



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Elektronikai Technológia Tanszék

Havellant Gergő

**TEXTILSZÖVET MASZKOK
ALAPANYAGINAK VIZSGÁLATA ÉS
MINŐSÍTÉSE LÉZER ALAPÚ
RÉSZECSKESZÁMLÁLÁSI MÓDSZERREL**

Tudományos Diákköri Dolgozat

KONZULENSEK

Dr. Géczy Attila, Bátorfi Réka, Dr. Illés Balázs

BUDAPEST, 2021

TARTALOMJEGYZÉK

Kivonat	4
Abstract	5
1. Bevezetés.....	6
1.1 Motiváció	6
2. Szakirodalmi áttekintés	7
2.1 Korábbi vizsgálatok lézer alapú részecskeszámlálási módszerrel	8
2.2 Maszk típusok	9
2.3 Textilfajták ismertetése	9
3. Textiltulajdonságok.....	11
3.1 Mesh szám	11
3.2 Egyéb tulajdonságok	11
3.3 Tömeg mérés	11
4. Lézer alapú részecskeszámlálási módszer	13
4.1 Mérés alapjai.....	13
4.1.1 Részecske-szűrési hatékonyság	13
4.1.2 Koncentráció-szűrési hatékonyság	14
4.1.3 A mérés elméleti háttere	14
4.2 Mérési elrendezés.....	15
5. Mérés menete	17
5.1 Textiltulajdonságok vizsgálata	17

5.2 Részecskeáteresztő-képesség vizsgálata	19
6. Vizsgálati eredmények	22
6.1 Minták tulajdonságainak vizsgálata	22
6.1.1 Tömegmérés.....	22
6.1.2 Optikai vizsgálat eredményei.....	24
6.2 Részecskeáteresztő képesség eredmények	30
7. Következtetések	36
8. Tovább lépési lehetőségek.....	37
9. Összefoglalás	38
10. Köszönetnyilvánítás.....	39
11. Irodalomjegyzék	40

Kivonat

A koronavírus-járvány megjelenésével meghatározó védekezési eszközzé váltak a különböző védőmaszkok, életünk állandó kellékeként nap mint nap viseltük ezeket. A kereskedelemben elérhető szabványoknak megfelelő FFP2 vagy KN95-ös védőmaszkok, illetve az orvosi maszkok a járvány hirtelen betörésével hiánycikké váltak, ami teret engedett az otthon készített, kézzel vagy géppel varrott szövetből készült maszkoknak, emellett környezetvédelmi okokból is sokan ezt az újra felhasználható, mosható megoldást választják az eldobható maszkok helyett. A textil maszkok sokszor jóval kényelmesebb viseletet jelentenek a gyári műanyag maszkoknál, így nagyon hamar jelentősen elterjedt viselésük. De vajon ezek a maszkok mennyit is érnek, ha a szabványokkal vetjük össze jellemzőiket? Létezik-e olyan szövet vagy olyan kombináció, amivel elfogadható szűrési hatékonyság érhető el? TDK dolgozatomban ezekre a kérdésekre keresem a választ.

A Budapesti Műszaki Egyetem Elektronikai Technológia Tanszékén dolgozó Dr. Illés Balázs és Dr. Gordon Péter új mérési módszert fejlesztettek ki maszkok minősítéséhez. Ez az új mérési módszer lézer-alapú részecskeszámlálás alapján teszi meghatározhatóvá a védőmaszkok jellemző két értékét, a részecske-szűrési hatékonyságot és a koncentráció-szűrési hatékonyságot. Az általuk kidolgozott mérési módszer előnye a költséghatékonyságban rejlik, mivel az elterjedt maszkminősítő eljáráshoz, a láng-fotometriához képest alacsonyabb költséggel végezhető akár egy nagyobb darabszámú vizsgálat is. A próbamérések alkalmával kidolgozták a mérés gyakorlati oldalát, így vizsgálataimhoz rendelkezésre áll az új, elérhető maszkminősítő eljárás.

A méréseim során az egyrétegben vizsgált anyagok hatékonysága messze alulmarad az elfogadhatónak tartható értékektől, bár itt is elég nagy szórást mutatnak, az 5%-tól az akár 48%-ig is változik a szűrési hatékonyság. Viszont ez az érték az anyagok két, illetve három rétegben való vizsgálata során jelentősen megnő, akár 70-80%-os hatékonyság is elérhető, de ezen a rétegszámon már figyelembe kell venni az átlélegezhetőséget is.

Dolgozatomban áttekintem a különböző maszk szabványokat, az ezekhez tartozó maszkminősítő eljárásokat, részletesen bemutatom az újonnan kifejlesztett lézer-alapú részecskeszámlálás minősítő eljárását. Bemutatok többféle szövetanyagot, objektív jellemzésüket. Végül pedig a mérés eredményeképpen kiderülnek a tényleges adatok, hogy a lassan két éve viselt maszkjainknak mekkora valójában a hatékonysága.

Abstract

With the onset of the coronavirus epidemic, protective masks became a key means of protection, worn daily as a constant in our lives. With the sudden outbreak of the epidemic, commercially available FFP2 or KN95 protective masks and medical masks became scarce, giving way to hand- or machine-sewn fabric masks made at home, and many people also opted for this reusable, washable solution instead of disposable masks for environmental reasons. Textile masks are often much more comfortable to wear than factory-made plastic-based masks, and their use has quickly become widespread. But how much are these masks worth when compared to the standards? Is there a fabric or combination of fabrics that can achieve acceptable filtration efficiency? In my TDK work I seek to answer these questions.

Dr. Balázs Illés and Dr. Péter Gordon have developed a new measurement method for mask qualification. This new measurement method uses laser-based particle counting to determine two characteristic values of protective masks: particle filtration efficiency and concentration filtration efficiency. The advantage of the measurement method they have developed is its cost-effectiveness, as even a large number of tests can be carried out at a lower cost compared to the commonly used mask qualification method, flame-photometry. The practical aspects of the measurement have been developed during validation measurements, so that the new available mask qualification method is available for my investigations.

In my measurements, the efficiency of the materials tested in the monolayer is well below what is considered acceptable, although there is a wide variation, ranging from 5% to as much as 48%. However, when testing materials in two or three layers, the efficiency increases significantly, up to 70-80%, but at this number of layers, the breathability has to be taken into account, the number of layers cannot be increased indefinitely.

In my work I will overview the different mask standards, the mask qualification procedures and the newly developed laser-based particle counting qualification procedure. In my work I will describe the different mask standards, the mask qualification procedures and the newly developed laser-based particle counting qualification procedure. I present the available textile types and their objective characterization. Finally, the actual data on the effectiveness of the masks we have been wearing for almost two years will be revealed through the measurement procedure.

1. Bevezetés

1.1 Motiváció

A koronavírus terjedésének korlátozásában fontos szerepet játszanak a maszkok és a különböző védelmi intézkedések, úgy mint a távolságtartás, vagy a folyamatos kézfertőtlenítés. A különböző maszkok használatát megszokta a lakosság, de az ellenérzés is jelen van a közösségben, mivel a maszkok hatékonyságát, kényelmi oldalait nehéz a tudománynak megfelelően kommunikálnia, és a közösségi médiában is nagy az ezzel kapcsolatos zaj. A tömegek által hordott maszk viszont hasznos és alacsony költségű kiegészítője a társadalmi távolságtartásnak a COVID-19 világjárvány idején. Ez az intézkedés az önvédelemről az altruista, önzetlen viselkedésre helyezi a hangsúlyt, aktívan bevon minden polgárt, és a társadalmi szolidaritás szimbólumává válhat [1].

Munkám motivációja, hogy a tanszéken kidolgozott új mérési módszer szerint vizsgáljak elérhető maszk-alapanyagokat. A módszer lézer-alapú részecskeszámlálás alapján teszi meghatározhatóvá a védőmaszkok jellemző két értékét, a részecske-szűrési hatékonyságot és a koncentráció-szűrési hatékonyságot. A korábbi munka [2] egyik érdeme az olcsó és egyszerű vizsgálat, amely emellett megbízható eredményeket is kínál. A jelenlegi munka továbbviszi ezt a gondolatot, és az elérhető, olcsó ruhaalapanyagokat vizsgálja, amelyekből kézi készítéssel, de kisüzemi mennyiségben is készültek maszkok az elmúlt időszakban. A maszkok ára és kezdeti hozzáférhetetlensége nehezítette a beszerzést a lakosság számára, ezért sokan a költséghatékony és kényelmesebb, barátságosabb ruhaszövet-alapú maszkvédelmi módszerekhez folyamodtak. Egy varrodával való közreműködéssel sikerült olyan alapanyagokat beszerezni, amelyekből jellemzően készültek maszkok az elmúlt időszakban – ezeket fogom megvizsgálni szűrési hatékonyság szempontjából.

A munkához kiváló környezetet nyújtott számomra a BME-ETT-n kifejlesztett módszer, amely ötvözte a villamosmérnöki mérés technikának, az anyagtudományi vizsgálatoknak és a technológiai validációs módszerek alkalmazásának.

2. Szakirodalmi áttekintés

A maszkok vírusvédelmi képességeit már évek óta vizsgálják, azonban az eredményeket fokozott ütemben folyamatosan újraértelmezik, a COVID-19 világjárvány berobbanásával. Egy 2006-os tanulmányban az eredmények azt mutatták [3], hogy az N95-ös tanúsítvánnyal rendelkező maszkok nem feltétlenül nyújtanak teljeskörű védelmet a vírus ellen, amely lényegesen kisebb, mint a tanúsítási tesztekben használt 300 nm-es, elfogadott legkisebb, penetrációra hajlamos részecskeméret. Így a levegőben terjedő vírusos kórokozókkal szembeni védelem, amelyet egyes N95 maszkok nyújtanak, 95% alá eshet, különösen nagyobb belégzési áramlási sebességnél. A sebészeti maszkok hatékonysága sokkal alacsonyabb, mint az N95 maszkoké, így a cikkben bemutatott MS2 vírusok könnyen áthatoltak a sebészeti maszkon. A SARS-CoV-2 esetében más a helyzet – ezek a vírusok elsősorban nagyméretű (>5-10 μm) légzőszervi cseppek, aeroszolak útján terjednek, amelyek vízszintesen akár 2 méter távolságra elszállhatnak, majd másodperceken belül a földre hullhatnak. Ebben a mérettartományban már a sebészeti maszkok is általában megfelelő védelmet nyújtanak [4].

Elismert tény, hogy a maszk használata hasznos a járvány lassításában. Li és munkatársai cikkében [5] három kulcsfontosságú tényezőt vesznek figyelembe, amelyek hozzájárulnak a minőségi maszk viselésének hatékonyságához a transzmissziós kockázat csökkentésében, beleértve a maszk aeroszolszökkenési arányát, a maszkok lakossági lefedettségét és a maszk általános elérhetőségét. Li megerősíti az előző gondolatot: az arcmaszk hatékonyan kombinálható a társadalmi távolságtartással a járványgörbe ellaposítása érdekében.

A szövetmaszkokat, azaz ruhaanyagokat is vizsgálták nemrégiben, de a publikáció csak általános kvalitatív- és korlátok között számosított eredményeket közölt [6]. Eszerint amíg a ruha-szövetmaszk kialakítása nem bizonyul ugyanolyan hatékonynak, mint az orvosi vagy N95-ös maszk, addig a szövetmaszkok viselését nem lehet egészségügyi dolgozók számára ajánlani. Azt megjegyzi azonban a cikk, hogy lakossági környezetben a szövetmaszkok ténylegesen használhatók a fertőzések, a beteg vagy tünetmentesen fertőzött személyek által történő közösségi terjedésének megelőzésére vagy a terjedés visszaszorítására. A szövetmaszkok által nyújtott védelem javítható a megfelelő anyag kiválasztásával, a maszkrétegek számának növelésével, valamint a szűrést és illeszkedést biztosító kialakítású maszkok használatával. A szövetmaszkokat naponta és a nagy expozíciónak kitett maszkok használata után szappannal és vízzel vagy más megfelelő módszerrel lehet mosni a cikk szerint.

A kommunálisan elérhető (bolti) maszkokat Maurer és munkatársai [7] a szűrés és a légellenállás szempontjából vizsgálták, valamint az újrafelhasználhatóság szempontját is megemlítették. Vizsgálataikba poliészter, pamut, viszkóz-poliészter-multifilament, poliészter-karbon stb. maszk típusokat vontak be. Azt is megállapították, hogy a közösségi maszkok esetében a magas szűrési hatékonyság nagy légellenállással jár együtt, és fordítva. Általában a szűrési hatékonyságot a lehető legmagasabbra kell választani, figyelembe véve a viselő légellenállással szembeni tűrőképességét. A közösségi maszkok légellenállása azonban lényegesen nagyobb lehet, mint a sebészeti maszkok esetében megengedett. Vizsgálatom célja, hogy összhangban legyünk ezzel a tanulmánnyal is, de inkább a tényleges ruhatípusokra összpontosítom a kísérleteimet.

Ho és munkatársai szerint a pamut maszk potenciális helyettesítője lehet az orvosi maszknak a légúti fertőzésben szenvedő személy számára a légkondicionált mikrokörnyezetben. Az egészséges emberek naponta használhatnak pamutmaszkot a közösségben, mivel a pamutmaszk mosható és újra felhasználható. A munkájukban viszont élő embereken folyt a vizsgálat, és rétegszám tekintetében háromrétegű maszkokat alkalmaztak [8].

A fentiek alapján a vizsgálatom tisztázza a kvalitatív vizsgálatok részletes bemutatását, és megerősíti a kezdeti feltételezésünket, miszerint az anyagok rétegszámának változását szükséges vizsgálni első körben. A következőkben bemutatott mérési módszer is egy újszerű megközelítést tesz hozzá az irodalmi hiányosságokhoz. A bemutatott munkát folyóiratcikkekben is szeretném a későbbiekben publikálni, így a fenti cikkek struktúráját és elvi módszerét próbálom követni majd a vizsgálatok során.

2.1 Korábbi vizsgálatok lézer alapú részecskeszámlálási módszerrel

Fontos kiemelni és részletezni a korábban említett, tanszéki munkacsoport által kifejlesztett mérési módszert [2], melyet a Measurement magazinban publikáltak. Ennek a lényege, hogy lézeres részecskeszámlálási módszerrel kétféle szűrési hatékonyságot tudnak meghatározni: a részecskeszűrési hatékonyságot adott részecskeméret esetén és a koncentrációs szűrési hatékonyságot különböző aeroszolok esetén. A mérési módszert különböző aeroszolkoncentrációkkal és etalon légzőkészülékekkel validálták. A mérési módszert tervezem én is adaptálni a munkámhoz, ezt a későbbi fejezetekben bemutatom részletesen is.

A korábbi eredmények legfontosabb előnyei az egyszerűség, a hozzáférhetőség és a viszonylag alacsony ár a lángfotométeres módszerekhez képest. A mérési módszer képességét tíz különböző típusú kínai KN95 légzőkészüléken-maszkon tesztelték korábban. Ezen maszkok minősége nagyban különbözik, a mért maszkokból tízből csak kettő érte el a 95%-os szűrési hatékonyságot.

A részecskeszámlálási módszereket már mások is alkalmazták a maszkok vizsgálatára. Rengasamy és munkatársai [9] sikeresen hasonlították össze az N95-ös légzőkészülékek szűrését fotometriai és ultrafinom kondenzációs részecskeszámlálási (UCPC) módszerekkel. Kim és munkatársai [10] sikeresen alkalmazták az UCPC-módszert a nanorészecskék (3-20 nm) kereskedelmi szűrőközegeken való penetrációjának kimutatására. Az UCPC azonban korlátozott az áramlási sebesség szempontjából, amely sokkal kisebb a mérés, mint a tényleges légzés esetében [11]. Az irodalomban további komplex megoldások is találhatóak, de összetett jellegük miatt távol állnak a hatékony alkalmazástól [3].

2.2 Maszk típusok

A maszkok minősítéséhez, többféle szabványrendszer alakult ki attól függően melyik terület/ország sajátosságait nézzük. A három nagy rendszer az FFP illetve az N és KN, amelyek többé kevésbé megfeleltethetőek egymásnak. Az FFP 1,2,3 Európai Unió szabvány rendre a következő szűrési hatékonyságokkal rendelkeznek: 80%, 94% és 99%. Az amerikai változat az N95 és N100 amelyek 95% és 100% - os szűrésre tudnak. A kínai besorolás alapján a KN95 95% - os szűrésre képes megvalósítani. Az országok között különbség a szűrési hatékonyság meghatározásában is ad némi eltérést, de jó közelítéssel az FFP2/N95/KN95 egyformának tekinthető [12].

Ezen kívül léteznek az orvosi maszkok, jellemzően 67% - os szűrési hatékonysággal.

2.3 Textilfajták ismertetése

Textilnek nevezünk minden olyan lapszerű anyagot, amik szálanyag felhasználásával készülnek. Ezen csoportosításban megkülönböztethetünk hurkolt kelméket, szöveteket, és nemszőtt textíliákat. Az orvosi maszkok, és az FFP rendszerű maszkok jellemzően ilyen nemszőtt textíliákat alkalmaznak [13]. Számomra a mérés során a szövetek és hurkolt kelmék az érdekesek, ezek felhasználására összpontosítok.

A szövetek jellemzően három szövési móddal készülnek, a vászon-, sávoly- és atlaszkötés. Itt én vászon és sávoly kötéssel készült anyagokat vizsgállok. A vászonkötés a legegyszerűbb kötésfajta, a legnagyobb szálsűrűséget lehet ezzel elérni. Hátránya, hogy a varrás közben a tű nem tudja az útjából eltéríteni a fonalakat, ezért beleszúr, és elszakíthatja a fonalakat alkotó szálakat. Emiatt az anyag szakítószilárdsága is csökken. A sávolykötés lazább, mint a vászonkötés, a fonalak nem minden helyen keresztezik egymást, ezért úgynevezett fonallebegés jön létre. Az ilyen módon előállított anyagok könnyebben formázhatóak.

A kötött kelmék esetében kétféle módot különböztetünk meg: ezek a vetülékrendszerű és a láncrendszerű kötések. A vetülékrendszerű kötött kelmék nyúlása, rugalmassága nagyobb. Az egymás melletti szemek sorokat, az egymás fölötti szemek oszlopokat alkotnak, erről a vetülékrendszerű kötött kelmék jól felismerhetők. A láncrendszerű kötött kelmék nyúlása, rugalmassága kisebb, gyakran dupla szerkezetűek. A szemfutásra nem hajlamosak és nem bomlanak, erről a láncrendszerű kötött kelmék jól felismerhetők.

Egyéb előforduló kifejezés a textilek között a mercerezés, ami fonál vagy kelme lúgozását jelenti. Ennek hatására a szálak összezsugorodnak, a további mosások alkalmával nem történik méretbeli csökkenés. Ezen felül a szálak fényvisszaverő képessége megnő, emiatt a felülete fényessé válik.

Ezen a ponton érezhető, hogy a szövési mód nagyban befolyásoló tényező lehet a szűrési hatékonyság szempontjából.

A kísérlet során az alábbi textileket vizsgálom, jellemzően ezekből készültek maszkok a járvány ideje alatt:

- Pamut sávolyos farmer vászon
- Kézi szövésű lenvászon
- Len szövet
- Sávolyos viszkózselyem
- Pamut vászon Kékfestéses
- Természetes selyem
- Mercerezett pamutvászon
- Pamut hurkolt kelme Fehér
- Pamut hurkolt kelme Piros
- Pamut lepedővászon
- Pamut vászon

3. Textiltulajdonságok

3.1 Mesh szám

A mesh számmal egyszerűen jellemezhetjük a mintáinkat. A mesh szám megmutatja, hogy 1 inch (2,54 cm) távolságon belül hány darab szál található.

Mivel a vizsgálat során hamar kiderült, hogy a mesh szám nem feltétlenül azonos x és y irányban, ezért külön van meghatározva mindkét irányra.

3.2 Egyéb tulajdonságok

A későbbi optikai vizsgálat során a fentebb már részletezett paraméterek mellett, a szál átmérője is leolvasható a mikroszkópos képről. Ennek segítségével, és a mesh szám ismeretében (külön x és y irányban) számolható egy feltételezett ablak méret, ami meghatározza a szabad felületet.

Szabad felületnek nevezzük azt a területet, amit nem takar ki szál a textilben. Ha nagy a szabad felület aránya a teljes területhez képest, valószínűleg a szűrési hatékonyság is csökken. Az ablak mérete a mikroszkópos képről is leolvasható, és legtöbb esetben egybe esik a számolt értékkel, tehát a leolvasás viszonylag kis hibával elvégezhető.

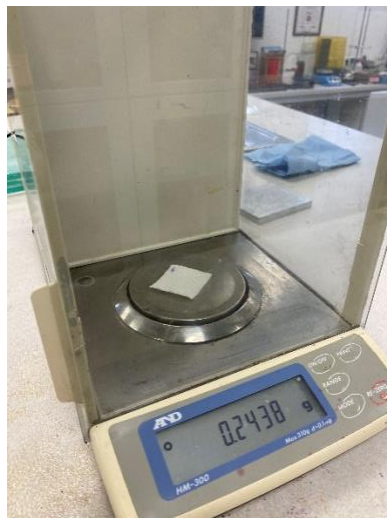
3.3 Tömeg mérés

A tömeg mérésére a vizsgált kelmék egyik jellemző fontos értékének a megállapításához volt szükség. Az úgynevezett grammsúly [14] az anyag vastagságát, illetve sűrűségét tudja megmutatni nekünk. Ma már gyakori, hogy a vásárlásnál ezt az értéket feltüntetik a termék mellett, így könnyebben összehasonlítható több, azonos szövési vagy hurkolási eljárással készült textil szövet.

A textiliparban használatos többféle mértékegységben adható meg ez a jellemző: létezik gramm/yard, gramm/méter, gramm/négyzetméter. Ennél a mérésnél én a gramm/négyzetméter mértékegységet választottam, mint a leggyakoribb és leginkább összehasonlítható értéket. Ez az érték megmutatja, hogy egy egységnyi (1 négyzetméter felületű) textil anyagnak mekkora a tömege grammban megadva. Természetesen alapállapotban, mindenféle megnyújtás nélkül. Fontos, hogy ez nem összehasonlítható átváltás nélkül más mértékegységben megadott

anyagjellemzőkre. Nagyobb grammsúly kétféleképpen érhető el. Vagy veszünk egy vékonyabb fonalból készült, de sűrűbben szövött vagy hurkolt anyagot; vagy a másik lehetőség, hogy lazább a szövés vagy hurkolás, de vastagabb fonalból készül. Tehát a grammsúly mindkét esetben iránymutató a felhasznált fonal mennyiségére.

A tömegmérést egy A&D HM-300 típusú, 0,1 mg felbontóképességű precíziós mérleggel végeztem (lásd 1. ábra). A mérleg pontosan vízszintesen áll (ezt egy buborékos vízszintmérő segítségével ellenőrizhetjük vagy állíthatjuk be); tányérja egy zárt szekrényben helyezkedik el, hogy még a minimális légáramlat (pl. huzat vagy a mérő személy lélegzése) se befolyásolja a mérést. Kitarázni (azaz offszet-kompenzálni) és a méréseket elvégezni is zárt állapotban kell. Ezen kívül automata önkalibrálást is végez minden mérés előtt. A mérés pontosságát hivatott ellenőrizni, hogy kétszer végeztem el minden minta mérését, ezzel lehetett ellenőrizni mennyire reprodukálható a mérés, valamint ezáltal a mért értékek pontossága is nagyobb.



1. ábra: A tömegméréshez használt precíziós labormérleg

4. Lézer alapú részecskeszámlálási módszer

A Budapesti Műszaki Egyetem kutatói új maszkminősítő eljárást fejlesztettek. A járvány hirtelen betörésével, hiánycikké váltak a piacon elérhető maszkok, ami teret engedett a Kínából ismeretlen helyekről beáramló maszkoknak, jellemzően mind KN95-ös minősítéssel. Ezen okoknál fogva megnőtt az igény a maszkok minősítésére, de az Európai Unió területén csupán 11 olyan akkreditált laboratórium található, amely megfelel az unió maszkminősítő szabványainak. Tehát az új módszer kifejlesztése hiánypótlónak bizonyult a hirtelen megnövekedett igényekhez viszonyítva.

4.1 Mérés alapjai

A mérés elsődlegesen a szűrési hatékonyság meghatározására szolgál, nem vesz figyelembe a maszkokhoz kapcsolódó egyéb paramétereket, például, hogy a maszk illeszkedése nem tökéletes az arc felületén, ezért szivárgások alakulnak ki, ami miatt a maszk eredő hatékonysága jóval lecsökken. Ezen módszer csak maga a maszk anyagának szűrési hatékonyságára koncentrálna. A módszer destruktív, ha már meglévő varrott maszkból végezzük a mérést, viszont a méréseim során nem kész maszkokat vizsgáltam, hanem az elérhető textileket, amiből maszkokat lehet készíteni. Így a méréshez csupán kis méretű (35x35mm) anyagdarabokra volt szükség. A mérési elrendezés lehetővé teszi, hogy a koncentráció-szűrési hatékonyságot és a részecske-szűrési hatékonyságot is meghatározzuk. A következő alfejezetekben bemutatom a mérési módszert részleteiben is.

4.1.1 Részecske-szűrési hatékonyság

A részecske-szűrési hatékonyság másnéven Particle Filtering Efficiency (PFE) meghatározása a következő képlet alapján vezethető le.

$$PFE = \left(\frac{PNC_A - PNC_C}{PNC_A} \right) \times 100 [\%]$$

Itt a PNC mint részecske szám jelenik meg, az indexek pedig „A” a környező levegőre vonatkozóan, „C” mint pedig a maszk anyagon keresztül mért koncentráció. A használt mértékegységek minden esetben db/m³. Ez az érték bármilyen mérettartománybeli részecskékre meghatározható.

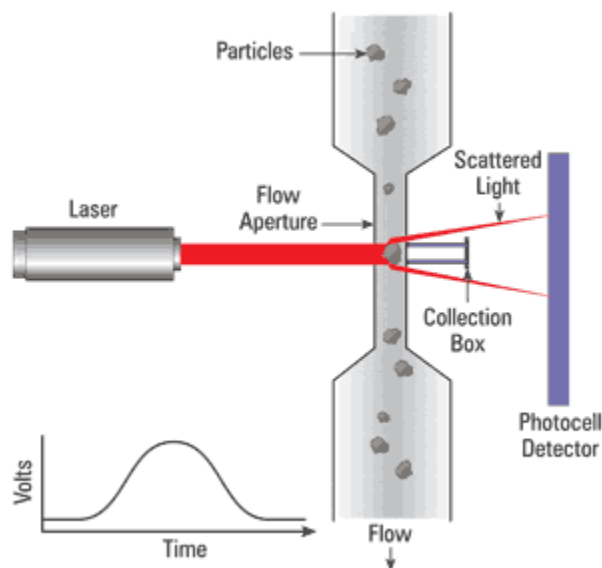
4.1.2 Koncentráció-szűrési hatékonyság

A koncentráció-szűrési hatékonyság másnéven Concentration Filtering Efficiency (CFE) meghatározása a következő képlet alapján vezethető le.

$$CFE = \left(\frac{PC_A - PC_C}{PC_A} \right) \times 100 [\%]$$

Itt a PC mint részecske koncentráció jelenik meg, az indexek pedig „A” a környező levegőre vonatkozóan, „C” mint pedig a maszk anyagon keresztül mért koncentráció. A használt mértékegységek minden esetben mg/m^3 . A koncentráció kiszámítható a részecske számból, illetve a méretükből. A számítások során itt az adott méretbeli sávban a részecskék sűrűségét homogénnek tekintem.

4.1.3 A mérés elméleti háttere



2. ábra: Lézer alapú részecskeszámláló működése [15]

A lézer-alapú részecskeszámlálás során az átáramló levegő egy lézer fénnyel átvilágított területen halad keresztül – ezt mutatja az 2. ábra is. A módszer lényege abban rejlik, hogy az áthaladó részecskék árnyékot vetnek az érzékelőn, ebből az árnyékból számítható nem csak az áthaladó részecskék száma, hanem a részecskék mérettartománybeli besorolása is elvégezhető.

A mérés során használt berendezés (LASAIR III 310C) eredetileg levegő minőség ellenőrzésére került forgalomba. A berendezés használható például tisztaterek minősítésére, vagy orvosi műtők vizsgálatára. A berendezés külalakját az 3. ábra mutatja be.



3. ábra: LASAIR III 5100 berendezés

A mérő műszer hat csatornán képes mérni, amelyek rendre a következők: $0.3\mu\text{m}$, $0.5\mu\text{m}$, $1.0\mu\text{m}$, $5.0\mu\text{m}$, $10.0\mu\text{m}$, $25.0\mu\text{m}$. Az alsó határ a $0.3\mu\text{m}$, ez alatt nem képes mérni, illetve az adott tartományokon belül nincs pontosabb információ a részecskék méretéről. Az átszívás sebessége 30 liter/perc, ami megfeleltethető egy átlagos ember légzésének. A mérés során 10 másodperces szakasz van arra, hogy a szívás mennyisége elérje ezt az értéket. Ha nem sikerül, a mérés megáll. Ez használható az átlélegezhetőség megállapítására.

A mérési eredmények megjelennek a kijelzőn is, de lehetőség van címkek hozzáadására, amely az eredményekkel együtt a csatlakoztatott pendrive-ra mentésre kerülnek.

4.2 Mérési elrendezés

A mérés során használok az előbb ismertetett LASAIR III 310C berendezést, ezt kiegészítve a BME kutatói által 3D nyomtatott mintatartóval. A teljes területe $50\times 70\text{ mm}$, áll egy alsó és felső részből, alul egy összeszűkülő furat található, ami a LASAIR-rel való összekapcsolást szolgálja; a felső oldalon egy nagyobb ablak található, a két rész között pedig egy tömítő O gyűrű. A két rész négy darab rögzítő csavarral van összefogatva, így az O gyűrű megfelelő szigetelést tud nyújtani a keretben, tehát a levegő csak a behelyezett mintán képes

keresztülhaladni. A következő ábra (4. ábra) a mérési elrendezést mutatja be, amelyet a korábbi alapozó munkára építve prezentálok [2].



4. ábra: Mérési elrendezés a berendezés és a mintatartó bemutatásával

A mérés első lépéseként egy percen keresztül mérjük a szoba levegőjét, majd rögtön a mintatartót a szívó csőre ráhelyezve elindítjuk az újabb mérést, ezúttal viszont a kialakítás miatt a levegő csakis a maszk anyagán keresztül tud áramolni. A megkapott két érték arányaként meghatározható a szűrési hatékonyság.

5. Mérés menete

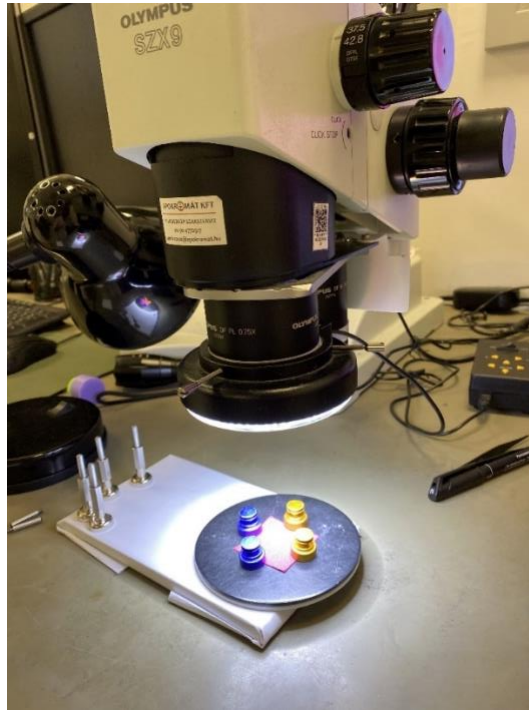
A mérés két részre bontható. Első körben az anyagok minősítése történt meg a megadott paraméterek alapján, majd a bemutatott berendezés használatával a szűrési hatékonyságot határoztam meg.

5.1 Textiltulajdonságok vizsgálata

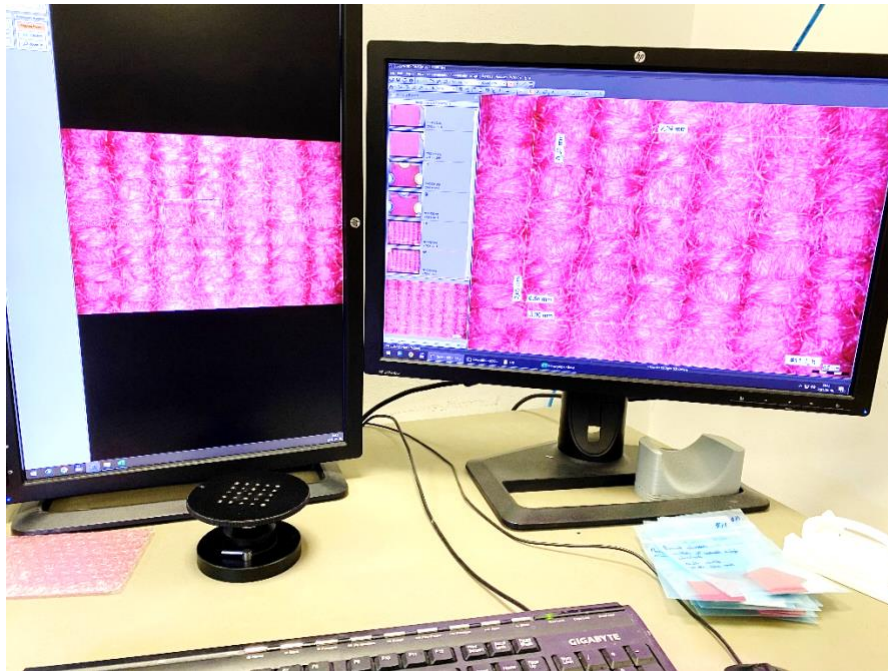
Az anyagok vizsgálatához elsősorban optikai vizsgálati módszer használható, mikroszkóp segítségével az anyag szál tulajdonságai meghatározhatók, illetve látszólagos becslés is adható a későbbi szűrési tulajdonságokra. Az optikai mikroszkóphoz (Olympus SZX9) egy nagy felbontású digitális kamera kapcsolódik. Ennek segítségével, a nagyítás beállítása után elérhetővé válik a helyes méretvonal, és egyéb mérettel ellátott segédvonalakat vehetünk fel.

A mintatartó használatához 35x35 mm -es ruhadarabokra van szükség, anyag tulajdonságaiból kiindulva nem lehetséges pontosan vágni. Viszont ahhoz kellően kicsi a minta, hogy ekkora méretben már problémát okozzon a grammsúly meghatározásában ezért az optikai vizsgálat során egyik feladat volt a minta pontosabb méreteinek meghatározása.

A mérés során minden mintából digitális mikroszkóp segítségével, hat-hat kép készült, ezek mindegyike méretvonallal ellátva, illetve különböző segédvonalak felvételével tettem a paraméterek meghatározását egyszerűbbé a későbbi utómunkához. A mérési elrendezést a következő két ábra (5-6. ábra) mutatja be.



5. ábra: Minta befogása mozgást gátló mágneses mintatartón



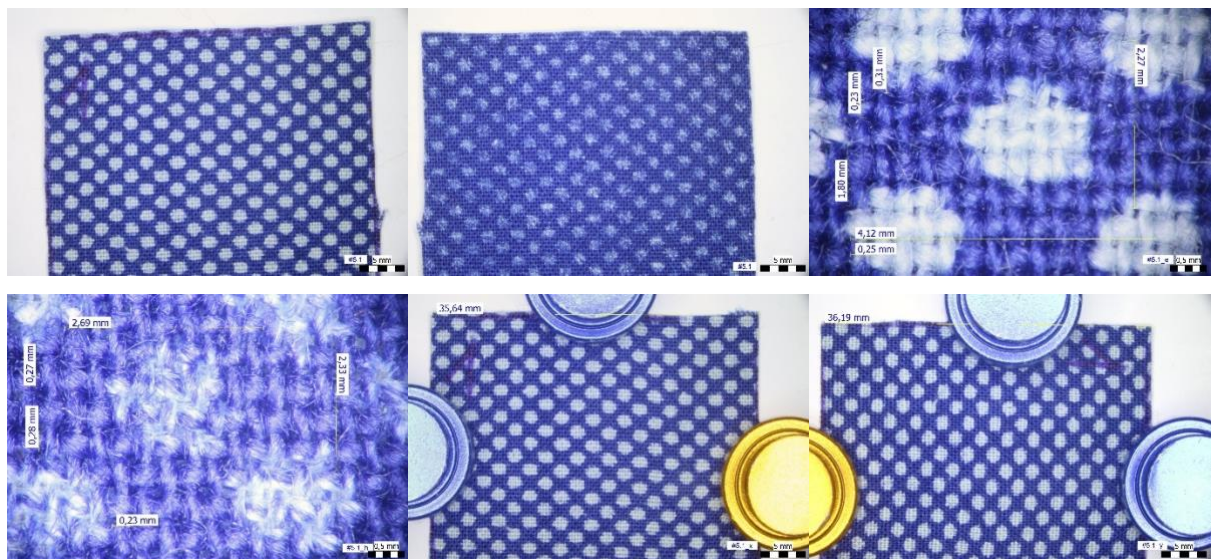
6. ábra: Mérés menete a mikroszkóp optikájához rögzített számítógépen

Ahol a szálak úgy keresztezik egymást az anyagokban, hogy ablak keletkezik köztük, előre látható, hogy feltehetőleg nem lesz hatékony a szűrés, míg egy olyan anyag esetében, ahol

a látszik, hogy sűrűbb a szövés becsülhető a jobb szűrés. A következő ábra egy példát emel ki a mikroszkópos anyagvizsgálat menetéről. A 7. ábra két példát mutat a szövetek vizsgálatára, a következő 8. ábra pedig azt prezentálja, hogy miként lett a minta megvizsgálva optikailag, előlről, hátulról, közlelről (elől-hátul).



7. ábra: Bal oldalon a feltehetőleg rosszabb szűrési tulajdonságokkal rendelkező anyag, jobbra a valószínűleg komolyabb szűrésre képes anyag – optikai mikroszkópos felvételek



8. ábra: Első sor balról jobbra: Bemutató kép előlről, hátulról, nagy nagyítású szál vizsgálat előlről.

Alsó sor balról jobbra: Nagy nagyítású szál vizsgálat hátulról, x és y méretek segédvonalakkal

5.2 Részecskeáteresztő-képessége vizsgálata

A részecskeáteresztő- képessége vizsgálata során, az előbbieken ismertetett berendezés segítségével és kiegészítő számítások használatával kaphatjuk meg a szűrési hatékonyságot. A

mérés egy klimatizált szobában történt, több alkalommal, ez a környezet koncentráció változásán látszik is, de mivel a mérés során két értéket viszonyítunk egymáshoz (mennyit tudott kiszűrni a maszk anyaga a környezet levegőjéből), ezért nem befolyásolja a mérés eredményét az éppen aktuális levegő részecske koncentráció.

A LASAIR III 310C jelentéseként ehhez hasonló fájlt kapunk minden mérés után (9. ábra). Az operátor az ábrán Dr. Illés Balázs, aki a berendezés hivatalos működtetéséért felel, és aki a betanításért is felelős volt a munkám során.

Final Sample Report

BME-VIK maszk vizsgalo labor

Instrument ID: Lasair III
Serial Number: 145440
Calibrated: 2021/04/14
Date & Time: 2021/07/14 10:06:06

Batch ID: no1_1
Operator: Dr. Illes Balazs
Location: ambient
Recipe:

Date & Time: 2021/07/14 10:06:06
Sample: 1
Sample Status: VALID

Particle Data

Normalized Counts

Time: 00:01:00

μm	$\Delta \text{N/m}^3$	$\Sigma \text{N/m}^3$
0.3	53039268	56217944
0.5	2853384	3178674
1.0	288142	325290
5.0	21681	37148
10.0	14442	15466
25.0	1024	1024

Volume: 0.0283 m³

Flow: 0.0283 m³/min

9. ábra: Lasair berendezés mérési jegyzőkönyve, jelentési oldal

Ebből számunkra a fontos információ az általam minden mérés elején beállított BATCH ID, ami tartalmazza az adott minta azonosítóját, illetve a LOCATION mező, ami vagy ambient mikor a környezetet mértem, vagy pedig unknown amit a maszk anyagára használtam. Fontos információ még a SAMPLE STATUS ami lehet VALID vagy INVALID, ez mutatja hogy sikerült e átszűrni, átlélegezhető az anyag vagy sem. A kiértékeléshez az első két oszlopot használjuk, értelemszerűen az első oszlopban a csatornák található, a második oszlopban pedig az adott csatornához tartozó részecske számot mutatja. A harmadik oszlop itt nem lényeges

számunkra, abban az adott csatorna részecskeszáma plusz a nála nagyobb méretű részecskéknek a számának az összege szerepel.

1. táblázat: A kiértékelés módjának adaptációja

1.			n%			
				C0	Csz	
0,30	53039268	32499064	38,73	1432060,236	877474,728	
0,50	2853384	908232	68,17	356673	113529	
1,00	288142	117634	59,17	288142	117634	
5,00	21681	6745	68,89			
10,00	14442	4097	71,63			
25,00	1024	494	51,76			
				Szum	2076875,236	1108637,728
				Szűrt tömeg %	46,62	

A report fileokból az eredmények kiértékelése EXCEL táblázat segítségével történik (lásd 1. táblázat). A bal oldali táblázat kitöltése szükséges, A második oszlopban a környezet koncentrációjának eredménye kerül, jobb oldalra pedig az anyagon keresztül mért érték.

Az Európai Unió szabvány (EN 149:2001) a mérést a $0.4 \mu\text{m}$ – $0.6 \mu\text{m}$ közötti MMAD tartományon értelmezi. Az MMAD (Median Mass Arodinamic Diameter) értékét a BME kutatói több mint 300 mérés során meghatározták, hogy a $0.3 \mu\text{m}$ és az $5 \mu\text{m}$ közötti tartományon az MMAD $0,34$ és $0,76 \mu\text{m}$ közé esik. Ez közel megfelel a szabványnak ezért a további számításokhoz csak az alsó három csatorna eredményeit használjuk. Minden anyagból 5 darab mintát vizsgáltam, ebből átlagot és szórást is tudtam számolni.

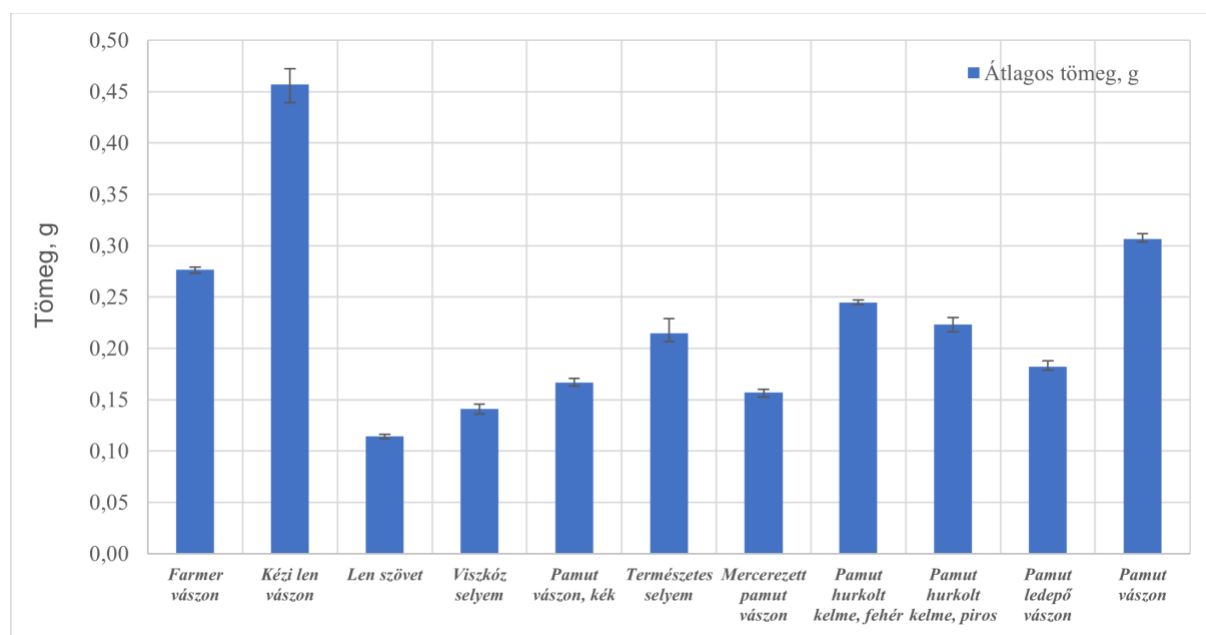
6. Vizsgálati eredmények

6.1 Minták tulajdonságainak vizsgálata

6.1.1 Tömegmérés

A mérésekből jól látszik, hogy itt pontos kvantitatív, azaz számszerűsíthető eredményeket kapunk az anyagok jellemzésére.

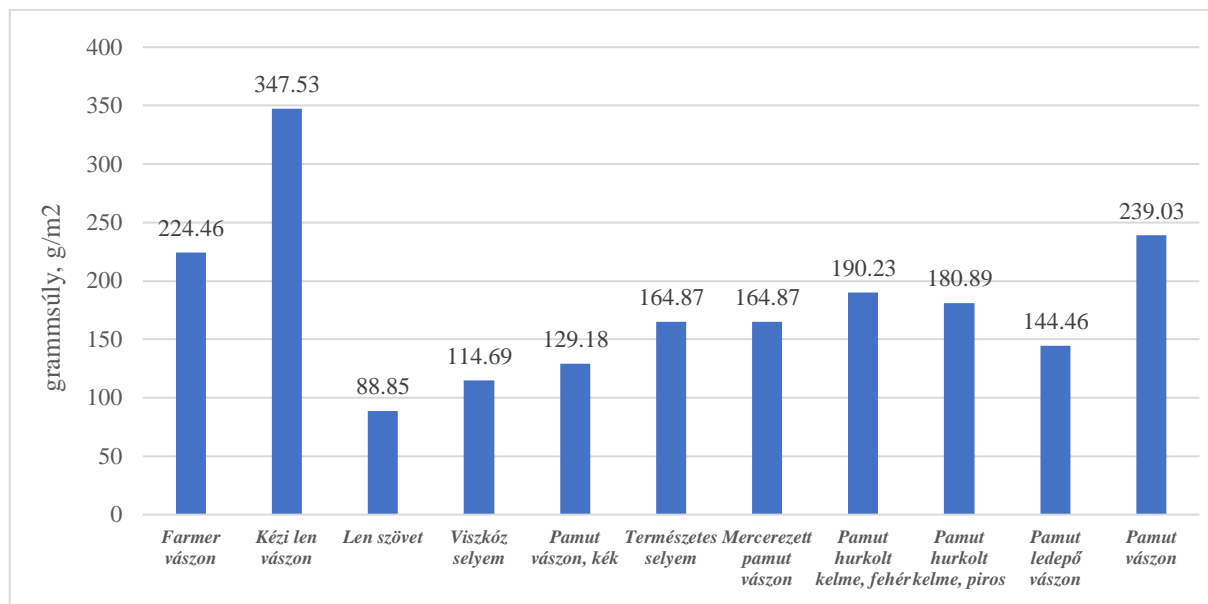
A következő ábra a tömegek átlagát mutatja mintegy összefoglalva az 2. táblázat eredményeit.



10. ábra: Mért tömegek átlaga és min-max szórása.

A fenti 10. ábra alapján megállapítható, hogy ugyanakkora mintapreparátumoknál a lenvászon emelkedik ki a legjobban a többi mintából. De jelentős különbség van a többi anyag között is egymáshoz viszonyítva. Az ábrán min-max szórást ábrázoltam, feltüntetve, hogy mennyire kicsi eltérések vannak minták és mérések között, tovább erősítve a mérés ismételhetségének pontosságát. A fenti ábra hasznos lehet a későbbi átszívási vizsgálatok paramétereinek kiértékelésénél is.

A lenti 11. ábra alapján megállapítható, hogy a kivágott darabok tömege az általánosabb sűrűségi ábrázolással teljesen konzekvens.



11. ábra: Mért gramm súlyok

2. táblázat: Mért tömegeredmények [g] a maszk anyagtípusok függvényében

Minden érték mértékegysége: g		Határon belül [százalék]		48%		
		Határon belül [darabszáma]		27		
		Határ:		0,0003		
#.	minta	Tömeg 1.	Tömeg 2.	delta_m	Átlagos eltérés	Átlag
1. Pamut sávoljos vászon Farmer vászon	1.	0,2767	0,2758	0,0009	0,00045	0,27625
	2.	0,2733	0,2731	0,0002	0,00010	0,27320
	3.	0,2773	0,2769	0,0004	0,00020	0,27710
	4.	0,2785	0,2776	0,0009	0,00045	0,27805
	5.	0,2790	0,2788	0,0002	0,00010	0,27890
2. Kézi szövésű vászon Len vászon	1.	0,4599	0,4604	0,0005	0,00025	0,46015
	2.	0,4718	0,4720	0,0002	0,00010	0,47190
	3.	0,4613	0,4610	0,0003	0,00015	0,46115
	4.	0,4513	0,4512	0,0001	0,00005	0,45125
	5.	0,4395	0,4394	0,0001	0,00005	0,43945
3. Len szövet	1.	0,1127	0,1160	0,0033	0,00165	0,11435
	2.	0,1143	0,1140	0,0003	0,00015	0,11415
	3.	0,1119	0,1122	0,0003	0,00015	0,11205
	4.	0,1144	0,1139	0,0005	0,00025	0,11415
	5.	0,1161	0,1161	0,0000	0,00000	0,11610
4. Viszkóz selyem sávoljos szövet	1.	0,1360	0,1358	0,0002	0,00010	0,13590
	2.	0,1381	0,1383	0,0002	0,00010	0,13820
	3.	0,1437	0,1432	0,0005	0,00025	0,14345
	4.	0,1420	0,1414	0,0006	0,00030	0,14170
	5.	0,1455	0,1450	0,0005	0,00025	0,14525

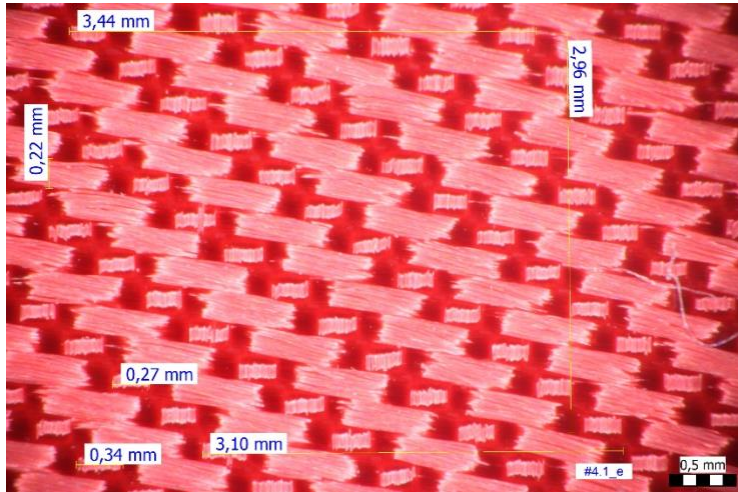
5. Pamut vászon Filmnyomott kékfestés	1.	0,1707	0,1673	0,0034	0,00170	0,16900
	2.	0,1634	0,1643	0,0009	0,00045	0,16385
	3.	0,1671	0,1673	0,0002	0,00010	0,16720
	4.	0,1641	0,1636	0,0005	0,00025	0,16385
	5.	0,1678	0,1706	0,0028	0,00140	0,16920
6. Természetes selyem	1.	0,2105	0,2103	0,0002	0,00010	0,21040
	2.	0,2129	0,2128	0,0001	0,00005	0,21285
	3.	0,2063	0,2072	0,0009	0,00045	0,20675
	4.	0,2287	0,2288	0,0001	0,00005	0,22875
	5.	0,2142	0,2156	0,0014	0,00070	0,21490
7. Mercerezett pamut vászon Filmnyomott mintával	1.	0,1583	0,1581	0,0002	0,00010	0,15820
	2.	0,1593	0,1598	0,0005	0,00025	0,15955
	3.	0,1580	0,1583	0,0003	0,00015	0,15815
	4.	0,1576	0,1579	0,0003	0,00015	0,15775
	5.	0,1526	0,1525	0,0001	0,00005	0,15255
8. Pamut hurkolt kelme Fehér	1.	0,2470	0,2461	0,0009	0,00045	0,24655
	2.	0,2447	0,2445	0,0002	0,00010	0,24460
	3.	0,2464	0,2464	0,0000	0,00000	0,24640
	4.	0,2441	0,2438	0,0003	0,00015	0,24395
	5.	0,2428	0,2425	0,0003	0,00015	0,24265
9. Pamut hurkolt kelme Piros	1.	0,2225	0,2238	0,0013	0,00065	0,22315
	2.	0,2236	0,2238	0,0002	0,00010	0,22370
	3.	0,2161	0,2164	0,0003	0,00015	0,21625
	4.	0,2229	0,2238	0,0009	0,00045	0,22335
	5.	0,2300	0,2301	0,0001	0,00005	0,23005
10. Pamut lepedő vászon	1.	0,1790	0,1789	0,0001	0,00005	0,17895
	2.	0,1799	0,1794	0,0005	0,00025	0,17965
	3.	0,1808	0,1802	0,0006	0,00030	0,18050
	4.	0,1876	0,1872	0,0004	0,00020	0,18740
	5.	0,1842	0,1833	0,0009	0,00045	0,18375
11. Pamut vászon	1.	0,3047	0,3045	0,0002	0,00010	0,30460
	2.	0,3040	0,3035	0,0005	0,00025	0,30375
	3.	0,3069	0,3072	0,0003	0,00015	0,30705
	4.	0,3118	0,3116	0,0002	0,00010	0,31170
	5.	0,3061	0,3057	0,0004	0,00020	0,30590

6.1.2 Optikai vizsgálat eredményei

Az optikai vizsgálat eredményeit táblázatos formában kívánom bemutatni, minden textilt egy – egy hozzá kapcsolódó bemutató ábrán. A táblázatban (3. táblázat) szereplő értékek minden esetben 5 minta átlagolásából adódnak.

3. táblázat: Vizsgált textilek összefoglalása

	<p>1.#</p> <p>Megnevezés: Pamut sávolyos farmer vászon</p> <p>Grammsúly [g/m²]: 224,46</p> <p>Mesh x,y: X= 100,1 Y= 59,35</p> <p>Szabad felület [mm²]: 0,000</p>
	<p>2.#</p> <p>Megnevezés: Kézi szövésű lenvászon</p> <p>Grammsúly [g/m²]: 347,53</p> <p>Mesh x,y: X= 37,57 Y= 40,97</p> <p>Szabad felület [mm²]: 0,053</p>
	<p>3.#</p> <p>Megnevezés: Len szövet</p> <p>Grammsúly [g/m²]: 88,85</p> <p>Mesh x,y: X= 60,77 Y= 57,99</p> <p>Szabad felület [mm²]: 0,050</p>



4.#

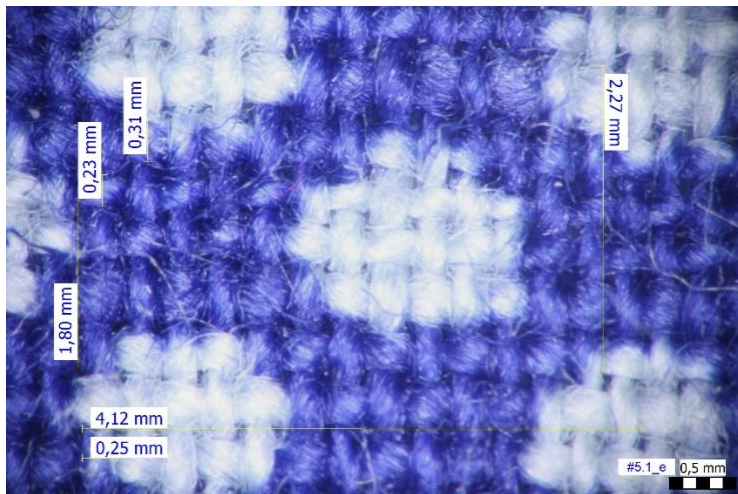
Megnevezés:

Sávolyos viszkózszelyem

Grammsúly [g/m²]: 114,69

Mesh x,y: X= 81,94 Y= 120,14

Szabad felület [mm²]: 0,000



5.#

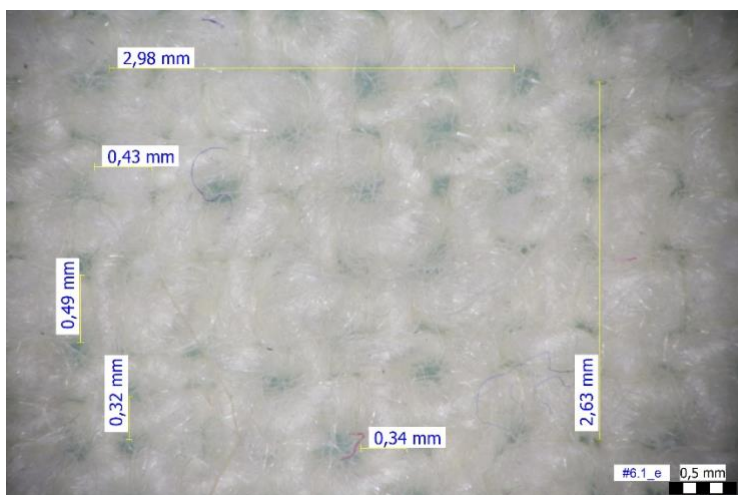
Megnevezés:

Pamut vászon Kékfestéses

Grammsúly [g/m²]: 129,18

Mesh x,y: X= 86,31 Y= 67,14

Szabad felület [mm²]: 0,003



6.#

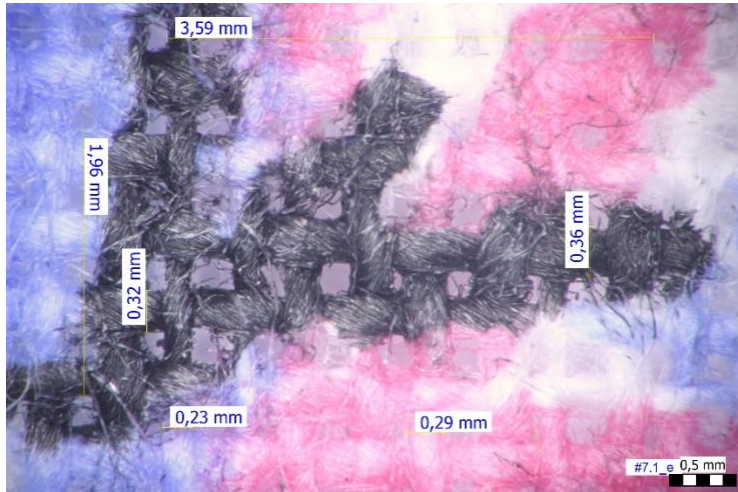
Megnevezés:

Természetes selyem

Grammsúly [g/m²]: 164,87

Mesh x,y: X= 51,14 Y= 57,95

Szabad felület [mm²]: 0,030



7.#

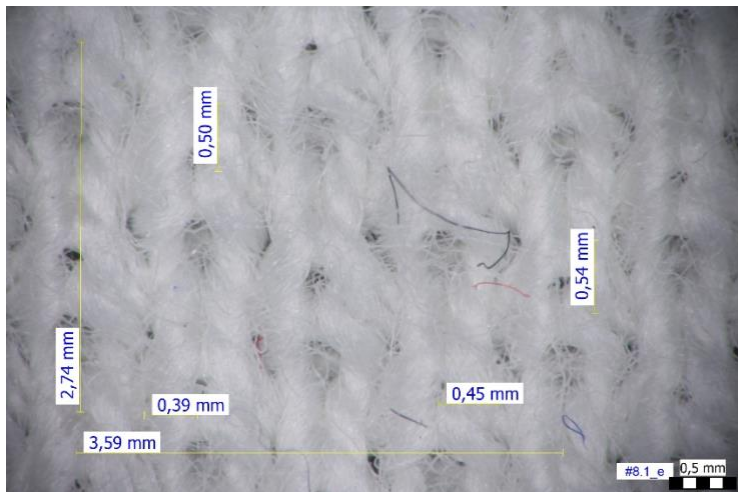
Megnevezés:

Mercerezett pamutvászon

Grammsúly [g/m²]: 125,21

Mesh x,y: X= 56,6 Y= 51,84

Szabad felület [mm²]: 0,048



8.#

Megnevezés:

Pamut hurkolt kelme Fehér

Grammsúly [g/m²]: 190,23

Mesh x,y: X= 56,6 Y= 64,89

Szabad felület [mm²]: 0,001



9.#

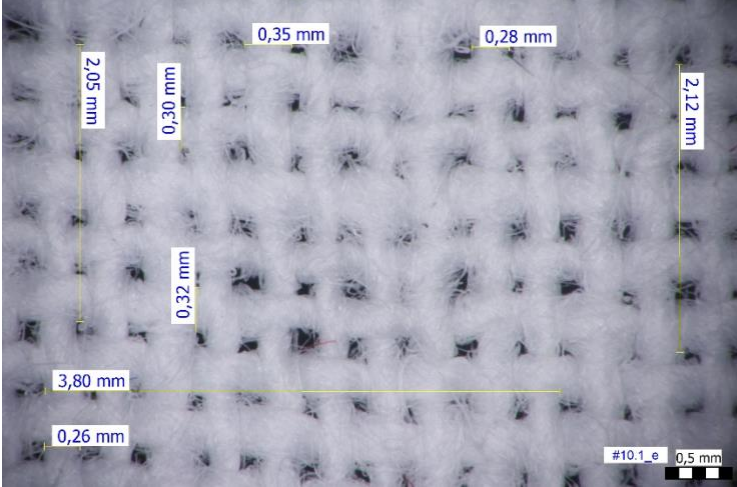
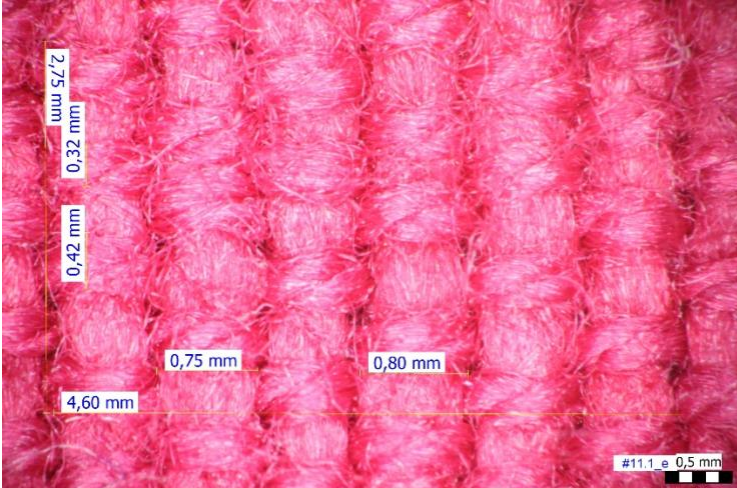
Megnevezés:

Pamut hurkolt kelme Piros

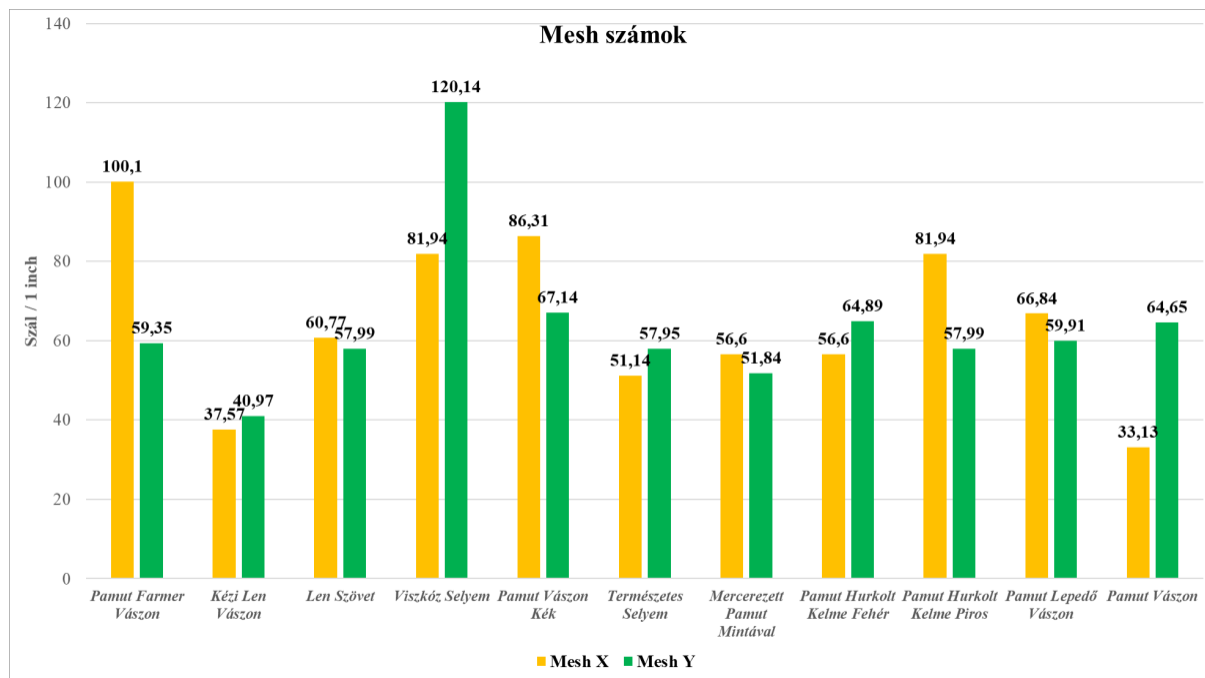
Grammsúly [g/m²]: 180,89

Mesh x,y: X= 81,94 Y= 57,99

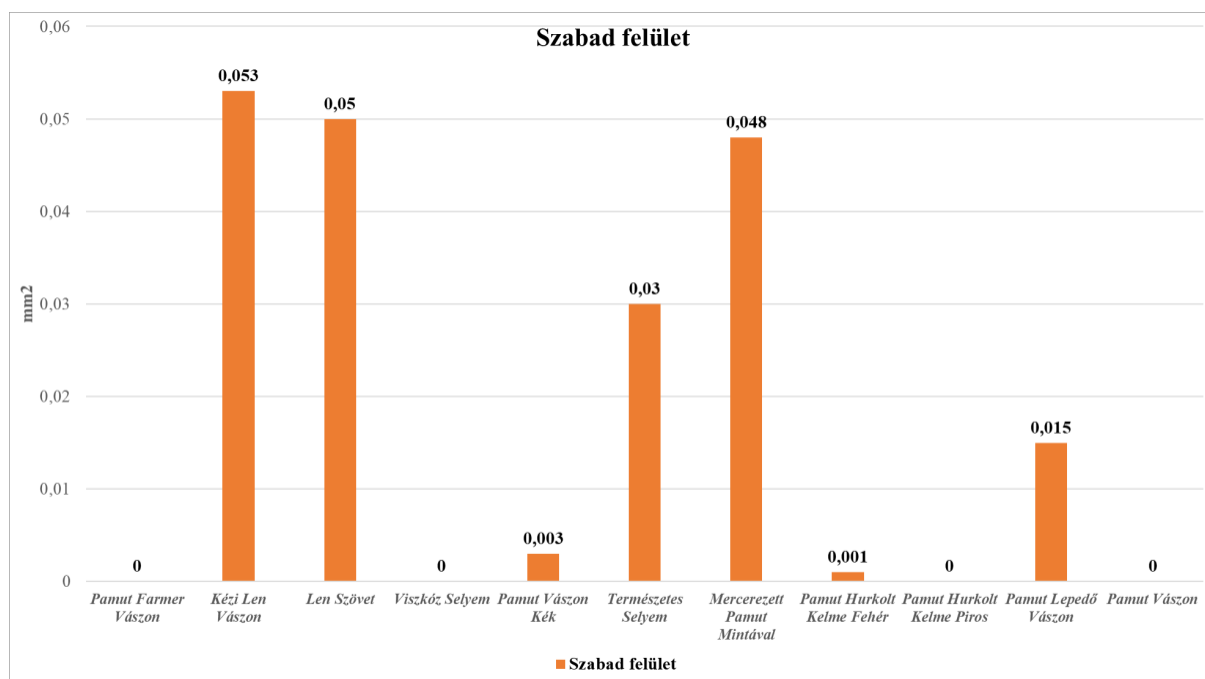
Szabad felület [mm²]: 0,000

	<p style="text-align: center;">10.#</p> <p style="text-align: center;">Megnevezés: Pamut lepedővászón</p> <p>Grammsúly [g/m²]: 144,46</p> <p>Mesh x,y: X= 66,84 Y= 59,91</p> <p>Szabad felület [mm²]: 0,015</p>
	<p style="text-align: center;">11.#</p> <p style="text-align: center;">Megnevezés: Pamut vászón</p> <p>Grammsúly [g/m²]: 239,03</p> <p>Mesh x,y: X= 33,13 Y= 64,65</p> <p>Szabad felület [mm²]: 0,000</p>

A 12. és 13. ábrák alapján megállapíthatom, hogy a mesh számok nagyjából megegyeznek XY irányban néhány kivételtől (pl. farmer, viszkóz selyem, pamut vászón) eltekintve. A szabad felület pedig egyes szöveteknél nulla – másoknál kiemelkedően nagy. Feltételezhetően a nulla szabad felülettel rendelkező anyagok fognak jó szűrőanyagként funkcionálni, már az első kiemelkedő „pamut hurkolt kelme” is számottevő, n*10 mikrométeres lyuk-dimenzióval rendelkezik. Ez a [4]-ben említett 5-10 µm-es csepp-dimenziójú aeroszollal (ami a COVID-19 átadására képes mérettartomány) összemérhető. A mérések után nem lehet kijelenteni, hogy több rétegben a pamut vászón, vagy a hurkolt kelme ne lenne alkalmas maszknak, de feltételezhető, hogy a fenti anyagok gyengén fognak szerepelni, főleg a nagy szabad felülettel rendelkező (pl. len) anyagok.



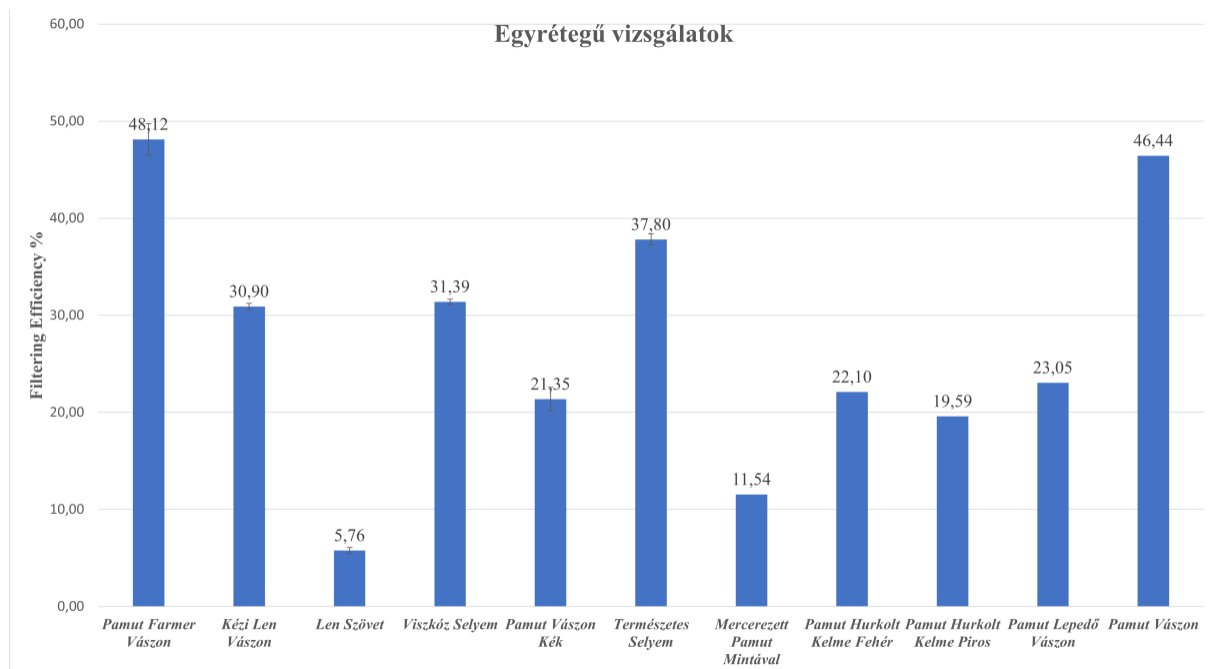
12. ábra: Mért mesh számok a vizsgált anyagokon.



13. ábra: Mért szabad felületek a vizsgált anyagokon

6.2 Részecskeáteresztő képesség eredmények

Első mérés során egy rétegben vizsgáltam az anyagokat. A mérés során elég széles skálán mozogtak a mért értékek, látszik, hogy van olyan anyag, ami rögtön kizárható a további vizsgálatok alól, messze alul maradt az elvárt értékektől. A most bemutatott mérési értékek a korábbi kvalitatív jellegű vizsgálatok mellett újszerű kvantitatív eredményeket szolgáltatnak a bemutatott anyagok kapcsán. Az ábrákon a releváns PFE értékek kerülnek bemutatásra.



14. ábra: Egyrétegű vizsgálati eredmények, kiemelve a szűrési hatékonyságot.

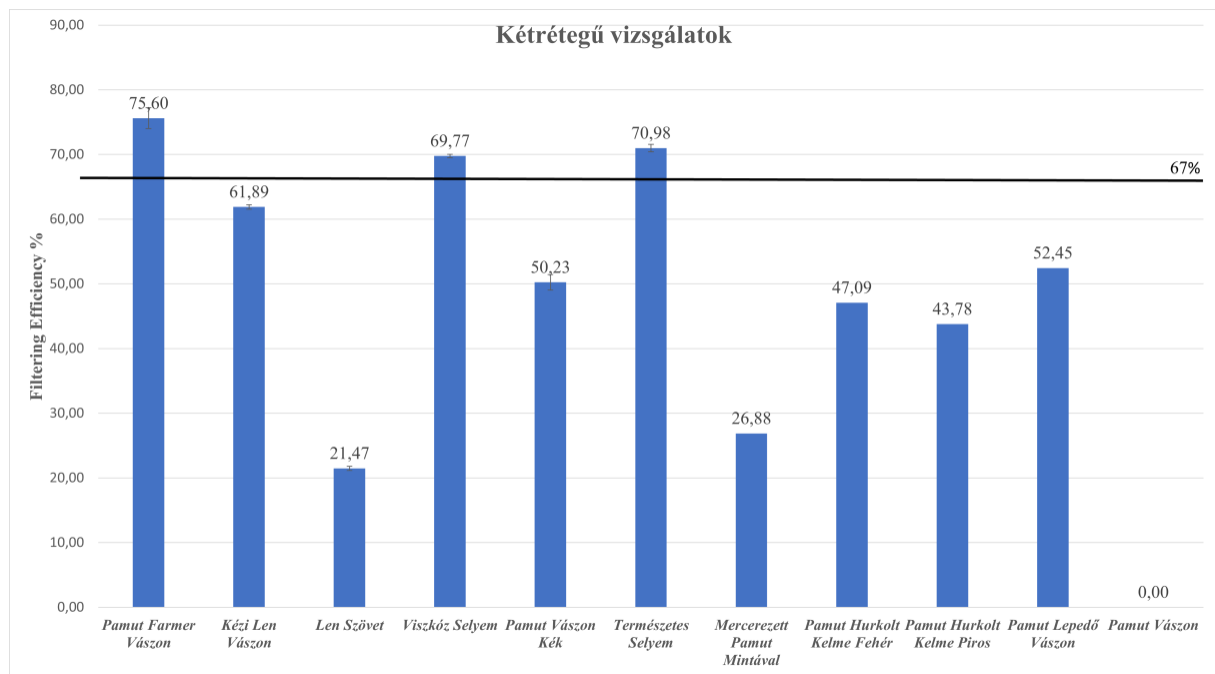
Az eredményekből látszik az 14. ábrán, hogy két-három anyag az, amely kiemelkedik az átlagból, vagy megközelíti egyáltalán a 35-40%-os szűrési hatékonyságot, aminek a kétszerese már elfogadható lehetne. A legjobban teljesítő anyag a pamut farmer vászón, aminek a mikroszkópos képéből megállapítható volt, hogy előnyös tulajdonságai lesznek, a legrosszabb pedig a len szövet, aminek szintén sejthető volt már kvalitatív módon már a mikroszkópos képéből is az eredmény. A farmer vászón durvasága miatt praktikus kérdések merülnek fel annak használhatósága vagy több rétegben való alkalmazhatósága végett. Az is látszik, hogy a vizsgált len szövet általában alkalmatlan bármiféle szűrésre, és a mercerezett, mintázott pamut is alkalmatlan maszk alapanyag. Az eredmények messze alulmaradnak akár az orvosi maszkok 67% - os szintjéhez képest is. Érdekes, hogy az 10. ábrán bemutatott tömeg eredményekkel nincs minden pontban összefüggésben az eredmény, még akkor sem, ha

általánosságban van korreláció. Hiába van nehéz szála az a kézi len vászonnak, annak szűrési hatékonysága csak közepes. A viszkóz selyem és a hurkolt pamut anyagok is jobb szűréssel bírnak a tömeg alapján várt viszonyított eredményhez képest. Az eltérést az anyag szövésében és szál-elrendezésében kell keresni. A kiemelkedőbb farmer és a pamut vászon tömeg eredménye nagyjából visszaadja a szűrési hatékonyságot.

Érdekes látni az eredmények alapján azt is, hogy a mesh szám és a szabad felület (12.-13. ábrák) nem mindig arányos az egyrétegű szűrési képességgel. Különösen érdekes eredmény, hogy a nagy szabad felülettel rendelkező "kézi len vászon" szűrési hatékonysága nem tartozik a leggyengébbek közé – de itt összefüggés van a grammsúly között, amely paramétere viszonylag magas értéket képviselt. Továbbá a mért szűrési hatékonyságból következik, hogy ezek a nagy szabad felülettel rendelkező anyagok is szűrnek valamelyest, nem jut át a lyukakon az összes részecske. Ez azt jelenti, hogy az anyagon, azaz a szövet szálain fenn tud akadni a részecskék egy adott százaléka, és valószínű a szabad felületet átfogó mikroszálak (amelyeket nehéz módszeresen karakterizálni) is képesek felfogni valamennyi részecskét. Ez utóbbi paraméter további vizsgálata nem tartozik a TDK dolgozat feladatai közé – ennek a kidolgozása külön újszerű módszertant igényelne.

Alapvetően jellemző, hogy a szabad felülettel nem rendelkező anyagok, a "pamut farmer vászon", a "viszkóz selyem", a "pamut hurkolt kelme" és a "pamut vászon" jól teljesítettek. Tehát ha a mért, nullától nagyobb szabad felület kvantitatív változásaiból nem is tudunk pontosabb következtetést levonni a jelenleg elérhető adatok alapján, az biztos, hogy a szabad felülettel nem rendelkező anyagok jobban fognak teljesíteni a szűrés során.

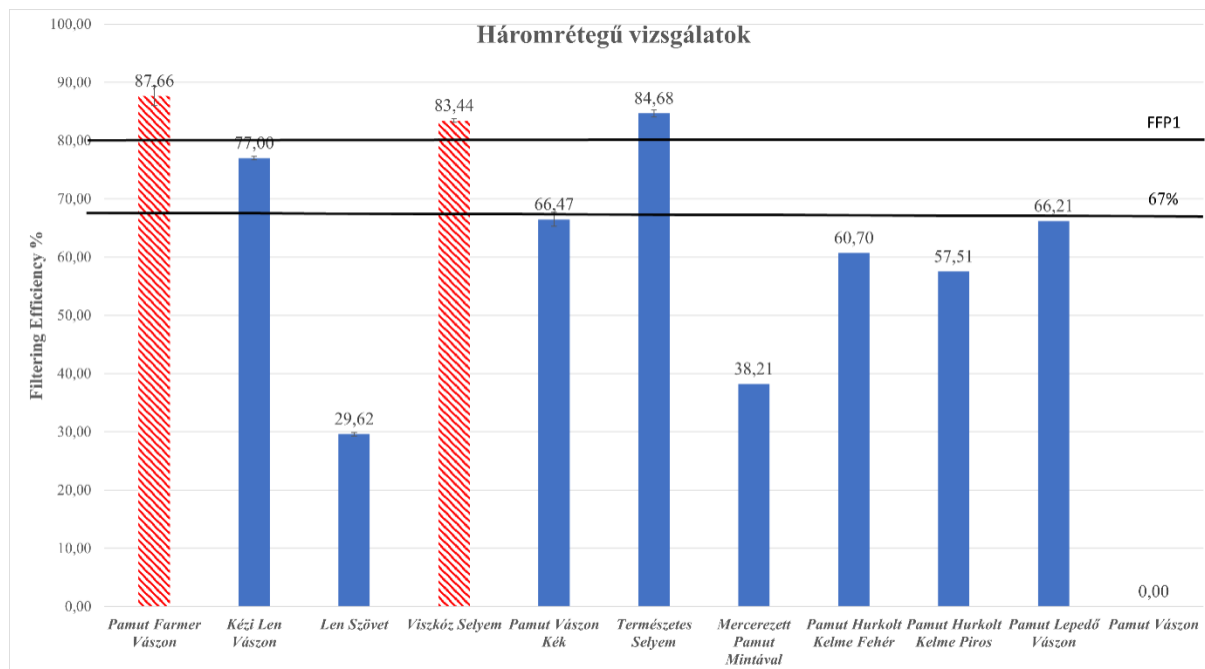
Az eredmények összhangban vannak a [7]-ben talált eredményekkel, ahol a szűrési hatékonyság 60% alatt maradt a vizsgált közösségi-kereskedelmi maszkok többségénél (amelyeket kifejezetten a védelemre terveztek).



15. ábra: Kétrétegű vizsgálati eredmények, kiemelve a szűrési hatékonyságot.

Abban az esetben, ha dupla rétegben vizsgáljuk az anyagokat (ahogy azt 15. ábra mutatja), a mért értékek javulnak, itt már vannak olyan anyagok, amik esetében az orvosi maszkok 67% - os szintje hozható. Ezt határoztam meg határértéknek. Ilyen anyag a jelenlegi értékek alapján a pamut farmer vászón, a viszkóz selyem és a természetes selyem. A legutolsó anyag, a pamut vászón, már nem tekinthető átlélegezhetőnek, a berendezés nem tudta átszívni, így ezen anyag további vizsgálatát nem folytatom – a korábbi mérések alapján az átszívásra alkalmatlan maszk anyagokat a bemutatott mérési módszer mentén nem ajánlják alkalmazásra.

Ha a további szűrési tulajdonságok javítása érdekében a rétegszámot tovább növeljük, már számolnunk kell azzal, hogy az átlélegezhetőség romlik, egészen odáig, hogy a berendezés 30 liter/perc szívási sebességét sem tudja már elérni. Ekkor a mérés INVALID és a maszkunk nem tekinthető megfelelőnek.

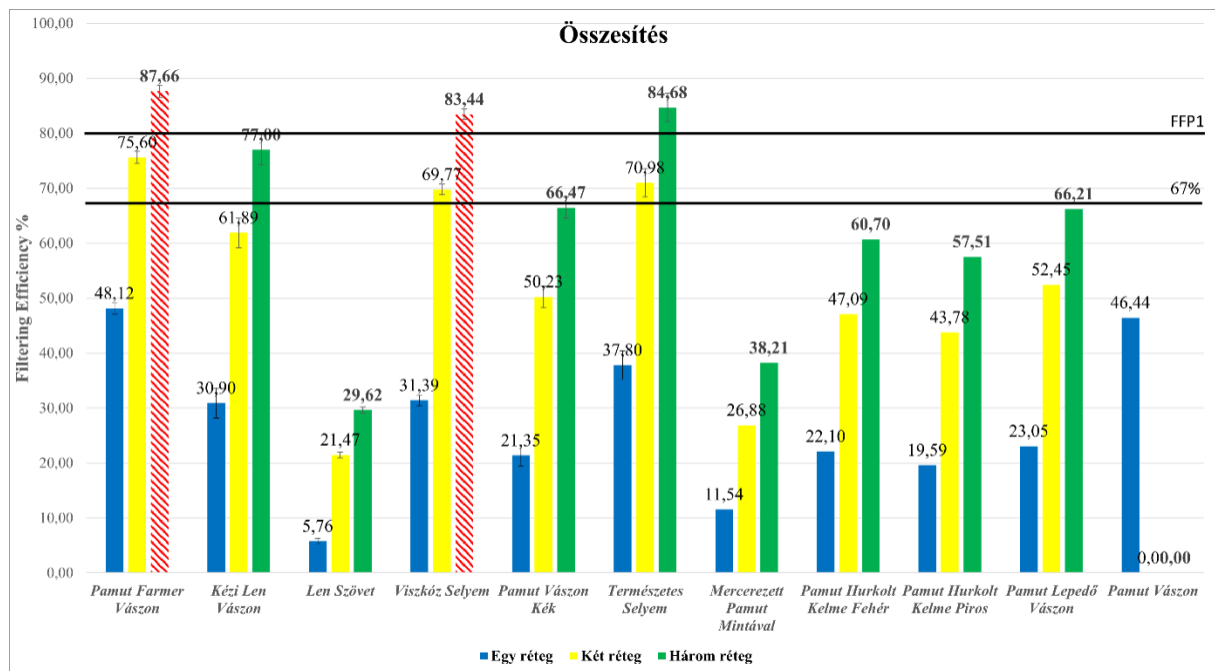


16. ábra: Háromrétegű vizsgálati eredmények, kiemelve a szűrési hatékonyságot.

Három réteg esetén (16. ábra) a pamut farmer vászon, illetve a viszkóz selyem sajnos már nem lesz átlélegezhető, pedig mindkét anyag eléri az FFP1 - es 80 % - os határt.

A kézi lenvászon három rétegnél már átlépi az orvosi maszk határát, a kék színű pamut vászon és a pamut lepedő vászon jó közelítéssel eléri a 67 % - ot. A Természetes Selyem pedig három réteg esetén megtartja az átlélegezhetőséget, és eléri az FFP1-es határt, a maga 84,68 % - val.

Kiegészítésként érdemes a mérés minőségére is kitérni: a mérés során elmondható, hogy a szórás átlagosan két százalékon alakul, tehát a mérés jól reprodukálhatónak, az anyagok pedig homogénnek tekinthetők, gyakorlatilag bárholnan preparálom a mintát a rendelkezésre álló lapokból, az eredmények a fenti számok szerint alakulnak.



17. ábra: Összesítő vizsgálati eredmények, kiemelve a szűrési hatékonyságot.

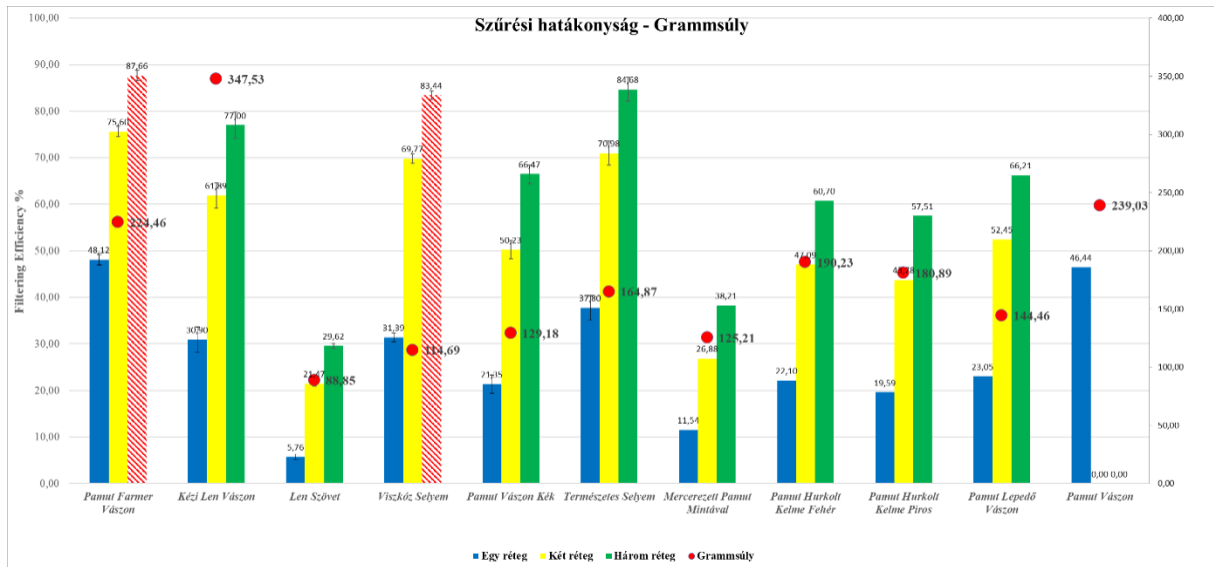
A fenti diagrammon (17. ábra) láthatjuk egymás mellett a különböző rétegek közötti összefüggéseket.

Az egy és két réteg között még nagyobb ugrás tapasztalható, átlagosan kétszeres a javulás. Viszont a két rétegről háromra való bővítés során már nem ekkora az ugrás, átlagosan 27% - os javulás tapasztalható, de már itt egyes anyagok túl vastaggá válnak a kényelmes viselethez.

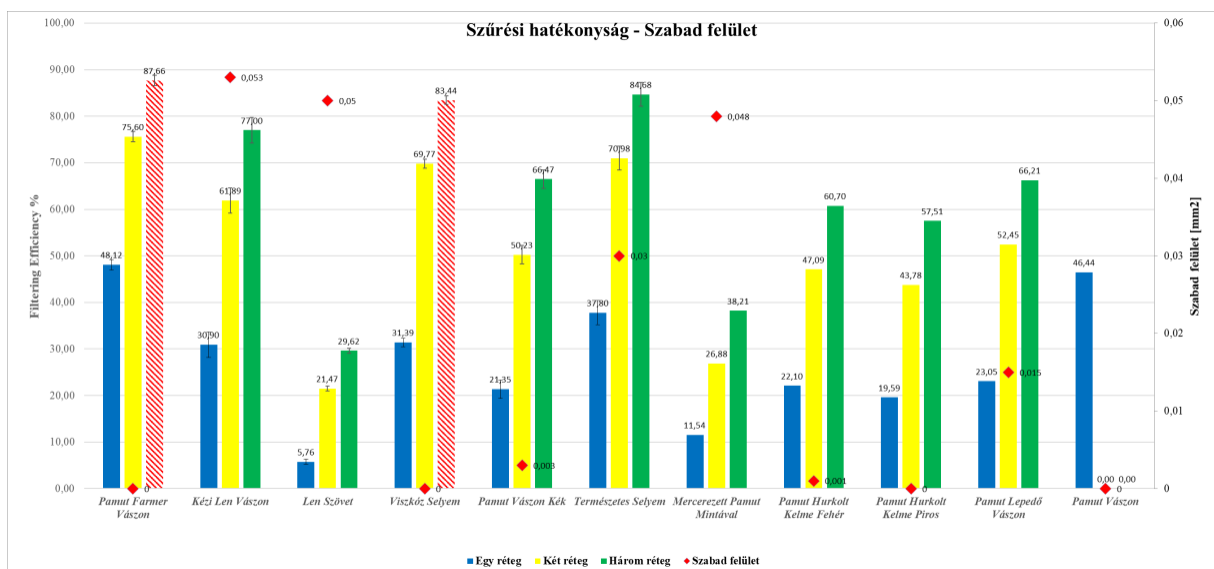
Ezt az eredményt a következővel magyarázhatjuk. A szövés minta kétszeres illesztésnél körülbelül felezi azt az effektív keresztmetszetet, ahol a minták átlélegezhetőek, illetve nagyjából kétszeresíti azt a felületet, ahol a részekécskék megakadhatnak. Természetesen a minta illesztéstől, térbeli illeszkedésétől is függhet az átszívás hatékonysága. Azonban a fenti eredmények és szórások alapján az egy-és többrétegű esetekben a szórás nem változik jelentősen. Azaz a szövetek mesh alakzata XY elcsúszás esetében X vagy Y oldalról, de megfelelő átlapolódást nyújtanak a szűrési hatékonyság javulása érdekében. A harmadik réteg ehhez már nem tud jelentősen hozzátenni, de további javulás még elérhető. Ilyenkor az összesített szűrési hatékonyság érték lebontásában megállapítható, hogy a kisebb részecskéket is nagyobb hatékonysággal fogja be az anyag. A háromrétegű anyag komplex szerkezetének vizsgálata olyan feladat, ami a jelenlegi munkában nem fért már bele az időbe, de további vizsgálatok érdekében lehet 3D szimulációt, vagy a részecskeméreték közötti összefüggéseket statisztikailag elemezni a kapott összesített hatékonysági értékekhez képest.

További rétegek vizsgálatát nem tartom szükségesnek, mivel például a len szövetből nem lehetne annyi réteget egymásra pakolni, ami már használható szűréssel rendelkezne, de még lélegezhető is marad.

A paramétertér teljes vizsgálatához készítettem két további ábrát, amelyen a gramm súlyt és a szabad felületet vetem össze a szűrési hatékonysággal. A lenti 18. és 19. ábrák megerősítik a fenti megállapításokat.



18. ábra: Szűrési hatékonyság összevetése a gramm súlyal.



19. ábra: Szűrési hatékonyság összevetése a szabad felülettel

7. Következtetések

Összességében elmondhatom, hogy a jelenleg bemutatott mérési módszer alkalmas a különböző olcsó ruhaanyagok kvalitatív és kvantitatív szűrési hatékonyság vizsgálatára.

Elmondhatom, hogy a kétszeres rétegvastagság nagyjából kétszeres hatékonyságnövekedést okoz, a háromszoros rétegezéssel viszont már gyakorlati problémák adódnak. A természetes selyem, valamint a viszkóz selyem, illetve a kézi len vászon javasolt kétszeres-háromszoros rétegelhelyezésben maszkanyagnak, a többi módszer esetében az orvosi maszk szintjét sem érjük el.

További vizsgálatok során 4, illetve több réteg vizsgálatát nem tartom szükségesnek.

8. Továbblépési lehetőségek

Továbblépésként lehetne a különböző anyagok kombinálásának lehetőségeit vizsgálni, például az FFP2-es maszk is több réteg felhasználásával készül. Sajnos a kombinációk elvégzésre a TDK munka keretein belül nem volt idő, de a paramétertér szűkítésével, és az ígéretesebb anyagok kiválogatásával a munka tovább vihető belátható időn belül elvégezhető munkamennyiség mellett.

Mivel a nagy szűrési hatékonysággal rendelkező anyagok kombinálásával ugyan úgy az átlélegezhetőség kerül veszélybe, elképzelhetőnek tartok olyan mérési elrendezést, ahol a rosszabb és jobb tulajdonságokkal rendelkező anyagok kombinálhatóságára fókuszálnánk. Felmerül kérdésként, hogy az alapvetően rossz szűrési tulajdonságokkal rendelkező anyag, tud-e még jobbá tenni, egy már önmagában is jobb szűrésű anyagot.

Másik továbblépési lehetőség, hogy egy nagyobb mintatartó alkalmazásával, ahol minden paramétert megtartunk, tehát az O gyűrű, a csatlakozás változatlan értékű, csupán a külső méreteit növelnénk meg, a maszkok vizsgálhatóvá válnának roncsolásmentes módon. Viszont ez a jelenlegi, publikált és elfogadott mérési módszer megváltoztatásával járna.

Továbbá a maszkok egyéb paramétereinek vizsgálata is szóba jöhet, például a szivárgás kérdése. Feltehetőleg a kézzel készített maszkok alakja jobban illeszkedik az arc vonalához, mint mondjuk az orvosi maszkok esetében, tehát egy jól megválasztott anyagból készült maszk esetén, ami szűrési tulajdonságaiban is megfelelő az orvosi maszk szintjének, de a jobb illeszkedés miatt akár eredően jobb hatásfokot érhetünk el. Ennek vizsgálata egy új mérési elrendezéssel bizonyítható vagy cáfolható lenne. A méréshez rendelkezésre áll egy erre a célra készített fejmodell a tanszéki infrastruktúrában, viszont itt nem volna elég az anyagmintákat vizsgálni, hanem konkrét maszkokat kellene készíteni, ahol a maszk formája is befolyásolhatja a szivárgást és átlélegezhetőséget.

Jövőbeli cél lehet az anyagok mosását követően a különböző mosások hatásának feltérképezése a szűrési érték degradációk szempontjából – ebben komoly publikációs lehetőségeket is sejtek [16].

9. Összefoglalás

TDK dolgozatomban egy újszerű mérési módszert alkalmaztam egy társadalmat magas szinten érintő kérdésben, amely során olcsó, elérhető, adott esetben zöld módon újra felhasználható ruhaanyagokat vizsgáltam maszk alapanyagként, amely a COVID-19 járvány idején sok esetben alkalmazott ruhaalapú megoldásokat minősítheti kvalitatív és kvantitatív módon. A mérés alatt megismerkedtem 11 féle a kereskedelemben vagy akár a háztartásban elérhető anyag típusokkal, azok fizikai paramétereivel, majd pedig egy-, kettő- és három rétegben való mérés során megkaptam a válaszokat a vizsgálódást elindító kérdéseinkre.

Tehát létezik olyan ruhaipari anyag, amelyet megfelelő rétegszámban alkalmazva akár az FFP1 – es szabvány 80 % - os értéket is képesek vagyunk elérni. Ez az anyag a vizsgát természetes selyem volt, amely 3 réteg alkalmazása esetén 84,68 % - os szűrési hatékonyság érhető el és még így is átlélegezhető marad.

Ha csak az orvosi maszkok szintjét szeretnénk elérni, ott több lehetőségünk is akad, a természetes selyem 2 rétegben 70,98 % - os szűréssel meghaladja a szükséges 67 % - ot, de 2 réteg alkalmazása esetén a pamut farmer vászon 75,6 % - ot; a viszkóz selyem 69,77 % - ot tud elérni.

Ha 3 réteget alkalmazunk ott a kézi len vászon mondható 77 % - kal megfelelőnek, az orvosi maszkhoz viszonyítva, de jó közelítéssel talán elfogadható a nálam kék színnel festett pamut vászon (66,47%) és a pamut lepedő vászon (66,21%). (A pontosabb anyagi jellemzést a dolgozat tartalmazza.)

Megállapítható, hogy nem minden esetben egyértelmű az összefüggés a grammsúly, a szabad felület, a mesh szám és az átszűrési képesség között. Azt egyértelműen megállapítottam, hogy a szabad felülettel nem rendelkező anyagok általánosan jobb szűrőanyagok.

Összefoglalva a kézzel készített maszkok gondosan kiválasztott anyagok mellett képesek legalább az orvosi maszkok szintjét elérni. Viszont általánosságban elmondható, hogy az otthon, kommersz ruhaanyagokból előállított egyrétegű maszkok nem alkalmasak még a gyengébb szabvány szerinti szűrésre sem. Ezek alkalmazása kerülendő, ha van jobb megoldás elérhető közelségben. Ugyanakkor az irodalom és a WHO ajánlásai [17] alapján a gyenge szűrésű anyagot is jobb alternatívának mondhatjuk, mint azt, ha valaki egyáltalán nem vesz fel maszkot a járvány kritikus pillanataiban.

10. Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék nyilvánítani a tanszékvezetésnek, hogy elérhetővé tették számomra a berendezés használatát, és köszönetet szeretnék mondani Rumi Tamásnak, a VIK Dékáni Hivatal munkatársának, aki az anyagbeszerzésben nyújtott elengedhetetlen segítséget.

11. Irodalomjegyzék

- [1] Kar Keung Cheng, Tai Hing Lam, Chi Chiu Leung, Wearing face masks in the community during the COVID-19 pandemic: altruism and solidarity, *The Lancet*, April 16, 2020, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30918-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30918-1)
- [2] Balázs Illés, Péter Gordon, Filtering efficiency measurement of respirators by laser-based particle counting method, *Measurement*, Volume 176, 2021, 109173, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109173>
- [3] A. Bałazy, M. Toivola, A. Adhikari, S.K. Sivasubramani, T. Reponen, S.A. Grinshpun Do N95 respirators provide 95% protection level against airborne viruses, and how adequate are surgical masks? *Am. J. Infect. Control.*, 34 (2006), pp. 51-57, <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2005.08.018>
- [4] Caitlin M. Dugdale, Rochelle P. Walensky, Filtration Efficiency, Effectiveness, and Availability of N95 Face Masks for COVID-19 Prevention, *JAMA Intern Med.* 2020; 180(12):1612-1613. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2020.4218>
- [5] Li T, Liu Y, Li M, Qian X, Dai SY (2020) Mask or no mask for COVID-19: A public health and market study. *PLOS ONE* 15(8): e0237691, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237691>
- [6] Chughtai AA, Seale H, Macintyre CR. Effectiveness of cloth masks for protection against severe acute respiratory syndrome coronavirus 2. *Emerg Infect Dis* 2020 Oct, <https://doi.org/10.3201/eid2610.200948>
- [7] Lukas Maurer, Davide Peris, Jens Kerl, Frank Guenther, Dieter Koehler, and Dominic Dellweg. *Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery.* Feb 2021.11-19, <http://doi.org/10.1089/jamp.2020.1635>
- [8] Kin-Fai Ho, Lian-Yu Lin, Shao-Ping Weng, Kai-Jen Chuang, Medical mask versus cotton mask for preventing respiratory droplet transmission in micro environments, *Science of The Total Environment*, Volume 735, 2020, 139510, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139510>
- [9] S. Rengasamy, A. Miller, B.C. Eimer Evaluation of the filtration performance of NIOSH-approved N95 filtering facepiece respirators by photometric and number-based test methods *J. Occup. Environ. Hygiene*, 8 (2011), pp. 23-30, <https://doi.org/10.1080/15459624.2010.515556>

- [10] S.C. Kim, M.S. Harrington, D.Y.H. Pui, Experimental study of nanoparticles penetration through commercial filter media, in: A.D. Maynard, D.Y.H. Pui (Eds.), Nanotechnology and Occupational Health. Springer, Dordrecht, 2006.
https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5859-2_12
- [11] C. Kuang, M. Chen, P.H. McMurry, J. Wang Modification of laminar flow ultrafine condensation particle counters for the enhanced detection of 1 nm condensation nuclei Aerosol Sci. Technol., 46 (2012), pp. 309-315,
<https://doi.org/10.1080/02786826.2011.626815>
- [12] Smart Air: Comparison of Mask Standards, Ratings, and Filtration Effectiveness
Link: <https://smartairfilters.com/en/blog/comparison-mask-standards-rating-effectiveness/> elérés dátuma: 2021.10.26
- [13] Diamantné Kovács Zsófia: Kelmék összetétele, fajtái, tulajdonságai I. Link:
https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/10_1305_001_100915.pdf
elérés dátuma: 2021.10.26
- [14] K-elme, Textile Online Professional, Hogyan értelmezd a Grammsúlyt helyesen?
Link: <https://k-elme.com/grammsuly> elérés dátuma: 2021. 10.26.
- [15] Machinery Lubrication, Automatic Particle Counters for Fluid Contamination Control, Noria Corporation, Link:
<https://www.machinerylubrication.com/Read/351/particle-counters>, elérés dátuma: 2021. 10. 26.
- [16] Concetta Pironti, Oriana Motta, Antonio Proto, Development of a new vapour phase methodology for textiles disinfection, Cleaner Engineering and Technology, Volume 4, 2021, 100170, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100170>
- [17] WHO, When and How to Use Masks, Link:
<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/when-and-how-to-use-masks>, elérés dátuma: 2021. 10. 26.