra típusától függően fontos lenne figyelembe venni a hőállóságot, a könnyű tisztíthatóságot és a felszerelhetőség módját. Ezek a megfontolások főként a nagyobb forgalmú éttermek és szállodák körében merültek fel, ahol a világítótestek biztonsági és üzemeltetési feltételei szigorúbb követelményeket támasztanak. A tartósság és a könnyű karbantarthatóság tehát kulcstényező lehet a termék piaci elfogadottságában.

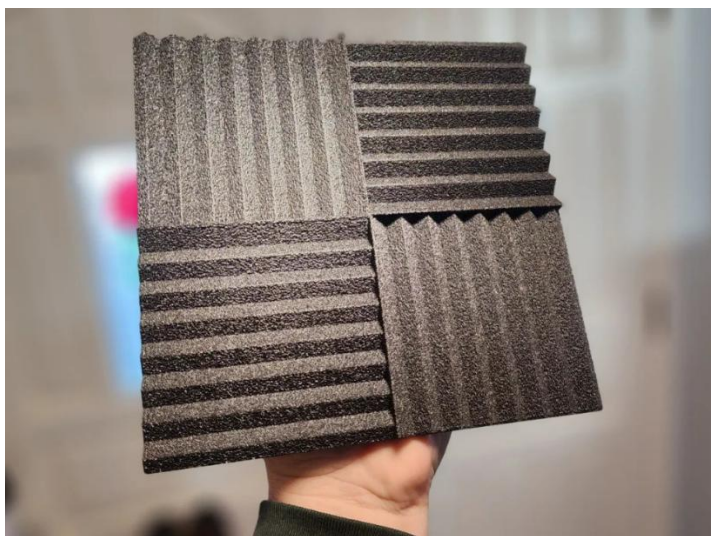
Árképzési szempontból a legtöbb válaszadó a 4001–6000 Ft közötti tartományt jelölte meg ideálisnak, míg néhányan 2000–4000 Ft közé sorolták. Az árérzékenység leginkább az egységek méretéhez volt köthető: a kisebb helyek reálisnak találták a közepkategóriás árat, míg a nagyobb, több egységet is felszerelni kívánó éttermek az alacsonyabb árakat részesítették előnyben.

Összességében a PLA-ból készült lámpabúra olyan termék, amely elsősorban dizájnorientált helyeken lehet sikeres, ahol a belső tér hangulata és arculata kiemelt szerepet játszik. A jövőbeni bevezetés előtt javasolt technikai információkat biztosítani a felszerelésről és karbantartásról, illetve különböző stílusvariánsokat kínálni, hogy a termék a klasszikusabb enteriőrökhöz is könnyen illeszthető legyen.

7.4. AKUSZTIKAI PANEL

A PLA-ból készült akusztikai panel fogadtatása a válaszadók körében meglehetősen vegyes volt, amely mögött elsősorban a termék funkciójával kapcsolatos ismeretek hiánya állt. A válaszadók körülbelül 45%-a értékelte a terméket 4-es vagy 5-ös pontszámmal, ugyanakkor jelentős volt azok aránya is, akik alacsonyabb pontszámot adtak, vagy nem tudtak egyértelműen véleményt formálni.

A 38. ábrán is jól látható, hogy a termék formai kialakítása modern, geometrikus mintázatú, ami első pillantásra dizájnelemként is értelmezhető, nem csupán funkcionális célokra. A sötétszürke szín, az eltérő textúrák és a rácsozott struktúra egyaránt letisztultságot és profizmust sugall. Több válaszadó úgy nyilatkozott, hogy „nem tudom, pontosan mire való, de jól néz ki”, míg mások egyenesen hasznosnak nevezték: „kávézókba, ahol sok ember beszélget egyszerre, kifejezetten jól jöhet”.



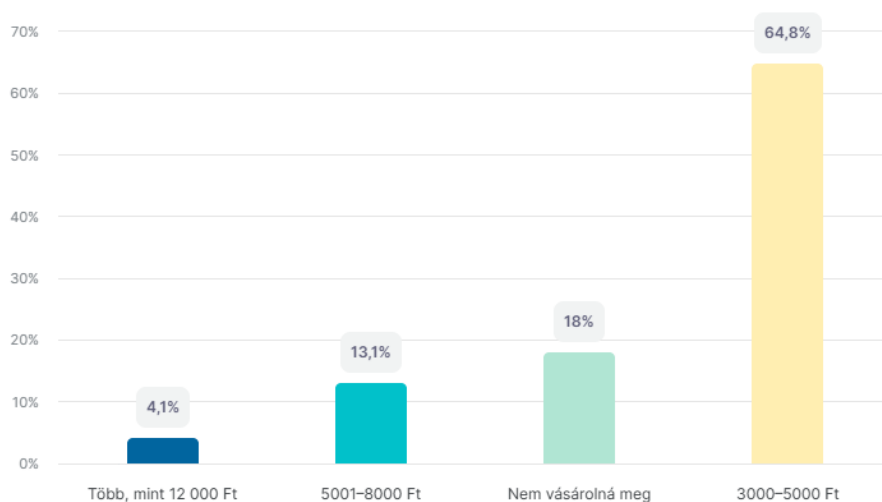
38. ábra: Akusztikai panel

Forrás: Saját szerkesztés

A funkcionalitás tehát egyeseknél azonnal értelmet nyert, míg másoknál hiányzott a kontextus. Ennek alapján világossá vált, hogy az akusztikai panelek esetében elengedhetetlen a célzott tájékoztatás: mire jók, hová érdemes őket elhelyezni, milyen hatásokkal működnek és mennyire tartósak. Ezen információk hiányában sokan nem tudják a terméket valós környezetükbe elképzelni.

Az elfogadható ár tekintetében a válaszadók többsége a 3000–5000 Ft közötti kategóriát találta észszerűnek (lásd 39. ábra), de akadtak olyanok is – különösen bárók, pubok körében –, akik több mint 5000 Ft-ot is szívesen fizetnének érte, ha a termék valóban bizonyítottan javít a hangkomforton.

24. Mennyit lenne hajlandó fizetni érte? (50×50 cm-es)



39. ábra: Fizetési hajlandóság újrahasznosított akusztikai panelek iránt

Forrás: Saját szerkesztés

Az akusztikai panel tehát egy „oktatást igénylő termék”, amelynek piaci sikeressége nagyban függ attól, hogy mennyire tudjuk szemléletesen, hitelesen és praktikusán kommunikálni az előnyeit. A visszafogott, mégis karakteres formai kialakítása és sötét színvilága miatt jól illeszkedik a modern, ipari vagy minimál stílusú helyiségekbe, így a pozicionálásnál ez is figyelembe veendő.

7.5. A KÉRDŐÍV NYITOTT KÉRDÉSÉNEK RÉSZLETES ELEMZÉSE

A kérdőív utolsó pontja lehetőséget adott a válaszadók számára, hogy szabad szöveges formában fejtsék ki gondolataikat, érzéseiket vagy konkrét javaslataikat az újrahasznosított PLA-anyagból készült designer termékekkel kapcsolatban. E kérdés különösen fontos eleme volt a kutatásnak, mert míg a zárt kérdések numerikus, kvantitatív képet adnak, addig az itt kapott

válaszok minőségi, kvalitatív betekintést nyújtanak a célcsoport gondolkodásába, motivációiba, szkepticizmusába vagy éppen lelkesedésébe.

Az összegyűlt visszajelzések alapján három nagyobb kategóriába sorolhatók a megnyilvánulások:

1. Pozitív fogadtatás és támogatás,
2. Funkcionális/praktikus megfontolások,
3. Kételyek és javaslatok a fejlesztésre, tájékoztatásra.

7.5.1 Pozitív fogadtatás és lelkesedés

Számos válaszadó értékelte örömmel azt, hogy a fenntarthatóság témája megjelent a vendéglátás világában. Olyan visszajelzések érkeztek, melyek nemcsak a termékekre, hanem az egész kezdeményezés mögötti filozófiára reflektáltak. Egy kávézótulajdonos például így fogalmazott:

„Fontos számomra a környezettudatosság, és ezt igyekszem vendégeim körében is népszerűsíteni. A környezettudatos dekorelemekkel, és kihelyezett termékismertető katalógusokkal fel tudnám hívni a vendégeim figyelmét a fenntarthatóbb dekorálásra, lakberendezésre, és ezzel Földünknek is jót tennék.”

Ez a megjegyzés jól szemlélteti, hogy a termékek messze túlmutatnak önmagukon: kommunikációs eszközzé, értéktranszfer tárgyaivá válnak, amelyeken keresztül a vendéglátóhelyek saját márkájuk értékeit is kifejezhetik. Az ilyen típusú hozzáállás hosszú távon márkahűséget épít, és különösen a Z-generációs, tudatosabb vendégkör számára lehet vonzó.

Több megjegyzés is utalt arra, hogy a bemutatott termékek „vonzóak, modernek és ötletesek”, különösen a szalvétatartó és a váza kapcsán érkeztek ilyen jelzők. A visszajelzések alapján ezek a tárgyak könnyen beilleszthetők a mindennapi működésbe anélkül, hogy radikális változtatást igényelnének az üzletmenetben.

7.5.2 Funkcionalitással kapcsolatos megfontolások

Ugyanakkor a pozitív attitűdök mellett számos válasz a praktikum és alkalmazhatóság kérdéseire reflektált. E kategóriába tartoznak azok a megjegyzések, amelyek elismerik a termékek esztétikai értékét, ugyanakkor hangsúlyozzák, hogy a design önmagában nem elég. Egy válaszadó például így fogalmazott a vázával kapcsolatban:

„A váza nagyon szép, és jól mutatna, de mivel az alja nagyon keskeny, ezáltal instabil, így se nem vásárolnám meg, se nem raknám ki. Ha nagyobb felületen érintkezne az asztallal, mindenképpen megvásárolnám.”

Ez a megjegyzés kiemeli azt az alapelvet, hogy egy vendéglátóipari környezetben a termékeknek ellenállónak, könnyen kezelhetőnek és biztonságosnak kell lenniük. Az instabil vagy

nehezen tisztítható tárgyak gyorsan lekerülnek az asztalokról – függetlenül attól, milyen szépek. Éppen ezért a termékfejlesztés során kiemelt szerepet kell szánni a gyakorlati tesztelésnek.

Egy másik tipikus praktikus szempont a testre szabhatóság volt:

„Szívesen látnék a báromban újrahasznosított PLA-ból készült poháralátéteket, esetleg a cég logójával ellátott termékeket, egy közös együttműködés keretein belül, szponzorációval egybekötve.”

Ez a gondolat stratégiai lehetőségeket is felvillant: a logózható termékek, illetve szponzorált megoldások a B2B együttműködések megerősítésének eszközei lehetnek, ahol a fenntarthatóság mellé márkaépítés is társul.

7.5.3 Tájékoztatási hiányosságokra utaló észrevételek

Több visszajelzés is kifejezetten arra mutatott rá, hogy a válaszadók egy része nem volt tisztában a PLA anyag tulajdonságaival, sőt, néhányan bevallották, hogy nem is hallottak róla korábban. Az egyik legfontosabb ilyen megjegyzés így szólt:

„A 6. kérdés után néhány információ a PLA-ról, felhasználási lehetőségeiről, alkalmazási példákról hasznos lenne. Nem tudom, hogy mi az, nem hallottam róla, de el kell döntsem a 7. pontban, hogy nyitott vagyok-e rá.”

Ez a megjegyzés rávilágít arra, hogy még az elkötelezett érdeklődők sem tudják mindig eldönteni, hogy valóban nyitottak-e egy új anyagra, ha nincs elegendő kontextusuk vagy gyakorlati ismeretük annak felhasználásáról. Az ilyen észrevételek megerősítik, hogy a termékek mellett részletes információs csomagokat, katalógusokat és akár videós ismeretterjesztő anyagokat is érdemes készíteni, amelyek a PLA előnyeit és használhatóságát mutatják be.

7.5.4 További kreatív javaslatok

Érkeztek olyan kreatív ötletek is, amelyek új termékötleteket vagy továbbfejlesztési irányokat sugallnak. Az egyik vendéglátós például ezt írta:

„Ha lenne katalógusotok a termékeitekről, szívesen átlapoznám! Van esetleg olyan termékek, ami tud foszforeszkálni a sötétben?”

Ebből az derül ki, hogy a célközönség egy része nyitott az egyedi, élményszerű megoldásokra – például a világító, interaktív vagy tematikus termékekre. Ezek nemcsak a vendégélményt fokozzák, de közösségi médiában is könnyen megoszthatóvá válnak, ami ingyenes marketingértékkel bír.

8. EREDMÉNYEK ÉS KONKLÚZIÓ

Kutatásom középpontjában a kevert PLA-alapú 3D nyomtatási hulladék újrahasznosítási folyamatának fejlesztése állt, különös tekintettel a szennyezőanyagok eltávolításának hatékonyságára az extrudálás során. A célom az volt, hogy egy olyan újrahasznosítási rendszert dolgozzak ki, amely képes stabil, homogén, nyomtatható minőségű filamentet előállítani, lehetővé téve az anyag többszöri körforgásba vonását a körforgásos gazdaság szellemében. Ennek érdekében egy saját fejlesztésű, kísérleti szűrőszerszámmal végeztem kísérleteket, amelyek során hat különböző finomságú szűrőbetét hatását vizsgáltam az extrudált PLA minőségére, valamint kontrollként szűrő nélküli gyártást is alkalmaztam.

A szűrés hatását három fő aspektusból elemeztem: egyrészt az extrudálási folyamat technológiai paraméterein (mint az eltömődés és nyomásgörbe alakulása), másrészt a keletkezett filament nyomtathatóságán és mérettartásán, végül pedig a nyomtatott próbatestek anyagtulajdonságain keresztül, melyeket mechanikai (ütő-, hajlító- és szakító-) vizsgálatokkal és mikroszerkezeti elemzésekkel (CT, SEM) is elemeztem.

A technológiai vizsgálatokkal párhuzamosan egy célzott, termékorientált kérdőíves kutatást is végeztem, amelyben a vendéglátóipar szereplőinek – éttermek, kávézók, bárók, cukrászdák – véleményét mértem fel az újrahasznosított PLA-alapú designer termékek esztétikuma, funkcionalitása és piacképessége kapcsán. E kérdőíves felmérés célja az volt, hogy a technológiailag optimalizált termékek valós piaci megítélését is megismerjem, azaz választ kapjak arra, hogyan viszonyulnak a célcsoport tagjai a PLA-hulladékból készült tárgyakhoz, például szalvétatartókhoz, vázákhoz, poháralátétekhez, akusztikai panelekhez vagy lámpabúrákhoz.

A kérdőíves kutatás eredményei nemcsak értékes visszajelzéseket adtak a termékek dizájnjára és használhatóságára vonatkozóan, hanem közvetve a szűrési folyamat minőségére is: több válaszadó is kiemelte a felületminőség, az egyenletesség és a tisztaság fontosságát, amelyek szorosan összefüggnek a szűrés hatékonyságával. Így a technológiai és piaci visszacsatolás ebben a kutatásban szorosan egymásra épült.

A következő fejezetekben a kísérleti szűrési vizsgálatok részletes elemzése olvasható, amelyet a kérdőíves kutatás eredményeinek összegzése és azokkal való összefüggések levonása egészít ki.

8.1. SZŰRÉS HATÁSA AZ EXTRUDÁLÁSI FOLYAMATRA

Az extrúziós folyamat során az idő-nyomás görbék meredekségét vizsgáltam. A 200 mesh értékű szűrőnél kiugrás tapasztalható, így azt valószínűsítem, hogy a darált alapanyagba került

szennyezők többsége 0,122 mm-nél kisebb azonban 0,077 mm-nél nagyobb. Ez megmagyarázza, hogy a 120 mesh értékű szűrő eltömődése még nem jelentős, hiszen a kisméretű szennyezők áthaladtak rajta. Azonban a 200 mesh-es szűrő már akadályozza a szennyezők áramlását, így szignifikánsan növelve az extrudálási nyomást. Az idő-nyomás görbe ilyen meredekség mellett az egész extrudálási folyamat mindössze 30 percig lenne végezhető, hogy a meghatározott biztonságos nyomásértéket ne lépjük túl. A 120 mesh értékű betét esetében ez 4,6 óra lenne.

Ebben az aspektusban a 120-20 mesh szűrőbetétek ajánlottak, mivel a legsűrűbb szűrőnél az extrudálási folyamatot csak rövid ideig lehet a biztonságos nyomásértékek alatt végezni.

8.2. SZŰRÉS HATÁSA A NYOMTATHATÓSÁGRA

A nyomtathatóság vizsgálatánál MFI vizsgálatot végeztem, melyben a különböző minták között szignifikáns eltérést nem tapasztaltam. Mivel az FDM nyomtató egységei meghatározott átmérőjű nyílással rendelkeznek, így a filament átmérőjének mérethelyességét is vizsgáltam. A mikrométeres mérések alapján megállapítottam, hogy minél ritkább (alacsonyabb mesh érték) szűrő volt alkalmazva, annál nagyobb a nyomtatási szál átmérőjének a szórása, illetve az eltérése a kívánt értéktől. Továbbá a próbanyomtatások során a szűrő nélkül, 20 mesh, 40 mesh betétekkel gyártott filamentek esetében többször elakadt a szál, mivel a nagyméretű szennyezők akadályt képeztek a szál szabad mozgásának. A nyomtatott próbatestek méretpontosságában is hasonló tendencia látható. A két diagram (11. ábra, 12. ábra) között fennálló korreláció alapján megállapítható, hogy a szűrőbetét mesh értékének közvetlen hatása van a nyomtatási szálba kerülő idegenanyagok méretére, a nyomtatási szál átmérőjének a pontosságára, illetve a nyomtatott darabok mérethelyességére. A filament mérethelyességének a romlása a nyomtatott darabok méretpontosságát befolyásolja, melyből az anyagtulajdonságok romlása ered. A nagyobb mesh érték kisebb szennyezőket fog eredményezni a szálban, továbbá kisebb lesz a filament átmérőjének a szórása, valamint a próbatestek kisebb hibával lesznek nyomtathatóak.

8.3. SZŰRÉS HATÁSA AZ ANYAGTULAJDONSÁGOKRA

Az anyagtulajdonságok vizsgálata érdekében ütő-, szakító- és hajlítóvizsgálatot végeztem, valamint a szennyezőket CT és SEM analízisnek is alávettem. Ahogy már fentebb említettem, a rossz méretű filamenttel pontatlan próbatest nyomtatható, melyből gyengébb anyagtulajdonságok erednek. Ezért az anyagtulajdonságokban bekövetkező negatív változást nem biztos, hogy csak a szennyezőanyagoknak lehet betudni, hanem az általuk okozott filament mérettűrés romlásának is.

A szakító- és hajlítóvizsgálat eredményeiben nem találtam szignifikáns eltéréseket a minták között. Azonban a próbatestek fajlagos ütőmunkája annál nagyobb volt, minél magasabb volt a szűrés mértéke (magasabb mesh szám). A kevesebb szennyezőt tartalmazó próbatestek nagyobb

ütőmunkája arra utal, hogy a nagyobb mesh számú szűrővel készült filamentből nyomtatott próbatestek rétegei közötti kapcsolat erősebb. A nagyobb szennyezők mechanikailag nagyobb mértékben gyengítik a darabot.

A CT vizsgálatokból egyértelműen kiderült, hogy a mesh érték csökkenésével (ritkább szűrőbetét) a szennyezők mérete és előfordulása is növekszik. Ebben az aspektusban a nagyobb mesh értékű szűrőbetét alkalmazásának pozitív hatása van az anyag homogenitására, porozitására.

A SEM vizsgálatot összefoglalva a kevésbé szűrt darabokban egyértelműen felfedezhetőek a szennyezőanyagok. A feltárt szennyezők akadályozhatják az egymásra épülő rétegek megfelelő kapcsolódását, mely az ütővizsgálat eredményében is megmutatkozott (lásd 4.7.1).

8.4. A VÉGFELHASZNÁLÓI VISSZAJELZÉSEK SZEREPE AZ OPTIMALIZÁLÁSBAN

A kutatásom során alkalmazott technológiai megközelítés és anyagvizsgálati módszerek elsősorban a filament előállításának fizikai és mechanikai minőségére koncentráltak. Ugyanakkor már a tervezési fázisban is egyértelmű célkitűzésként fogalmazódott meg, hogy az újrahasznosított PLA-ból készült tárgyaknak nem csupán technológiai szempontból kell megfelelőnek lenniük, hanem piaci, felhasználói szempontból is. Ennek érdekében egy párhuzamos kérdőíves kutatás is készült, amely lehetőséget adott arra, hogy valós vendéglátóipari szereplők – kávézók, éttermek, bárók, cukrászdák, szállodák – értékeljék az elkészült prototípusokat.

A kérdőív során összesen 121 válaszadó nyilvánítt véleményt olyan konkrét, PLA-újrahasznosításból származó termékekről, mint például szalvétatartó, váza, lámpabúra, vagy akusztikai panel. A válaszadók 1-től 5-ig terjedő skálán pontozták a termékeket esztétikum, praktikum és vásárlási szándék alapján, továbbá szabad szöveges megjegyzések formájában is kifejezheték véleményüket.

A válaszokból egyértelműen kirajzolódott, hogy a termékek felületminősége, homogén megjelenése és szerkezeti integritása döntő szerepet játszik a pozitív megítélésben. Számos válaszadó értékelte nagyra, ha a termék „egyenletes textúrájú”, „letisztult megjelenésű”, illetve „nem láthatók rajta anyaghibák vagy nyomtatási egyenetlenségek”. Ezek a visszajelzések közvetlen összefüggést mutatnak az anyag szűrésének technológiai szintjével: minél magasabb volt a szűrőbetét mesh értéke, annál kisebb szennyező került a filamentbe, ezáltal a végtermék vizuálisan is kifinomultabb lett.

Az egyik legfontosabb tanulság tehát az volt, hogy a szűrési technológia és a felhasználói elégedettség nem választható el egymástól. Az olyan tárgyak esetében, amelyekhez alacsony mesh számú szűréssel készült filamentet használtam (pl. 20 vagy 40 mesh), több felhasználó is kritikát fogalmazott meg a „durvább textúra” vagy az „esztétikailag kevésbé meggyőző megjelenés” miatt. Ezzel szemben a 120 mesh értékkel szűrt PLA-filamentből készült tárgyak értékelése jellemzően

magasabb pontszámokat kapott, ami megerősíti, hogy ez az a tartomány, ahol a gyártás technológiai és piaci szempontból is optimumhoz közelít.

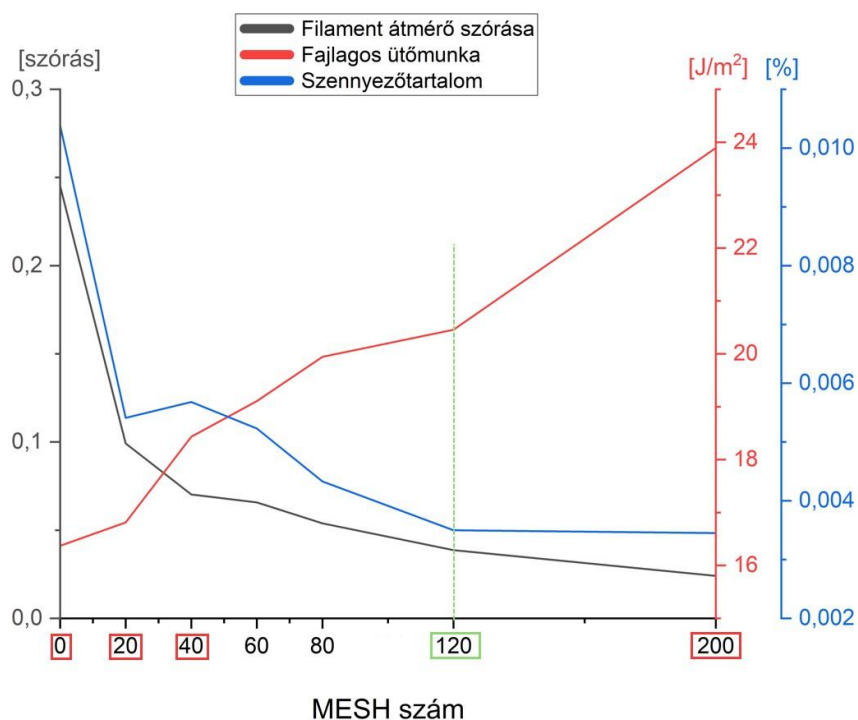
Ezen túlmenően több megjegyzés hivatkozott arra, hogy a termékek funkcionális használata (pl. stabilitás, tisztíthatóság, tartósság) szintén szorosan összefügg az anyag minőségével. Egy válaszadó például konkrétan kiemelte, hogy a váza dizájnya tetszetős, de „az alsó felülete túl keskeny, emiatt instabilnak érződik”. Ez a visszacsatolás nemcsak formai, hanem anyagminőségi kérdés is lehet, hiszen a szennyezőanyagok jelenléte befolyásolhatja a nyomtatott darab szerkezeti megbízhatóságát is.

A kérdőíves kutatás szabad szöveges válaszai mellett új ötleteket és jövőbeli termékfejlesztési irányokat is inspiráltak. Többen jelezték például, hogy szívesen vásárolnának logózott, egyedi megjelenésű PLA-termékeket, vagy érdeklődtek a világító (foszforeszkáló) változatok iránt. Ezek a visszajelzések nemcsak a design, hanem az anyagkombinációk és az alapanyag-kezelés további kísérleti irányait is kijelölik.

Összességében elmondható, hogy a technológiai és kérdőíves kutatás eredményei szinergikus módon erősítették egymást. A szűrési vizsgálatok tudományos igényű adatokkal szolgáltak az optimális paraméterek meghatározásához, míg a kérdőíves értékelések megmutatták, hogy ezek az optimalizált technikai jellemzők hogyan értékelődnek le a valós piaci környezetben. Az így kapott kettős visszajelzés alapot adhat arra, hogy a jövőben ne csak technikailag megbízható, de üzletileg is sikeres újrahasznosított designer termékek kerülhessenek forgalomba.

8.5. EREDMÉNYEK ÖSSZEGZÉSE

Összegezve az eredményeket, a kutatásom kiinduló paramétereit és körülményeit figyelembe véve, meghatározható egy optimális mesh tartomány. A vizsgálatokat összesítve készítettem egy diagramot, melyen az optimum határozható meg (lásd 40. ábra). Az x tengelyen ábrázoltam a mesh értékeket. Piros kerettel láttam el a 0, 20, 40-es értékeket, mivel ezen szűrések esetében a nyomtatásnál többször is elakadt a filament, ami sikertelen nyomtatáshoz vezetett. Továbbá a 200-as érték is piros keretet kapott, mivel ennél az értéknél az extrúziós nyomásérték kiugróan magas volt. Így ezeknek a betéteknek az alkalmazása biztos nem az optimális kategóriába sorolandó. A diagramon a következő pont, ahol a szennyezőtartalom és a filament átmérőjének a szórása minimumértéket vesz fel, valamint a fajlagos ütmunka maximum értéket ér el, a 120 mesh értéknél található (zölddel jelölve).



40. ábra: Optimális szűrőbetét keresése

Forrás: Saját szerkesztés

Az eredmények és az ábra segítségével meghatározható, hogy a kutatásomban újrahasznosított keverék PLA 3D nyomtatási hulladék szűréséhez az optimális szűrőbetét értéke 120 mesh.

8.6. TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK

A diplomamunkámban bemutatott kutatás számos új irányt nyitott meg mind az anyagvizsgálat, mind a termékfejlesztés és piaci adaptáció terén. A szűrőbetétek hatékonyságának vizsgálata, valamint a visszagyűjtött PLA-alapanyag újrahasznosítása sikeresen megalapozta a következő kutatási fázisokat, melyek több szinten is elmélyíthetik a témát.

Elsőként, a szennyezőanyagok pontos beazonosítása kerül előtérbe. Ennek érdekében FTIR (Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia) elemzést kívánok végezni, amely lehetővé teszi a PLA-alapanyagban megjelenő heterogén szennyeződések anyagi összetételének meghatározását. Ez azért kulcsfontosságú, mert jelen dolgozatban a felhasznált PLA darálék összetétele nem volt teljes mértékben ismert, ami korlátozta a szűrési mechanizmusok célzott optimalizálását.

A következő lépésben az extrúziós folyamat kontrollált szennyezéssel történő vizsgálata fogja képezni a kutatás alapját. A cél az, hogy pontosan feltérképezhető legyen, mely típusú szennyezőanyag milyen mértékben befolyásolja a filament végső tulajdonságait – mind mechanikai, mind vizuális szempontból. Ezáltal lehetőség nyílik arra, hogy a szűrőbetétek kialakítását célzottan a legproblémásabb szennyezőkre optimalizáljam.

Különösen izgalmas terület a granulátumos nyomtatókba integrált szűrési technológia kifejlesztése. A jelenlegi kutatás eredményei azt mutatják, hogy a PLA-alapú hulladék – megfelelő szűrés mellett – képes stabil minőséget biztosítani. Ha ezt a szűrési eljárást közvetlenül beépíthetővé tesszük a granulátum alapú 3D nyomtatókba, lehetőség nyílna a filamentgyártási lépés elhagyására, így jelentősen csökkenhet az energiafelhasználás és az újrahasznosítási ciklusok közötti degradáció is. Ez a megoldás hosszú távon elősegítené, hogy a PLA-t akár többször is újra felhasználhassuk, komoly környezeti és gazdasági megtakarítást eredményezve.

A technológiai irányokon túlmenően a kérdőíves kutatás során kapott visszajelzések alapján érdemes lenne elmélyülni a design és funkció integrált fejlesztésében is. Számos válaszadó jelezte, hogy egyes termékek (pl. váza, lámpabúra) esztétikailag meggyőzőek, de bizonyos praktikus jellemzők – például stabilitás, könnyű tisztíthatóság, tartósság – további finomítást igényelnek. Ennek érdekében javasolt lenne egy tesztelési protokoll kidolgozása, amely különböző vendéglátóhely-típusokban vizsgálja a termékek valós használat melletti viselkedését. Ez nemcsak a dizájn validálását segítené elő, hanem a hosszú távú anyaghasználati tapasztalatok gyűjtését is.

A kérdőívben felmerült több kreatív javaslat is, például egy termékkatalógus kidolgozása, amely bemutatja az elérhető PLA-termékeket, felhasználási példákkal és testreszabási lehetőségekkel. Ezt kiegészíthetné egy digitális bemutatóplatform vagy mobilalkalmazás, amely lehetővé tenné a vásárlók számára, hogy virtuálisan megtekintsék, elhelyezzék, vagy akár egyedi színekkel és logóval is megtervezzék a megrendelni kívánt termékeket.

Hosszabb távon a kutatás kiteljesedhetne egy fenntartható, lokális mikrogyártási modell kialakításában is, ahol a vendéglátóhelyek maguk küldhetnék be PLA-hulladékaikat, amelyekből később számukra hasznos, újratervezett termékek készülnek. Ez nemcsak körforgásos gazdasági szemléletet valósítana meg, hanem egyedi, személyre szabott kapcsolatot is teremtené gyártó és felhasználó között.

Összefoglalva tehát a kutatás nem csupán technológiai kérdéseket válaszolt meg, hanem egy olyan holisztikus rendszert alapozott meg, ahol az anyagtudomány, a környezetvédelem, a formatervezés és a piaci szemlélet egyetlen fenntartható innovációs láncban kapcsolódik össze. A további kutatások célja ennek a láncnak az erősítése és piacképes irányba terelése lesz.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] M. A. Islam *et al.*, “Additive manufacturing in polymer research: Advances, synthesis, and applications,” *Polymer Testing*, vol. 132, p. 108364, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.POLYMERTESTING.2024.108364. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941824000412>. [Letöltve: 2025. február 24.]
- [2] F. A. Cruz Sanchez, H. Boudaoud, S. Hoppe, and M. Camargo, “Polymer recycling in an open-source additive manufacturing context: Mechanical issues,” *Additive Manufacturing*, vol. 17, no. October, pp. 87–105, 2017, doi: 10.1016/j.addma.2017.05.013. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214860416301695> [Letöltve: 2025. február 24.]
- [3] M. R. Hasan, I. J. Davies, A. Pramanik, M. John, and W. K. Biswas, “Potential of recycled PLA in 3D printing: A review,” *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, vol. 3, p. 100020, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.SMSE.2024.100020. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667344424000033> [Letöltve: 2025. február 27.]
- [4] A. Romani, L. Perusin, M. Ciurnelli, and M. Levi, “Characterization of PLA feedstock after multiple recycling processes for large-format material extrusion additive manufacturing,” *Materials Today Sustainability*, vol. 25, p. 100636, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.MTSUST.2023.100636. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589234723003238> [Letöltve: 2025. március 4.]
- [5] J. C. de Camargo, A. J. da Silva Neto, D. C. Knupp, L. A. da Silva Abreu, and G. M. de Andrade, “Theoretical and experimental approach with inverse problems for the thermal characterization of parts printed by FDM,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Jan. 2025, doi: 10.1007/S00170-024-14969-8. Elérhető: https://www.researchgate.net/publication/387663352_Theoretical_and_experimental_approach_with_inverse_problems_for_the_thermal_characterization_of_parts_printed_by_FDM [Letöltve: 2025. március 5.]

- [6] I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker, and M. Khorasani, “Development of Additive Manufacturing Technology,” *Additive Manufacturing Technologies*, pp. 23–51, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-56127-7_2. Elérhető: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-56127-7_2 [Letöltve: 2025. március 5.]
- [7] M. Bhayana, J. Singh, A. Sharma, and M. Gupta, “A review on optimized FDM 3D printed Wood/PLA bio composite material characteristics,” *Materials Today: Proceedings*, Mar. 2023, doi: 10.1016/J.MATPR.2023.03.029. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323010714> [Letöltve: 2025. március 6.]
- [8] L. Sandanamsamy *et al.*, “Effect of process parameter on tensile properties of FDM printed PLA,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 109, pp. 1–6, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.MATPR.2023.03.217. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323012592> [Letöltve: 2025. március 11.]
- [9] S. Nigam and P. N. Ahirwar, “A comparative study on the effect of infill density, shape structure, and materials on tensile properties of FDM printed components,” *Materials Today: Proceedings*, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.MATPR.2023.10.101. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323050071> [Letöltve: 2025. március 14.]
- [10] L. Marşavina *et al.*, “Effect of the manufacturing parameters on the tensile and fracture properties of FDM 3D-printed PLA specimens,” *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 274, p. 108766, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.ENGFRACMECH.2022.108766. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013794422004866> [Letöltve: 2025. március 20.]
- [11] T. Gonda and D. Nagy, “A jövő vendéglátása, a vendéglátás jövője,” pp. 28-, 2019. Elérhető: https://www.turisztikaitanulmanyok.hu/wp-content/uploads/2021/09/Vendeglatas_tanulmany.pdf [Letöltve: 2025. március 25.]
- [12] L. Árva and T. Várhelyi, “Elmozdulás a minőségi turizmus felé,” *Polgári szemle*, vol. 16, no. 1–3, pp. 94–114, 2020, doi: 10.24307/psz.2020.0707. Elérhető: <https://real.mtak.hu/117360/> [Letöltve: 2025. április 1.]
- [13] CSUTORA MÁRIA – SZIGETI CECÍLIA – HARANGOZÓ GÁBOR, “CONSUMER ACCEPTANCE OF BUSINESS PRACTICES FOR SUSTAINABILITY IN THE TIME OF

COVID – EXPERIENCES OF A,” pp. 2–16, 2024. Elérhető: <https://journals.lib.uni-corvinus.hu/index.php/vezetestudomany/article/view/1140/1049> [Letöltve: 2025. április 3.]

[14] U. Arab, “Sustainable interior design in hospitality and tourism industry,” vol. 7, no. 9, pp. 7–17, 2018. Elérhető: https://www.researchgate.net/publication/381695511_SUSTAINABLE_INTERIOR_DESIGN_IN_HOSPITALITY_AND_TOURISM_INDUSTRY [Letöltve: 2025. április 12.]

[15] Malhotra, N. K. (2001). *Marketingkutató*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó. Elérhető: https://mersz.hu/dokumentum/dj198mk__88/ [Letöltve: 2025. április. 18]

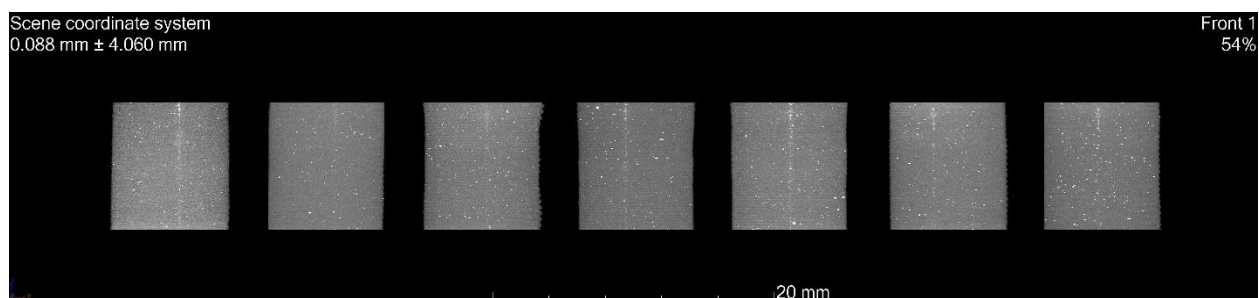
MELLÉKLETEK

1. SZ. MELLÉKLET: 3D CT FELVÉTEL

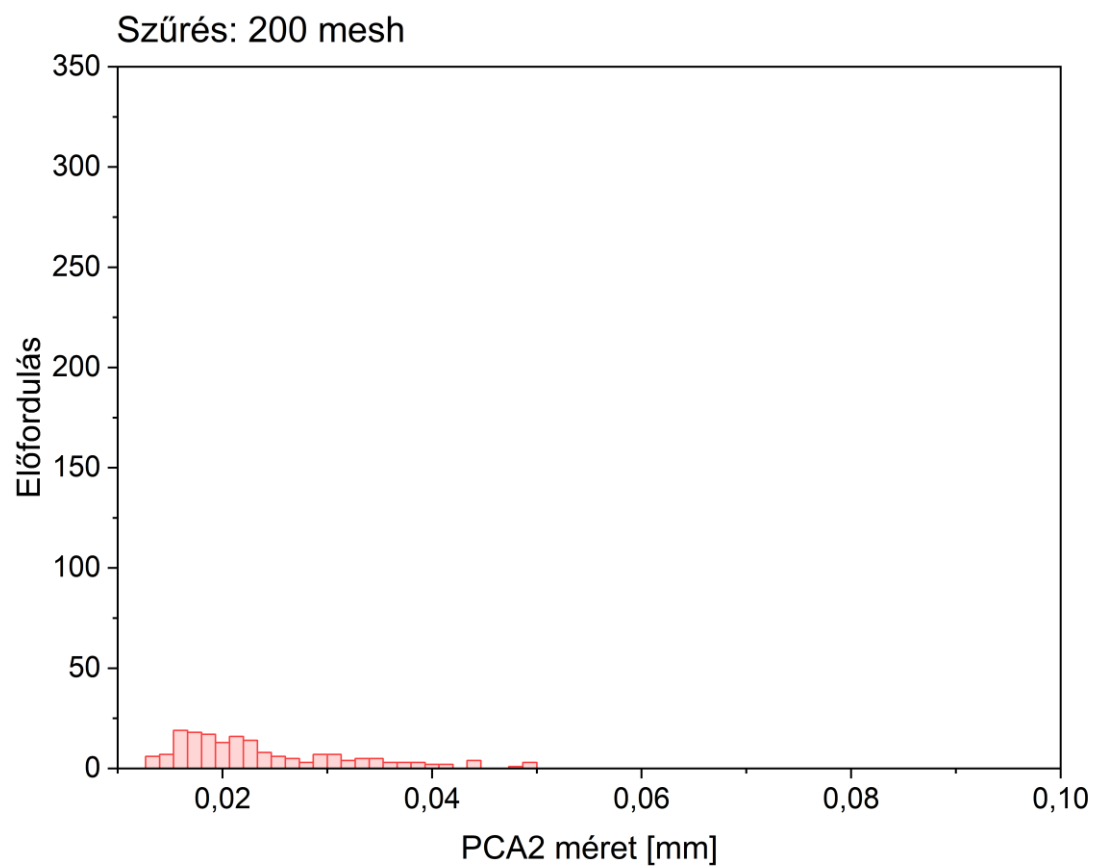
Scanned with



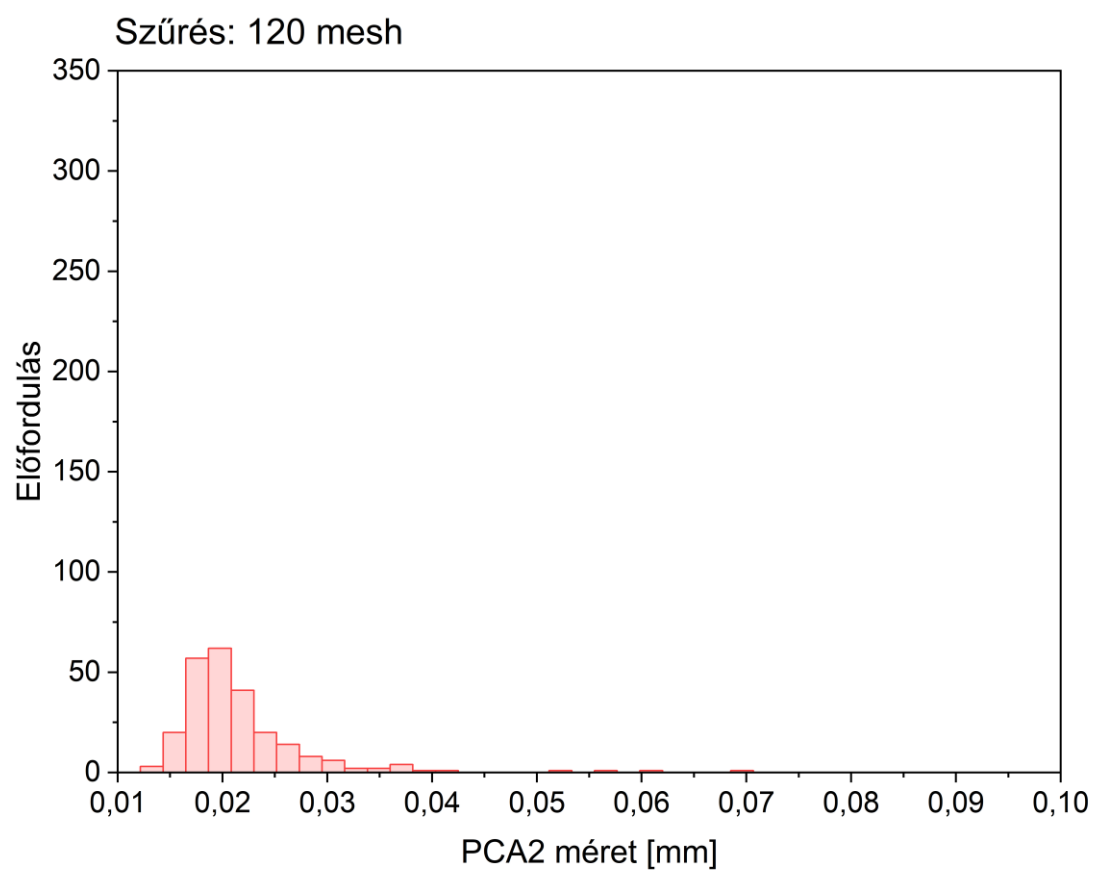
2. SZ. MELLÉKLET: 2D CT FELVÉTEL



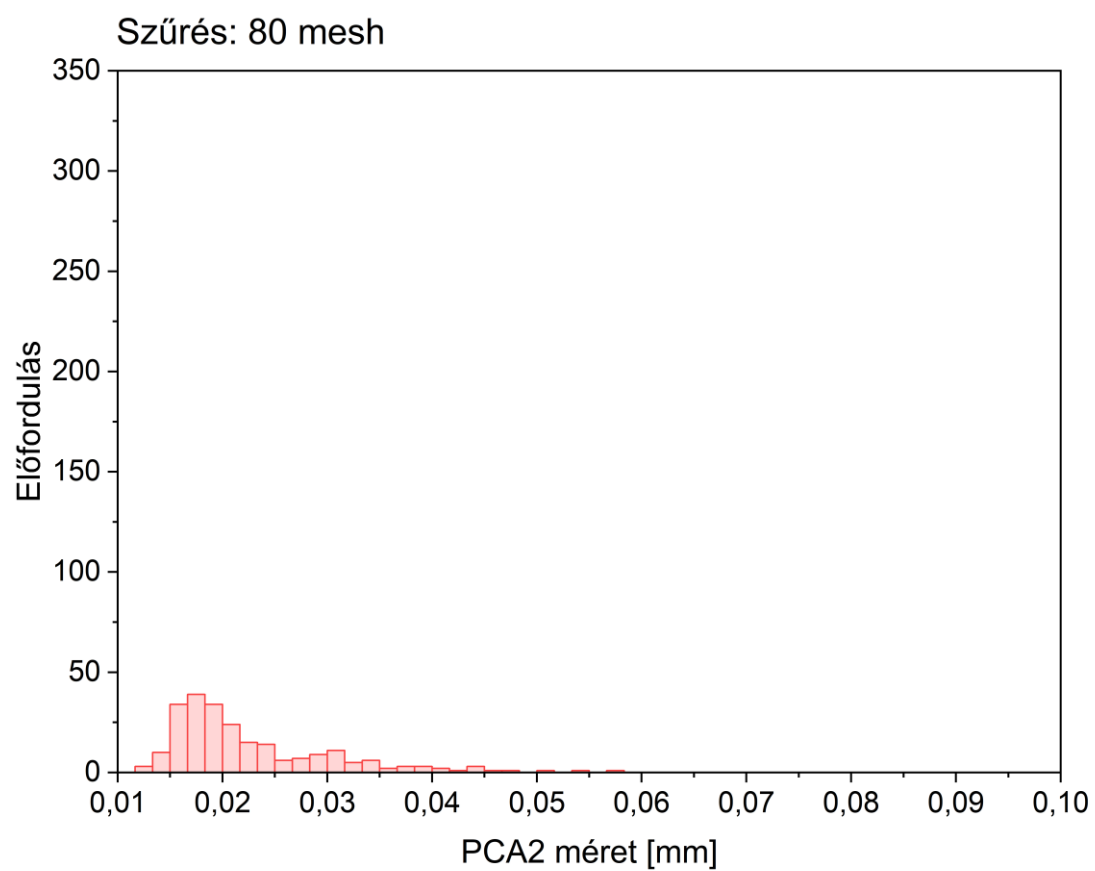
3. SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZŰRÉS: 200 MESH)



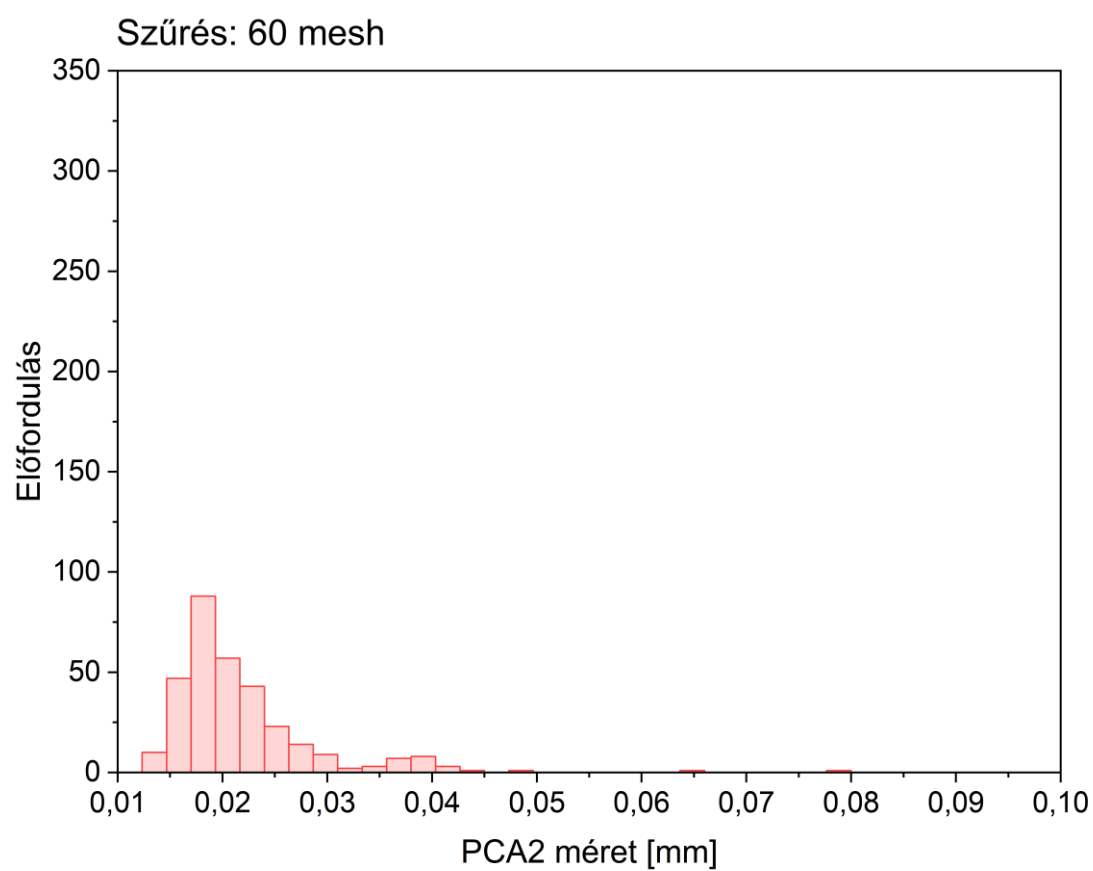
4. SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZŰRÉS: 120 MESH)



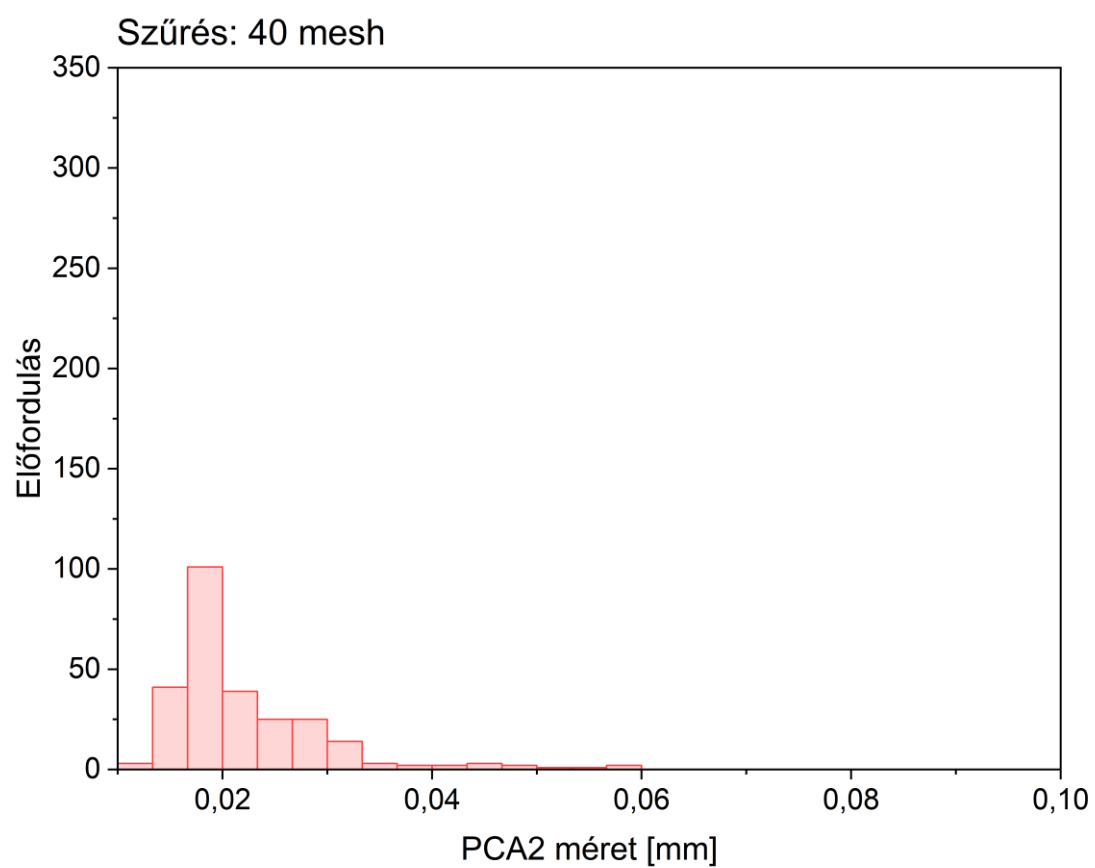
5. SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZŰRÉS: 80 MESH)



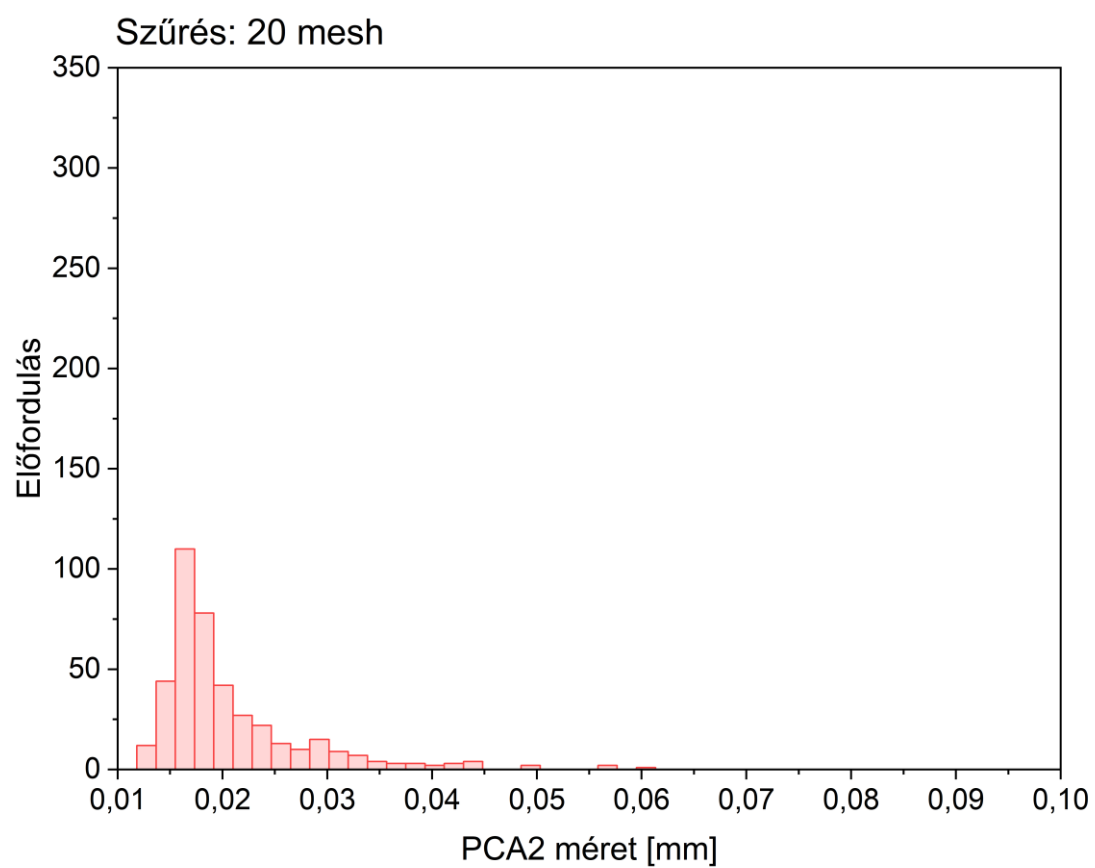
6. SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZŰRÉS: 60 MESH)



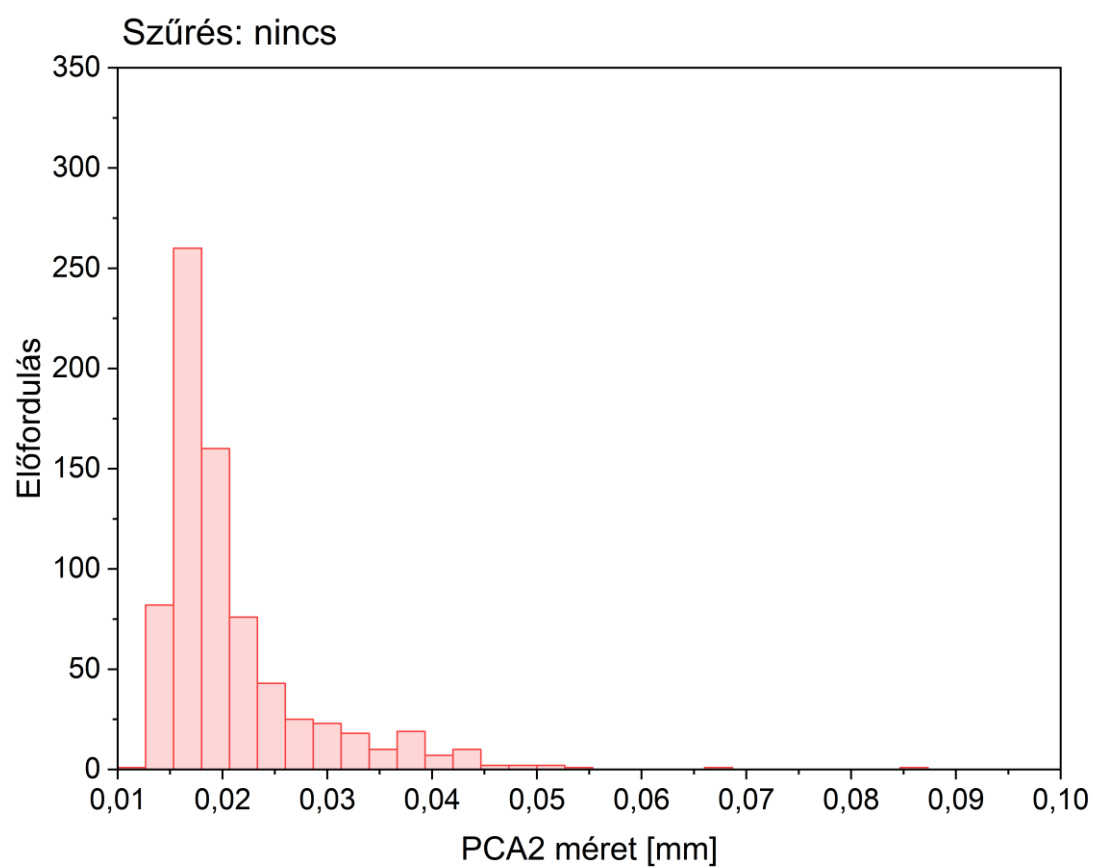
7. SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZŰRÉS: 40 MESH)



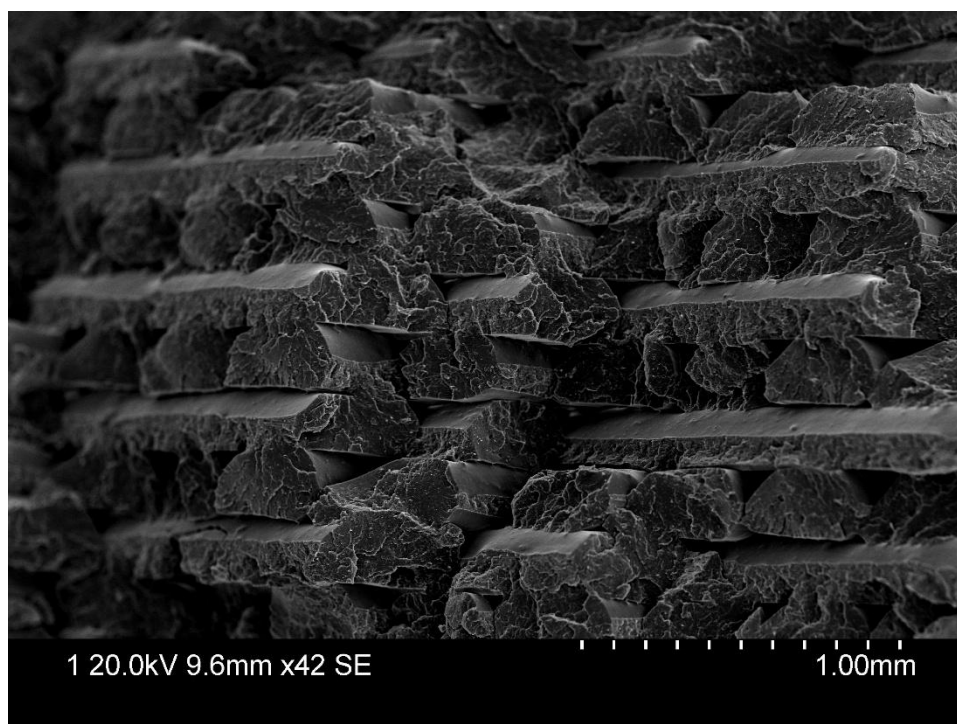
8. SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZŰRÉS: 20 MESH)



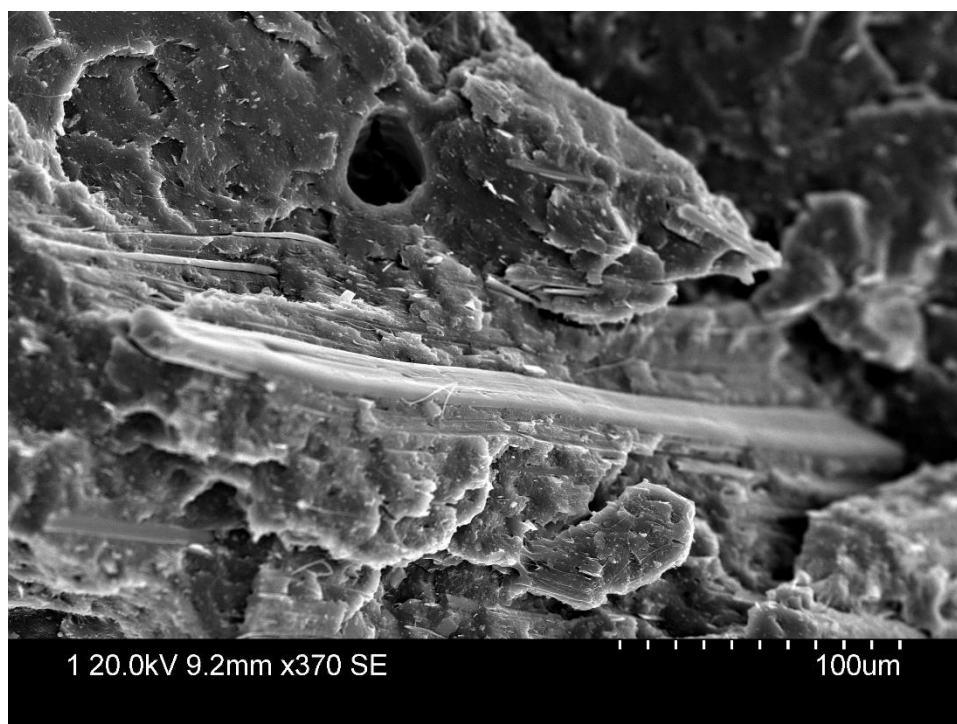
9. SZ. MELLÉKLET: SZENNYEZŐK PCA2 MÉRETÉNEK ELOSZLÁSA (SZŰRÉS: NINCS SZŰRÉS)



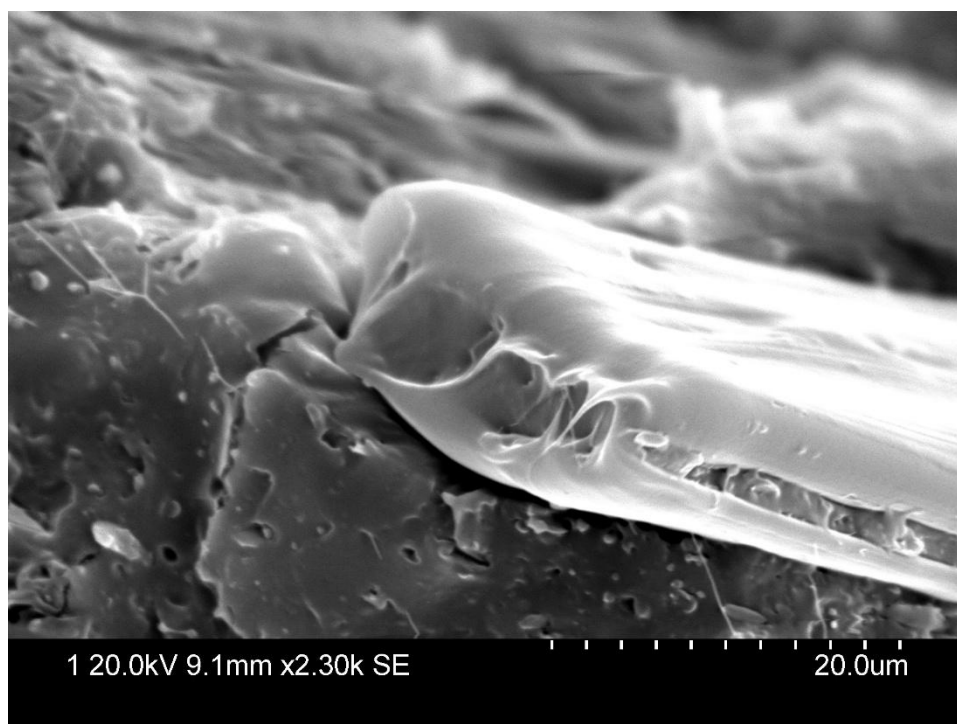
10. SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 01



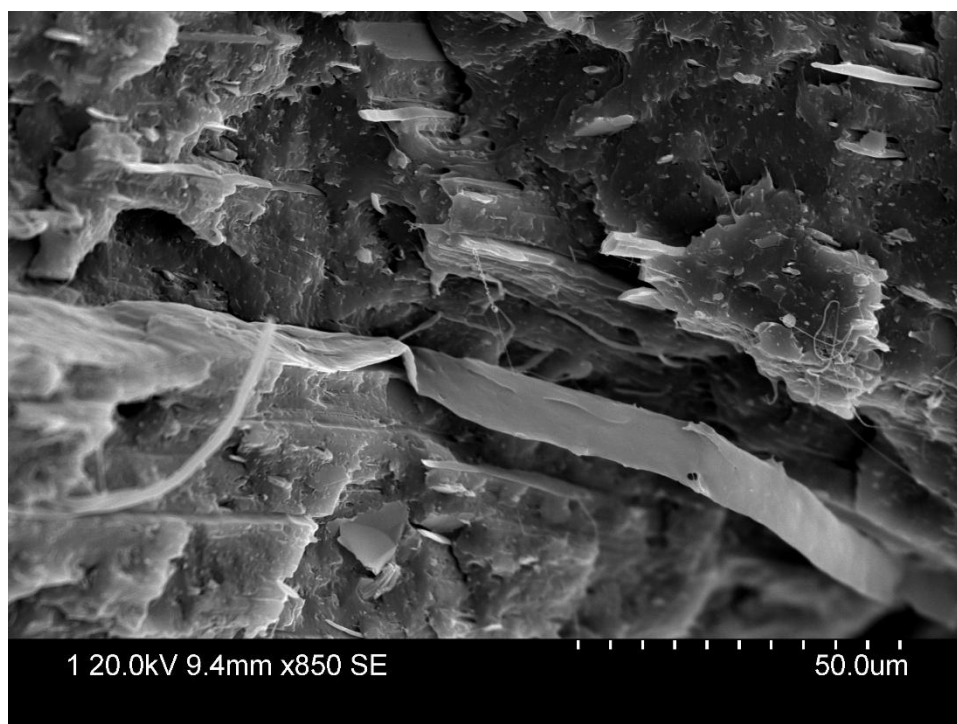
11. SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 02



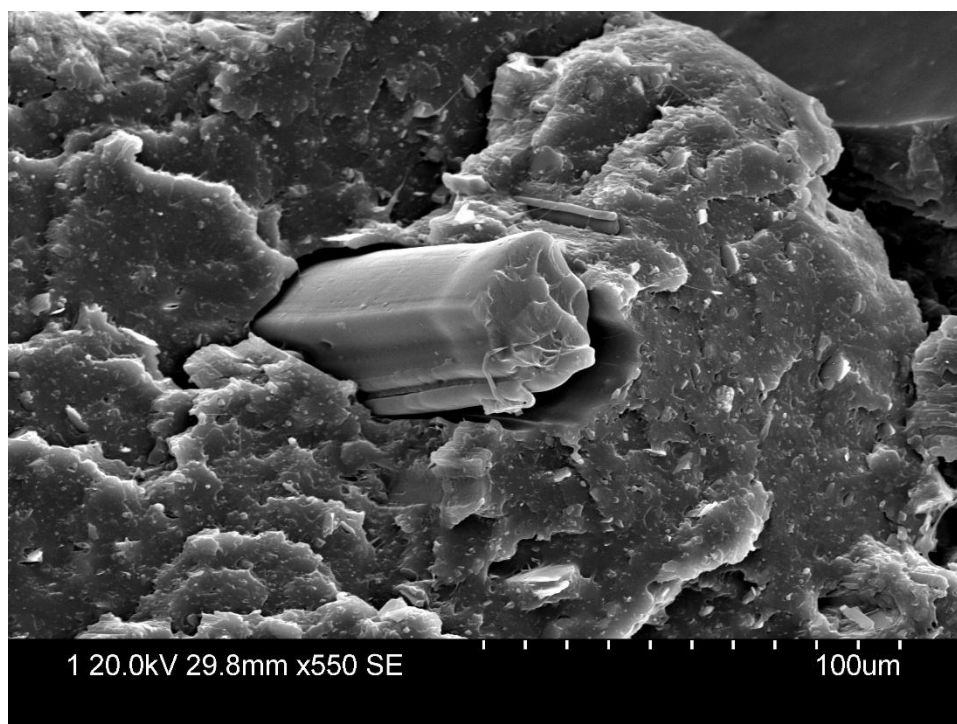
12. SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 03



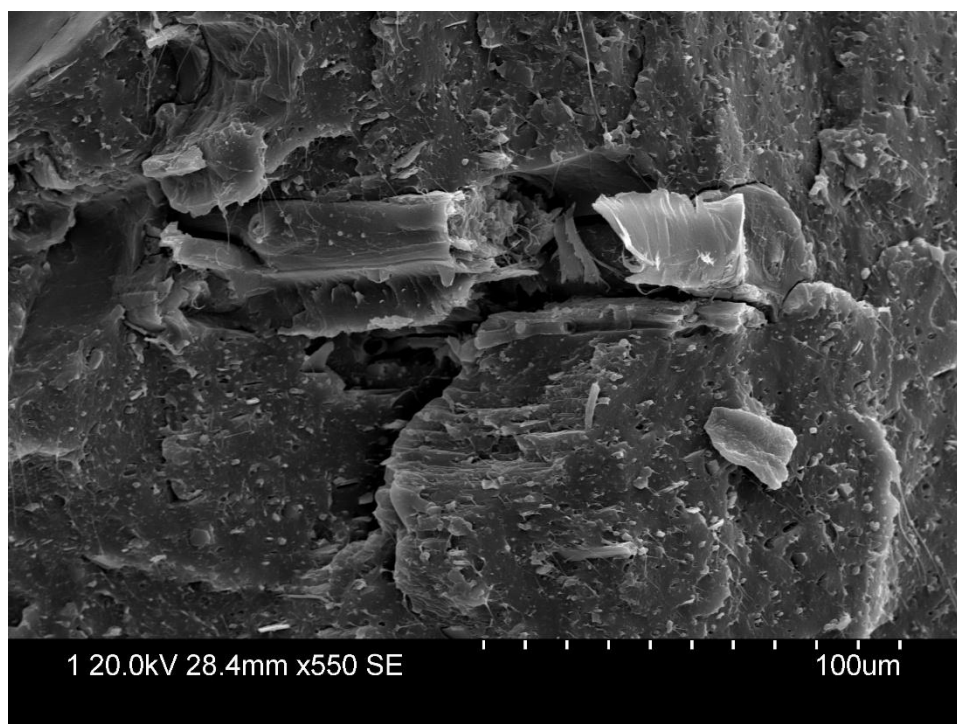
13. SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 04



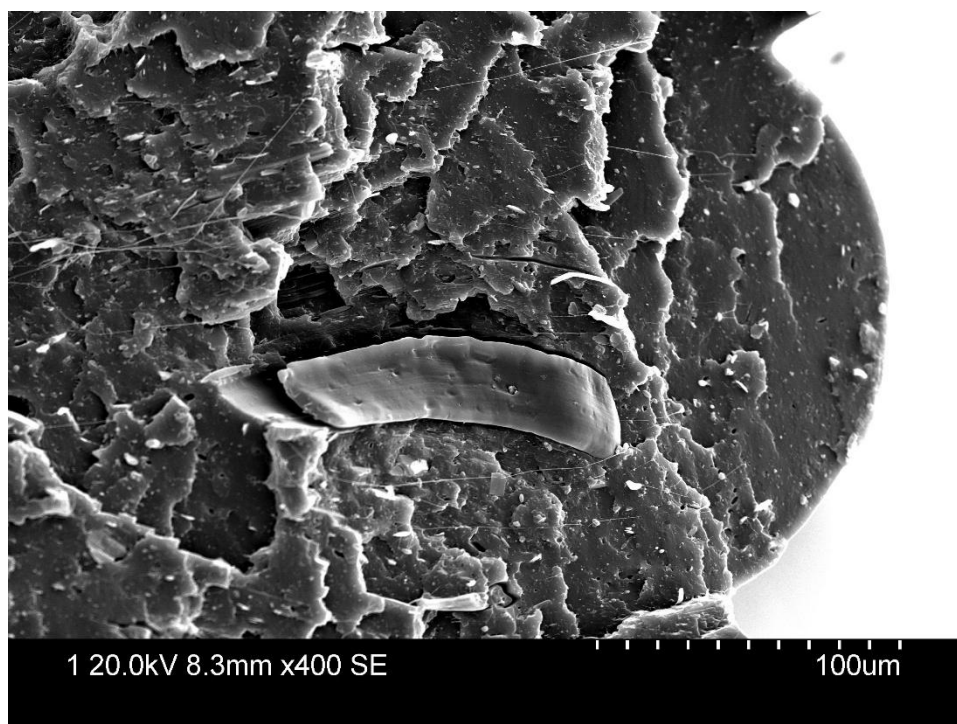
14. SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 05



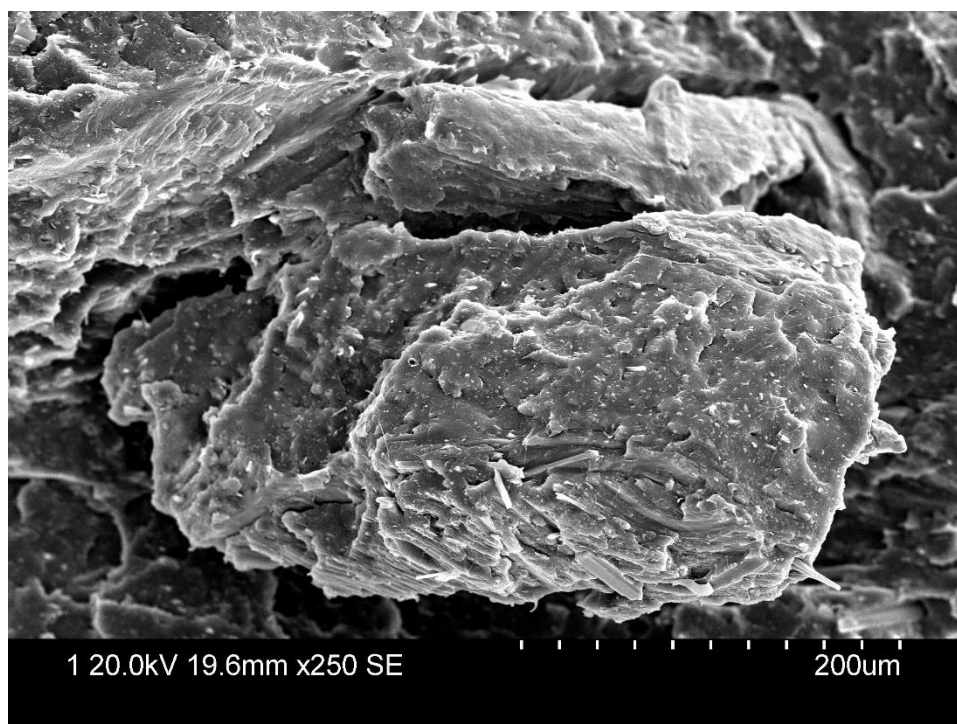
15. SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 06



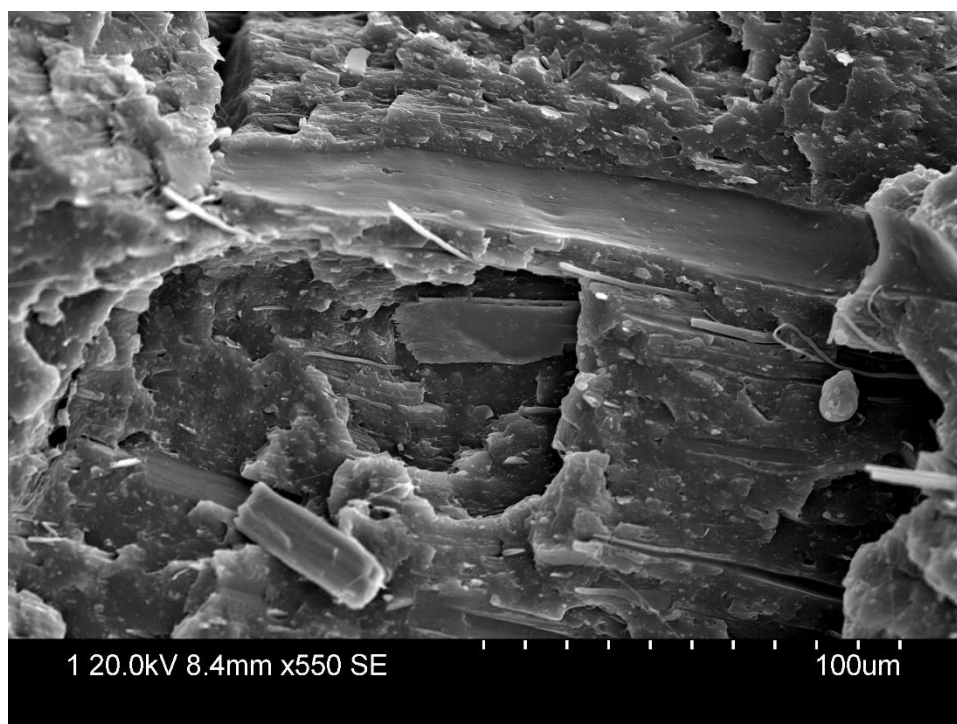
16. SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 07



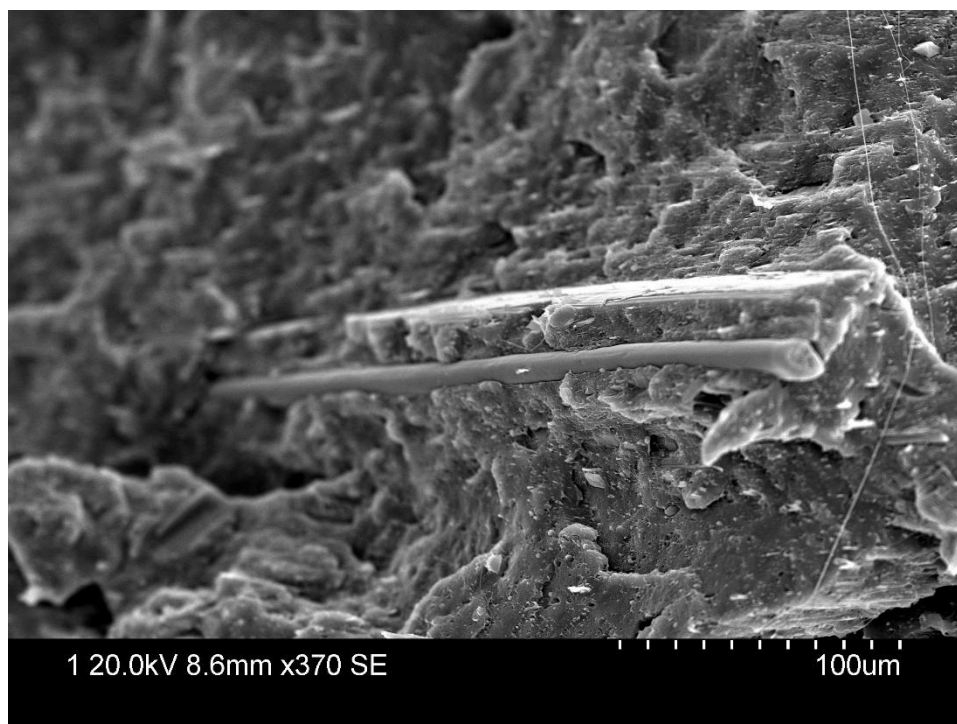
17. SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 08



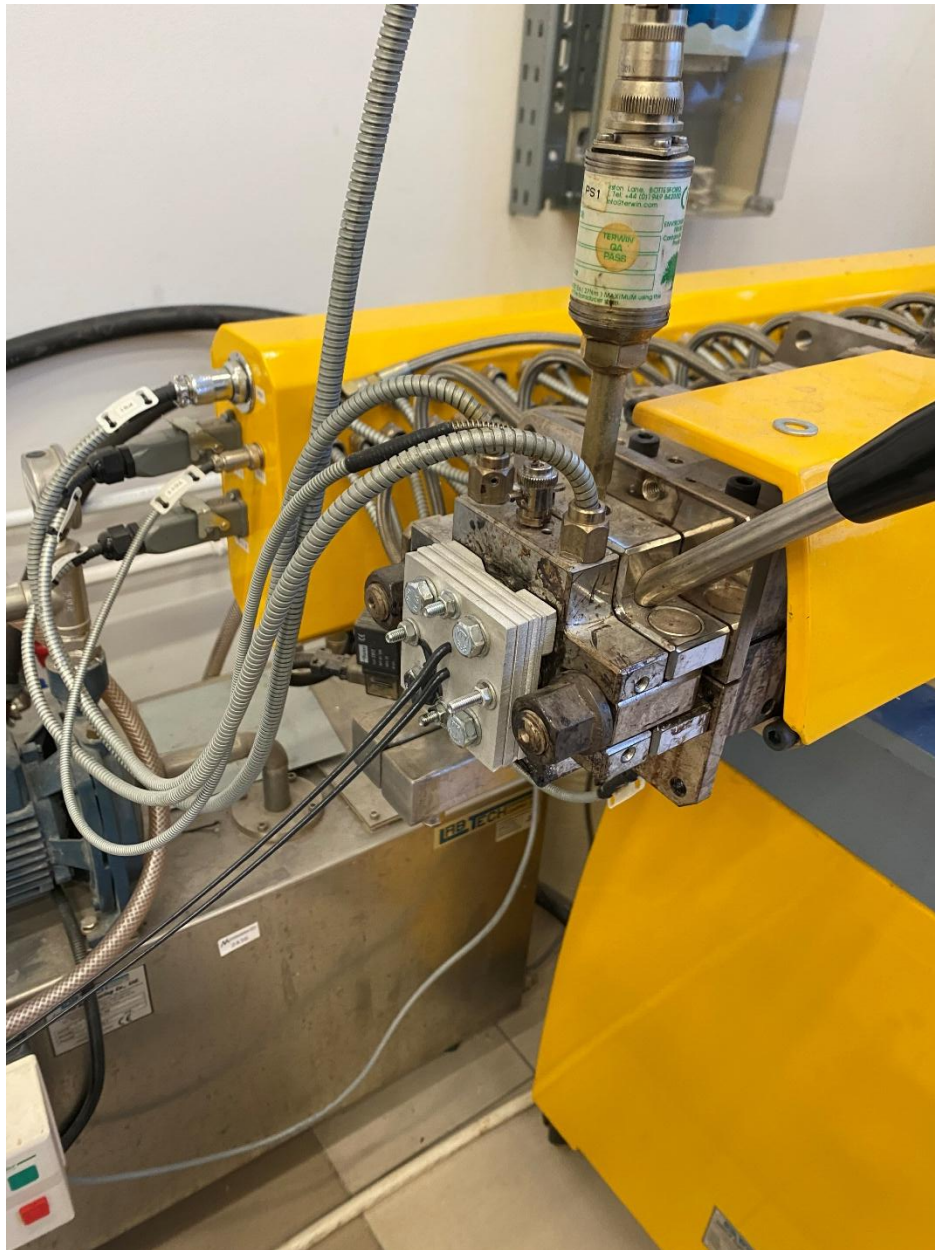
18. SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 09



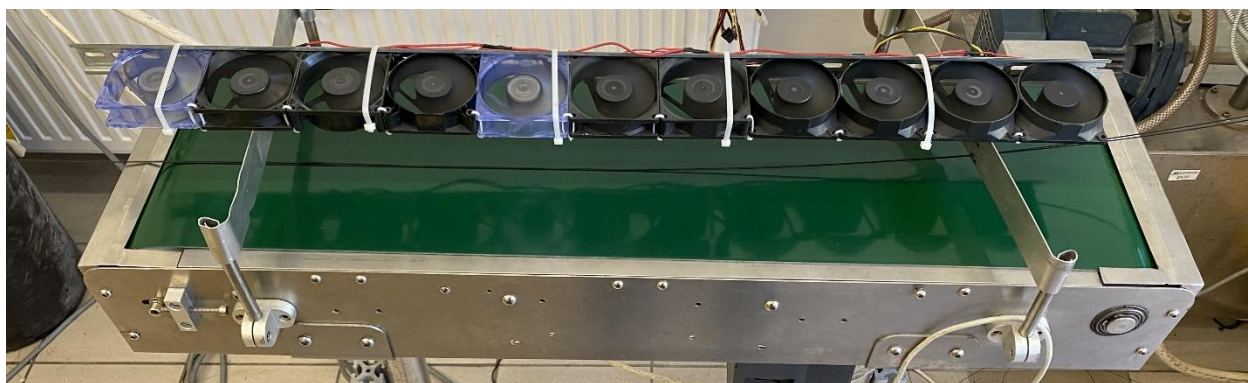
19. SZ. MELLÉKLET: SEM FELVÉTEL 10



20. SZ. MELLÉKLET: EXTRUDÁLÁSI FOLYAMAT



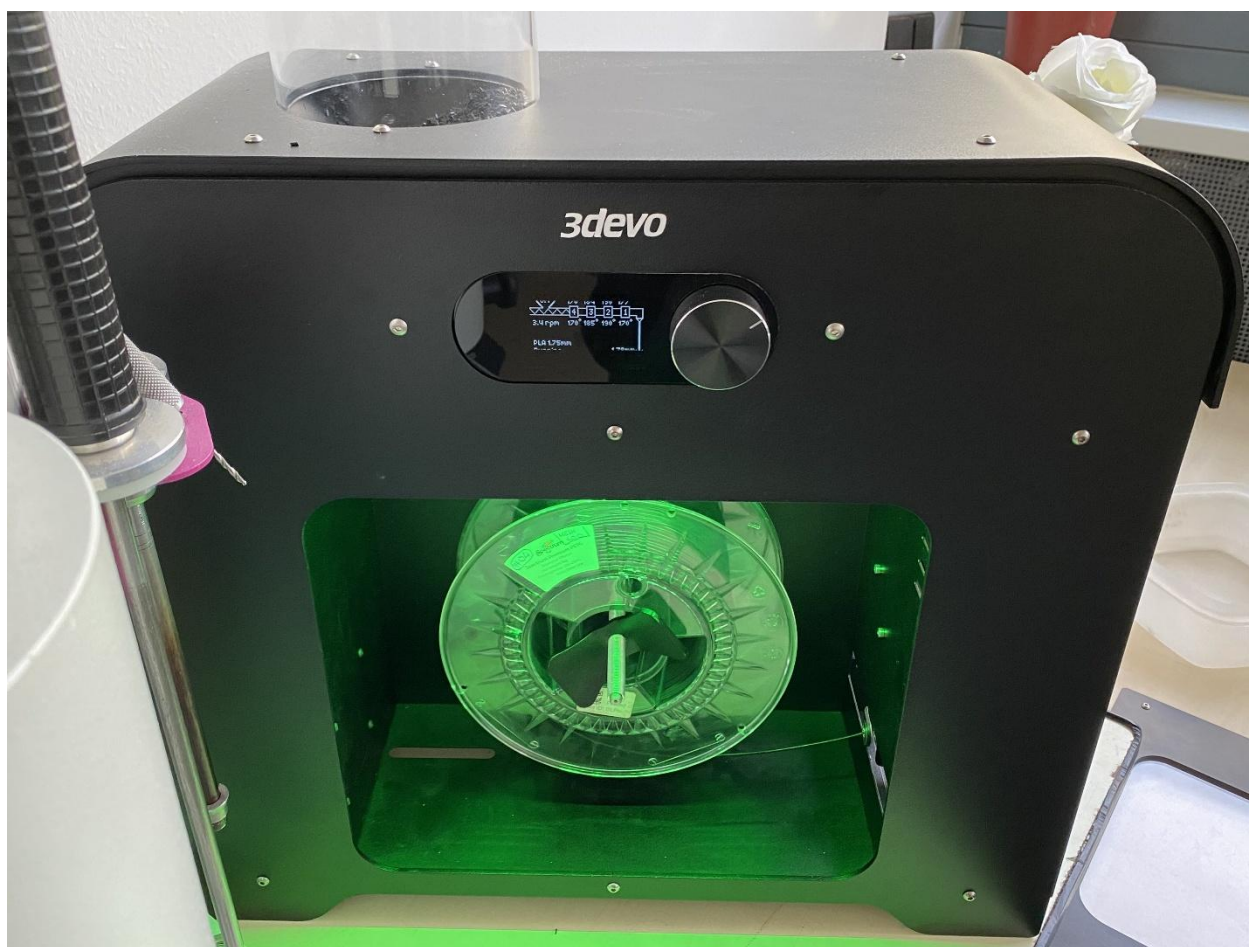
21. SZ. MELLÉKLET: FUTÓSZALAGOS HŰTÉS



22. SZ. MELLÉKLET: GRANULÁLÁSI MŰVELET



23. SZ. MELLÉKLET: FILAMENT GYÁRTÁS



24. SZ. MELLÉKLET: SZŰRŐ HASZNÁLAT UTÁN

