

**EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
FÖLDRAJZ- ÉS FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET
Földrajztudományi Központ
Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék**

**Szépségiparból származó műanyagok és mikroműanyagok
komplex elemzése különös tekintettel a minőségi és mennyiségi
tulajdonságaikra**

ANDÓ KAMILLA
földrajz alapszakos hallgató

Országos Tudományos diákköri dolgozat

Témavezetők: Gresina Fruzsina, Szalai Zoltán



BUDAPEST, 2024

Tartalom

1. Bevezetés	3
2. Kutatási téma bemutatása	5
3. Anyag és módszertan.....	7
3.1 Mérési módszerek és adatfeldolgozás	7
3.2 Mesterséges intelligencia használata	13
4. Eredmények	13
4.1 Szemcsemorfológiai eredmények	13
4.2 A műkörömreszelékekből és csillámkeverékből származó mikroműanyagok szemcseméret-eloszlás eredményei	22
4.3 Anyagminőségi eredmények.....	25
5. Diskusszió és következtetések	40
5.1 Átfogó bemutatás az öt mintáról.....	40
5.2 Módszertani eredmények és tapasztalatok	49
5.2.1 Szemcsemorfológia	49
5.2.2 Szemcseméret-eloszlás	50
5.2.3 Anyagminőség.....	50
6. Összefoglalás	52
7. Irodalomjegyzék	53

1. Bevezetés

A növekvő műanyagfelhasználás hatására ma már a Föld minden részén találkozhatunk műanyag és mikroműanyag hulladékkal. A nagymennyiségű fogyasztás és az alacsony szintű újrahasznosítás következtében a felhasznált műanyag körülbelül 35%-a közvetlenül a környezetbe kerül felhasználás után (Rangel-Buitrago et al., 2022). A mikroműanyag kibocsátók közé tartozik például a mezőgazdaság (Sa'adu & Farsang, 2022), halászat és hajózás (Richon et al., 2023), ipari tevékenységek (Deng et al., 2020; Lechner & Ramler, 2015), szintetikus ruhaneműk mosása (Acharya et al., 2021) és a gumiabroncsok kopása is (Luo et al., 2021). A környezeti rendszerbe jutó mikroműanyagok bejutnak a talajvízbe, a talajba, befolyásolva a talaj fizikokémiai tulajdonságait, lehetővé téve a növényzetnek a nanoműanyagok felvételét, így károsítva a vegetációt (De Souza Machado et al., 2019). A műanyagok egy népszerű alternatívái a lebomló műanyagok, azonban ezek is sokáig a környezetben, például a talajban maradhatnak és nem ismert a hosszútávú hatásuk a talaj kémiájára (Yurtsever, 2019). Az állatvilág és az emberiség közvetlenül a légzésén keresztül és közvetetten a táplálkozás során kerül kontaktusba a mikroműanyag szennyezéssel (W. Huang et al., 2021; K. Sun et al., 2021). A mikroműanyag részecskéket kisméretükből adódóan könnyen szállítják a vizek és szelek, így térben gyorsan terjednek. A szennyezés tehát a teljes bolygón jelen van és a tápláléklánc minden szintjét érinti, csak a lehetséges károk mérete az, ami nem ismert (Amobonye et al., 2021; Du & Wang, 2021). 1972-ben a Science folyóiratban jelent meg az első tudományos munka, amely a kisméretű műanyag részecskékkal foglalkozott (Carpenter és Smith, 1972), és 2004-ben használták először a „mikroműanyag” szót az 5 mm-nél kisebb műanyag részecskékre (Thompson, 2004). Az elmúlt 20 évben megsokszorozódott azon tudományos közlemények száma, amelyek a mikroműanyagok problémakörét vizsgálják. A publikációs trendeket tekintve, a Scopus adatbázis alapján 2010 és 2023 között több mint 11000 db tudományos közlemény jelent meg, amely a „microplastic” kulcsszót tartalmazta. Az elmúlt 5 évben ez a szám 10310 db volt, de 2024 júniusára ez a szám már 24000 db tudományos publikációra tehető. A nagymennyiségű tudományos publikáció ellenére sem tudjuk még pontosan, hogy a mikro- és nanoműanyagok milyen közvetett vagy közvetlen hatással lesznek az emberi egészségre, az ökológiai rendszerre vagy akár az éghajlatra.

A mikroműanyagok elsődleges és másodlagos forrásainak megismerése jelenleg is számos kutatás központjában áll, de vannak olyan kibocsátások is, amelyekre kevesebb figyelem

irányul. Azonban ahhoz, hogy mikroműanyag kibocsátásunkat korlátozzuk, illetve megszüntessük minden forrást fel kell térképezni. A kevésbé kutatott források közé tartozik a szépségipar. A szépségipari szolgáltatások és termékek közé sorolandóak például a sminktermékek, az arc és a test díszítését szolgáló csillámos termékek, műanyagból készülő póthajas fonások készítése és a műkörömépítés is. A felsorolt termékcsoporthoz, szolgáltatások mind járhatnak mikroműanyag kibocsátással az műanyag összetevőik miatt. A szépségiparon belül a műkörömépítés kiemelendő példa, mivel a különböző építő alapanyagok és változatos díszítőelemek termékei hatalmas választékban jelennek meg az üzletek polcain. Hazánkban különösen divatos és népszerű a műköröm viselés. A rendszeres műköröm viselés során elengedhetetlen a szalon bizonyos időközönkénti felkeresése. Ekkor két műköröm szett változtatása során leereszlik a köröm felszínéről a színt, a mintát, a fedőréteget, sőt a körömforma változtatása esetén a műkörömalap is megbontásra kerül. Ennek a folyamatnak az eredményeképpen bizonytalan minőségi és mennyiségi összetételű mikroműanyag keletkezik. A jól felszerelt szépségszalonok alkalmaznak porelszívót a keletkező szennyeződések, reszelékek azonnali és gyors eltávolítása céljából. Amennyiben nincs elszívó, akkor a helyiség levegője erősen szennyezett lesz és a térben jelenlévő emberek kitettek lesznek a szálló, lassan ülepedő mikroműanyag-részecskék belélegzésére. Azonban, a porelszívó használatával sem tűnik el a probléma, mivel az elszívót tisztítani és üríteni kell, így a keletkezett és begyűjtött mikroműanyag hulladék a kommunális hulladékszállítással kerül a legközelebbi semlegesítő telepre (lerakó vagy energetikai hasznosító), ahonnan könnyen kerülhet a környezeti rendszerbe (atmoszféra, élővíz, talaj).

A szépségipar egyéb termékcsoporthoz a sminktermékek, szintetikus tincsek és csillogó hatású kozmetikumok (pl.: fürdőbombák, testpermetek, testápoló olajok), amelyeket a fogyasztó saját otthonában alkalmaz. A felhasználók nagy része a termékeket tisztálkodás közben távolítja el magáról, így a műanyagszemcsék a lefolyón keresztül a szennyvízrendszerbe jutnak. Ha a víztisztítási folyamat megfelelően működik, akkor a szennyvízből a mikroműanyagok 98-99,9%-át ki lehet szűrni (J. Sun et al., 2019). Magyarországon viszont körülbelül 500.000-700.000 lakás nincs rákötve a közüzemi szennyvízgyűjtő hálózatra (KSH, 2022). 2023-ban a közüzemi szennyvízrendszerben 528.720 m³ szennyvíz csak az elsődleges mechanikai tisztítási folyamatokon esett át, aminek a végén a mikroműanyag szennyezés 2-50%-a a szennyvízben maradt. A másodlagos, biológiai szennyvíztisztításon is átesett 46.542.800 m³-nyi szennyvíz, aminek a végén a mikroműanyagok 0,2-14%-a a szennyvízben maradt (A Nemzeti Víziközmű-Közföldgazdálkodási Stratégia Feljogosító Feltételeinek Teljesüléséhez Szükséges Intézkedésekről,

n.d.; J. Sun et al., 2019). Mivel a szépségipari termékeket egy részét el lehet távolítani valamilyen törölőkendő segítségével is, illetve méretükből adódóan levehetőek lehetnek kézzel, ezáltal közvetlenül a kommunális hulladékba kerülnek. Ugyanakkor ilyenkor is fennáll az esélye, hogy végsősoron a környezeti rendszerünket fogják szennyezni.

A szépségszalonokból és szépségipari termékekből származó szennyezés aránya meglehet, hogy nem akkora nagyságrendű, mint például a gumibroncsok mikroműanyag szennyezés-kibocsátása, de szabályozásuk könnyebben megoldható, figyelembevéve a kibocsátás pontszerű jellegét. A szalonok mikroműanyag hulladékának veszélyes hulladékká való minősítése során a kibocsátott szennyeződés a továbbiakban nem a kommunális hulladékot szennyezné, hanem saját semlegesítő eljárást kapna.

A kutatás célja, hogy a szépségipar eredetű mikroműanyagok fő forrásait összegyűjtse, a megvizsgált minták kémiai, alaktani és méreteloszlási jellemzőinek leírja, majd ezeket az eredményeket összehasonlítsa más hasonló kutatásokkal. A dolgozat motivációja, egy esetleges jövőbeli korlátozás megalapozása tudományos eredményekkel.

2. Kutatási téma bemutatása

A kutatás témája a szépségipar eredetű mikroműanyagok vizsgálata, azonban elterjedt kifejezés a „kozmetikai mikroműanyag” is, ami egy hasonló vizsgálati területet sejtet maga mögött. A legtöbb esetben ez a kifejezés a műanyag gyöngyöket jelöli, amelyek célja a szennyeződések, esetlegesen elhalt bőrréteg ledörzsölése arcról, testről (Zhou et al., 2023). Jelen tanulmány nem a kozmetikai mikroműanyag fogalmat használja, mivel a kutatás során a szépségipari szolgáltatások és termékek műanyag kibocsátásának vizsgálata a cél és nem az üzletek polcain található kozmetikai szerek összetétel vizsgálata. A vizsgált minták különböző sminktermékek, műköröm alapanyagok, test díszítést szolgáló csillámok és egyéb szintetikus anyagú szépségipari termékek voltak.

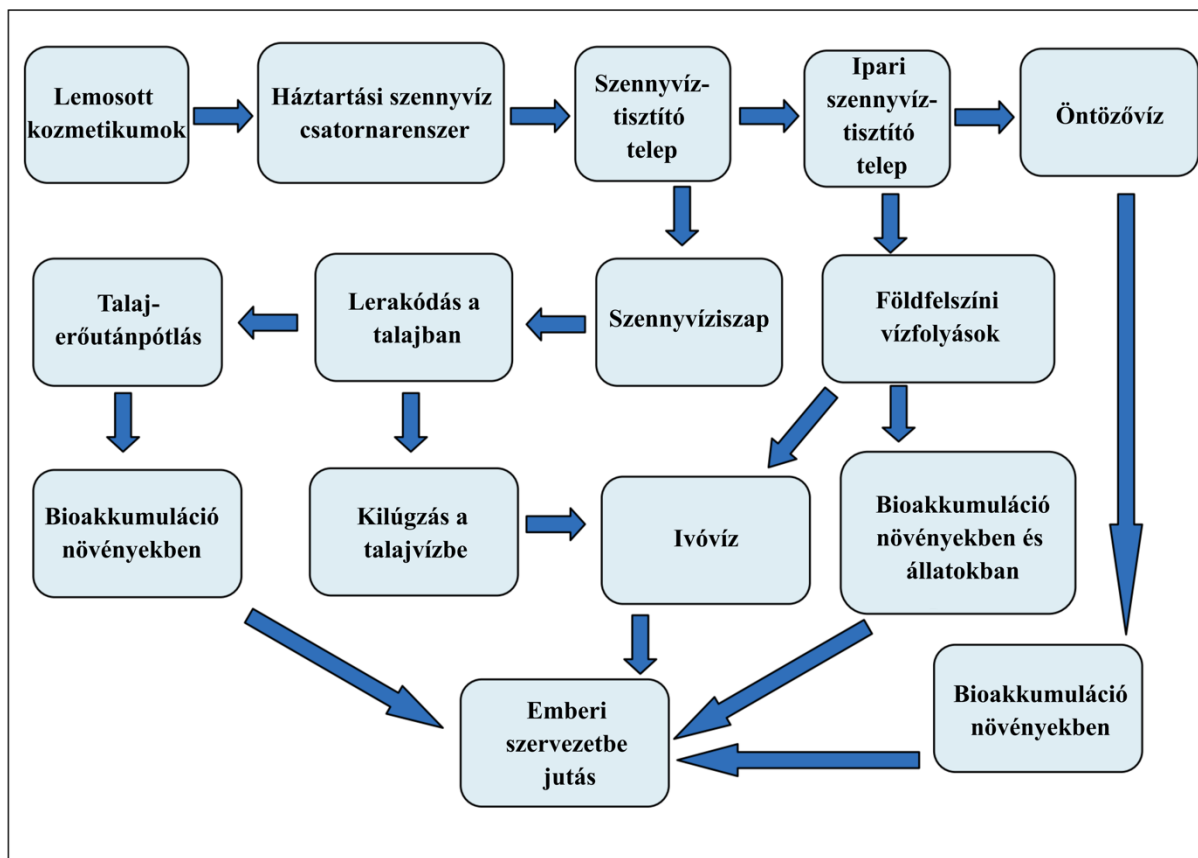
A hasonló témában készült kutatások egyik kategóriája a szépség- és műkörömszalonok levegőminőségének vizsgálata. Az ilyen kutatásokból látható, hogy a térben és időben eltérő szellőzésű helyiségekben mekkora a mikroműanyag koncentráció. Ezekben a kutatásokban sok földrajztudományi szempont is megvizsgálásra került, ami a földrajzi területet lehatároló faktorként is hatott (pl.: ázsiai bevándorló munkásokat alkalmazó szalonok vizsgálata). Ezek a társadalmi és területi egyenlőtlenségek az adatokat sokszínűvé teszik, mert azonos országban készült két vizsgálat esetben is már más árkatóriájú (pl. károsabb alapanyagok) és más felszereltségű (pl. egészségügyi szempontból hiányos felszereltség) szalonok képezik a

vizsgálatok tárgyát (Alaves et al., 2013; Chen et al., 2022; Quach et al., 2011; Rogula-Kopiec et al., 2019; Tijani et al., 2023; Tsigonia et al., 2010).

A beltéri por összetételének vizsgálata hasonló a szépségszalonok levegőminőség vizsgálatához, mivel a két folyamat hasonló eszközöket és módszertant használ, így jól összehasonlíthatóak az eredmények. A beltéri por mikroműanyag részarányát elsősorban olyan épületekben vizsgálták, ami emberek által gyakran látogatott (pl.: lakóház, iroda, iskola) és ott felmérték a mikroműanyagok mennyiségét és azok jellemzőit (Sharaf Din et al., 2024; Torres-Agullo et al., 2022; Yao et al., 2022; Zhu et al., 2022).

A mikroműanyagot tartalmazó termékek esetében a sminktermékek is szóba kerülhetnek azonban, a sminktermékek összetétele és hatása az egészségre egy jól kutatott és jól monitorozott terület, hisz az emberi arcon érzékeny a bőrfelület, így az allergiás reakció kockázata is magasabb. A sminktermékek csomagolásán az összetevők listája feltüntetésre kerül, így azok vizsgálata egyszerűbb, a szabályozáshoz minden információ ismert. Az összetevő korlátozások azonban nem térnek ki mindenre és nem is egységesek nemzetközileg (Chauhan et al., 2022). A sminktermékek tudnak egészségügyi problémákat okozni a bennük lévő nehézfémek (Zakaria & Ho, 2015), színező anyagok és ásványok miatt (Wargala et al., 2021). A csillogó sminktermékek szemcséi összevethetőek a más nem arcra tervezett csillogó szemcsékkel, így egy széleskörű adatbázist lehet felépíteni a különböző csillogó összetevők mennyiségi és minőségi paramétereiről. (Aziz et al., 2022; Fiume et al., 2015).

Készült kutatás továbbá a csillámporok környezeti terheléséről. A csillámporok olyan apróra darabolt vékony műanyag lapok, amiknek a széle sokszor éles lehet, így karcokat és irritációt okozva az emberi bőrön. A mikroműanyagok egy olyan forrása a csillámpor, amivel az emberek elsőkézből találkoznak. A gyerekek művészeti alkotásoknál, felnőttek hajdekorációként és sminkeléshez használják. Összeségében a szépségipar okozta problémáról is készültek cikkek (Chandra Pal, 2021; Makuvara et al., 2024), azonban limitált számban. Ezekben a tudományos közleményekben olyan információk és felvetések jelennek meg, mint hova jutnak a mikroműanyagok a környezeti rendszerben (1. ábra).



1. ábra: Mikoműanyagok környezet szennyezése

Forrás: (Chandra Pal, 2021)

Továbbá sok táblázat készült a műanyagok összetételéről és az azokhoz tartozó káros hatásokról (Makuvara et al., 2024).

3. Anyag és módszertan

3.1 Mérési módszerek és adatfeldolgozás

Az összes leírt mérési folyamat és vizsgálat a HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földrajztudományi Intézetében (HUN-REN CSFK FTI) történt. A vizsgálatok során a környezet- és földtudományokban elterjedt módszereket alkalmaztunk.

A kutatást megelőzően számos különböző mintát gyűjtöttünk (n=111), csillogó sminktermékeket, műkörömpépítő alapanyagokat, műköröm reszelékeket, UV fényre szilárduló géllakkokat. A vizsgált minták egy részét üveg tárgylemezre diszpergálva vizsgáltuk, amíg a műköröm alapanyagokat és géllakkokat UV lámpával üveg tárgylemezre köttettük. Ezeket a mintákat Raman-spektroszkópiával vizsgáltuk. Célunk ezekkel a mérésekkel a kutatás megalapozása és egy saját anyagminőséget leíró adatbázis készítése volt. Az adatbázisban

jelenleg 117 darab mérés szerepel. Az eredmények alapján kizártuk azokat a mintákat, amelyek nem adtak értelmezhető spektrográfiai jelet a mérési folyamat során. A leválogatás után készítettünk két adatbázist, egyet a méréseink eredményeiből és egy másikat, ami olyan referencia műanyagok spektrumát tartalmazza, amik a szakirodalmak alapján összetevői lehetnek az általunk vizsgált termékeknek. Ezeket az adatbázisokat későbbiekben kiválasztott 5 reprezentatív mintával összehasonlítottuk, ezzel azt vizsgálva, hogy valóságot szimuláló szépségipari mikroműanyagokban az alkotóik, hogy jelennek meg. A vizsgálatokhoz kiválasztott 5 reprezentatív minták az alábbiak: A= otthoni körülmények között készült körömreszelék, aminél az építőanyag akrilgél volt és díszítő elemek tartalmazott (pl.: csillámot, strasszköveket, matricát), B= műköröm szalonból származó műkörömreszelék, ami a porelszívó takarításánál lett összegyűjtve, C= egy csillám keverék, amiben 21 db különböző csillám lett közel egyenlő mennyiségben összekeverve D= otthoni körülmények között készült körömreszelék, aminél ismert a pontos mikroműanyag mennyiség grammban, ami egy műkörömszett újra festésekor keletkezik, E= a műköröm építéséhez szükséges anyag reszeléke, ami semmilyen más anyaggal nem keveredett.

A vizsgálatokhoz jól összehasonlítható mintákat választottuk, amelyek esetében a pontos összetétel nem volt ismert a mérések előtt. A témában készült dolgozat terjedelmi limitációja okán a minták számát ötre csökkentettük. A felsorolt okok és az adatbázisunk eredményei alapján választottuk ki a mintákat azt figyelembe véve, hogy azok a valós szennyezést jól szimulálják, de az alapanyagok szintjén is megvizsgáljuk. A minták kijelölése során sminktermékek és egyéb szépségipari termékeket végül kizártuk (pl.: szemhéjpúdereket, szintetikus haj, szintetikus szempillák), mivel azok esetében a környezeti rendszerbe jutó mennyiség éves szinten nehezen becsülhető és feltehetően elenyésző a műköröm eredetű kibocsátásához képest. A műkörömreszelékek nem tartalmaznak megkötetett állapotban oldószert, így a Raman-spektroszkópiával mért spektrumok tisztább jelet adnak, mint a folyékony halmazállapotú anyagot tartalmazó minták esetében. Továbbá a műköröm reszelékek alaktani paraméterei jól mérhetőek és az anyagminőségükkel összefüggésbe állíthatóak, így egy olyan vizsgálati lehetőséget nyújtva, amely más szépségipari termék esetében sem állna fenn.

A mintákat négy szempontból vizsgáltuk meg: anyagminőség (Raman-spektroszkópia), alaktan (Malvern Morphologi G3SE-ID automata mikroszkóp), szemcseméret-eloszlás (Malvern Mastersizer Hydro MU2000 lézerdiffrakció), statisztikai módszerek adatok megjelenítésére és összehasonlítására (Microsoft Excel, SpectraGryph, MATLAB). MATLAB-ban görbét illesztettünk a hisztogramokra.

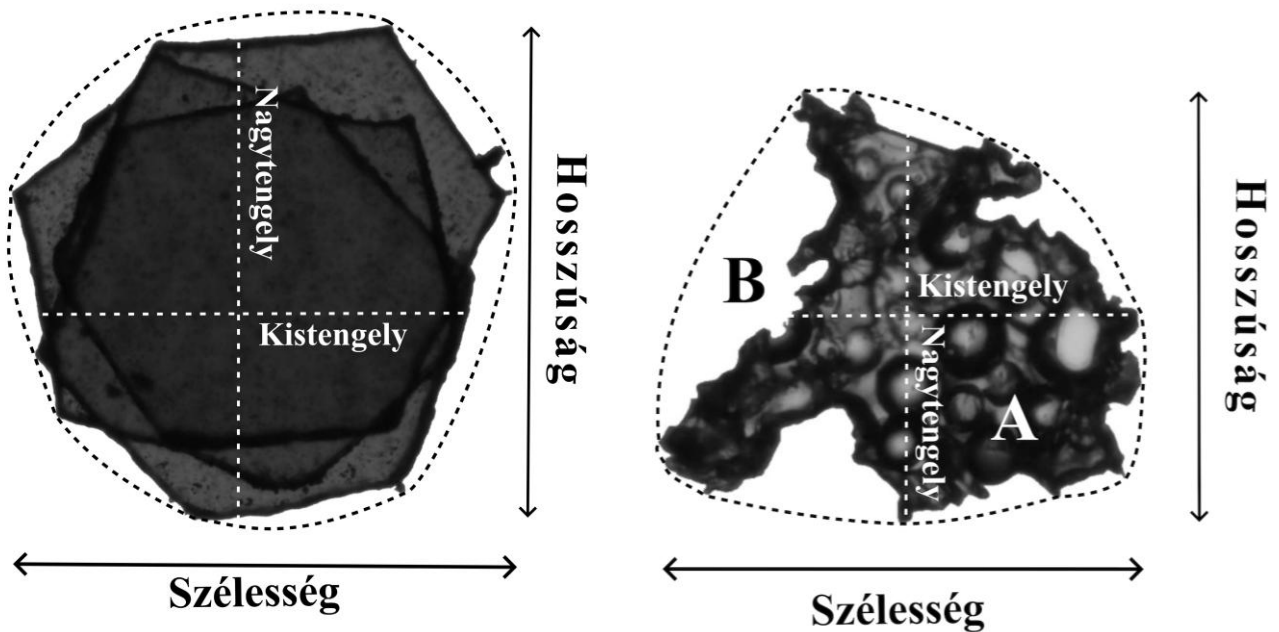
A részecskék granulometriai vizsgálata során a kiválasztott mintákat először megvizsgáltunk a Malvern Morphologi G3SE-ID automata mikroszkóppal. A mikroszkóp egy kompresszor segítségével diszpergálja a mintát a tárgylemezre (180 mm × 110 mm), majd automata módszerrel szkenneli a szemcséket, így nagy felbontású kétdimenziós szürkeárnyaltos képeket készít, amik alapján képanalízissel a szemcsék alaktani paramétereit kiszámítja. A vizsgálatokhoz tehát nincs szükség annyi manuális munkára, mint egyéb mikroszkópok esetében. Ha az eredeti szemcse szabadszemmel történő megtekintésére lenne szükség, akkor arra is van lehetőség, mivel az elkészült kép mellett a szemcse koordinátáit is rögzíti a rendszer. A morfológiai jellemzők vizsgálata gyorsabb, pontosabb és objektívebb ezzel a műszerrel, mint egy manuális vizsgálat esetén lenne. A Morphologi nagy mennyiségű szemcse egyidejű elemzésére képes, így a kézi méréssel szemben az eredmény reprezentatívabb lesz.

A méréseink során 19 mm³ mintát diszpergáltunk 3 bar nyomással 30 másodpercig, majd 120 másodpercig hagytuk ülepedni. A szkennelés ötös objektívvel történt alulról történő megvilágítással, manuális fókusz és fény beállításokkal. 5 fókuszmagasságban készít képet a szemcséről, majd ezeket összeilleszti és úgy tárolja egyetlen szürkeárnyaltos képként.

A szemcsék morfológiai mutatók kiszámításához a következő alapparaméterek szükségesek:

- Hosszúság (μm)
- Szélesség (μm)
- Kerület (μm)
- Terület (μm²)
- Körekvivalens (CE) átmérő (μm)

A szemcsék paraméterei a következő képen jelennek meg vizuálisan:



2.-3. ábra: Szemcse alapparaméterei

Forrás: Saját ábra (Varga et al., 2021) és (Gresina et al., 2023) alapján

A morfológiai mutatók esetében a következőket használtuk:

- Cirkularitás

$$\text{Cirkularitás} = \frac{4 \times \pi \times \text{Terület}}{\text{Kerület}^2}$$

4. ábra: Cirkularitás képlete

Forrás: Saját ábra

- Elnyúltság

$$\text{Elnyúltság} = 1 - \frac{\text{Szélesség}}{\text{Hosszúság}}$$

5. ábra: Elnyúltság képlete

Forrás: Saját ábra

- Tömöttség

$$\text{Tömöttség} = \frac{A}{A + B}$$

6. ábra: Tömöttség képlete

Forrás: Saját ábra

- Konvexitás

$$\text{Konvexitás} = \frac{\text{Kerület A} + B}{\text{Kerület A}}$$

7. ábra: Konvexitás képlete

Forrás: Saját ábra

A szkennelt szemcsék közül a 30 μm -nál kisebbeket kizártuk, mivel azok esetében morfológiai paraméterek nehezen számolhatóak a kis pixelszám miatt. Méret alapján a következő kategóriákat hoztuk létre: 30-60 μm , 60 μm <. A „C” minta esetén további kategóriákat hoztunk létre: 100-250 μm , 250 μm <, mert ennél a mintánál több nagyobb szemcseméretű szemcse is szerepel. A kategóriákat ezeken kívül szabálytalanság (tömöttségi érték (0,8>)) és köralakúság alapján (cirkularitás érték (>0,9)) alapján határoztuk meg, mivel a mintákban gömbök és roncsolt szemcsék jelentették a két legnagyobb kategóriát.

A morfológiai mérések eredményeit eloszlás és szórás diagramokon ábrázoltuk. A szórás diagram esetén két különböző készült el. Az első diagramon a köralakú 30 μm -nél nagyobb szemcséket ábrázoltuk, ilyen szemcsék három mintában szerepeltek: A, B, E. A második diagramon a 63 μm -nél nagyobb szemcsék szórása látható, ilyen kategória mind az 5 minta esetén elkülöníthető volt. A különböző minták esetében a szemcsék darabszáma jelentősen eltért (A=3341, B=5628, C=961, D=1284, E=2286), így véletlenszerűen kiválasztottunk 1000 db szemcsét minden mintából, arra figyelve, hogy a szűrés eredménye reprezentatív maradjon. A szűréshez az adatsor mellé generáltunk egy új független számsort, majd az alapján új sorrendiséget alakítottunk ki és leválasztottuk az első 1000 szemcse adatait. A szemcsék szűrés után is nehezen megjeleníthetőek maradtak. Az eloszlás diagramok alakja alapján kiválasztottuk azt a három mintát, amik alapján az összes tulajdonság reprezentált lesz a szórás diagramon. Továbbá a különböző kategóriákra és eloszlásokra leíró statisztikát is végeztünk. A beszkenelt szemcsék anyagminőségi vizsgálata volt a következő lépés. A méréseket Raman-spektroszkópiával végeztük, ami hozzá tartozik az automata mikroszkóphoz. Az anyagminőség mérése jelentősen egyszerűbb a két műszer kapcsolatából adódóan. A szoftver a szkennelt szemcsék x és y koordinátáit rögzíti a tárgylemezen, így bármikor le lehet mérni az adott szemcse anyagminőségét. A műszer képes automata mérést is végezni a szkennelt mintán, azonban a mérésnél szemcse középpontját célozza, ami a műanyag szemcsék szabálytalan alakja miatt, sok esetben nem megfelelő a mintavételre. Mi ezt az automata anyagminőségi vizsgálatot nem alkalmaztuk (Panalytical, n.d.).

A lemért szemcsék spektrumait (n=185) a SpectraGryph nevű programban korreláltattuk a CsFK Földrajztudományi Intézetben már korábban lemért alapműanyagokkal (n=18) és az általunk épített adatbázissal (n=133) is. A kapott eredményeket Microsoft Excelben táblázatokba rendeztük és számításokat végeztünk az eredmények alapján.

Az anyagminőség mérés alapja az atomok elektromágneses átmenete. A folyamat során a Raman-spektroszkópia lézerfényel gerjeszti a szemcsét, ezt követően egy jelfelvevő egység rögzíti a szemcse által visszavert hullámokat, így egy spektrumot vesz fel (8. ábra). A különböző összetételű szemcsék spektruma különbözik, amíg a hasonló spektrum hasonló összetételt jelenthet. A spektrumokat korreláltatni lehet egymással a csúcsok helyzete és intenzitása alapján. (Orlando et al., 2021)



8.ábra: Spektrumok

Forrás: (Panalytical, n.d.)

Az utolsó vizsgálatnál a Malvern Mastersizer Hydro MU2000 lézerdiffrakció segítségével azt vizsgáltuk meg, hogy a mintáinkban a szemcséknek milyen a térfogatszázalék alapú méreteloszlása. A vizsgálatok során egy korábbi kutatás módszertanát reprodukáltuk (Fang et al., 2023). A mi méréseink során azonban a „C” minta esetében a mosási folyamatot meg kellett változtatnunk és még egy tisztítószeres, két desztillált vizes, egy 96%-os etil alkoholos és egy utolsó desztillált vizes mosásra volt szükség, hogy az összes szemcse kijöjjön a rendszerből. Az egyik ok a mosási fázis meghosszabbítására, a „C” minta a szemcsének alakja és kis vastagsága volt, mivel a csillámok egy része könnyen letapadt a csövekben. Ezen felül elektrosztatika is fennállhat a vizsgálat során.

A lézerdiffrakciós mérés során megfelelő mennyiségű mintát diszpergálószerhez kell adagolni, ami szuszpenziót alkot a mintával. A folyadékot a műszer felszívja, majd lézersugarakat bocsájt ki (632 nm, 470 nm), amelyekkel a szemcsék különböző módokon lépnek kapcsolatba. A folyamat során reflexió (visszaverődés), abszorpció (fényelnyelődés), refrakció (fénytörés) és diffrakció (fényelhajlás) megy végbe, ezek közül a diffrakció a legfontosabb. Minél kisebb a szemcse, annál nagyobb a fényelhajlás szöge. Egy többállású detektor rögzíteni tudja a szórt sugarak irányát és erősségét, ebből kiszámítva a szemcse méretét. A mérés után egy térfogat alapú méreteloszlás görbét kapunk eredményül.

Az általunk használt három műszer különböző jellemzőit vizsgálta a mintáknak, hogy átfogó képet kapjunk a szépségipar eredetű mikroműanyagok a tulajdonságairól és jól elemezhetőek legyenek az eredményeink.

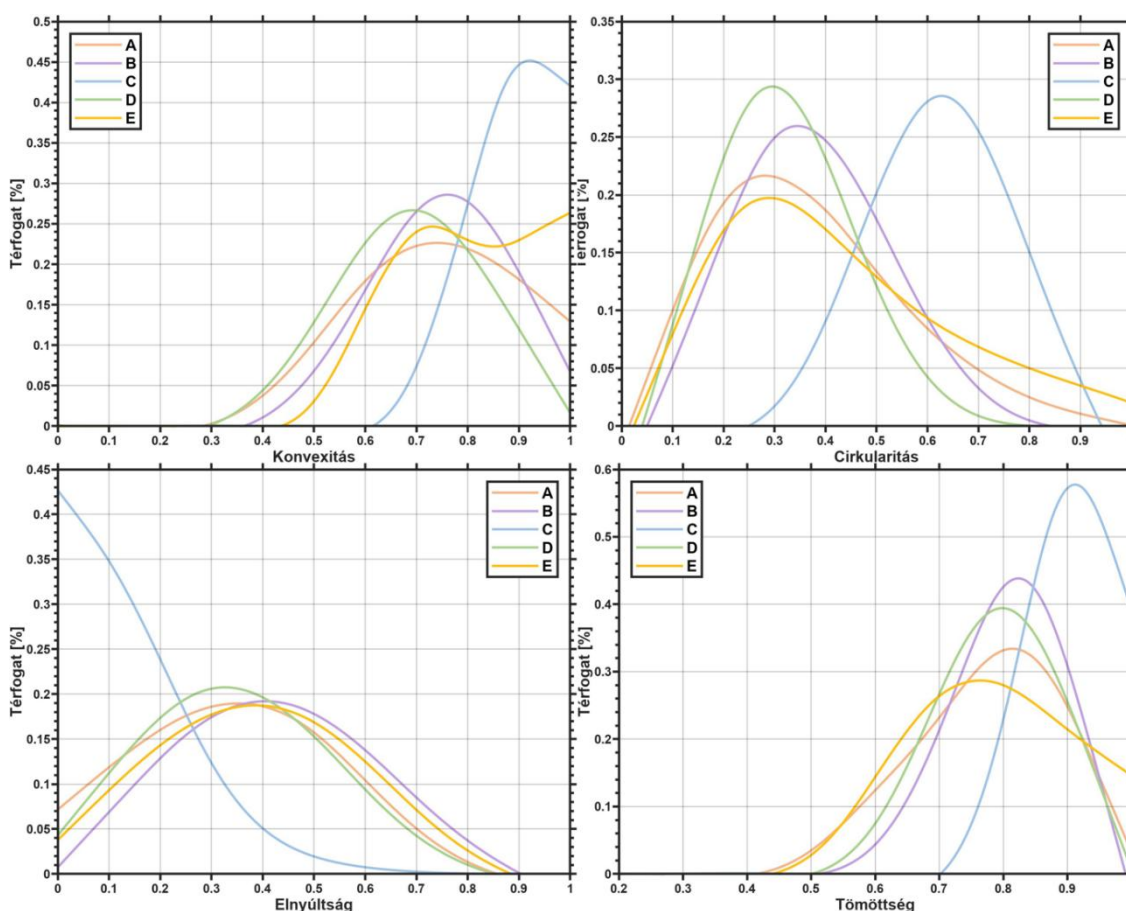
3.2 Mesterséges intelligencia használata

A dolgozat elkészítési folyamatában az adatok rendezésénél használtunk mesterséges intelligenciát. A Spectragryph által kiírt Raman-csúcsok kívánt formátumba rendezésénél és az alaktani paraméterek végleges formátumának formázásánál. Az OpenAI. (2024). ChatGPT (GPT-4.5) [Large language model]-t használtuk az említett folyamatok során.

4. Eredmények

4.1 Szemcse-morfológiai eredmények

A minták alaktani vizsgálatát a Malvern Morphologi G3SE-ID automata mikroszkópos mérések eredményeinek értelmezésével kezdtük, melyek alapját az eloszlás diagramok adták.



9. Ábra: Eloszlás diagramok

Forrás: Saját ábra

A 9. ábrán látható, 4 különböző diagramon az általunk legfontosabbnak ítélt morfológiai mutatók szerepelnek, ahol az 5 különböző minta jól megkülönböztethető színekkel van jelölve. A diagramokon látható, hogy az adott mintának milyen a térfogatszázalékos eloszlása a különböző morfológiai paraméterek esetén. Az eredmények összehasonlíthatóak és jól szemléltetik a különböző mintákban az eloszlások különbségei.

A konvexitás eloszlásdiagramjának tekintetében a minták által felvett értékek 0,3 és 1 közöttiek. A „C” minta mutatja a legnagyobb eltérést az összes többi mintához képest. A konvexitás esetén az „A”, „B” és „D” minták görbéi közel hasonló alakot vesznek fel. A „C” minta sokkal magasabb konvexitási értéknél koncentrálódik, ami arra utal, hogy a szemcséi szabályosabb a többi mintához képest. Az „E” minta esetében két maximum jelenik meg, ami azt mutatja, hogy van két elkülöníthető populáció a szemcsék méretében, ezáltal egy szabályosabb és egy kevésbé szabályos egységre tagolható

A cirkularitás diagramnál a minták a teljes x-tengelyen vesznek fel adatot. A görbék formáját tekintve a B, „C” és „D” minta egy normáeloszlásra emlékeztető görbét vesznek fel. Az „A” és „E” görbék esetében, miután elérik az y tengelyen maximum értéküket, a magasabb értékek irányába csökkennek a százalékos értékeik így a görbájuk alakja nem szimmetrikus, hanem a jobb oldala elnyúlt. A „C” mintának magasabb cirkularitási értékeket vesz fel, amely 0,7–0,9-nél koncentrálódik. Tehát ez a minta többi mintánál szabályosabb szemcsékkel is rendelkezik. A „B” és „E” minták eloszlása közepes cirkularitási értékeknél csúcsosodik, míg az „A” minta inkább az alacsonyabb cirkularitási tartományban helyezkedik el.

Az elnyúltság esetén az A, B, „D” és „E” minta görbéje egyaránt hasonló alakot vesznek fel. Az elnyúltsági értékek a minták által felvett az minimum a 0 és a maximum a 0,9. A „C” minta esetében a legtöbb szemcse elnyúltsági értéke 0 és az értékek onnantól meredeken csökken. A „C” minta elnyúltsága alacsonyabb értékeknél koncentrálódik, ami ismét arra utal, hogy ezek a részecskék nem hosszúkásak meg, hanem inkább kerekdedek. A „B” minta viszont magasabb elnyúltsági értékeknél csúcsosodik, ami hosszúkásabb formájú összetevőket jelez.

Tömöttség esetében minden mintának 0,4-nél nagyobb a minimum értéke, a maximális értékük pedig az 1. Az A, „B” és „D” minták görbéjének alakja és koncentrálódás helyük is hasonló, de a minimumuk eltérő. Továbbá az „A” minta görbéjének alakja nem szimmetrikus, alakja kissé átmeneti az „E” és a „D” között. A tömöttség tekintetében a „C” minta görbéjének minimuma 0,7-nél van, valamint a maximumát magasabb értékeknél (0,8–0,9) éri el, ami tömörebb, kompaktabb küllemű szemcsékre utal. Az „E” minta viszont alacsonyabb tömöttségi értékeknél

koncentrálódik, ami kevésbé tömött, inkább konkáv alakot jelez, de maximuma az 1-nél van, így vannak a mintában kompaktabb szemcsék is.

1. táblázat: Eloszlás statisztikai adatai

Forrás: Saját táblázat

Alaktani paraméterek	A	B	C	D	E
Átmérő átlag (μm)	60,24	84,99	56,93	78,65	58,25
Átmérő szórás (μm)	40,61	70,64	47,91	63,80	29,97
Átmérő módusz (μm)	591,57	490,10	260,03	301,67	249,93
Cirkularitás átlag	0,630	0,561	0,738	0,567	0,649
Cirkularitás szórás	0,175	0,173	0,107	0,191	0,190
Cirkularitás módusz	0,410	0,421	0,461	0,190	0,211
Konvexitás átlag	0,911	0,891	0,969	0,896	0,923
Konvexitás szórás	0,083	0,091	0,035	0,105	0,077
Konvexitás módusz	0,710	0,666	0,739	0,642	0,680
Tömöttség átlag	0,885	0,867	0,944	0,859	0,887
Tömöttség szórás	0,087	0,085	0,038	0,095	0,093
Tömöttség módusz	0,894	0,861	0,884	0,810	0,687
Elnyúltság átlag	0,324	0,395	0,294	0,393	0,325
Elnyúltság szórás	0,162	0,171	0,152	0,166	0,167
Elnyúltság módusz	0,090	0,304	0,079	0,305	0,306

Az 1. táblázat ugyanabból az eloszlás adatsorból készült, amelyet a 9. ábra szemléltetett. Az átmérő esetében a „B” mintánál (84,99 μm) szerepel a legnagyobb érték, amíg a legalacsonyabb a C-nél (56,93 μm). A cirkularitás esetében a „C” minta (0,738) rendelkezik a legmagasabb átlagértékkel, míg a „B” (0,561) a legalacsonyabbal. A konvexitásnál hasonlóak az átlagértékek, de a legmagasabb a „C” minta (0,969) esetében tapasztalható, a legalacsonyabb érték pedig a „B” mintára jellemző (0,891). A tömöttség legmagasabb átlagértékkel „C” minta (0,944), míg a legalacsonyabbal a „D” minta (0,859) jellemezhető. Az elnyúltság paraméternél a legmagasabb átlaggal a „B” minta rendelkezik (0,395) a legalacsonyabb pedig a „C” (0,294). A szórás tekintetében az esetek nagy részében hasonló értékek szerepelnek a különböző mintáknál jellemzőként, kivéve a „C” minta esetén, ahol kevésbé változatos a szemcsék alakja a mintában. A legnagyobb eltérés az elnyúltság paraméter esetén szerepel, a legkisebb, pedig az konvexitás esetén.

A különböző mutatók esetén a szórás értékek jelentősen mást jelentenek. Az átmérő esetén, minél nagyobb a szórás, annál változatosabb méretűek a szemcsék az adott mintában, így a legnagyobb változatosság a „B” minta esetén feltételezhető, a legosztályozottabb minta pedig

az „E” minta. Az alaktani paraméterek átlagtól való eltérése pedig a szemcsealak adott mintán belüli változatosságára vagy éppen egysíkúságára utal. A 9. ábra és az 1. táblázat összevetése során az tapasztalható, hogy a „C” minta mutatja a legkisebb változatosságot a négy alaktani paraméter szempontjából. A többi minta esetében nem ennyire egyértelműek az eredmények, mivel egyes paraméterek esetén tapasztalhatóak különbségek a szórás értékek tekintetében. A cirkularitás szórásértékeinek elemzése során elmondható, hogy az „A” és „B” minta hasonló értékekkel bírnak (0,173 és 0,175), míg „D” és „E” (0,190 és 0,191) minták az előzőkétől magasabb szórásértékekkel jellemezhetőek. A konvexitás paraméter szórásértékeinek összehasonlítása során elmondható, hogy a legmagasabb értékekkel a „D” minta (0,105) jellemezhető, melyet csökkenő sorrendben követ az „E” minta, „B” minta majd az „A” minta. A tömörittség változatosságának elemzésekor megállapítható, hogy a cirkularitás értékekhez hasonlóan, az „A” és a „B” minta relatíve hasonló (0,085 és 0,087) szórásértékekkel bírnak, valamint a „D” és az „E” minták (0,093 és 0,095) értékei szintén együtt mozognak. Az elnyúltság paraméter szórásainak elemzésekor az „A”, „B”, „D” és „E” minták minimális eltérést mutatnak, de körülük a legnagyobb változatosságot a „B” minta hordozza (0,171).

A további vizsgálatokhoz a következőképpen rendeztük különböző kategóriákba a szemcséket:

A minta: cirkularitás $0,9 \leq$ és $30 \mu\text{m} <$ (n= 644), cirkularitás $0,9 \leq$ és $63 \mu\text{m} <$ (n= 61), tömörittség $0,8 >$ és $63 \mu\text{m} <$ (n= 3241), $63 \mu\text{m} <$ (n= 3341)

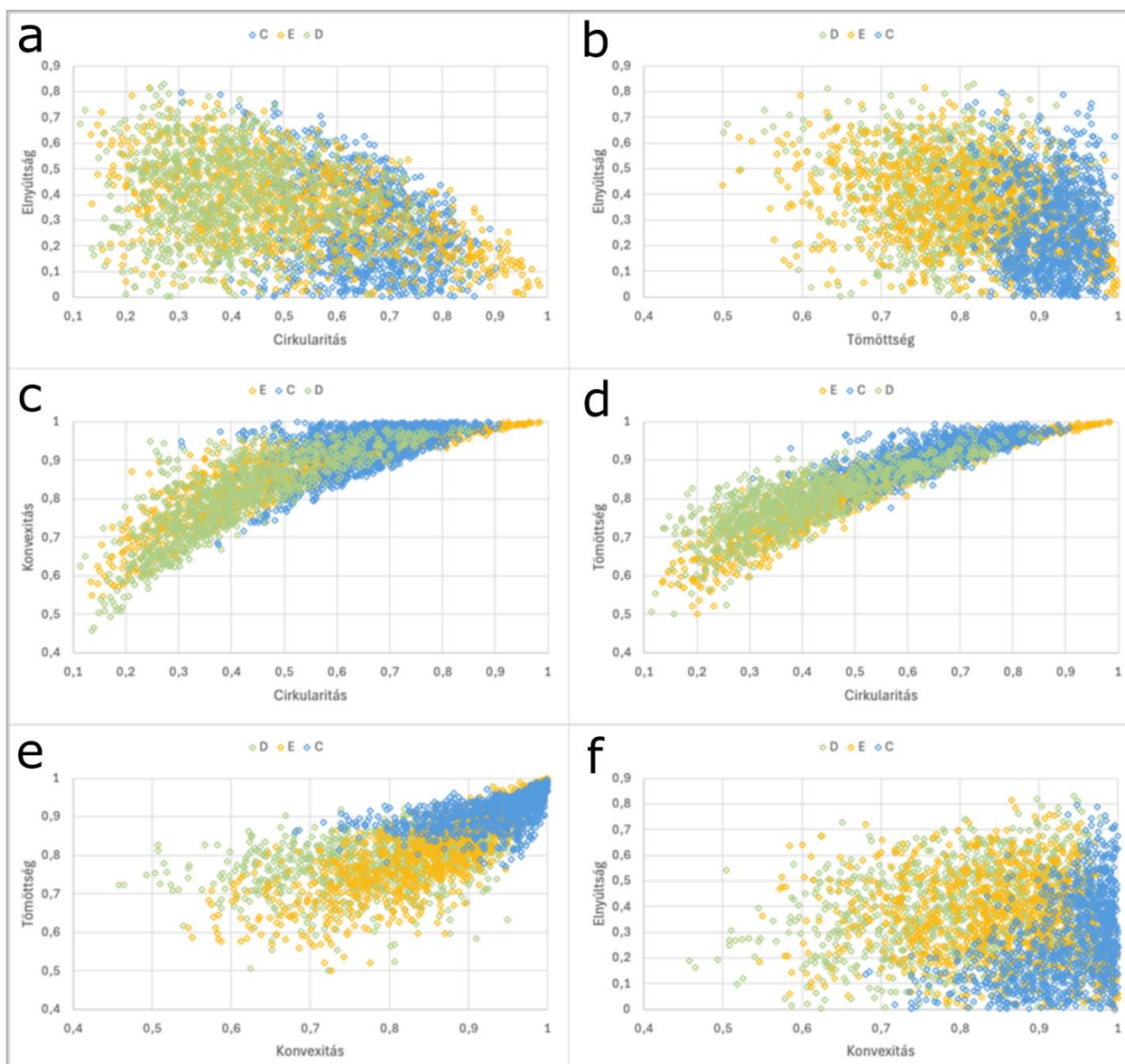
B minta: $63 \mu\text{m} <$ (n= 1284), $30\text{-}63 \mu\text{m}$ (n= 1747), cirkularitás $0,9 \leq$ és $30 \mu\text{m} <$ (n= 47), cirkularitás $0,9 \leq$ és $30\text{-}63 \mu\text{m}$ (n= 41), cirkularitás $0,9 \leq$ és $63 \mu\text{m} <$ (n= 6), tömörittség $0,8 >$ és $63 \mu\text{m} <$ (n= 469), tömörittség $0,8 >$ és $30\text{-}63 \mu\text{m} <$ (n= 134)

C minta: $30\text{-}63 \mu\text{m}$ (n= 4442), $63 \mu\text{m} <$ (n= 962), $100\text{-}250 \mu\text{m}$ (n= 394), $250 \mu\text{m} <$ (n= 158)

D minta: $30\text{-}63 \mu\text{m}$ (n= 8104), $63 \mu\text{m} <$ (n= 5628)

E minta: $63 \mu\text{m} <$ (n= 2286), $30\text{-}63 \mu\text{m}$ (n= 5471), cirkularitás $0,9 \leq$ és $30 \mu\text{m} <$ (n= 780), cirkularitás $0,9 \leq$ és $30\text{-}63 \mu\text{m}$ (n= 714), cirkularitás $0,9 \leq$ és $63 \mu\text{m} <$ (n= 66), tömörittség $0,8 >$ és $63 \mu\text{m} <$ (n= 927), tömörittség $0,8 >$ és $30\text{-}63 \mu\text{m} <$ (n= 391)

A kategóriák közül kiválasztottuk a 63 μm -nél nagyobb szemcséket és a kerek (cirkularitás 0,9 <) 30 μm -nél nagyobb szemcséket tartalmazókat és azokat ábrázoltuk (10-11. ábra).



10 Ábra: Szórás diagramok 63 μm -nél nagyobb szemcsékre

Forrás: Saját ábra

Az ábrázolt szemcsék szórósága a diagramon nem teljesen egybeeső, ezért a csoportosulások és a különbségek jól kivehetőek. A minták közül a „C” esetén látszik a legjelentősebb csoportosulás, ez a minta szűkebb tartományban vesz fel értéket a többitől, minden diagramon, minden paraméter szerint jól elkülönül a többi mintától. Az összes paraméter esetében magas értékeknél koncentrálódik, kivéve az elnyúltság esetén. Továbbá a köralakúságnál nem a „C” minta adja a legmagasabb értékeket. Ezek alapján a leválogatott kategória szemcséi közel köralakúak, tömött, magas konvexitással.

A „D” minta esetén kevésbé intenzív a csoportosulás. A „c” és „d” ábrán látszik a legerősebb elkülönülés a többi mintától, de minden más esetben egy relatíve nagy területen vesz fel étéket. Azonban a három minta közül a „D” veszi fel a legalacsonyabb értékeket a vizsgált paraméterek értelmében. A szemcsék ezek alapján sokszínűek, de kevés a nagyon szabályos szemcse, inkább a roncsolt, szabálytalan szemcsék vannak nagyobb számban jelen.

Az „E” minta esetében a legnagyobb a szemcsék szóródása, nincs jelentős csoportosulás. Ennél a mintánál a legsokfélébbek a szemcsék. A cirkularitás értékeknél ez a minta az egyedüli, amely vesz fel értéket 0,9 felett, így szinte tökéletesen köralakú szemcsék is vannak a mintában. Erről árulkodik, hogy a magas köralakúsággal jellemezhető szemcsék 1,0 közeli konvexitás és tömörittség értékekkel is rendelkeznek.

Összességében a legnagyobb szórást az „E” mintánál lehet látni. A „D” minta szemcséi aránylag köztes helyzetben jelennek meg és kevésbé szórtak, mint azt az „E” esetén látjuk, amelyből kifolyólag inkább szabálytalan szemcsékből tevődik össze a „D” minta. A három minta közül a „C” minta csoportosul a legjobban, ezáltal kicsi a szórása és jól lehatárolható tartományban mozognak az alaktani paraméterei.

A különböző diagramokon a felvett forma több esetében hasonló, de vannak jelentősen különbözőek is. A „c” és „d” például különösen hasonló alakot vesz fel, ahogy a „b” és „f” is. Az „a”, „b” és „f” diagramokon a forma alapján egy negatív korreláció feltételezhető, mivel a forma íve a bal felső saroktól a jobb alsó felé mutat. A „c”, „d”. és „e” diagramon pedig egy pozitív korreláció jele figyelhető meg a bal alsó sarokból jobb felső sarokba tartó trend miatt. Ezek alapján pedig arra lehet következtetni, hogy van összefüggés az alaktani paraméterek között.

2. táblázat: 63 µm-nél nagyobb szemcsék statisztikai jellemző

Forrás: Saját táblázat

Alaktani paraméterek	A	B	C	D	E
Cirkularitás átlag	0,487	0,450	0,677	0,441	0,564
Cirkularitás szórás	0,203	0,128	0,110	0,133	0,233
Cirkularitás maximum	0,934	0,762	0,848	0,727	0,965
Cirkularitás minimum	0,141	0,208	0,306	0,205	0,154
Konvexitás átlag	0,824	0,825	0,942	0,816	0,868
Konvexitás szórás	0,120	0,084	0,054	0,100	0,105
Konvexitás maximum	0,996	0,977	0,997	0,970	0,996
Konvexitás minimum	0,530	0,662	0,758	0,567	0,601
Tömöttség átlag	0,817	0,820	0,922	0,810	0,840
Tömöttség szórás	0,116	0,075	0,042	0,077	0,113
Tömöttség maximum	0,990	0,965	0,987	0,956	0,993
Tömöttség minimum	0,480	0,599	0,830	0,563	0,631
Elnyúltság átlag	0,339	0,410	0,265	0,380	0,321
Elnyúltság szórás	0,177	0,155	0,172	0,157	0,176
Elnyúltság maximum	0,785	0,701	0,797	0,664	0,720
Elnyúltság minimum	0,003	0,029	0,001	0,002	0,018

A 2. táblázat azok alapján az adatok alapján készült, mint a 10. ábrán látható diagramok, azonban ebben már mind az 5 minta szerepel. A táblázatban szereplő öt minta hasonló és különböző jellemzőket is mutat. A táblázat adatainak elemzése azonban segít a pontos különbségek leírásában.

A cirkularitás átlagértékei a "C" mintánál a legmagasabbak (0,677), míg a "D" mintánál a legalacsonyabbak (0,441). A minimumértékek jelentősen eltérőek: a legalacsonyabb értéket az "A" minta esetén találjuk (0,141), míg a legmagasabb minimumérték a "C" mintához tartozik (0,308). A maximumértékek közül a legmagasabb az "A" mintában található (0,934), a legalacsonyabb pedig a "D" mintánál (0,727).

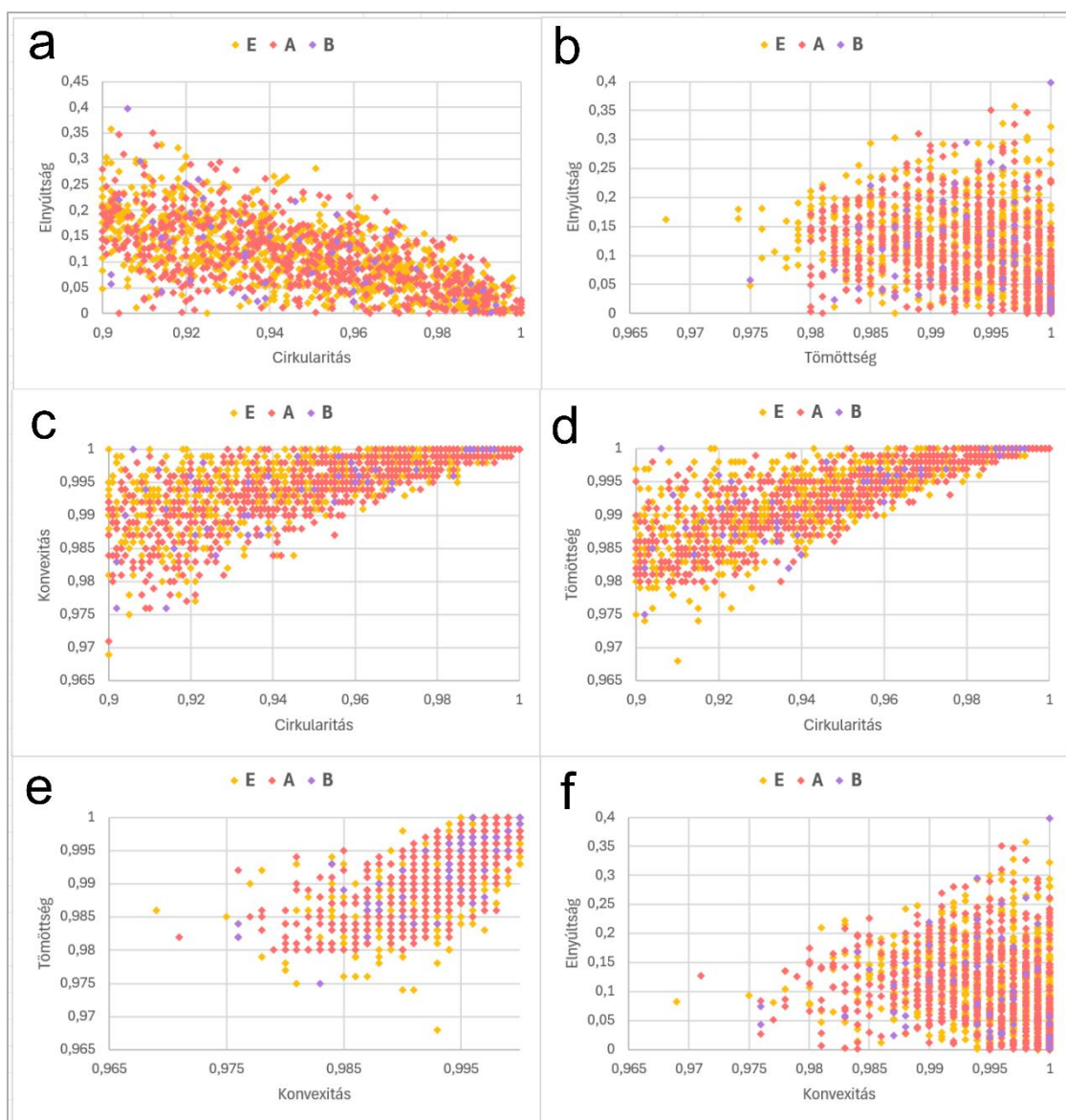
A konvexitásnál a legmagasabb átlagértéket szintén a "C" minta mutatja (0,942), ami nagyon közel van az 1-hez, emellett a konvexitás szórása is a "C" minta esetén a legalacsonyabb (0,054). A minimumértékek tekintetében a "D" minta mutatja a legalacsonyabb értéket (0,567), míg a legmagasabb minimum a "C" mintában van (0,758). A maximumérték minden mintánál nagyon közel van az 1-hez, a legnagyobb érték a "C" mintánál található (0,997).

A tömöttség terén a "C" minta (0,922) rendelkezik a legmagasabb értékkel, amíg a "D" minta (0,810) a legalacsonyabbal. A minimumértékek közül a legmagasabb a "B" mintánál található

(0,599), míg a legalacsonyabb a "D" mintánál (0,563). A maximumértékek közül a legmagasabb az "A" mintánál (0,990), a legalacsonyabb pedig a "D" mintánál (0,956).

Az elnyúltság esetében az átlagérték a "D" mintánál (0,380) a legmagasabb, amíg a "C" mintánál (0,265) a legalacsonyabb. A minimumértékek mindegyik minta esetén rendkívül alacsonyak, különösen a "C" mintánál (0,001) és az "A" mintánál (0,003). A maximumérték az elnyúltság esetében a "C" mintánál a legnagyobb (0,797), míg a legkisebb a "B" mintánál található (0,701).

Az „A” minta közepes cirkularitással jellemezhető, valamint a többi mintához képest magasabb elnyúltság értékek jellemzik, amely azt jelzi, hogy vannak hosszúkás szemcsék is a mintában. A „B” minta homogén tömötségi és konvexitási értékekkel rendelkezik, és viszonylag alacsony cirkulárisással és elnyúltsággal jellemezhető. Feltehetően a szemcsék alakja szabálytalan, de felszínük sima és inkább kompakt alakkal bírnak. A „C” mintát viszonylag magas cirkulárisát és tömötség jellemzi, ami homogén szerkezetre utal, kevésbé elnyúlt szemcsékkel. A „D” minta alacsony cirkularitási és tömötségi értékkel rendelkezik a többi mintához képest, továbbá viszonylag magas az elnyúltsági értékkel, ami hosszúkásabb és változatosabb formájú szemcséket sugall. Az „E” mintát közepes cirkularitás és elnyúltság jellemzi, magas konvexitással és tömötséggel, ami változatosabb szerkezetet jelez.



11. Ábra: Szórás diagramok 30 μm -nél nagyobb kerek szemcsékre

Forrás: Saját ábra

A 10. ábra azokról a mintákról készült, melyekben megtalálhatóak a 30 μm -nél nagyobb kerek szemcsék (cirkularitás 0,9 <). A 10. ábra alapján elmondható, hogy összességében a minták együtt mozognak, és nincsenek jól kivehető csoportosulások, mint a 63 μm -nél nagyobb szemcsék esetében volt (9. ábra). Az ábrázolt kerek szemcsék alaktani paraméterei megegyeznek minden minta esetében, azaz a változók közötti kapcsolatok nem térnek el a különböző minták esetében. Ennek értelmében a különböző diagramokon a felvett forma több esetben hasonló, de vannak jelentősen különbözőek is. A 3. és 4. hasonló alakot vesz fel és a 2. és 6. között is van hasonlóság. Az 1., 2. és 6. diagramokon a forma alapján egy negatív korreláció feltételezhető, mivel a forma íve a bal felső saroktól a jobb alsó felé mutat. A 3., 4.

és 5. diagrammon pedig egy pozitív korreláció jele figyelhető meg a bal alsó sarokból jobb felső sarokba tartó trend miatt. Ezen felül az 5. ábra esetén egy relatíve erősen pozitív lineáris kapcsolat figyelhető meg. A 10. ábra diagramjain a szemcsék térben való szóródása kevesbé jellemző, mint a 9. ábra esetében volt. A 2., 5. és 6. diagram esetén egy függőleges sorba rendeződés figyelhető meg, amíg az 3. és 4. esetében egy vertikális sorok formálódnak. Egyedül az 1. diagram esetén nem észlelhető a szemcsék sorokba rendeződése. Ez annak köszönhető, hogy a vizsgált kerek szemcsék nagyon szűk tartományban képesek felvenni értékeket főként a konvexitás és a tömöritség paraméterek esetében, ahol a felvett értékek szórása mind a három minta esetében 0,006 (3. táblázat). A különböző minták mind hasonlóan szóródnak, azaz nincs olyan minta, amely csoportosulna.

3. táblázat: 30 µm-nél nagyobb kerek szemcsék statisztikai jellemzői

Forrás: Saját táblázat

Alaktani paraméterek	A	B	E
Cirkularitás átlag	0,920	0,944	0,946
Cirkularitás szórás	0,055	0,027	0,027
Cirkularitás maximum	1,000	0,994	1,000
Cirkularitás minimum	0,707	0,902	0,900
Konvexitás átlag	0,993	0,993	0,995
Konvexitás szórás	0,005	0,006	0,005
Konvexitás maximum	1,000	1,000	1,000
Konvexitás minimum	0,979	0,976	0,969
Tömöttség átlag	0,990	0,992	0,993
Tömöttség szórás	0,006	0,006	0,006
Tömöttség maximum	1,000	1,000	1,000
Tömöttség minimum	0,980	0,975	0,968
Elnyúltság átlag	0,167	0,115	0,116
Elnyúltság szórás	0,119	0,085	0,066
Elnyúltság maximum	0,577	0,398	0,358
Elnyúltság minimum	0,006	0,003	0,000

A 3. táblázat azok alapján az adatok alapján készült, mint a 10. ábrán látható diagramok. A táblázat adataiból is az látható, hogy minimáliskülönbségek vannak ezeknek a mintáknak a morfológiai tulajdonságaiban.

4.2 A működőreszelékekből és csillámkeverékből származó mikroműanyagok szemcseméret-eloszlás eredményei

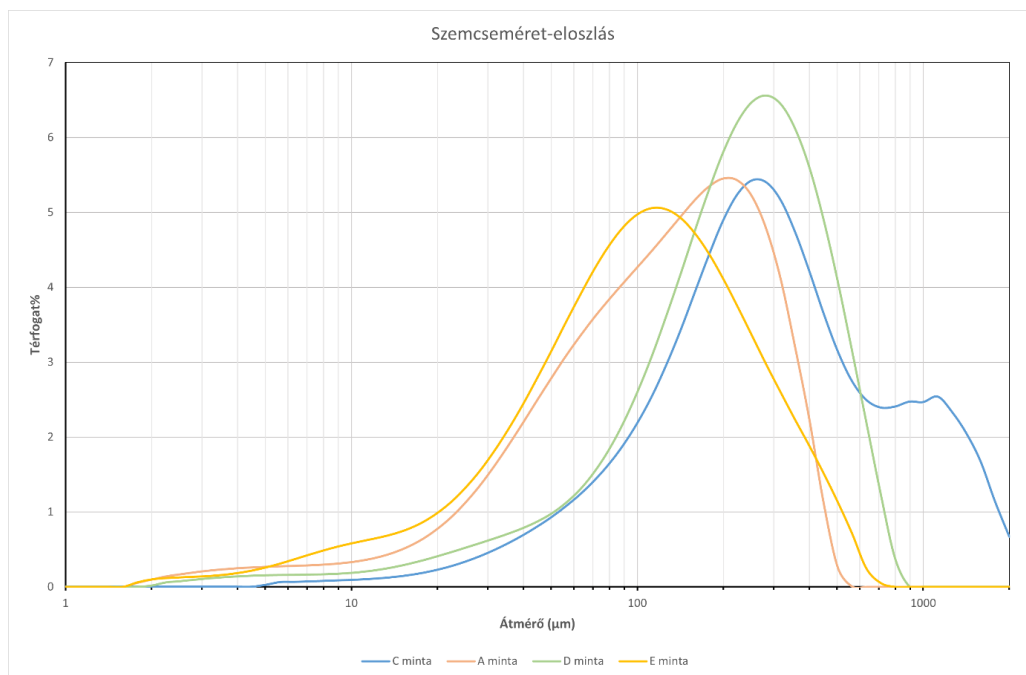
Az automata mikroszkóppal végzett szemcsetulajdonságok számszerűsítése során vizsgáltuk szemcseméretet, azonban a mikroszkóp optikai tulajdonságai okán (pl. felbontás, világítás, objektívek) és a minták változatos szemcsemérete miatt nem képes pontos szemcseméret-

eloszlást biztosítani a vizsgált mintákban. Ezért az egyik legfontosabb tulajdonság, a szemcseméret-eloszlás elemzésére a lézerdiffrakció alapú szemcseméret analizátort alkalmaztunk. Ennek eredményeit a 12. ábra tartalmazza. Az ábra alapján elmondható, hogy a „C” mintában találhatóak a legnagyobb részecskék, melyet egy másodlagos maximum (946,68 μm) is jelez. Az elsődleges móduszának helyzete (238,09 μm) pedig közel megegyezik a „D” minta egyetlen móduszával (267,15 μm). A többi mintához viszonyítva a „C” mintában jelentősen kisebb arányban vannak jelen a 100 μm alatti szemcsék, mediánja 261,17 μm -nél van.

Az „A” minta görbéje valamivel kisebb szemcseméret-tartományban éri el a maximumát (189,13 μm), de a görbe alakja alapján a szemcsék méreteloszlása az „E” és „C” minta közötti átmenetben helyezkedik el, mediánja 118,10 μm .

A „D” minta görbéjének a maximuma (267,15 μm) hasonló mérettartományban van, mint a „C” minta (238,09 μm), ugyanakkor az méreteloszlás más, mivel nincs másodlagos módusza és magasabb is a maximumának térfogatszázalékos részesedése. A mediánja 212,96 μm -nél van, amely jelzi, hogy a kisebb mérettartományokban is vesz fel értéket a görbe.

Az „E” minta maximuma (106,35 μm) a kisebb mérettartományok irányába mutat, amely hasonló az „A” mintához, de a szórása magasabb és intenzitása alacsonyabb, ami azt sugallja, hogy az „E” minta kevésbé homogén szemcseméret szempontjából. A mediánja 97,37 μm -nél van, ami szintén a legalacsonyabb érték a négy minta közül.



12. ábra: Lézerdiffrakciós szemcseméret-elemzés eredményei.

Forrás: Saját ábra

4. táblázat: Szemcseméret-eloszlás eredményei

Forrás: Saját táblázat

Mérettartomány	A minta	C minta	D minta	E minta
homok 63 μm - 2mm	72,60%	91,88%	88,43%	67,74%
iszap / kőzetliszt 2 μm -63 μm	27,40%	8,12%	11,57%	32,26%
PM10	3,33%	0,38%	2,52%	3,63%

A 4. táblázatban az üledék szemcse méretkategóriák alapján történő beosztás látszik. Az iszap frakció részaránya az „E” minta esetén a legmagasabb (32,26%), de az „A” mintánál is hasonlóan magas az érték, ott 27,40%. Az iszap frakció részaránya a „C” minta esetén a legalacsonyabb (8,12%). A „D” minta esetén a részarány 11,57%-ra tehető, így valamivel magasabb, mint a „C” minta esetén, de közel harmada az „E” minta részarányának. A mintáknak 0,38%-3,63%-a volt 10 μm -nél kisebb volt, ami fokozott környezetegészségügyi kockázattal jár.

4.3 Anyagminőségi eredmények

4.3.1 Alapműanyagtípusok referencia adatainak korrelációs eredményei

A Raman-spektroszkópiával készített méréseket korreláltattuk két adatbázissal, először különböző alapműanyagokkal, majd ezt követően az általunk épített adatbázissal, amiben a korábban lemerített referencia minták szerepeltek. A korreláció végén, minden általunk készített spektrumhoz társult öt korrelációs eredmény, amelyek a legmagasabb egyezést adták, így az egyezések számának összege mindig ötszöröse a mérésbe betáplált spektrumok számának. Az így kapott eredményeket végül összefoglaló táblázatokba rendeztük.

5. táblázat: Műanyagok rövidítései

Forrás: Saját táblázat

Rövidítés	Műanyag típus	Raman spektrum csúcsai
POM	Polioximetilén Acetál	162,419,465,537,634,917,1091,1169, 1334, 1387, 1490, 1644, 1780,1824
PEEK	Poli(éter-éter-ke-ton)	270,1144,1595
ABS-PC	Akrilnitril-butaidén-sztirol Polikarbonáttal	157,319,397,575,635,704,829,887, 1000, 1110,1179, 1237, 1310,1379,1450, 1602, 1770,1825
ABS	Akrilnitril-butaidén-sztirol	155,320,418,553,619,755,1000,1181, 1345, 1448,1602, 1666, 1779
PS	Polisztirol	418,542,620,793,847,1000,1386,1601,1841
PP_1	Polipropilén	319,398,450,527,608,746,808,972,1167, 1255, 1328,1458, 1529, 1597,1827
PP_2	Polipropilén	317,448,526,609,808,972,1036,1167, 1256, 1328,1398, 1458, 1527,1597
PMMA-PLEXI	Poli(metil-metakrilát)	296, 364, 482, 599, 811, 987, 1183, 1450, 1726, 1827
PET	Polietilén-tereftalát	278,403,552,631,702,793,856,999, 1116, 1174,1288, 1413, 1457, 1613, 1725,1829
TEFLON	Poli(tetrafluoretilén)	155,290,383,473,574,732,847,999,1048, 1216,1301, 1380, 1471, 1593,1662, 1719, 1822
PE	Polietilén	265,354,419,468,641,741,871,955, 1006, 1071, 1126, 1204, 1273,1353, 1445, 1517, 1604,1708,1780,1848
PE-LD	Polietilén Low Density	264,348,419,497,551,641,727,771, 871, 1006, 1060,1128, 1204,1294,1369, 1438, 1596,1663,1780
PE-HD	Polietilén High Density	400,725,879,1061,1128,1294,1368, 1438, 1643,1739,1841
PC	Polikarbonát	397,575,635,704,829,887,1005, 1111, 1384,1602,1835
POLYAMID 1	Poliamid 6.6	573,818,888,1145,1318, 1441,1563,1814
POLYAMID 2	Poliamid 6	162,318,419,466,602,719,772, 871, 931, 1063,1126, 1304, 1376, 1442, 1636, 1720, 1780,1827
POLYESTER_1	Poliészter	301,416,515,630,739,856,932, 1074, 1170, 1326, 1613, 1726
POLYESTER_2	Poliészter	301,416,517,630,739,857,934, 996, 1075, 1171, 1328, 1613, 1726

A táblázatokban a műanyagok neve több esetben rövidített formában jelenik meg. A 4. táblázatban szerepel, hogy melyik rövidítés milyen műanyagok jelöl. A rövidítések után, több helyen szerepel megkülönböztetésre szolgáló szám, melynek szerepe, hogy azonos műanyagról készült két különböző referencia spektrumok elkülönítse egymástól.

A táblázatokban (5-9. táblázatok) halvány rózsaszínnel van kiemelve az a műanyag típus, amely a legnagyobb darabszámú egyezést adta az adott mérésnél. A halvány lila színnel kiemelt műanyag, pedig a legmagasabb százalékos egyezést adó műanyag típust jelöli. A halvány szürke színnel jelölt sorok azokat a műanyagokat jelölik, amelyekkel nem volt egyezés. A táblázatok címe néhány esetben szemcseméretet is tartalmaz, ekkor a különböző méretű szemcsék külön voltak lemérve. Amennyiben a címben nem szerepel a szemcseméret, akkor a mérést nem előzte meg kategorizálási folyamat. A címsor alatt az szerepel, hogy összességében hány százalékos átlag egyezést mutatott az adott mérés a műanyagokkal. A diagramok négy oszlopból épülnek fel, amelyek a következők: a műanyag neve; az egyezések darabszáma; az összes egyezés arányában, hány százalékat adta az egyezéseknek az adott műanyag; az egyezés átlag százaléka az adott műanyaggal. A táblázat végén szereplő sorban a három adat a következő a második oszloptól kezdve: az egyezések összege, ami az adott mérésben szereplő spektrumok darabszámának ötszöröse; a rész százalékok összege; az egyezés százalékok maximuma.

6. táblázat: Az „A” minta műanyag referencia mintával történő korreláltatásának eredménye

A-1: n= 9; A-2: n= 25; A-3: n= 11.

Forrás: Saját táblázat

A-1, 63 < μm					A-2, 63 < μm					A-3, 30-63 < μm				
átlag		77,73			átlag		77,94			átlag		72,81		
Név	db	%	%		Név	db	%	%		Név	db	%	%	
polyamid_1	9	20,00	76,87		polyamid_1	23	18,40	79,59		polyamid_1	11	20,00	73,44	
PEEK	7	15,56	81,46		PEEK	22	17,60	85,00		PEEK	10	18,18	77,79	
POM	6	13,33	76,21		POM	21	16,80	77,71		POM	10	18,18	69,96	
polyester_2	6	13,33	70,48		polyamid_2	18	14,40	72,44		polyester_2	6	10,91	72,04	
polyamid_2	5	11,11	73,03		polyester_2	15	12,00	69,71		ABS_PC	6	10,91	71,23	
ABS_PC	4	8,89	80,00		ABS_PC	7	5,60	78,92		polyamid_2	5	9,09	61,13	
ABS	3	6,67	84,00		PMMA_plexi	6	4,80	66,92		PMMA_plexi	5	9,09	76,40	
PMMA_plexi	2	4,44	63,17		ABS	4	3,20	91,78		ABS	1	1,82	87,61	
polyester_1	2	4,44	81,50		polyester_1	4	3,20	83,38		polyester_1	1	1,82	84,22	
PC	1	2,22	68,54		PC	2	1,60	82,13		PE_HD	0	0,00	0,00	
PS	0	0,00	0,00		PS	2	1,60	79,39		pp_1	0	0,00	0,00	
pp_1	0	0,00	0,00		pp_1	1	0,80	82,36		PC	0	0,00	0,00	
PE_HD	0	0,00	0,00		PE_HD	0	0,00	0,00		PS	0	0,00	0,00	
pp_2	0	0,00	0,00		pp_2	0	0,00	0,00		pp_2	0	0,00	0,00	
pet	0	0,00	0,00		pet	0	0,00	0,00		pet	0	0,00	0,00	
pe	0	0,00	0,00		pe	0	0,00	0,00		pe	0	0,00	0,00	
pe_ld	0	0,00	0,00		pe_ld	0	0,00	0,00		pe_ld	0	0,00	0,00	
teflon	0	0,00	0,00		teflon	0	0,00	0,00		teflon	0	0,00	0,00	
ellenőrzés	45	100	84,0		ellenőrzés	125	100	91,8		ellenőrzés	55	100	87,6	

Az „A” minta esetében a legnagyobb darabszámú egyezést a poliamid adja, amíg a legmagasabb százalékos egyezést az akrilnitril-butaidén-sztirol (ABS). A táblázatokban közel azonos, hogy melyik műanyagokkal mutat egyezést a mérés, így feltételezhető, hogy a szemcsék mérete nem okoz jelentős változást az összetételben.

7. táblázat: A „B” minta műanyag referencia mintával történő korreláltatásának eredménye.

B-1: n= 11; B-2: n= 32.

Forrás: Saját táblázat

B-1				B-2			
átlag	72,07			átlag	73,90		
Név	db	%	%	Név	db	%	%
polyamid_1	11	20,00	71,15	polyamid_1	30	18,75	73,28
PEEK	10	18,18	76,24	PEEK	30	18,75	78,03
POM	10	18,18	68,57	PMMA_plexi	14	8,75	69,33
polyamid_2	9	16,36	66,51	POM	27	16,88	71,79
PMMA_plexi	5	9,09	65,49	polyamid_2	24	15,00	67,41
ABS_PC	4	7,27	70,45	polyester_2	9	5,63	67,08
polyester_2	2	3,64	67,59	ABS_PC	9	5,63	72,96
pp_1	1	1,82	85,52	ABS	5	3,13	82,04
PE_HD	1	1,82	61,58	polyester_1	3	1,88	77,35
ABS	1	1,82	95,32	PE_HD	3	1,88	62,30
polyester_1	1	1,82	79,68	PC	2	1,25	60,25
PC	0	0,00	0,00	pp_1	2	1,25	81,17
PS	0	0,00	0,00	PS	1	0,63	72,55
pp_2	0	0,00	0,00	pp_2	1	0,63	76,60
pet	0	0,00	0,00	pet	0	0,00	0,00
pe	0	0,00	0,00	pe	0	0,00	0,00
pe_ld	0	0,00	0,00	pe_ld	0	0,00	0,00
teflon	0	0,00	0,00	teflon	0	0,00	0,00
ellenőrzés	55	100,00	95,32	ellenőrzés	160	100,00	82,04

A „B” minta esetében két mérés készült, a méréseknél szemcseméret alapján nem történt szűrés. Az eredmények hasonlóak, mint az „A” minta esetén, csak az egyezési százalékok valamivel alacsonyabbak. A legnagyobb darabszámú egyezést a poliamid adja, amíg a legmagasabb százalékos egyezést az akrilnitril-butaidén-sztirol. Az „A” és „B” minta esetén is látható, hogy mivel minden spektrumhoz öt egyezés tartozik, így ahogy nő a spektrumok darabszáma a mérésben, úgy egyre több műanyag típus jelenik meg alacsony egyezési darabszámmal a táblázatokban.

8. táblázat: A „C” minta műanyag referencia mintával történő korreláltatásának eredménye.

C-1: n= 12; C-2: n= 14; C-3: n= 7.

Forrás: Saját táblázat

C-1, 63-30 µm				C-2, 100-250 µm				C-3, 250< µm			
átlag	74,84			átlag	73,14			átlag	71,80		
Név	db	%	%	Név	db	%	%	Név	db	%	%
PEEK	10	16,67	75,69	POM	12	17,14	74,27	polyamid_1	7	20,00	67,55
POM	8	13,33	73,02	PEEK	12	17,14	75,46	polyester_2	6	17,14	69,60
polyamid_2	8	13,33	61,99	polyamid_1	9	12,86	74,87	pet	5	14,29	86,25
PC	7	11,67	72,28	polyamid_2	8	11,43	73,02	PEEK	4	11,43	68,65
PS	7	11,67	70,24	PC	8	11,43	69,05	ABS_PC	4	11,43	69,93
polyamid_1	5	8,33	85,11	polyester_2	7	10,00	64,55	polyester_1	4	11,43	63,55
ABS_PC	4	6,67	83,76	PS	5	7,14	75,26	POM	2	5,71	79,19
polyester_2	4	6,67	76,26	ABS_PC	3	4,29	70,32	ABS	2	5,71	78,38
ABS	3	5,00	88,26	pet	2	2,86	94,49	polyamid_2	1	2,86	67,71
polyester_1	3	5,00	82,81	PMMA_plexi	2	2,86	57,15	PC	0	0,00	0,00
pp_1	1	1,67	76,66	ABS	1	1,43	93,67	PS	0	0,00	0,00
pet	0	0,00	0,00	polyester_1	1	1,43	88,55	PMMA_plexi	0	0,00	0,00
pe	0	0,00	0,00	pp_1	0	0,00	0,00	pp_1	0	0,00	0,00
pe_ld	0	0,00	0,00	pe	0	0,00	0,00	pe	0	0,00	0,00
pp_2	0	0,00	0,00	pe_ld	0	0,00	0,00	pe_ld	0	0,00	0,00
PE_HD	0	0,00	0,00	pp_2	0	0,00	0,00	pp_2	0	0,00	0,00
PMMA_plexi	0	0,00	0,00	PE_HD	0	0,00	0,00	PE_HD	0	0,00	0,00
teflon	0	0,00	0,00	teflon	0	0,00	0,00	teflon	0	0,00	0,00
ellenőrzés	60	100,00	88,26	ellenőrzés	70	100,00	94,49	ellenőrzés	35	100,00	86,25

A „C” minta esetében három mérettartományba voltak sorolva a szemcsék a méréshez. A C-3 mérés abban hasonlít az eddigiekhez, hogy a poliamid rendelkezik a legnagyobb darabszámú egyezéssel, de a C-1 esetében a harmadik helyre szorul, amíg a C-2-nél a harmadik-negyedik helyre.

A C-1-es mérésnél a legnagyobb darabszámú egyezést a poli(éter-éter-ke-ton) adta, amíg a legmagasabb százaléku egyezést az akrilnitril-butaidén-sztirol. A C-2-es mérés esetében a legnagyobb darabszámú egyezés a polioximetilén acetál és a poli(éter-éter-ke-ton) adja, a legmagasabb százalékos egyezést pedig a polipropilén. A C-1-es és C-2-es mérések eredményei hasonlóak.

9. táblázat: A „D” minta műanyag referencia mintával történő korreláltatásának eredménye.

D-1: n= 8; D-2: n= 12; D-3: n= 5; D-4: n= 4; D-5: n=2; D-6: n=12.

Forrás: Saját táblázat

D-1				D-2				D-3			
átlag	81,53			átlag	77,63			átlag	78,77		
Név	db	%	%	Név	db	%	%	Név	db	%	%
polyamid_1	8	20,00	84,99	polyamid_1	12	20,00	76,95	POM	4	16,00	80,54
PEEK	6	15,00	86,78	PEEK	12	20,00	86,05	polyamid_1	4	16,00	81,42
polyester_2	6	15,00	75,99	POM	11	18,33	80,04	PEEK	4	16,00	85,55
ABS_PC	5	12,50	83,00	polyamid_2	10	16,67	75,74	polyester_2	3	12,00	74,21
ABS	4	10,00	84,44	polyester_2	7	11,67	71,65	polyamid_2	3	12,00	76,30
POM	4	10,00	79,51	PMMA-plexi	5	8,33	65,17	ABS_PC	2	8,00	81,20
polyamid_2	3	7,50	73,87	ABS_PC	2	3,33	77,20	PMMA-plexi	2	8,00	63,14
polyester_1	2	5,00	82,08	ABS	1	1,67	81,93	polyester_1	1	4,00	80,29
PC	1	2,50	70,42	polyester_1	0	0,00	0,00	ABS	1	4,00	89,36
pp_2	1	2,50	77,60	PC	0	0,00	0,00	PC	1	4,00	69,50
PMMA-plexi	0	0,00	0,00	pet	0	0,00	0,00	pet	0	0,00	0,00
pet	0	0,00	0,00	PS	0	0,00	0,00	PS	0	0,00	0,00
PS	0	0,00	0,00	pp_1	0	0,00	0,00	pp_1	0	0,00	0,00
pp_1	0	0,00	0,00	pe	0	0,00	0,00	pe	0	0,00	0,00
pe	0	0,00	0,00	pe_ld	0	0,00	0,00	pe_ld	0	0,00	0,00
pe_ld	0	0,00	0,00	pp_2	0	0,00	0,00	pp_2	0	0,00	0,00
PE_HD	0	0,00	0,00	PE_HD	0	0,00	0,00	PE_HD	0	0,00	0,00
teflon	0	0,00	0,00	teflon	0	0,00	0,00	teflon	0	0,00	0,00
ellenőrzés	40	100,00	86,78	ellenőrzés	60	100,00	86,05	ellenőrzés	25	100,00	89,36

D-4				D-5				D-6			
átlag	80,03			átlag	80,75			átlag	78,79		
Név	db	%	%	Név	db	%	%	Név	db	%	%
polyamid_1	4	20,00	81,42	polyamid_1	2	20,00	84,95	polyamid_1	11	18,33	81,35
PEEK	3	15,00	87,04	PEEK	2	20,00	85,71	PEEK	11	18,33	86,41
polyester_2	3	15,00	74,21	polyester_2	2	20,00	75,70	polyester_2	10	16,67	71,96
POM	3	15,00	80,96	POM	1	10,00	79,75	POM	10	16,67	79,42
polyamid_2	2	10,00	78,10	polyamid_2	1	10,00	75,56	polyamid_2	8	13,33	74,70
ABS_PC	2	10,00	81,20	ABS_PC	1	10,00	80,57	ABS_PC	3	5,00	79,43
ABS	1	5,00	89,36	ABS	1	10,00	78,90	ABS	2	3,33	81,77
polyester_1	1	5,00	80,29	polyester_1	0	0,00	0,00	polyester_1	2	3,33	78,63
PMMA-plexi	1	5,00	59,98	PMMA-plexi	0	0,00	0,00	PMMA-plexi	1	1,67	63,90
PC	0	0,00	0,00	PC	0	0,00	0,00	PC	1	1,67	75,60
PS	0	0,00	0,00	PS	0	0,00	0,00	PS	1	1,67	72,25
pp_2	0	0,00	0,00	pp_2	0	0,00	0,00	pp_2	0	0,00	0,00
pet	0	0,00	0,00	pet	0	0,00	0,00	pet	0	0,00	0,00
pp_1	0	0,00	0,00	pp_1	0	0,00	0,00	pp_1	0	0,00	0,00
pe	0	0,00	0,00	pe	0	0,00	0,00	pe	0	0,00	0,00
pe_ld	0	0,00	0,00	pe_ld	0	0,00	0,00	pe_ld	0	0,00	0,00
PE_HD	0	0,00	0,00	PE_HD	0	0,00	0,00	PE_HD	0	0,00	0,00
teflon	0	0,00	0,00	teflon	0	0,00	0,00	teflon	0	0,00	0,00
ellenőrzés	20	100,00	89,36	ellenőrzés	10	100,00	85,71	ellenőrzés	60	100,00	86,41

A „D” minta esetében 6 db különböző mérés készült, azonban a mintában a szemcsék nem voltak méret alapján kategorizálva. A D-1, D-2, D-5 és D-6 mérésekben a legmagasabb egyezési százalékot a poli(éter-éter-keton) és (PEEK) jelentette, de a legnagyobb darabszámú egyezés esetén nem teljesen azonos az eredmény, mivel több mérés esetén is több műanyag ugyanannyiszor szerepelt. A D-1 esetén poliamid szerepel a legnagyobb darabszámú egyezés

esetén, a D-2 mérésnél poliamid és PEEK a D-3 mérésnél polioximetilén acetál (POM), poliamid és PEEK, a D-4-nél poliamid, a D-5-nél poliamid, poliészter és PEEK a D-6 mérésnél poliamid és PEEK, ahogy a D-2-nél is. A D-3 és D-4 esetében a legmagasabb százalékos egyezés ABS jelenti. Az eddigi mintákhoz képest az egyezés százalékos értékének maximumai itt a legalacsonyabbak, azonban az egyezések százalékanak átlaga itt a legmagasabb.

10. táblázat: Az „E” minta műanyag referencia mintával történő korreláltatásának eredménye

Forrás: Saját táblázat

E-1				E-2			
átlag	72,16			átlag	68,68		
Név	db	%	%	Név	db	%	%
PEEK	18	20,00	80,32	polyamid_1	20	20,00	66,53
POM	18	20,00	72,69	PEEK	20	20,00	73,86
polyamid_2	17	18,89	69,29	POM	18	18,00	69,28
polyamid_1	17	18,89	74,11	polyamid_2	14	14,00	64,06
polyester_2	9	10,00	65,70	PMMA_plexi	10	10,00	74,65
PMMA_plexi	6	6,67	69,20	polyester_2	6	6,00	68,64
PE_HD	3	3,33	62,13	ABS_PC	6	6,00	62,41
ABS_PC	1	1,11	68,85	PE_HD	3	3,00	62,61
pp_1	1	1,11	37,76	ABS	1	1,00	55,46
ABS	0	0,00	0,00	polyester_1	1	1,00	74,01
polyester_1	0	0,00	0,00	PC	1	1,00	66,56
PC	0	0,00	0,00	PS	0	0,00	0,00
PS	0	0,00	0,00	pp_2	0	0,00	0,00
pp_2	0	0,00	0,00	pet	0	0,00	0,00
pet	0	0,00	0,00	pp_1	0	0,00	0,00
pe	0	0,00	0,00	pe	0	0,00	0,00
pe_ld	0	0,00	0,00	pe_ld	0	0,00	0,00
teflon	0	0,00	0,00	teflon	0	0,00	0,00
ellenőrzés	90	100,00	80,32	ellenőrzés	100	100,00	74,65

Az „E” minta esetén két mérés készült, a szemcsék itt sem voltak csoportosítva a mérés előtt. Az E-1 mérés esetén a legnagyobb darabszámú egyezést a PEEK és a POM jelentette, amik közül a második egyben a legmagasabb százalékos egyezést is mutatja. Az E-2 mérésnél a legnagyobb darabszámú egyezést a poliamid és PEEK mutatta, amíg a legmagasabb százalékos egyezést a poli(metil-metakrilát)-tal (PMMA-plexi) volt. Összességében ennél a mintánál a legalacsonyabbak az egyezési százalékok.

11. táblázat: Összesítés

Forrás: Saját táblázat

Összesítés						
átlag	összesen ennyiszor szerepel (db)	a spektrumok hány %-ával volt egyezés (100% = 185)	összesen az esetek ennyi százalékában szerepel (100% = 1007)	átlag százalék egyezésre	összesen ennyi mintánál szerepel egyezés (db) (max 16)	Egyezési százalékok színe
polyamid_1	174	94%	18,81%	76,22%	14	átlag feletti 2.-3. 1.
PEEK	167	90%	18,05%	80,63%	14	
POM	153	83%	16,54%	75,67%	14	
polyamid_2	125	68%	13,51%	70,90%	14	
polyester_2	94	51%	10,16%	70,35%	14	
ABS_PC	57	31%	6,16%	74,75%	14	
PMMA_plexi	57	31%	6,16%	66,49%	11	
ABS	27	15%	2,92%	83,43%	13	
polyester_1	22	12%	2,38%	72,77%	12	
PC	16	9%	1,73%	70,36%	7	
PE_HD	10	5%	1,08%	62,15%	4	
PS	9	5%	0,97%	74,86%	4	
pet	7	4%	0,76%	90,37%	2	
pp_1	5	3%	0,54%	71,70%	4	
pp_2	2	1%	0,22%	77,10%	2	
pe	0	0%	0,00%	0,00%	0	
pe_ld	0	0%	0,00%	0,00%	0	
teflon	0	0%	0,00%	0,00%	0	
ellenőrzés	925,00		100,00%	74,52%		

A legszorosabb egyezést a polietilén-tereftalát, akrilnitril-butaidén-sztirol és poli(éter-éterketon) adta. Összesen 185 spektrumot korreláltattunk. Összességében 3 db referenciaműanyaggal nem volt egyezés: polietilén, kis sűrűségű polietilén és teflon Az átlagos egyezési százalék 74,52 volt A korrelációs adatokban összességében nem szerepel különösen kilengő adat.

4.2.2 Saját referencia adatbázis korrelációs eredményei

Az öt mintából kapott spektrumokat nem csak referencia műanyagokkal korreláltattuk, hanem a saját adatbázisunkkal is. Az adatbázisban különböző, a műkörömpítéshez szükséges anyagok és dekoráláshoz gyakran használt termékek szerepelnek (pl. géllakkok, csillámok).

A táblázatban a termékek kódja szerepel, ahogy a korrelációt összefoglaló táblázatokban is (12-16. táblázat), a kódok mellett pedig a termékek típusa található. A műkörömpítéshez szükséges

termékek a következők: alapozólakk, építőzselé, akrilzselé jellegű építőzselé (ez a boltok polcain akrilzselé-jént is megtalálható), opcionálisan géllakk, fedőlakk. A körömdíszítéshez használt termékek a következők: pigmentek, glitterek, flitterek, transzferfóliák, matricák, chrome porok.

12. Saját adatbázis összefoglaló

Forrás: Saját táblázat

Típus	Raman csúcsok	Korreláló műanyag	Egyezési százalék	Név	Típus	Raman csúcsok	Korreláló műanyag	Egyezési százalék
Chrome por	806, 1000, 1451, 1599	PEEK	95,71%	CN_OS_55	Gél lakk	1000, 1095, 1600	PEEK	90,76%
Chrome por	284,333, 404, 615, 794, 999, 1314, 1383, 1467, 1502, 1599	PS	83,60%	MB_150	Gél lakk	463, 700, 1039, 1448, 1597, 1739	polyamid_1	94,15%
Chrome por	282,335,407,503,564,615,698,794,1002,1092,1240,1313,1380,1501,1599,1846	PS	77,69%	MN_19FG	Gél lakk	319, 483, 572, 680, 746, 831, 952, 999, 1342, 1390, 1529, 1590, 1845	PC	92,68%
Építő zselé	774, 1000, 1150, 1447, 1600, 1637, 1722	PC	93,34%	N_288	Gél lakk	1000, 1159, 1362, 1448, 1599, 1724, 1599, 1724	polyamid_1	94,15%
Építő zselé	319,464,601,775,880,935,1081,1445,1636,1722,1831	PC	98,11%	N_370	Gél lakk	483, 680, 746, 953, 1108, 1143, 1307, 1341, 1451	PC	92,68%
Építő zselé	329,788,921,999,1154,1383,1594,1833	polyamid_1	83,16%	N_391	Gél lakk	822, 999, 1050, 1253, 1448, 1600, 1723	ABS	98,00%
Építő zselé	321,393,514,628,703,776,861,1000,1388,1452,1594,1722,1832	PC	97,16%	Prof_n_01	Gél lakk	395, 513, 637, 1185, 1285, 1451, 1589,	polyamid_1	76,98%
Fedő lakk	571, 999, 1025, 1385, 1447, 1589, 1727	PC	98,51%	Prof_n_270	Gél lakk	447, 605, 1092, 1452, 1587	polyamid_1	92,30%
Flitter	630, 702,794, 857, 996, 1094, 1177, 1281, 1417, 1459, 1613, 1725	ABS	92,62%	Arielle	Glitter	632, 702,797, 857, 996, 1118, 1176, 1288, 1410, 1457, 1614, 1726	pet	87,73%
Flitter	631, 704, 748, 795, 856, 1000, 1094, 1183, 1280, 1417, 1450, 1541, 1613, 1725	ABS	94,45%	CN.fig.2	Glitter	631, 702,794, 858, 995, 1093, 1186, 1290, 1417, 1461, 1614, 1726	pet	94,33%
Flitter	630, 701,794, 857, 996, 1093, 1184, 1289, 1414, 1459, 1614, 1726	pet	93,71%	fekete.csillam	Glitter	631, 702, 797, 858, 997, 1094, 1188, 1213, 1241, 1291, 1330, 1354, 1417, 1457, 1614, 1726	pet	82,35%
Flitter	349, 620, 685, 927, 978, 1051, 1300, 1343, 1456, 1553, 1563, 1995	PEEK	87,17%	kek.csillam	Glitter	361, 573, 795, 858, 997, 1095, 1183, 1290, 1412, 1457, 1614, 1726	PC	87,45%
Flitter	631, 702,795, 857, 995, 1093, 1186, 1289, 1414, 1461, 1614, 1727	pet	96,55%	m.nelk.fekete.glitter	Glitter	635, 702, 797, 858, 997, 1094, 1188, 1213, 1241, 1286, 1330, 1353, 1417, 1454, 1614, 1726	pet	91,61%
Flitter	483, 681, 746, 776, 1006, 1100, 1143, 1340, 1451, 1528, 1613, 1727	polyamid_1	71,55%	m.nelk.kek.glitter	Glitter	631, 704, 797, 858, 996, 1094, 1185, 1290, 1415, 1460, 1614, 1727	polyamid_1	84,24%
Flitter	633, 704, 795, 858, 997, 1095, 1183, 1290, 1412, 1457, 1614, 1726	pet	82,61%	m.nelk.pink.glitter	Glitter	632, 705, 797, 856, 1000, 1103, 1179, 1278, 1417, 1454, 1613, 1716	ABS	77,49%
Flitter	631, 704,797, 858, 996, 1094, 1185, 1290, 1415, 1460, 1614, 1727	pet	81,79%	masternails.2.glitter	Glitter	630, 701, 797, 857, 996, 1093, 1186, 1291, 1415, 1460, 1613, 1725	pet	83,68%
Flitter	631, 701, 795, 858, 996, 1094, 1185, 1291, 1414, 1460, 1614, 1726,	pet	83,15%	moyra.no.01.glitter	Glitter	630, 702, 797, 857, 996, 1093, 1184, 1290, 1416, 1460, 1613, 1726	pet	91,82%

Fluoreszkáló pigment	318, 447, 582, 635, 685, 740, 776, 818, 1214, 1283, 1338, 1539	PEEK	89,90%	piros.csillam	Glitter	631, 702, 794, 857, 997, 1093, 1185, 1289, 1415, 1462, 1614, 1726	pet	87,46%
Gél lakk	999, 1156, 1377, 1444, 1597,	POM	76,63%	vajszin.csillam	Glitter	631, 702, 794, 858, 997, 1094, 1186, 1291, 1413, 1457, 1614, 1726	PC	84,15%
Gél lakk	622, 1001, 1449, 1600	ABS	97,98%	matrica	Matrica	446,605,711,844,966,1085,1297, 1448,1602,1723	ABS	94,77%
Gél lakk	296, 571, 649, 1000, 1039, 1112, 1294, 1452, 1600, 1724	PEEK	76,69%	CN_CL	Akrilzselé építő zselé	294, 364, 482, 600, 811, 966, 1297, 1449, 1724	PMMA_plexi	84,27%
Gél lakk	395, 513, 637, 999, 1034, 1446, 1596, 1884	PC	96,97%	CN_GB	Akrilzselé építő zselé	683, 740, 775, 1295, 1437, 1538, 1638, 1720	PC	94,90%
Gél lakk	444, 608, 1000, 1039, 1216, 1300, 1331, 1441, 1601, 1723	PC	86,26%	CN_GP	Akrilzselé építő zselé	471, 603, 637, 775, 1297, 1446, 1639, 1719	polyamid_2	87,28%
Gél lakk	389, 571, 999, 1296, 1450, 1599, 1637, 1725	PEEK	80,26%	cn_basic_clear_reszelt	Akrilzselé építő zselé	296,342,364,471,482,599,757,811, 1681,966,1121,1183,1322,1451,1602,1726,1831	PMMA_plexi	72,94%
Gél lakk	293, 407, 605, 1086, 1449, 1601, 1723	polyamid_1	90,32%	naninails.319018.transzfer.f	Transzferfólia	732, 749, 961, 1156, 1188, 1270, 1335, 1537	ABS	92,88%

A korrelációs eredményeket bemutató táblázatok hasonlóan épülnek fel itt is mint a referencia műanyagokkal történt korreláció esetén, azonban itt a táblázatokban nem szerepelnek a nem korreláló referencia anyagok. A színek jelentése azonos, mint az előző vizsgálat esetében.

Az összeg a táblázat tetején szerepel, amely az adott mérésben szereplő spektrumok ötszörösét jelenti, továbbá az átlag, ami a korrelációs eredmények átlagát jelzi. A minták és a spektrumok azonosak, a szemcseméret leválogatottsága sem változott, így ebben az alfejezetben ezekre nem tér ki az értelmezés.

13. táblázat: Az „A” minta saját referencia adatbázissal történő korreláltatásának eredményei
 Forrás: Saját táblázat

A-1, 63< μm				A-2, 63< μm				A-3, 30-63 μm			
Összeg	45	átlag	86,61	Összeg	125	átlag	87,81	Összeg	55	átlag	85,80
Név	db	%	%	Név	db	%	%	Név	db	%	%
CN_OS_14	7	15,56	84,22	CN_OS_14	18	14,40	87,56	CN_F_Rose	9	16,36	82,27
CN_F_Rose	5	11,11	89,88	CN.rozsaszin.chrome	18	14,40	88,57	CN_OS_14	8	14,55	87,77
Prof_n_270	4	8,89	87,48	CN_F_Rose	16	12,80	86,69	CN.rozsaszin.chrome	8	14,55	85,96
CN_GP	3	6,67	87,32	CN.gg.5	12	9,60	84,83	MB_150	6	10,91	87,60
CN.gg.5	3	6,67	84,69	MB_150	11	8,80	89,80	CN_GP	5	9,09	74,15
CN.rozsaszin.chrome	3	6,67	92,06	CN_GP	10	8,00	83,05	CN_CL	5	9,09	89,54
MB_150	3	6,67	87,77	Prof_n_270	6	4,80	93,19	CN.gg.5	3	5,45	77,30
cn.6.sotetlila.flitter	3	6,67	86,12	cn.6.sotetlila.flitter	4	3,20	94,65	Canni_A11	3	5,45	74,16
CN.glow	3	6,67	84,63	matrica	4	3,20	93,78	Prof_n_270	3	5,45	90,22
CN_CL	2	4,44	83,33	CN_CL	3	2,40	88,63	matrica	3	5,45	91,52
Canni_A11	2	4,44	75,73	Canni_A11	3	2,40	74,71	cn.6.sotetlila.flitter	1	1,82	92,36
matrica	1	2,22	94,38	CN_OS_55	3	2,40	87,09	CN_builder_1	1	1,82	86,01
CN_OS_55	1	2,22	92,23	N_391	3	2,40	92,70				
N_391	1	2,22	95,70	CN.glow	2	1,60	85,31				
CN_3s908	1	2,22	82,26	CN_GB	2	1,60	88,71				
CN_GB	1	2,22	79,14	MN_19FG	2	1,60	91,30				
Canni_566	1	2,22	94,81	CN_BG	2	1,60	86,72				
MN_19FG	1	2,22	84,33	CN_3s908	1	0,80	90,68				
				Canni_566	1	0,80	93,64				
				m.nelk.kek.glitter	1	0,80	88,39				
				N_288	1	0,80	94,07				
				CN_TG	1	0,80	83,85				
				CN_builder_2	1	0,80	85,50				

Az „A” minta esetén az A-1 és A-2 mérésekben a legnagyobb darabszámú egyezést a „CN_OS_14” jelenti, az A-2-es mérésnél azonban a „CN.rozsaszin.chrome” is azonos darabszámú egyezést mutat. Ezek közül a „CN_OS_14” egy gélakk, amíg a „CN.rozsaszin.chrome” egy chrome por, ami dekorációs célt szolgál. Az A-3 esetén a legmagasabb darabszámú egyezés a „CN_F_Rose”, ami egy gélakk. A legmagasabb egyezési százalék az A-2-es és A-3-as mérések esetén a „cn.6.sotetlila.flitter”, ami egy flitter, tehát dekorációs termék. Az A-1 esetében a legmagasabb egyezési százalékot az „N_391” adta, ami egy gélakk.

14. A „B” minta saját referencia adatbázissal történő korreláltatásának eredményei

Forrás: Saját táblázat

B-1				B-2			
Összeg	160	átlag	84,45	Összeg	55	átlag	84,35
Név	db	%	%	Név	db	%	%
CN_F_Rose	25	15,63	85,87	CN_F_Rose	10	18,18	86,89
CN_OS_14	19	11,88	84,65	CN_GP	8	14,55	82,47
CN_GP	19	11,88	82,51	CN_OS_14	7	12,73	82,03
CN.gg.5	18	11,25	78,49	CN_CL	6	10,91	85,70
CN.rozsaszin.chrome	15	9,38	88,13	CN.rozsaszin.chrome	5	9,09	86,10
CN_CL	14	8,75	84,87	CN.gg.5	5	9,09	94,01
MB_150	12	7,50	85,82	Canni_A11	4	7,27	72,10
Canni_A11	10	6,25	75,72	MB_150	2	3,64	84,74
Prof_n_270	7	4,38	87,39	Prof_n_270	1	1,82	84,48
matrica	6	3,75	89,11	cn.6.sotetlila.flitter	1	1,82	91,55
cn.6.sotetlila.flitter	3	1,88	90,57	N_391	1	1,82	95,69
CN_OS_55	2	1,25	86,42	Canni_566	1	1,82	94,09
N_391	2	1,25	90,55	N_288	1	1,82	98,34
CN_3s908	1	0,63	83,19				
CN.glow	1	0,63	83,67				
CN_GB	1	0,63	81,93				
CN_BG	1	0,63	82,20				
m.nelk.kek.glitter	1	0,63	88,02				
Canni_566	1	0,63	94,09				
N_288	1	0,63	98,34				
CN_BC	1	0,63	80,30				

A „B” minta esetén mind a két mérésnél a legnagyobb darabszámú egyezést adó referencia minta a „CN_F_Rose” volt, a legnagyobb százalékos egyezés, pedig az „N_288”, mind a kettő termék gélakk.

15. A „C” minta saját referencia adatbázissal történő korreláltatásának eredményei

Forrás: Saját táblázat

C-1, 63-30 µm				C-2, 100-250 µm				C-3, 250< µm			
Összeg	60	átlag	84,77	Összeg	70	átlag	87,46	Összeg	35	átlag	89,65
Név	db	%	%	Név	db	%	%	Név	db	%	%
CN_OS_55	7	11,67	84,57	CN_OS_55	7	10,00	88,03	cn.6.vilagoslila.flitter	3	8,57	95,38
MN_19FG	6	10,00	79,76	CN.rozsaszin.chrome	7	10,00	88,26	CN.fg.2	3	8,57	93,19
CN.glow	5	8,33	83,81	CN.glow	6	8,57	89,61	CN_OS_55	2	5,71	87,84
CN.rozsaszin.chrome	5	8,33	88,51	CN_OS_14	4	5,71	87,93	CN.rozsaszin.chrome	2	5,71	86,60
CN_OS_14	3	5,00	88,64	CN.gg.5	4	5,71	86,71	MB_150	2	5,71	83,37
cn.6.sotetlila.flitter	3	5,00	90,18	MN_19FG	4	5,71	89,46	Prof_n_270	2	5,71	81,87
CN.gg.5	3	5,00	83,55	CN_3s908	3	4,29	85,26	CN.glow	2	5,71	86,49
CN.Silver	3	5,00	88,50	Art_de_l_18	2	2,86	85,86	cn.6.sotetlila.flitter	2	5,71	80,65
CN.silver.3	3	5,00	86,87	CN_BG	2	2,86	82,22	m.nelk.feher.flitter	2	5,71	96,17
MB_150	3	5,00	95,19	CN_GB	2	2,86	89,74	m.nelk.kek.glitter	2	5,71	87,88
Prof_n_270	3	5,00	94,04	CN_TG	2	2,86	82,53	m.nelk.narancs.flitter	2	5,71	96,52
CN_3s908	2	3,33	74,05	cn.6.vilagoslila.flitter	2	2,86	92,15	m.nelk.kek.flitter	2	5,71	93,61
CN_BG	2	3,33	71,84	CN.fg.2	2	2,86	92,06	piros.csilam	2	5,71	91,96
CN_GB	2	3,33	70,99	CN.Silver	2	2,86	80,29	CN_OS_14	1	2,86	84,89
Canni_566	1	1,67	95,68	MB_150	2	2,86	86,06	matrica	1	2,86	76,32
CN_1s104	1	1,67	67,87	Prof_n_270	2	2,86	85,77	CN.gg.5_nagy_glitter	1	2,86	97,54
CN_builder_1	1	1,67	89,17	CN_1s104	1	1,43	71,07	m.nelk.fekete.glitter	1	2,86	91,08
CN_builder_2	1	1,67	67,19	CN_builder_1	1	1,43	74,96	moyra.no.01.glitter	1	2,86	89,68
CN_F_Rose	1	1,67	81,29	CN_builder_2	1	1,43	93,71	CN.mg.4	1	2,86	95,16
CN_TG	1	1,67	67,51	CN_F_Rose	1	1,43	90,08	N_370	1	2,86	91,36
m.nelk.kek.glitter	1	1,67	86,68	CN_GP	1	1,43	80,96				
matrica	1	1,67	93,37	cn.6.sotetlila.flitter	1	1,43	93,05				
N_391	1	1,67	95,57	CN.gg.5_nagy_glitter	1	1,43	97,17				
naninails.319018.				CN.silver.3	1	1,43	90,11				
transzfer.f	1	1,67	95,39	m.nelk.feher.flitter	1	1,43	93,94				
				m.nelk.fekete.glitter	1	1,43	93,39				
				m.nelk.kek.flitter	1	1,43	92,09				
				m.nelk.kek.glitter	1	1,43	76,72				
				m.nelk.narancs.flitter	1	1,43	94,27				
				masternails.2.glitter	1	1,43	72,65				
				matrica	1	1,43	90,05				
				moyra.no.01.glitter	1	1,43	91,28				
				N_391	1	1,43	89,83				

A „C” minta esetében a C-1-es mérésnél a legnagyobb darabszámú egyezést a „CN_OS_55” adta, amíg a legmagasabb egyezési százalékot, az „N_391”, mind a kettő termék géllakk. A C-2 esetében a „CN_OS_55” és a „CN.rozsaszin.chrome” minták ugyan olyan számban mutattak egyezést a mérés során, ezek közül a a „CN_OS_55” egy géllakk, amíg a „CN.rozsaszin.chrome” egy chrome por, ami díszítési célt szolgál. A legmagasabb százaléku egyezés az „m.nelk.feher.glitter” mintával volt, ami egy glitter, szóval díszítésre szolgáló termék. A C-3 mérés esetén a legnagyobb darabszámú egyezés az „cn.6.vilagoslila.flitter” és a „CN.fg.2” adta, ezek pedig flitter és glitter termékek. A legmagasabb százaléku egyezés a „CN.gg.5_nagy_glitter” mintával volt, amely szintén glitter.

16. táblázat: A „D” minta saját referencia adatbázissal történő korreláltatásának eredményei

Forrás: Saját táblázat

D-1			
Darabszám	40	átlag	90,00
Név	db	%	%
CN_OS_14	7	17,50	91,05
CN.rozsaszin.chrome	5	12,50	90,74
MB_150	5	12,50	94,21
Prof_n_270	5	12,50	92,84
CN_F_Rose	3	7,50	86,54
cn.6.sotetlila.flitter	3	7,50	90,42
CN.gg.5	2	5,00	84,75
matrica	2	5,00	91,42
Canni_A11	1	2,50	85,73
CN_3s908	1	2,50	90,37
CN_GP	1	2,50	86,12
MN_19FG	1	2,50	86,20
Art_de_l_18	1	2,50	81,68
CN_OS_55	1	2,50	83,13
CN_builder_1	1	2,50	85,05
N_391	1	2,50	91,99

D-2			
Összeg	60	átlag	89,02
Név	db	%	%
CN_OS_14	11	18,33	91,26
CN.rozsaszin.chrome	8	13,33	90,04
CN_F_Rose	6	10,00	89,88
Canni_A11	5	8,33	84,60
MB_150	5	8,33	91,45
CN_3s908	4	6,67	89,39
Prof_n_270	4	6,67	88,89
CN.gg.5	4	6,67	84,92
CN_GP	3	5,00	87,64
CN.glow	2	3,33	89,53
MN_19FG	2	3,33	87,19
Art_de_l_18	1	1,67	82,94
cn.6.sotetlila.flitter	1	1,67	94,33
CN_OS_55	1	1,67	92,31
CN_GB	1	1,67	85,22
matrica	1	1,67	89,82
CN_CL	1	1,67	83,69

D-3			
Összeg	25	átlag	88,38
Név	db	%	%
CN_OS_14	3	12,00	91,39
CN.gg.5	3	12,00	85,02
CN_OS_55	2	8,00	87,22
CN.rozsaszin.chrome	2	8,00	90,48
CN_3s908	2	8,00	85,45
MB_150	2	8,00	94,48
Prof_n_270	2	8,00	93,59
CN_GP	2	8,00	84,04
CN.glow	1	4,00	83,54
MN_19FG	1	4,00	84,10
cn.6.sotetlila.flitter	1	4,00	93,90
matrica	1	4,00	89,14
CN_F_Rose	1	4,00	84,83
Canni_A11	1	4,00	85,48
N_288	1	4,00	88,72

D-4			
Összeg	20	átlag	90,02
Név	db	%	%
CN_OS_14	3	15,00	91,39
CN.gg.5	2	10,00	86,19
CN.rozsaszin.chrome	2	10,00	90,48
MB_150	2	10,00	94,48
Prof_n_270	2	10,00	93,59
CN_F_Rose	1	5,00	84,83
CN_GP	1	5,00	84,78
Canni_A11	1	5,00	85,48
matrica	1	5,00	89,14
cn.6.sotetlila.flitter	1	5,00	93,90
N_288	1	5,00	88,72
CN_OS_55	1	5,00	86,85
MN_19FG	1	5,00	84,10
CN_3s908	1	5,00	88,70

D-5			
Összeg	10	átlag	90,01
Név	db	%	%
CN.rozsaszin.chrome	2	20,00	88,49
CN_OS_14	2	20,00	94,81
Canni_A11	1	10,00	87,20
CN_3s908	1	10,00	89,36
MB_150	1	10,00	94,83
Prof_n_270	1	10,00	92,39
Art_de_l_18	1	10,00	85,26
cn.6.sotetlila.flitter	1	10,00	84,44

D-6			
Összeg	60	átlag	87,97
Név	db	%	%
CN.rozsaszin.chrome	10	16,67	88,23
CN_OS_14	9	15,00	91,62
CN.gg.5	8	13,33	85,70
Canni_A11	7	11,67	85,16
CN_GP	6	10,00	87,99
CN_F_Rose	5	8,33	88,28
CN_3s908	3	5,00	87,67
CN.glow	2	3,33	86,40
CN_OS_55	2	3,33	86,92
MB_150	2	3,33	94,17
Prof_n_270	2	3,33	91,29
Art_de_l_18	2	3,33	84,11
cn.6.sotetlila.flitter	1	1,67	87,90
CN_builder_1	1	1,67	83,50

A D minta esetében a D-1, D-2, D-4 méréseknél a „CN_OS_14” volt a legnagyobb darabszámban előforduló referencia anyag. A D3 és D5 méréseknél két-két minta azonos számban jelent meg, a „CN_OS_14” volt az ami mind a kettő mérésnél szerepel és a D-3 esetében a „CN.gg.5” volt a második, amíg a D-5 esetében a „CN.rozsaszin.chrome”. A „CN_OS_14” egy géllakk, amíg a „CN.gg.5” flitter és a „CN.rozsaszin.chrome” chrome por, azaz ezek díszítő termékek. A D-6 esetében a legnagyobb darabszámban előforduló referencia minta a „CN.rozsaszin.chrome” nevű chrome por. A legmagasabb százalékos egyezés a D-1, D-3, D-5, D-6 mérés esetén megegyezik, itt a legmagasabb egyezés az „MB_150”-nel van, ami egy géllakk. A D-2 és D-4 méréseknél a „cn.6.sotetlila.flitter” mutatja a legmagasabb egyezési százalékot, amely díszítőtermék.

17. táblázat: Az „E” minta saját referencia adatbázissal történő korreláltatásának eredményei

Forrás: Saját táblázat

E-1				E-2			
Összeg	90	átlag	83,77	Összeg	100	átlag	83,51
Név	db	%	%	Név	db	%	%
CN_F_Rose	18	20,00	84,99	CN_F_Rose	15	15,00	79,23
CN_OS_14	15	16,67	83,76	CN_GP	15	15,00	77,83
CN.gg.5	14	15,56	79,81	CN_CL	13	13,00	87,34
CN_GP	13	14,44	83,14	CN_OS_14	11	11,00	85,06
CN.rozsaszin.chrome	12	13,33	86,73	CN.rozsaszin.chrome	8	8,00	89,93
CN_CL	9	10,00	85,90	matrica	8	8,00	85,77
MB_150	4	4,44	86,42	CN.gg.5	7	7,00	75,80
Canni_A11	2	2,22	62,13	MB_150	7	7,00	83,27
Prof_n_270	2	2,22	86,16	Canni_A11	5	5,00	65,82
matrica	1	1,11	98,75	Prof_n_270	4	4,00	83,56
cn.6.sotetlila.flitter	0	0,00	0,00	CN.glow	3	3,00	90,39
CN_builder_1	0	0,00	0,00	CN_OS_55	2	2,00	88,87
N_391	0	0,00	0,00	CN_builder_1	1	1,00	80,66
Canni_566	0	0,00	0,00	CN_3s908	1	1,00	81,38

Az „E” minta esetében az E-1 mérésben a legnagyobb darabszámú egyezést a „CN_F_Rose” jelenti, ami egy géllakk, az E-2 esetében is ez az egyik legnagyobb darabszámú egyezés, azonban táruul mellé a „CN_PG”, ami egy akrilgél építőzselé. Az E-1-es mérésnél a legmagasabb egyezési százalékot a „matrica” adta, ami köröm matricát jelöl, így egy díszítő termék. Az E-2 esetén a legmagasabb százalékos egyezés a „CN.glow” referencia mintával volt, ez egy fluoreszkáló pigment.

18. Táblázat: Saját referencia adatok korrelációs eredményeinek összefoglalása

Forrás: Saját táblázat

átlag	Összesítés							egyezősi százalékok színe
	összesen ennyiszor szerepel (db)	a spektrumok hány %-ában volt egyezés (%) (100% = 185)	összesen az esetek ennyi százalékában szerepel (%)	átlag százalékok egyezésre (%)	Korreláló műanyag	Egyezősi százalék (%)	összesen ennyi mintánál szerepel egyezés esetében (db) (max 16)	
CN_OS_14	128	69,19	12,71	88,00	polyamid_1	90,32	16	átlag feletti top 2.- 3. első
CN_F_Rose	116	62,70	11,52	85,82	PEEK	80,26	14	
CN.rozsaszin.chrome	112	60,54	11,12	88,71	PEEK	95,71	16	
CN.gg.5	88	47,57	8,74	83,70	PEEK	87,17	14	
CN_GP	87	47,03	8,64	83,23	polyamid_2	87,28	13	
MB_150	69	37,30	6,85	89,60	polyamid_1	94,15	16	
CN_CL	53	28,65	5,26	86,13	PMMA_plexi	84,27	8	
Prof_n_270	50	27,03	4,97	89,17	polyamid_1	92,30	16	
Canni_A11	45	24,32	4,47	78,00	PEEK	76,69	13	
CN_OS_55	31	16,76	3,08	87,62	PEEK	90,76	12	
matrica	31	16,76	3,08	90,20	ABS	94,77	13	
CN.glow	27	14,59	2,68	86,34	PEEK	89,90	10	
cn.6.sotetlila.flitter	26	14,05	2,58	90,29	ABS	94,45	14	
CN_3s908	21	11,35	2,09	85,65	PC	86,26	12	
MN_19FG	18	9,73	1,79	85,80	PC	92,68	8	
N_391	10	5,41	0,99	93,15	ABS	98,00	7	
CN_GB	9	4,86	0,89	82,62	PC	94,90	6	
Art_de_l_18	7	3,78	0,70	83,97	POM	76,63	5	
CN_BG	7	3,78	0,70	80,74	PC	97,16	4	
CN_builder_1	6	3,24	0,60	83,23	polyamid_1	83,16	6	
m.nelk.kek.glitter	6	3,24	0,60	85,54	polyamid_1	84,24	5	
Canni_566	5	2,70	0,50	94,46	ABS	97,98	5	
cn.6.vilagoslila.flitter	5	2,70	0,50	93,77	pet	93,71	2	
CN.fg.2	5	2,70	0,50	92,62	pet	94,33	2	
CN.Silver	5	2,70	0,50	84,39	PS	77,69	2	
N_288	5	2,70	0,50	93,64	polyamid_1	94,15	5	
CN.silver.3	4	2,16	0,40	88,49	PS	83,60	2	
CN_TG	4	2,16	0,40	77,96	PC	98,51	3	
CN_builder_2	3	1,62	0,30	82,13	PC	98,11	3	
m.nelk.fehér.flitter	3	1,62	0,30	95,05	pet	82,61	2	
m.nelk.kek.flitter	3	1,62	0,30	92,85	pet	81,79	2	
m.nelk.narancs.flitter	3	1,62	0,30	95,39	pet	83,15	2	
CN.gg.5_nagy_glitter	2	1,08	0,20	97,36	pet	96,55	2	
CN_1s104	2	1,08	0,20	69,47	PC	96,97	2	
m.nelk.fekete.glitter	2	1,08	0,20	92,24	pet	91,61	2	
moyra.no.01.glitter	2	1,08	0,20	90,48	pet	91,82	2	
piros.csiilam	2	1,08	0,20	91,96	pet	87,46	1	
CN.mg.4	1	0,54	0,10	95,16	polyamid_1	71,55	1	
CN_BC	1	0,54	0,10	80,30	PC	93,34	1	
masternails.2.glitter	1	0,54	0,10	72,65	pet	83,68	1	
N_370	1	0,54	0,10	91,36	PC	92,68	1	
naninails.319018.tszfer.f	1	0,54	0,10	95,39	ABS	92,88	1	
Arielle	0	0,00	0,00	0,00	pet	87,73	0	
cn.6.rozsaszin.flitter	0	0,00	0,00	0,00	ABS	92,62	0	
cn_basic_clear_reszelt	0	0,00	0,00	0,00	PMMA_plexi	72,94	0	
fekete.csillam	0	0,00	0,00	0,00	pet	82,35	0	
kek.csillam	0	0,00	0,00	0,00	PC	87,45	0	
m.nelk.pink.glitter	0	0,00	0,00	0,00	ABS	77,49	0	
Prof_n_01	0	0,00	0,00	0,00	polyamid_1	76,98	0	
vajszin.csillam	0	0,00	0,00	0,00	PC	84,15	0	
ellenőrzés	1007,00		100,00	87,49				

A 17. ábrán a korrelációs elemzések összefoglalása látható. A táblázat színei megegyeznek a műanyag korrelációs táblázatban használt színekkel. A 50 db referencia minta közül 7 db egyszer sem mutatott egyezést és 26 db referencia spektrum kevesebb mint tíz alkalommal mutatott egyezést. Az egyezések darabszámát tekintve a legtöbb egyezés a „CN_OS_14” nevű géllakk mintával volt, ami a vizsgált spektrumok 69,19%-ával mutatott valamilyen szintű kapcsolatot. A referencia műanyaggal történt korrelálás alapján legmagasabb százalékban ez a műköröm termék a polyamid_1-gyel mutat egyezést.

A legmagasabb egyezési százalék a „CN.gg.5_nagy.glitter” körömdekoráló referencia spektrummal volt, aminek a műanyagok közül a pet spektrummal a legmagasabb az egyezése. Az átlag egyezési százalék az 87,49%, ami a műanyagokkal történő korreláció értékénél magasabb, mivel ott 74,52% volt az átlagos százalékos egyezés.

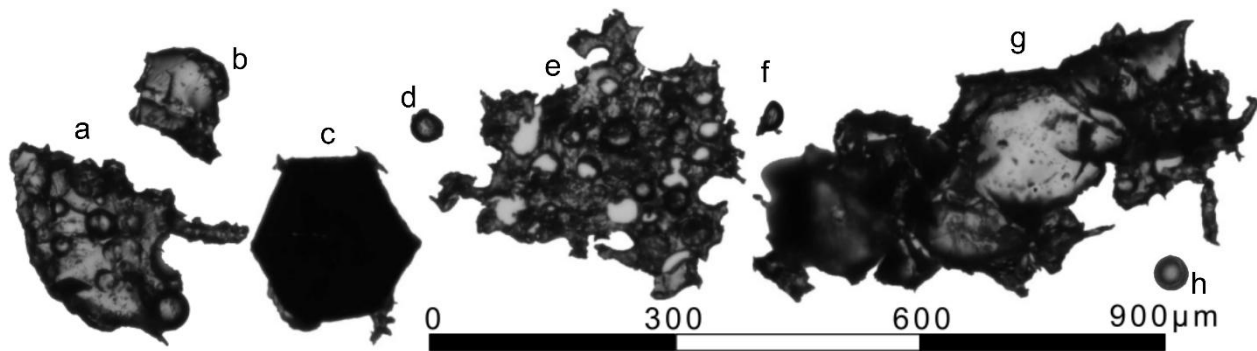
5. Diszkusszió és következtetések

5.1 Átfogó bemutatás az öt mintáról

Az eredmények megértéséhez fontos komplex értelmezés, így a diszkusszió első részében az öt mintáról szerepel egy rövid összefoglalás. Minden mintáról röviden szerepelnek az alaktani, anyagszerkezeti és mérettani eredmények és azok értelmezése.

5.1.1 „A” minta összefoglalása

Az „A” minta otthoni körülmények között készült műkörömreszelék. A szaloneredetű „B” mintától abban tér el, hogy itt egyetlen műköröm szettről származó műanyagreszelék szerepel. Az összetételét tekintve alapozó-lakk, akrilzselé építő zselé, fedő-lakk, matricák és több különböző díszítő termék került a reszelékbe. A 13. ábrán szerepel néhány jellegzetes szemcse az „A” és „E” mintából, ebben a két mintában jelentek meg legjelentősebben ezek az egyedi szemcsék. Összességében a szemcsék alakját tekintve vannak nagyon magas cirkularitási értékkel rendelkező szemcsék a mintában, ilyen például a 13. ábrán a „d” és „h” szemcsék. Azonban összességében a szemcsék roncsoltsága és a buborék-jellegű formák megjelenése miatt alacsony konvexitású, tömörségű és cirkularitású szemcsék is szerepelnek ebben a mintában, ilyen például az „a” és „e” szemcsék. A mintában továbbá megjelennek a szögletes, magas tömörségű jellegzetes glitter szemcsék is, ilyen a „c” szemcse.



13. ábra: Az „A” és „E” minták szemcséi

Forrás: Saját ábra

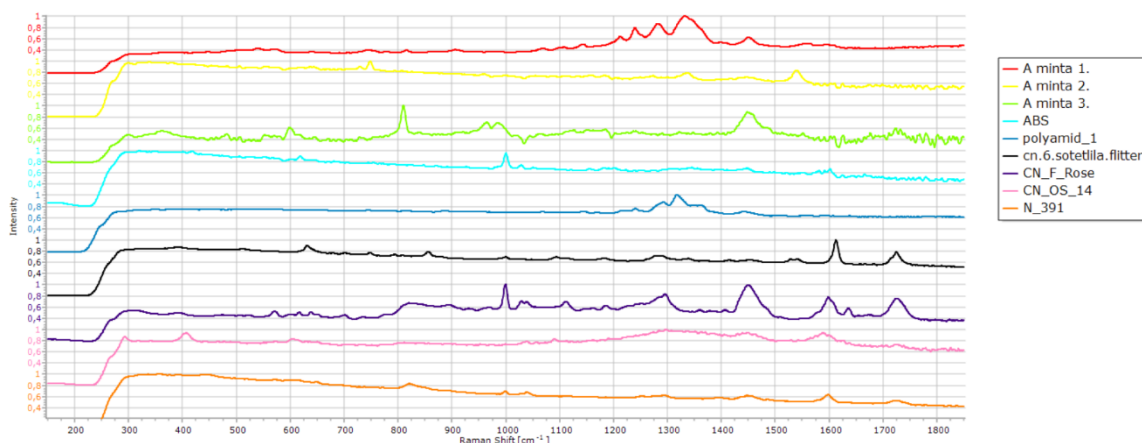
Az „A” minta szemcseméret eloszlása nagy terjedelmű, a legtöbb szemcse 189,125 μm -nél található, míg a medián 118,097 μm -nél van. A reszelék relatíve nagy mennyiségű apró szemcsét tartalmaz. A minta 27,4%-ban iszap frakcióba sorolható a szemcséket tartalmaz, ez körülbelül 5%-kal kevesebb, mint az „E” mintánál. Ennek az oka a műköröm építésénél használt anyagok lehetnek, mivel az „E” minta is egyazon akrilzselé építő zseléből készült, mint a „A” minta hasonló arányban tartamaznak kis szemcseméretű szemcséket. Azonban az „A” minta módusza elcsúszik magasabb értékek felé a matricák és egyéb díszítő elemek miatt, tehát nagyobb mennyiségben lesznek nagyobb szemcsék a mintában, ha a műkörömön díszítő elemek vannak.

A reszelés módja is meghatározhatja a szemcseméretet továbbá, az „A” és „E” minta gépi módszerrel karbid csiszolófej használatával készült, amíg a „D” minta kerámia csiszoló fejjel, aminek nagyobbak a barázdái, így nagyobb részecskéket képes lemarni a műkörömből és a szemcseméret-eloszlás is egyértelműen tükrözi ezt, a „D” mintában az iszap frakció részaránya mindösszesen 11,57%.

A minta anyagszerkezetét tekintve, a műanyagreferencia minták közül a legmagasabb százalékos egyezést az ABS jelentette, a legnagyobb darabszámú egyezést a poliamid adta. A műköröm alapanyagok közül a legnagyobb darabszámú egyezést a „CN_OS_14” adta, továbbá a „CN.rozsaszin.chrome” és „CN_F_Rose” adták. A legmagasabb egyezési százalékot az „N_391” adta, de a „cn.6.sotetlila.flitter” is közel azonos eredményt produkált. Az utóbbi két referencia minta magas 90+%-os egyezést mutat a ABS-szel, míg a „CN_OS_14” referencia műanyagok közül a poliamiddal korrelál legmagasabb százalékban, ami megegyezik a műanyag korreláció eredményeivel. Azonban a „CN.rozsaszin.chrome” és „CN_F_Rose” legmagasabb korreláló műanyaga a PEEK volt. Erre a magyarázat az lehet, hogy mind a három mérésnél (A-1, A-2, A-3), ami készül 1-2 darab egyezéssel volt kevesebb a PEEK-kel, mint a

poliamiddal és mind a két műanyag rendelkezik egy-egy csúccsal 1150 cm^{-1} , 1600 cm^{-1} és 1640 cm^{-1} körül, melyek különböző intenzitásúak, és zavart okozhat a korrelációban.

A 14. ábrán az egyezés alacsonyabb szintűnek tűnhet, mint a tényleges százalékok, mivel egy-egy felvett spektrum egy konkrét szemcse egy pontjáról ad információt. Az ábrán csak három ilyen felvett spektrum szerepel (három szín neve), azonban a teljes korreláció során 45 db spektrum található, így a 14. ábra nem a teljes anyagtani szerkezetet fogja tükrözni.



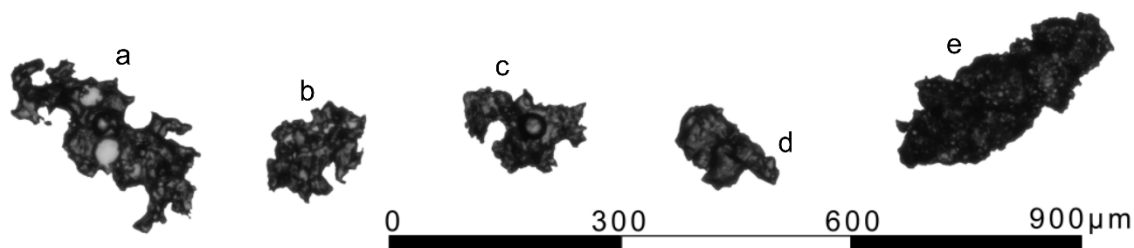
14. ábra: Az „A” minta és a magas korrelációt mutató spektrumok

Forrás: saját ábra

5.1.2 „B” minta összefoglalása

A „B” minta egy szépségszalonból származó műkörömreszelék-keverék. A mintában nem csak egy konkrét műköröm szett készítésénél használt anyagok találhatóak, hanem több különböző műköröm szett reszelékei, társulva a manikűrszolgáltatás melléktermékeivel (pl. kutikula, köröm).

Ennek a mintának a szemcséi minden morfológiai paraméternél az egyik legmagasabb szórási értékkel rendelkeznek az öt minta közül, melynek oka a több különböző alkalmazott anyag és technika eredménye lehet. A szemcsék között az „A” és „E” mintára emlékeztető kerek szemcsék is előfordulnak, de jelentősen kisebb mennyiségben. A szemcsék konvexitása viszonylag magas, de nagy a szórásuk, azaz változatosak a szemcsék. A morfológiai paramétereknél nincsenek jellegzetesen kiugró értékek, a legtöbb esetben köztes, átmeneti helyzetben van ez a minta a többihez képest. Ez szintén a vegyes összetételnek köszönhető, mivel az „A” és „E” minta ugyanabból az építőtermékből (akrilzselé) készült, amíg a „D” minta egy másik típusú anyagból (építő zselé) tevődött össze és a „B” minta pont a kettő között helyezkedik el, ami arra enged következtetni, hogy mind a két anyag jellemzői megjelennek a szemcsék között. Jellemzően az akrilzselé egy merevebb, szilárdabb és ellenállóbb polimerből épül fel, míg a zselé egy sokkal rugalmasabb anyagot jelent.

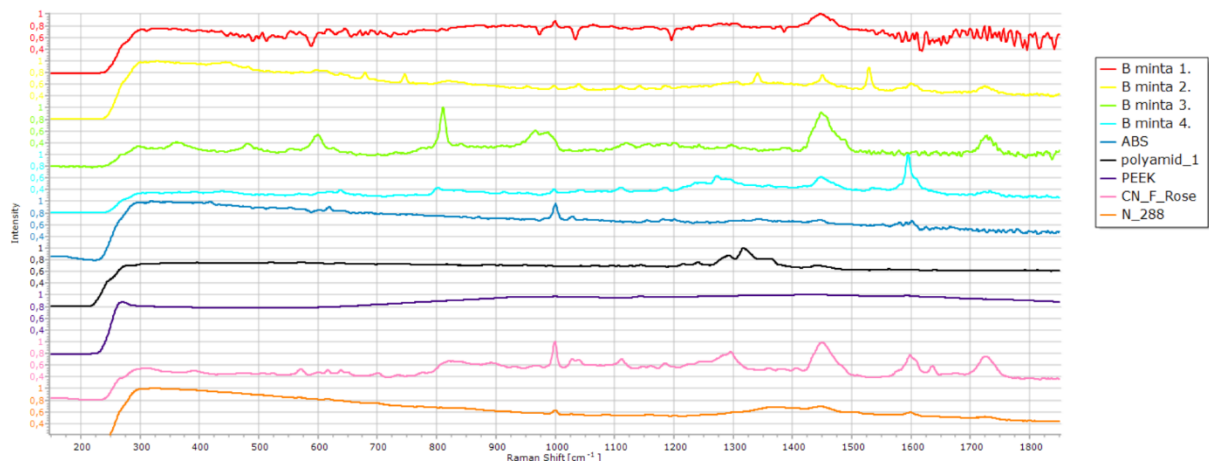


15. ábra: A „B” minta jellegzetes szemcséi

Forrás: Saját ábra

Erről a mintáról a nagy mennyiségű szerves szennyezés miatt nem készült Malvern Mastersizer Hydro MU2000 lézerdiffrakciós műszerrel mérés, azonban a Malvern Morphologi G3SE-ID automata mikroszkópos mérés során készült kétdimenziós képek elemzése eredményeként van adatunk a szemcsék méretéről. A szemcsék átlag átmérője $84,99 \mu\text{m}$, a szórás $70,64 \mu\text{m}$, a módusz $490,10 \mu\text{m}$. Van eltérés a két műszer eredményei között a többi mintánál, mert az automata mikroszkóp kisebb mennyiségű szemcse alapján számítja ki az értékeket és nagyobb eséllyel keletkeznek aggregátum a mintában, ami torzítja a szemcseméret-eloszlást. A „B” minta szemcsetulajdonságok tekintetében valahol az „A” és „D” minta között helyezkedik el, de a kapott módusz érték alapján itt is nagy mennyiségben lehetnek aggregátumok. Az „A” minta esetén a módusz az automata mikroszkópos mérés szerint $591,57 \mu\text{m}$ volt, amíg a $189,12 \mu\text{m}$ volt és a „B” minta módusza nagyon hasonló érték ($490,10 \mu\text{m}$). A vizsgált mintát igyekeztünk szűrni a szerves szennyeződésektől, azonban mivel a szűrés csak kézi megoldásokkal történt, így lehet ezek a szennyezők is megzavarják a minta szemcseméret-eloszlását.

A minta anyagszerkezetét tekintve a legnagyobb darabszámú egyezést a és a PEEK adta, míg a legmagasabb százalékos egyezést, pedig az ABS. A műköromalapanyagok és dekorációs termékek közül a legnagyobb darabszámú egyezést a „CN_F_Rose” adta, amíg a legmagasabb százalékos egyezést az „N_288” és a „CN_F_Rose” adták. A „CN_F_Rose” esetén a legmagasabb százalékos egyezést mutató műanyag a PEEK volt, az „N_288” esetében, pedig a ABS. A második legnagyobb darabszámú egyezést adó műkörom termékek („CN_OS14”, „CN_GP”) legmagasabb százalékban egyező műanyaga a polyamid_1 volt. Összeségében a két korreláció, tehát ugyanazokkal a műanyagokkal adtak egyezést. A „B” minta spektrumai és az említett korreláló referencia spektrumok a 16. ábrán szerepelnek.

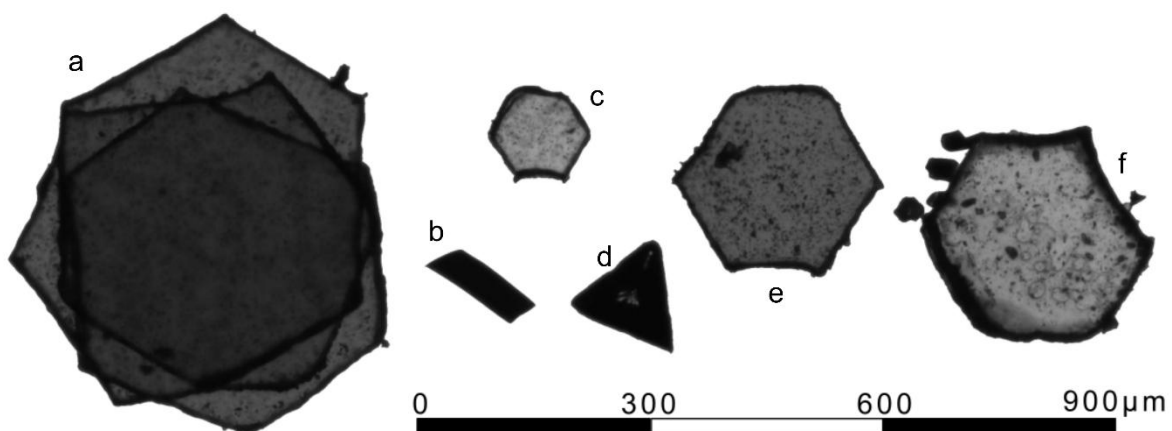


16. ábra: A „B” minta és a magas korrelációt mutató spektrumok

Forrás: saját ábra

5.1.3 „C” minta összefoglalása

A „C” minta különböző glitterek, flitterek és chrome porok keveréke. A mintában nincs műköröm reszelék, így a körömdekorációs termékek eredeti alakjának és méretének vizsgálatára szolgál ez a minta. Az alaktani és mérettani paraméterek tekintetében jelentősen eltér ez a minta az összes többitől, ami szintén annak lehet köszönhető, hogy ez az egyedüli mechanikailag nem roncsolt minta az öt közül. A szemcsék legszembevetőbb tulajdonságai a nagyon magas konvexitási és nagyon alacsony elnyúltság értékük, melyhez nagyon magas tömörség társul. A szögletes szemcsék miatt a cirkularitási értéke kevésbé kiugró, de mégis jelentősen magasabb a többi mintáénál. A 16. ábrán szerepel néhány jellegzetes szemcse. A mintában sok a hatszög alakú szemcse, ahogy azt az „a”, „c”, „e” és „f” szemcse is jelzi, de több különböző sokszög is jelen van pl.: háromszög lásd „d” szemcse, vagy négyszögletű szemcsék, mint a „b” szemcse.

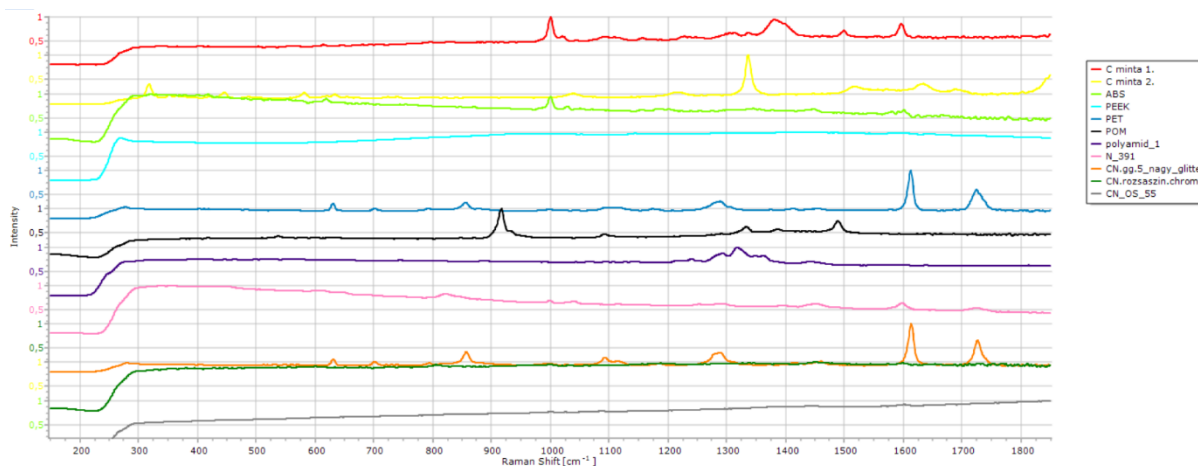


17. ábra: A „C” minta jellegzetes szemcséi

Forrás: Saját ábra

A szemcseméret-eloszlás tekintetében a különlegessége mintának, hogy két mérettartományban is koncentrálnak a szemcsék. Azok a szemcsék, amik az első módusz körül helyezkednek el általunk glitterként definiáltak, amíg a második módusz körüli szemcsék már flitterként. Ez a két jellegzetes méret szabad szemmel is elkülöníthető a mintában és az üzletek polcain is külön találjuk meg ezeket. Az első módusz helyzete 238,09 μm a másodiké 946,68 μm , a medián 261,17 μm . Ennek ellenére az összetételük nem különbözik, csak a szemcséik mérete tér el.

Az anyagszerkezeti eredmények alapján ezzel a mintával a legmagasabb darabszámú egyezések a PEEK, a polyamid_1 és a POM adták. A legmagasabb százalékos egyezést az ABS adta és a pet. A műköröm alapanyagok közül a legnagyobb darabszámú egyezések a „CN_OS_55”, a „CN.rozsaszin.chrome”, a „cn.6.vilagoslila.flitter” és a „CN.fg.2” voltak. A legmagasabb százalékos egyezést az „N_391”, az „m.nelk.feher.flitter” és a „CN.gg_5_nagy_glitter” adta. Ezek közül a „CN_OS_55”, és a „CN.rozsaszin.chrome” legmagasabb százalékban korreláló műanyag megfelelője a PEEK, a „cn.6.vilagoslila.flitter”, „CN.fg.2”, „m.nelk.feher.flitter” és a „CN.gg_5_nagy_glitter” esetén, pedig a pet. Az „N_391” műanyag megfelelője, pedig az ABS. A műanyagok referencia minták közül egyedül a POM nem jelent meg a műköröm alapanyagok között, de ez amiatt is lehet, mert csak egy („Art_de_1_18”) termék van, aminek a műanyag megfelelője a POM, de annál is csak 76,63%-os az egyezés. A „C” minta spektrumai és a fent említett referenciák a 18. ábrán szerepelnek.



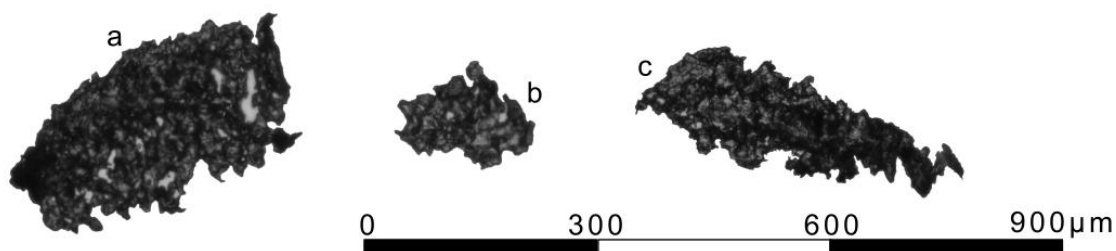
18. ábra: A „C” minta és a magas korrelációt mutató spektrumok

Forrás: saját ábra

5.1.4 „D” minta összefoglalása

A „D” minta az „A” mintához hasonlóan otthoni körülmények között készült műköröm reszelék. Azonban a köröm erősítéséhez és formázásához használt építő zselé tulajdonságai különböznek, továbbá kevesebb dekorációs termék volt a körmökön, kizárólag chrome porral voltak díszítve.

A „D” minta szemcsemorfológiai eredményei nem térnek el nagy mértékben a többitől. A szemcsék cirkularitása aránylag alacsony nagy szórással, ami azt jelzi, hogy a szemcsék változatosak, de a cirkularitás maximuma itt a legalacsonyabb (0,8 alatti). Az „A” és „E” mintában jellemző buborékos szerkezet és apró gömbök teljesen hiányoznak a mintából. Ebben a mintában található a legtöbb magas elnyúltságú szemcse és itt a legalacsonyabb a konvexitás. Ez nagy eséllyel a reszelési technikának köszönhető, mivel reszelőgéppel, mély barázdáltságú porcelán fejjel történt a reszelési folyamat. A 17. ábrán látható néhány jellegzetes szemcse a mintából.

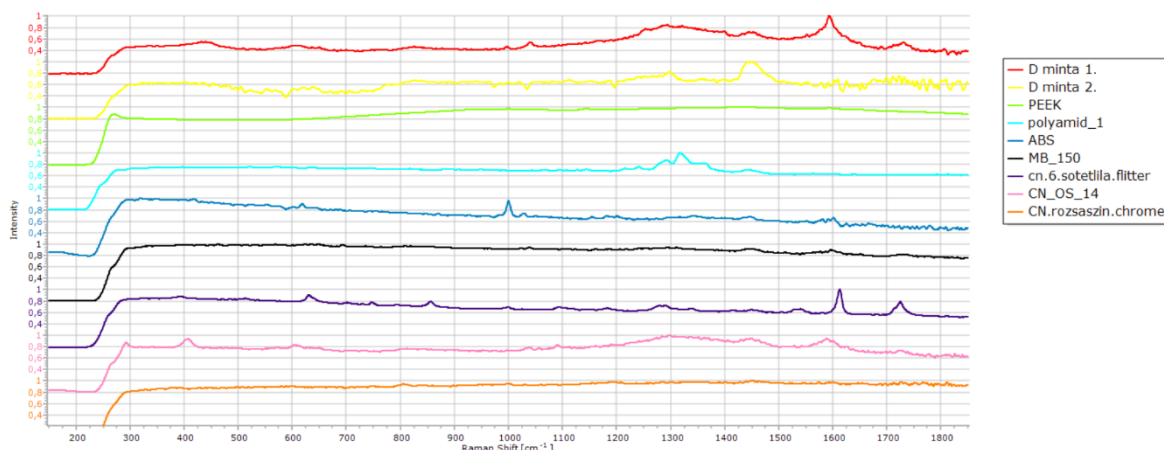


19. ábra: A „D” minta jellegzetes szemcséi

Forrás: Saját ábra

Ez a minta jelentősen eltér a többi műköröm reszeléktől szemcseméret-eloszlás tekintetében. A módusz helyzete körülbelül megegyezik a „C” minta első móduszával, azonban a „D” minta esetében magasabb a mintán belüli részaránya az ebben a tartományban elhelyezkedő szemcséknek, mint a „C” esetén. A „D” mintánál az anyagszerkezeti eredmények alapján a legnagyobb darabszámú egyezést adó műanyagok a poliamid, a PEEK, a POM és a polyester_2 voltak. A legmagasabb százalékos egyezésnél a PEEK és az ABS szerepeltek. A műköröm alapanyagok tekintetében a „CN_OS_14”, a „CN.gg.5”, és a „CN.rozsaszin.chrome” voltak a legnagyobb darabszámban szereplő referencia anyagok. A legmagasabb egyezési százalékok a „MB_150”-nél és a „cn.6.sotetlila.flitter”-nél szerepeltek. A műanyag megfelelői a műköröm

alapanyag referenciáknak a következők: a „CN_OS_14”-nak és a „MB_150”-nek a polyamid_1. A „CN.gg.5”-nek és a „CN.rozsaszin.chrome”-nak a PEEK. A „cn.6.sotetlila.flitter”-nek, pedig az ABS. A műanyag referencia adatoknak megfelelő eredmények jöttek ki, egyedül a POM hiányzik ismét, mivel nincs megfelelője a műkörmalapanyagok adatbázisában. A „D” mintához tartozó spektrumok a 20. ábrán szerepelnek.



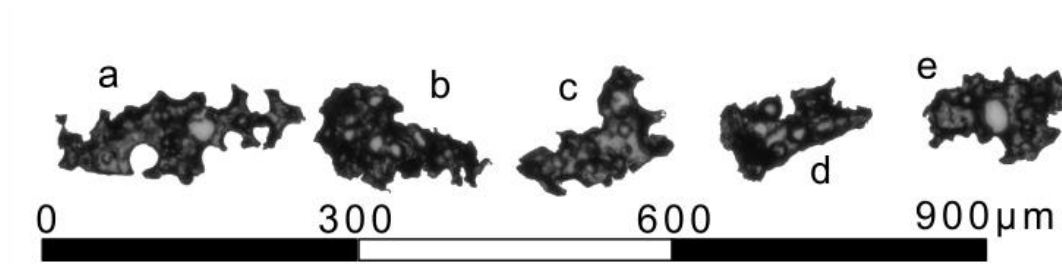
20. ábra: A „D” minta és a magas korrelációt mutató spektrumok

Forrás: saját ábra

5.1.5 „E” minta összefoglalása

Az „E” minta alapanyaga tisztán az építő akrilzselé reszelék, amelyen nem volt géllakk vagy díszítőelem. Ennek a mintának a célja volt, hogy egy egyértelmű képet kapjunk az építő anyag viselkedéséről, a szemcséinek alakjáról. Mivel a műköröm szerkezetének hiába nagy aránya építő zselé, azonban az nincs teljesen lereszelve minden alkalommal, mikor a körmök színe, alakja és mintája változik, így a reszelék nem tükrözi a műköröm felszínére felvitt anyagok arányát. Jelentősen nagyobb a díszítő termékek, géllakk és fedőlakk aránya a reszelékekben.

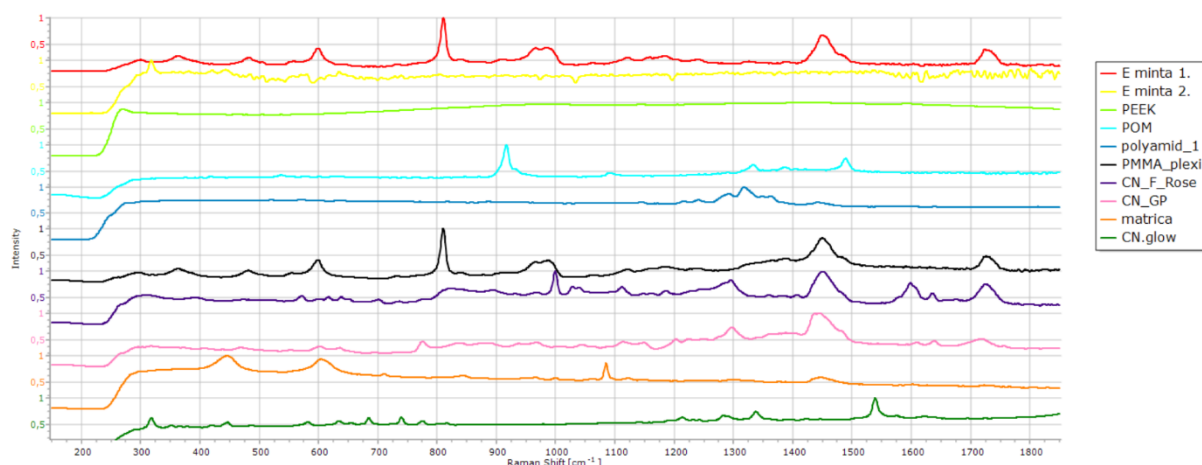
A minta szemcsemorfológiai jellemzői nagyon hasonlóak az „A” mintához, azonban a szemcsék mérete kisebb és kevésbé roncsoltak. A szemcsék változatossága magas és a mintában megjelennek a buborékos-gömb szerű szerkezetek, ez látszik a 18. ábra szemcséin is.



21. ábra: Az „E” minta jellegzetes szemcséi

Forrás: Saját ábra

Az „E” minta hordozza a legkisebb szemcseméret értékeket, melynek értelmében a szemcsék 32,26%-a az iszap frakcióba sorolható. Ez az érték körülbelül 5%-kal magasabb, mint az „A” minta esetén volt. A két minta ugyanolyan karbid fejes, gépi reszelési technikával készült, így az összetételbeli különbség az ok az eltérésre. Ebben a mintában nincs dekor elem, se egyéb műköröm készítéshez használt termék, így ezek lehetnek azok, amelyek a nagyobb szemcseméretű szemcsékért felelősek. Az „E” minta esetén a legnagyobb darabszámú műanyag egyezést a PEEK, a polyamid_1 és a POM jelentette. A legmagasabb százaléku egyezéseket a PEEK és a PMMA-plexi adta. A műköröm referencia termékek esetében a „CN_F_Rose” és a „CN_GP” voltak a legnagyobb darabszámú egyezések, amíg a legmagasabb százalékos egyezéseket a „matrica” és a „CN.glow” adta. A felsorolt termékek műanyag megfelelői a „CN_F_Rose” és a „CN.glow” voltak, melyek esetében a PEEK, míg a „matrica” esetében az ABS, a „CN_GP”-nál pedig a poliamid 6 (polyamid_2). A két referencia adatbázis eredményei összhangban vannak, egyedül a PMMA-plexi hiányzik a műköröm adatbázisból származó egyezések közül. Ezt ugyanazzal lehet magyarázni, mint ahogy a POM esetében történt a „D” és „C” mintánál. Nincs olyan műkörömalapanyag a saját adatbázisunkban, ami magas egyezési százalékot adna PMMA-plexivel, a „Akrilzselé építő zselé” -nek van egyedül egy 72,94%-os egyezése ezzel a műanyaggal, de ez egy másik termék spektrumával magasabb egyezési százalékot mutatott. A minta spektrumai a 22. ábrán szerepelnek.



22. ábra: Az „E” minta és a magas korrelációt mutató spektrumok

Forrás: saját ábra

5.2 Módszertani eredmények és tapasztalatok

5.2.1 Szemcse-morfológia

A szemcse-morfológiai vizsgálatok segítségével átfogó képet kaptunk a szemcsék alakjáról. A vizsgálatok elején kérdésként felmerült, hogy lesz-e eltérés a különböző forrásokból származó műkörmreszelékek között. A 5.1 fejezet alapján elmondható, hogy a vizsgált 5 db minta különbözött egymástól. Az akril zseléből készült körmök reszelékében jellegzetes buborékos formák jelentek meg, egyéb építő zselék esetén azonban ez nincs jelen és sokkal tömörebbek a szemcsék és a részecskék széleinek felülete is egyenletesebb.

A vizsgálatainkat jelentősen megkönnyítette a Malvern Morphologi G3SE-ID automata mikroszkóp, mivel ezzel az eszközzel nagy mennyiségű szemcséről tudtunk adatokat felvenni (körülbelül 5.000-15.000 szemcse körülire tehető a 20 képpontonál nagyobb szemcsék darabszáma a mintákban), így a mérések reprezentatívak és emberi pontatlanságtól mentesek. Általánosságban, ha a szemcse-morfológiai vizsgálat emberi szemmel történik egy mikroszkóp segítségével, akkor az pontatlan, időigényes és szubjektív lehet. Mivel a hagyományos módszerrel történő szemcsealak meghatározás hibákkal terhelt, ezért nem javasolt a mikroműanyag vizsgálatokban az alapos szemcse-morfológiai vizsgálat. Amennyiben műszerrel történik a vizsgálat, akkor pedig drága, ha a vizsgálatot végző személy nem fér hozzá ilyen műszerhez ingyenesen, továbbá az anyagszerkezetről nem is kapunk információkat ezeken a méréseken keresztül (Z. Huang et al., 2023).

Jellemzően a kutatásokban, a szemcse típusok, amiket igyekeznek elhatárolni egymástól szemcsemorfológiai tulajdonságok alapján, azok a textil szálak, szabálytalan szemcsék, gömb alakú/szabályos szemcsék és a filmszerű vékony részecskék (Anagnosti et al., 2021; Yao et al., 2022). Azonban a mi vizsgálatainkban egyetlen leválogatással ki tudtunk jelölni kategóriákat az egyes mintákban alaktani tulajdonságaik szerint. Például esetünkben 0,9-nél nagyobb cirkularisással rendelkező szemcséket és ezekre ezután külön tudtunk anyagminőség vizsgálatot végezni Raman-spektroszkópiával.

Ennek a vizsgálati formának az egyedüli hátulütője, hogy ilyen változatos méretű szemcséknél, amelyek hajlamosak statikussá válni és gyakoriak az aggregátumok, amik a méretdatok statisztikáit pontatlanná teszik.

5.2.2 Szemcseméret-eloszlás

A minták méreteloszlás adataira azért volt szükség, mivel a legtöbb mikroműanyag kutatásban felmerül ez a vizsgálati szempont, hiszen az egyik legegyszerűbben mérhető és alapvető fizikai tulajdonsága a szemcséknek. Tehát ez a lépés nem volt kihagyható ennél kutatásnál sem, mert ez segít a mi eredményeinket más kutatások eredményeivel összehasonlítani a későbbiekben.

A Morphologi G3SE-ID automata mikroszkóppal ellentétben, a Mastersizer Hydro MU2000 lézerdiffrakciós készülékben van beépített ultrahangos rendszer, nedves diszperzió és aktív keverés, hogy az aggregátumok eltűnjenek a mintából mérés előtt. Az általunk vizsgált minták összességében 1-2 μm -tól és 600-2000 μm -ig változtak méretben, amíg más cikkekben, ahol a műkörömszalonnak levegőben terjedő mikroműanyagjai és a házi por műanyag komponenseit vizsgálták, azt kapták eredményül, hogy 50 μm -nél kisebb részecskék jelentik a legnagyobb számú szemcsét tartalmazó kategóriát (Chen et al., 2022; Yao et al., 2022)., Ezzel szemben a mi mintáinkban 100-300 μm -nél van a legtöbb szemcse.

5.2.3 Anyagminőség

A vizsgálatok talán legfontosabb elemzése a Raman-spektroszkópiás anyagminőségi vizsgálat volt. Mivel sok műkörömpítéssel és díszítéssel kapcsolatos terméken fel sincs tüntetve azok pontos összetétele, főleg, ha azok „kétes eladóktól” jönnek. Mivel ezek a műanyagok eleve roncsolt formában mikroműanyagként jutnak ki a környezeti rendszerbe, így különösen fontos megérteni és megvizsgálni az összetevőiket.

A mérési folyamat nehézségét a szemcsék roncsoltsága adta. A nagyon roncsolt szemcsék spektruma sokszor nagyon zajos volt, így értelmezhetetlen. A beazonosítási folyamat során, pedig az a nehézség merült fel, hogy a korrelációs folyamatokkal a teljes spektrumokat korreláltattuk és nem határoltuk le az értelmezési tartományt, így az egyezési százalék torzulhattak a zajos részek miatt a spektrumokon. A sok eltérő összetétel miatt a megoldás az értelmezési tartományok lehatárolása lehet melyet egyesével manuálisan kellene megtenni, amire 185 db spektrumnál ebben a kutatásban nem volt elegendő idő.

Az eredmények tekintetében a legtöbbször előforduló műanyagok a poliamid, PEEK, ABS és POM voltak. Ezek közül az ABS az, ami a leggyakrabban használt a szépségiparban és a PET a másik gyakran használt műanyag (Haines et al., 2024)., ami a legmagasabb százalékos egyezést adta a vizsgálataink során. Azonban ez utóbbi csak két spektrummal korrelált, így kevésbé lett kiemelve az eddigiekben. Az ABS mutatta a második legmagasabb egyezés a spektrumokkal és körülbelül a vizsgált szemcsék 15%-ával mutatott egyezést. A szépségiparban nem elterjedt műanyag a poliamid (ensingerplastics.com/en/thermoplastic-materials/pa-polyamide), POM (ensingerplastics.com/en/thermoplastic-materials/pom-acetal) és PEEK (ensingerplastics.com/en/thermoplastic-materials/peek-plastic), mivel ezeket elsősorban ipari célokra használják. Az lehet a magyarázat az egyezésre, hogy lehet a nagyon zajos spektrumokkal mutattak egyezést a relatíve sok csúcs miatt, vagy néhány ezen a területen gyakran használt műanyagot nem tettünk bele az adatbázisunkba, amik hasonló helyeken rendelkeznének csúcsokkal. Így ezek az eleve más műanyagból felépülő szemcsék, ezekkel a referenciamintákkal (PEEK, POM, polyamid_1) mutattak 70-80% közeli egyezést, a valós felépítő műanyag hiányában.

Az anyagminőségi méréseket több különböző műszerrel is lehet végezni, például pásztázó elektronmikroszkóp (SEM), energia-diszperzív röntgenspektroszkópia (EDX), csillapított teljes visszaverődésű Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (ATR-FTIR), Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (FTIR), mikro-Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (μ -FTIR), mikro-Raman-spektroszkópia, és közeli infravörös spektroszkópia (NIR) alkalmazásával (Amobonye et al., 2021). Ezeket a műszereket a jövőben a Raman spektroszkópos anyagminőség vizsgálataink összehasonlítására, valamint eredményeink kiegészítésekre és pontosítására lehetne alkalmazni.

6. Összefoglalás

Napjaink mikroműanyag kibocsátása nem fenntartható és minden lehetőséget meg kell ragadnunk, hogy ezt csökkentsük. A műkörömpépítésből származó mikroműanyagoknak és egyben az összes szépségipar eredetű mikroműanyagok kibocsátását és környezeti rendszerbe jutását meg lehetne akadályozni jogi szabályozással, és esetünkben, a műkörömrészecskék veszélyes hulladékká nyilvánításával. Jelenleg viszont azt sem tudjuk teljes bizonyossággal, hogy a műkörömrészecskék milyen műanyag származékból tevődnek össze, így érdemes ennek a témának a vizsgálatával foglalkozni.

Az anyagminőségi eredményeink alapján már 5 db különböző forrásból származó műkörömrészecskék minta esetén is 13 db különböző műanyaggal volt egyezés és a minták szemcseméret-eloszlás alapján jelentős különbségeket mutattak, ahogy a szemcse morfológiában is nagy eltérések voltak. Ez globális szinten pedig egy még súlyosabb probléma, mivel a mi mintáink legnagyobb része Európában gyártott termékekből készült, de például Ázsiában sokkal rosszabb minőségű termékek is forgalomba kerülhetnek a kevésbé szigorú jogszabályok miatt (Berman & Swani, 2010). A világ minden részén vannak műkörömszalonok és mindenhol vizsgálják azoknak a levegőminőségi viszonyait, hiszen az embereknek, akik nap szinten ki vannak téve ezeknek az anyagoknak a belélegzésére, erősen romolhat az egészségi állapota megfelelő légszűrők és porelszívók használata nélkül. Erre vonatkozóan készültek felmérések az Amerikai Egyesült Államokban, Nigériában, Tajvanban, Kanadában, Lengyelországban, Spanyolországban, Iránban, Görögországban és Koreában. (Alaves et al., 2013; Chen et al., 2022; Evtyugina et al., 2021; Goldin et al., 2014; Nguyen et al., 2022; Rogula-Kopiec et al., 2019; Tijani et al., 2023; Tsigonia et al., 2010).

A jövőbeni kutatási tervek között szerepel a referenciaműanyag adatbázis bővítése, a kisebb szemcseméretű minták szemcsemorfológiájának feltárása, a spektrumok szűkített csúcsai alapján végzett pontosabb korrelálások végrehajtása. A probléma földrajzi aspektusainak részletesebb vizsgálata, az adatok számszerűsítése, becslések készítése a kibocsátás léptékéről és helyéről, továbbá a kapott eredmények részletesebb összevetése más tanulmányokkal eredményeivel.

7. Irodalomjegyzék

A Nemzeti Víziközmű-közzolgáltatási Stratégia feljogosító feltételeinek teljesüléséhez szükséges intézkedésekről. (n.d.).

Acharya, S., Rumi, S. S., Hu, Y., & Abidi, N. (2021). Microfibers from synthetic textiles as a major source of microplastics in the environment: A review. In *Textile Research Journal* (Vol. 91, Issues 17–18, pp. 2136–2156). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/0040517521991244>

Alaves, V. M., Sleeth, D. K., Thiese, M. S., & Larson, R. R. (2013). Characterization of indoor air contaminants in a randomly selected set of commercial nail salons in Salt Lake County, Utah, USA. *International Journal of Environmental Health Research*, 23(5), 419–433. <https://doi.org/10.1080/09603123.2012.755152>

Amobonye, A., Bhagwat, P., Raveendran, S., Singh, S., & Pillai, S. (2021). Environmental Impacts of Microplastics and Nanoplastics: A Current Overview. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 12). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.768297>

Anagnosti, L., Varvaresou, A., Pavlou, P., Protopapa, E., & Carayanni, V. (2021). Worldwide actions against plastic pollution from microbeads and microplastics in cosmetics focusing on European policies. Has the issue been handled effectively? In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 162). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111883>

Aziz, A. A., Nordin, F. N. M., Zakaria, Z., & Abu Bakar, N. K. (2022). A systematic literature review on the current detection tools for authentication analysis of cosmetic ingredients. In *Journal of Cosmetic Dermatology* (Vol. 21, Issue 1, pp. 71–84). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/jocd.14402>

Berman, B., & Swani, K. (2010). Managing product safety of imported Chinese goods. *Business Horizons*, 53(1), 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2009.09.002>

Chandra Pal, K. (2021). Environmental Pain with Human Beauty: Emerging Environmental Hazards Attributed to Cosmetic Ingredients and Packaging. *Emerging Environmental Hazards Attributed to Cosmetic Ingredients and Packaging*. In *Cognitive Data Models for Sustainable Environment* (pp. 231–252). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824038-0.00010-9>

-
- Chauhan, A., Chauhan, S. B., & Nainwani, S. (2022). The Review on Cosmetic Regulation: Quality Education. *ECS Transactions*, 107(1), 241–248. <https://doi.org/10.1149/10701.0241ecst>
- Chen, E. Y., Lin, K. T., Jung, C. C., Chang, C. L., & Chen, C. Y. (2022). Characteristics and influencing factors of airborne microplastics in nail salons. *Science of the Total Environment*, 806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151472>
- De Souza Machado, A. A., Lau, C. W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J. B., Faltin, E., Becker, R., Görlich, A. S., & Rillig, M. C. (2019). Microplastics Can Change Soil Properties and Affect Plant Performance. *Environmental Science and Technology*, 53(10), 6044–6052. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01339>
- Deng, H., Wei, R., Luo, W., Hu, L., Li, B., Di, Y., & Shi, H. (2020). Microplastic pollution in water and sediment in a textile industrial area. *Environmental Pollution*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113658>
- Du, H., & Wang, J. (2021). Characterization and environmental impacts of microplastics. In *Gondwana Research* (Vol. 98, pp. 63–75). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.05.023>
- Evtyugina, M., Vicente, E. D., Vicente, A. M., Nunes, T., Lucarelli, F., Calzolari, G., Nava, S., Blanco-Alegre, C., Calvo, A. I., Castro, A., Fraile, R., Oduber, F., Cerqueira, M., & Alves, C. A. (2021). Air quality and particulate matter speciation in a beauty salon and surrounding outdoor environment: Exploratory study. *Atmospheric Pollution Research*, 12(11). <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101174>
- Fang, Z., Sallach, J. B., & Hodson, M. E. (2023). Ethanol, not water, should be used as the dispersant when measuring microplastic particle size distribution by laser diffraction. *Science of the Total Environment*, 902. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166129>
- Fiume, M. M., Boyer, I., Bergfeld, W. F., Belsito, D. V., Hill, R. A., Klaassen, C. D., Liebler, D. C., Marks, J. G., Shank, R. C., Slaga, T. J., Snyder, P. W., & Andersen, F. A. (2015). Safety Assessment of Talc as Used in Cosmetics. *International Journal of Toxicology*, 34, 66S–129S. <https://doi.org/10.1177/1091581815586797>

-
- Goldin, L. J., Ansher, L., Berlin, A., Cheng, J., Kanopkin, D., Khazan, A., Kisivuli, M., Lortie, M., Peterson, E. B., Pohl, L., Porter, S., Zeng, V., Skogstrom, T., Fragala, M. A., Myatt, T. A., Stewart, J. H., & Allen, J. G. (2014). Indoor air quality survey of nail salons in Boston. In *Journal of Immigrant and Minority Health* (Vol. 16, Issue 3, pp. 508–514). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s10903-013-9856-y>
- Gresina, F., Farkas, B., Fábíán, S. Á., Szalai, Z., & Varga, G. (2023). Morphological analysis of mineral grains from different sedimentary environments using automated static image analysis. *Sedimentary Geology*, 455, 106479. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2023.106479>
- Haines, S., Sisto, C., & Foucher, D. (2024). Beauty and the Packaging Beast: Plastic in the Beauty Industry. *Fashion Studies*, 5(1). <https://doi.org/10.38055/fs050110>
- Huang, W., Wang, X., Chen, D., Xu, E. G., Luo, X., Zeng, J., Huan, T., Li, L., & Wang, Y. (2021). Toxicity mechanisms of polystyrene microplastics in marine mussels revealed by high-coverage quantitative metabolomics using chemical isotope labeling liquid chromatography mass spectrometry. *Journal of Hazardous Materials*, 417. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126003>
- Huang, Z., Hu, B., & Wang, H. (2023). Analytical methods for microplastics in the environment: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(1), 383–401. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01525-7>
- Lechner, A., & Ramler, D. (2015). The discharge of certain amounts of industrial microplastic from a production plant into the River Danube is permitted by the Austrian legislation. *Environmental Pollution*, 200, 159–160. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.02.019>
- Luo, Z., Zhou, X., Su, Y., Wang, H., Yu, R., Zhou, S., Xu, E. G., & Xing, B. (2021). Environmental occurrence, fate, impact, and potential solution of tire microplastics: Similarities and differences with tire wear particles. In *Science of the Total Environment* (Vol. 795). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148902>
- Makuvara, Z., Marumure, J., Simbanegavi, T. T., Machingura, J., Chaukura, N., & Gwenzi, W. (2024). Unveiling the dark side of beauty? Beauty parlours as potential pollution and human exposure hotspots. In *Process Safety and Environmental Protection* (Vol. 182, pp.

-
- 1153–1170). Institution of Chemical Engineers.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.12.045>
- Nguyen, L. V., Diamond, M. L., Kalenge, S., Kirkham, T. L., Holness, D. L., & Arrandale, V. H. (2022). Occupational Exposure of Canadian Nail Salon Workers to Plasticizers Including Phthalates and Organophosphate Esters. *Environmental Science and Technology*, 56(5), 3193–3203. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04974>
- Orlando, A., Franceschini, F., Muscas, C., Pidkova, S., Bartoli, M., Rovere, M., & Tagliaferro, A. (2021). A Comprehensive Review on Raman Spectroscopy Applications. *Chemosensors*, 9(9), 262. <https://doi.org/10.3390/chemosensors9090262>
- Panalytical, M. (n.d.). *Morphologi G3 User Guide (English) MAN0410-08-EN-00*.
- Quach, T., Gunier, R., Tran, A., Von Behren, J., Doan-Billings, P. A., Nguyen, K. D., Okahara, L., Lui, B. Y. B., Nguyen, M., Huynh, J., & Reynolds, P. (2011). Characterizing workplace exposures in Vietnamese women working in California nail salons. *American Journal of Public Health*, 101(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.2105/AJPH.2010.300099>
- Richon, C., Kvale, K., Lebreton, L., & Egger, M. (2023). Legacy oceanic plastic pollution must be addressed to mitigate possible long-term ecological impacts. *Microplastics and Nanoplastics*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s43591-023-00074-2>
- Rogula-Kopiec, P., Rogula-Kozłowska, W., Pastuszka, J. S., & Mathews, B. (2019). Air pollution of beauty salons by cosmetics from the analysis of suspended particulate matter. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1), 551–558. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0798-4>
- Sa'adu, I., & Farsang, A. (2022). Greenhouse farming as a source of macroplastic and microplastics contamination in agricultural soils: a case study from Southeast-Hungary. *Agrokémia És Talajtan*, 71(1), 43–57. <https://doi.org/10.1556/0088.2022.00120>
- Sharaf Din, K., Khokhar, M. F., Butt, S. I., Qadir, A., & Younas, F. (2024). Exploration of microplastic concentration in indoor and outdoor air samples: Morphological, polymeric, and elemental analysis. *Science of the Total Environment*, 908. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168398>

-
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C. M., & Ni, B. J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. In *Water Research* (Vol. 152, pp. 21–37). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050>
- Sun, K., Song, Y., He, F., Jing, M., Tang, J., & Liu, R. (2021). A review of human and animals exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: Health risk and adverse effects, photo-induced toxicity and regulating effect of microplastics. In *Science of the Total Environment* (Vol. 773). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145403>
- Tijani, Y. M., James, A. O., Oguntoke, O., & Oyebanji, F. F. (2023). Indoor Air Quality of Beauty Salons in Commercial and Residential Areas of Camp, Abeokuta, Ogun State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 27(2), 267–276. <https://doi.org/10.4314/jasem.v27i2.12>
- Torres-Agullo, A., Karanasiou, A., Moreno, T., & Lacorte, S. (2022). Airborne microplastic particle concentrations and characterization in indoor urban microenvironments. *Environmental Pollution*, 308. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119707>
- Tsigonia, A., Lagoudi, A., Chandrinou, S., Linos, A., Evlogias, N., & Alexopoulos, E. C. (2010). Indoor air in beauty salons and occupational health exposure of cosmetologists to chemical substances. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(1), 314–324. <https://doi.org/10.3390/ijerph7010314>
- Varga, G., Dagsson-Waldhauserová, P., Gresina, F., & Helgadóttir, A. (2021). Saharan dust and giant quartz particle transport towards Iceland. *Scientific Reports*, 11(1), 11891. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91481-z>
- Wargala, E., Sławska, M., Zalewska, A., & Toporowska, M. (2021). Health Effects of Dyes, Minerals, and Vitamins Used in Cosmetics. *Women*, 1(4), 223–237. <https://doi.org/10.3390/women1040020>
- Yao, Y., Glamoclija, M., Murphy, A., & Gao, Y. (2022). Characterization of microplastics in indoor and ambient air in northern New Jersey. *Environmental Research*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112142>
- Yurtsever, M. (2019). Glitters as a Source of Primary Microplastics: An Approach to Environmental Responsibility and Ethics. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 32(3), 459–478. <https://doi.org/10.1007/s10806-019-09785-0>

-
- Zakaria, A., & Ho, Y. Bin. (2015). Heavy metals contamination in lipsticks and their associated health risks to lipstick consumers. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 73(1), 191–195. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.07.005>
- Zhou, Y., Ashokkumar, V., Amobonye, A., Bhattacharjee, G., Sirohi, R., Singh, V., Flora, G., Kumar, V., Pillai, S., Zhang, Z., & Awasthi, M. K. (2023). Current research trends on cosmetic microplastic pollution and its impacts on the ecosystem: A review. In *Environmental Pollution* (Vol. 320). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121106>
- Zhu, J., Zhang, X., Liao, K., Wu, P., & Jin, H. (2022). Microplastics in dust from different indoor environments. *Science of the Total Environment*, 833. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155256>

Internetes hivatkozások

- Központi Statisztikai Hivatal, 2022 (a letöltés éve: 2024): A közüzemi szennyvízgyűjtő hálózatba bekapcsolt lakások száma, <https://ksh.hu/s/kiadvanyok/fenntarthato-fejlodes-indikatorai-2022/1-12-sdg-3>, (utolsó elérés dátuma: 2024.11.28.)
- Ensingers, (a letöltés éve: 2024): PEEK plastic material – Polyetheretherketone, <https://www.ensingerplastics.com/en/thermoplastic-materials/peek-plastic>, (utolsó elérés dátuma: 2024.11.28.)
- Ensingers, (a letöltés éve: 2024): POM plastic – Polyoxymethylene, <https://www.ensingerplastics.com/en/thermoplastic-materials/pom-acetal>, (utolsó elérés dátuma: 2024.11.28.)
- Ensingers, (a letöltés éve: 2024): PA plastic - Polyamide (nylon), <https://www.ensingerplastics.com/en/thermoplastic-materials/pa-polyamide>, (utolsó elérés dátuma: 2024.11.28.)
- OpenAI. (2024). ChatGPT (GPT-4.5) [Large language model] (utolsó elérés dátuma: 2024.11.23.)