10.13147/SOE.2019.013

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Dudás Tünde

Soproni Egyetem

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

Sopron

2019

10.13147/SOE.2019.013

Doktori (PhD) értekezés

Soproni Egyetem

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Vezető: Prof. Dr. Csóka Levente egyetemi tanár

Doktori program: Rosttechnikai és nanotechnológiai tudományok

Programvezető: Dr. Csóka Levente

Tudományág: Anyagtudomány és technológiák

Textíliákra felvitt ezüst mennyiségének változása használat során

Készítette: Dudás Tünde

Témavezető: Dr.Szücs Iván CSc.

nyugalmazott főiskolai tanár

Sopron

2019

10.13147/SOE.2019.013

Textíliákra felvitt ezüst mennyiségének változása használat során

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Soproni Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák
Doktori Iskolája

Rosttechnikai és nanotechnológiai tudományok programja

Írta:
Dudás Tünde
Készült a Soproni Egyetem Cziráki József Doktori Iskola

Rosttechnikai és nanotechnológiai tudományok programja keretében

Témavezető: Dr.Szücs Iván
Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton …..... % -ot ért el,

Sopron, …..... …….....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr. …..... ….....) igen /nem
(aláírás)

Második bíráló (Dr. …..... ….....) igen /nem
(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr. …..... ….....) igen /nem
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján….....% - ot ért el

Sopron, 2019.

……..
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése….....

……..
Az EDHT elnöke

10.13147/SOE.2019.013

NYILATKOZAT

Alulírott Dudás Tünde, jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a(z) **Textíliákra felvitt ezüst mennyiségének változása használat során*** című PhD értekezésem önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény szabályait, valamint a Cziráki József Doktori Iskola által előírt, a doktori értekezés készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.[i]

Kijelentem továbbá, hogy az értekezés készítése során az önálló kutatómunka kitétel tekintetében témavezető(i)met, illetve a programvezetőt nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy az értekezést nem magam készítettem, vagy az értekezéssel kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem megtagadja az értekezés befogadását.

Az értekezés befogadásának megtagadása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2019.04.24.

……..

doktorandusz

*A dolgozat munkacíme: Polimerekre felvitt ezüst mennyiségének változása használat során

[i] 1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1) A mű részletét – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

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

10.13147/SOE.2019.013

KIVONAT

Dudás Tünde

Textiliákra felvitt ezüst mennyiségének változása használat során

c. doktori (Ph.D.) dolgozatából

A kutatásom a polimerek széles alkalmazási területének egy jól körülhatárolt részével, az ezüstözött textíliákkal foglalkozik.

Kutatásom célja a kereskedelemben kapható ezüstözött textíliák ezüsttartalmának meghatározása, antimikrobiológiai hatásának vizsgálata, illetve a textíliák mosási ciklusainak ezekre gyakorolt hatásának tanulmányozása volt.

Közvetlen kutatási célom, hogy munkám során olyan módszert dolgozzak ki, amivel összehasonlíthatóvá válnak az ezüstözött textíliák és egyszerűen meg tudjuk állapítani a kelmén levő ezüst mennyiségét. Célul tűztem ki, továbbá, olyan új vizsgálati eljárásnak a kidolgozását, amely lehetővé teszi a textíliák tömegre, vagy felületre vetített ezüsttartalmának közvetlen meghatározását.

A munkában kidolgozásra került két innovatív módszer, amikről a szakirodalomban még említés nem találtam ez a: fonalakon levő ezüst leválasztásának módszere és a kelméken levő ezüst mennyiségének kimutatása fémdetektor segítségével.

A kutatásban 8 különböző kereskedelmi forgalomban kapható ezüstözött kelme szerepelt. Számos, változatos módszert alkalmaztam az antimikrobás hatás kimutatására, a textíliákon található ezüst kimutatására, mennyiségének meghatározására. Összefüggéseket kerestem a különböző vizsgálati módszerek eredményei között. Vizsgálataimat mosás előtt és különböző mosási ciklusok után végeztem.

Kutatásom során, kollégáim segítségével, létrehoztam egy textilipari fémdetektort, mellyel vizsgálható a kelmén levő ezüst mennyiségének változása. Az általam megépített mérőberendezés lehetőséget biztosít a textíliákon található 5 mg/kg feletti ezüstmennyiség kimutatására. A berendezés roncsolásmentes vizsgálatra alkalmas, könnyű, hordozható készülék.

10.13147/SOE.2019.013

ABSTRACT OF Ph.D. DISSERTATION

Tünde Dudás

Changes in the amount of silver applied on textiles over usage

My research is focused on a well-defined sector of the wide range of usage of polymers: silver coated textiles.

The goal of my research is to determine the amount of silver in commercially available silver coated textiles, to examine their antimicrobial effects and to analyze the impact of washing cycles on these two qualities.

My direct research goal is to develop a method with which different silver coated textiles could be compared and with which the amount of silver on the textile can be easily determined. My further goal is to develop a new method that can determine the amount of silver on textiles on mass or on surface.

In the work two innovative methods were developed, which had not been mentioned in previous studies: a method to remove silver from fibers and a method to determine the amount of silver using a metal detector.

Eight commercially available textiles were included in the study. Several methods were used to detect the antimicrobial effects, to detect the presence of silver and determine its amount. I also looked for correlations among the results I got from the different methods. The analyses were performed before and after washing cycles.

During my research, with the help of my colleagues, I developed a metal detector for use in the textile industry that can be used to examine the change in the amount of silver on textiles. The tool that I developed can detect the presence of silver above 5 mg/kg. The device is capable of non-distructive testing, it is light and mobile.

TARTALOMJEGYZÉK

1. DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMÁJA 5

1.1 DOKTORI ÉRTEKEZÉS CÉLJA 6
1.2 A KUTATÁS MÓDSZERE 7
1.3 DOKTORI ÉRTEKEZÉS FELADATAI 8

2. ELŐZMÉNYEK 9

2.1 POLIMEREK 9
2.2 AZ EZÜST FELHASZNÁLÁSA A GYÓGYÁSZAT TERÜLETÉN 10
2.3 KORUNK EZÜSTTEL KEZELT TERMÉKEI 13
2.4 NANOTECHNOLÓGIA, NANO RÉSZECSKÉK 14
2.5 ELEKTROMOSSÁGOT VEZETŐ FÉMEZETT TEXTÍLIÁK 15
2.6 EZÜSTÖZÖTT TEXTÍLIÁK ELŐÁLLÍTÁSA 17
2.7 EZÜSTÖZÖTT TEXTÍLIÁK ALKALMAZÁSA A GYÓGYÁSZATBAN 21
2.8 AZ EZÜST HATÁSA AZ EMBERRE 24
2.9 AZ EZÜST HATÁSMECHANIZMUSA 28
2.10 AZ EZÜST ANTIBAKTERIÁLIS HATÁSA A TEXTÍLIÁKON 32
2.11 NANORÉSZECSKÉKKEL SZEMBENI BAKTERIÁLIS REZISZTENCIA ÉS MUTÁCIÓ 36
2.12 AZ EZÜSTÖZÖTT TEXTÍLIÁK ÉLETCIKLUSA 37
2.13 AZ EZÜST KÖRNYEZETI HATÁSAI 38
2.13.1 Az ezüst kimosódása az ezüstözött kelmékről 39
2.13.2 Silver Nano ™ mosógépek 42
2.13.3 Ezüst a vízben 43

3. VIZSGÁLAT TÁRGYA ÉS MÓDSZEREI 46

3.1 VIZSGÁLAT ANYAGAI 47
3.2 MOSÁS 50
3.2.1 Mosás körülményei 1. 50
3.2.2 Mosás körülményei 2. 51
3.3 KOPTATÁS 52
3.4 MÉRÉSEK ÉS KONDICIONÁLÁS KÖRÜLMÉNYEI 52
3.5 VIZSGÁLATI MÓDSZEREK 53
3.5.1 A textíliák fajlagos ezüsttartalmának meghatározása (ICP-MS) 53
3.5.2 Ezüst detektálása a textílián röntgen fluoreszcenciával (XRF) 54
3.5.3 Ezüst mennyiségének vizsgálata az ezüst leválasztásának módszerével 54
3.5.4 Pásztázó elektronmikroszkóp energiadiszperzív röntgen-analizátorral (SEM-EDX vizsgálat) 55
3.5.5 Az ezüstözött kelmék szerepe az egészség megőrzésében 57
3.5.6 Ezüstözött kelmék antimikrobás hatásának vizsgálata 57

3.5.7 Elektromos ellenállás vizsgálat 63

3.5.8 Az ezüstözött textíliákon levő ezüst kimutatása fémdetektálási módszerrel 65

4. VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI 70

4.1 A TEXTÍLIÁK FAJLAGOS EZÜSTTARTALMÁNAK MEGHATÁROZÁSA (ICP-MS) 70

4.2 EZÜST DETEKTÁLÁSA A TEXTÍLIÁN RÖNTGEN FLUORESZCENCIÁVAL (XRF) 74

4.3 EZÜST MENNYISÉGÉNEK VIZSGÁLATA AZ EZÜST LEVÁLASZTÁSÁNAK MÓDSZERÉVEL 76

4.4 PÁSZTÁZÓ ELEKTRONMIKROSZKÓP ENERGIADISZPERZÍV RÖNTGEN-ANALIZÁTORRAL (SEM-EDX VIZSGÁLAT) 82

4.5 AZ EZÜSTÖZÖTT KELMÉK SZEREPE AZ EGÉSZSÉG MEGŐRZÉSÉBEN 94

4.5.1 Ezüstözött kelmék antimikrobás hatásának vizsgálata 97

4.6 ELEKTROMOS ELLENÁLLÁS VIZSGÁLAT 106

4.7 AZ EZÜSTÖZÖTT TEXTÍLIÁKON LEVŐ EZÜST KIMUTATÁSA FÉMDETEKTÁLÁSI MÓDSZERREL 108

5. ÖSSZEFOGLALÁS 111

6. TOVÁBBI LEHETSÉGES KUTATÁSOK 112

7. KUTATÓMUNKA TÉZISEI 115

8. IRODALOMJEGYZÉK 119

9. MELLÉKLETEK 125

1. Doktori értekezés témája

A kutatásom a polimerek széles alkalmazási területének egy jól körülhatárolt részével, az ezüstözött textíliákkal foglalkozik. A kutatás fő témaköre a következő kérdés köré szerveződik:

Rendelkeznek-e a kereskedelmi forgalomban kapható ezüstözött textíliák, használatba vételük előtt, azokkal a tulajdonságokkal, amiket a vásárlók tőlük elvárnak?

Változnak-e és milyen mértékben az ezüstözött textíliák tulajdonságai a természetes használat során?

Az ezüstözött textíliák felhasználóinak, vásárlóinak elvárásait a gyártók ajánlásai alapján kérdőívvel térképeztük fel. (1. melléklet) A kutatásban 100 vásárló, 30 férfi és 70 nő válaszolt a kérdőív kérdéseire.

A forgalmazó által leírt ajánlásban [1] a következők szerepelnek:

-lábfertőzések és
- neurodermatitis esetén,
- lábszagkeltő baktériumok ellen,
- keringési problémák megszűntetésére,
- gombák szaporodásának meggátolására
- sportoláshoz
- lábdagadás és lábfázásos tünetetekre
- cukorbetegek részére

1. ábra Relaxan gyártó cimkéje

A Relaxan gyártó cimkéjén hasonó jellemzések találhatóak (1. ábra).

A kérdőív értékelése azt mutatta, hogy a megszólítottak döntő többsége elvárja, hogy az ezüstözött zokni megölje a gombákat és a baktériumokat, megakadályozza a lábszagot. A többi tulajdonság mindössze a fogyasztók 5-10% számára jelentős. A vásárlók 60%, a férfiak 80%, a nők 50%-a van tisztában azzal, hogy az ezüstözött zokni elektromos vezető lehet. (2. melléklet)

A felhasználók elvárásait figyelembe véve, az ezüstözött textíliák tulajdonságainak változásait a használat során az antibakteriális hatás változására fókuszálva vizsgáltam.

Vizsgálataim az alábbi területekre terjedtek ki:

-az ezüstözött textíliákon levő ezüst mennyiségének meghatározása

-az ezüst mennyiségének és az antibakteriális hatás összefüggésének meghatározása

-az ezüst mennyiségének és az antibakteriális hatás változásának meghatározása használat során.

A textíliákat használatuk során, rendkívül sok igénybevétel pl: húzó igénybevétel, hajlítás, csavarás, súrlódás, száraz és nedves dörzsölés, hőhatás, stb. és ezen hatások kombinációja érheti.

1.1 Doktori értekezés célja

A vizsgálatok leszűkítése érdekében a munkámban az ezüstözött textíliák mosási igénybevételét vizsgáltam (mosási körülmények részletes leírása a Mosás fejezetben található). A mérések során nem vizsgáltam az ezüst felvitelének módját, az ezüst részecskék méretét és alakját, csupán a kereskedelmi forgalomban kapható termékek ezüst mennyiségét vizsgáltam vásárláskor és mosások, néhány esetben koptatás után (koptatási körülmények részletes leírása a Koptatás fejezetben található).

Célul tűztem ki magamnak az ezüstözött textíliákon levő ezüst mennyiségének mérésére alkalmas, roncsolásmentes mérési módszer kidolgozását.

Az irodalmi előzmények tanulmányozása alapján kutatásom célja a kereskedelemben kapható ezüstözött textíliák ezüsttartalmának meghatározása, antimikrobiológiai ellenálló képesség vizsgálata és a textíliák mosási ciklusainak ezekre gyakorolt hatásának tanulmányozása volt.

Közvetlen kutatási célom, hogy munkám során olyan módszert dolgozzak ki, amivel összehasonlíthatóvá válnak az ezüstözött textíliák és egyszerűen meg tudjuk állapítani a kelmén levő ezüst mennyiségét.

Célul tűztem ki, olyan vizsgálati eljárásnak a kidolgozását, amely lehetővé teszi a textíliák tömegre vagy felületre vetített ezüsttartalmának meghatározását. Az eddig ismert roncsolásos vizsgálatok, égetés, savakban, lúgokban való oldás kiváltását terveztem és a roncsolásmentes vizsgálatokat részesítettem előnyben. A munkámban kidolgozásra került két innovatív módszer, amire a szakirodalomban említést nem találtunk:

-a fonalakon levő ezüst leválasztásának módszere

-a kelméken levő ezüst mennyiségének kimutatása fémdetektor segítségével.

A kutatásban 8 különböző kereskedelmi forgalomban kapható ezüstözött kelme szerepelt, ebből a gyártó leírása szerint 4 minta nanoezüstözött, 3 minta ezüstözött fonalat tartalmazott, 1 minta a felületén ezüstözött. A vizsgálatok során a magas költségek miatt,

az ésszerűség határain belül szelektáltuk a vizsgált mintákat, valamint a vizsgálati módszereket.

1.2 A kutatás módszere

Mivel az ezüstözött textíliák ezüsttartalma mg/kg nagyságrendű a vizsgálati módszerek kiválasztása külön odafigyelést igényelt.

A nanoezüstözött és az ezüst bevonatot tartalmazó fonalakból készült kelméket egyaránt megvizsgáltuk SEM-EDX[1] módszerrel, megfelelő mintaelőkészítés után, ICP-MS[2] készülékkel mértük az ezüst mennyiségét, savas leoldási procedúra kidolgozását követően. Olyan mosási kísérletet dolgoztunk ki, ami lehetővé teszi az ICP-MS méréseket mosás után. Mikrobiológiai és elemanalitikai módszerrel vizsgáltam, hogy a mosások során változik-e a textíliák ezüsttartalma, és az egyes mosási ciklusok után milyen mértékben változik antimikrobás hatásuk.

A mintakelmék antimikrobás hatását több módszer segítségével vizsgáltam és a vizsgálatokat mosási ciklusok után, összehasonlításképpen megismételtem.

Az ezüst bevonatot tartalmazó fonalból készült kelmék ellenállását, vezetőképességét tudtam vizsgálni, az ezüstöt elektrolízissel leválasztottam a fonalról. Megvizsgáltam a kelmét és megvizsgáltam az elektrolit oldat vezetőképességének változását elektrolízis közben.

A mérések céljára kidolgoztam egy új mérőberendezést, ennek segítségével detektálható a textíliákon levő fém mennyiségének változása. Spektroszkópiával kiegészítve, a fém fajtájának pontos meghatározására szolgáló megbízható adatokat tudok adni arra vonatkozólag, hogy a mosások között, különböző hatások eredményeképpen hogyan változik a fém (ezüst) mennyisége a textílián.

A munka tartalmazza a téma történeti áttekintését, az ezüstözött textíliák témakörében a publikált tudományos munkák összefoglalását, valamint ezen kívül a mérési és detektálási módszerek leírását, a mérések eredményeit, egyben az általunk kidolgozott speciális fémdetektor leírását.

1.3 Doktori értekezés feladatai

1. Az ezüstözött textíliák területéhez tartozó szakirodalom felkutatása, az eddigi kutatási eredmények összegzése
2. Textilipari tanulmányokon keresztül az ezüstözött textíliák bemutatása,
3. az ezüstözött textíliák az emberre, a környezetre gyakorolt hatásának bemutatása szakirodalom alapján
4. Az ezüstözött textíliák előállításának áttekintése szakirodalom alapján
5. A kutatás keretein belül minél több egyszerű, könnyen elérhető módszerrel megvizsgálni a kereskedelmi forgalomban elérhető ezüstözött textíliákat.
6. Olyan mosási módszerek kidolgozása, amik lehetővé teszik a mosott ezüstözött textíliák vizsgálatait.
7. Olyan egyszerű mérési módszer, berendezés kidolgozása, ami lehetővé teszi az ezüstözött textíliákon levő ezüst mennyiségének mérését roncsolásmentesen, bárki számára.
8. A vizsgálat eredményeit összehasonlítva következtetéseket levonni az ezüstözött textíliák ezüst mennyiségének változásait illetőleg.

2. Előzmények

2.1 Polimerek

Polimereket a hétköznapi élet számos területén használják (elektromos ipar, belsőépítészet, konyhatechnika, stb.). Dolgozatomban ismertetem a textiliparban használt polimerek, azok közül is a leggyakrabban ezüstözésre használt poliamid (PA), poliészter (PES) és a pamut alapanyag antimikrobás tulajdonságait, amik a dolgozatom szempontjából fontosak.

Polimernek azokat a kémiai vegyületeket nevezzük, amelyek nagyszámú, egy vagy többfajta, azonos típusú atomcsoportból, úgynevezett monomer egységből épülnek fel és ezeket az építőelemeket primer kémiai kötések kapcsolják össze, az így létrehozott anyagok új tulajdonságokkal rendelkeznek.

Más definíció szerint a polimerek óriásmolekulákból felépülő szerves eredetű anyagok. Eredet szerint feloszthatjuk őket: természetes és mesterséges eredetű polimerekre.

A természetes eredetű polimerek olyan kémiai vegyületekből állnak, melyeket organizmusok állítanak elő pl. a rostok, bőr, fa. A rostok hosszirányban elnyújtott kis keresztmetszetű anyagok, amelyeknek molekulái, vagy alkotó részei párhuzamos elrendezésűek, és ezért jó a hajlító és a szakítószilárdságuk, a textilipar alapanyagaiként használjuk fel őket.

Ismerünk természetes, növényi, állati és ásványi eredetű szálas anyagokat, valamint természetes eredetű (pl. cellulózból, fehérjéből) mesterségesen előállított szálakat.

A természetes polimerek ezüstözése jellemzően felületi.

A munkám során pamutszálakból készült mintadarabokkal dolgoztunk. A pamutszálak – az elemi szálak - szálhosszúsága 10-60 mm közötti. Keresztmetszetében öt réteget különböztethetünk meg: viaszréteg, kutikula, sejtfal, bélhártya, bélüreg. A viaszréteg a nedvességtől védi a szálakat. A kutikula a hosszirányú növekedés első szakaszában fejlődik ki, vastagsága max. 1 mikron. A sejtfal a fejlődés második szakaszában alakul ki. Rétegesen elhelyezkedő cellulóz gyűrűkből áll. A fa évgyűrűihez hasonló szerkezet úgy jön létre, hogy nappal a fény hatására gyorsan fejlődik a cellulóz, éjszaka a fejlődés lelassul, megáll, majd másnap ismét elkezdődik. A bélhártya és a bélüreg nem jelentős. Ha az elemiszálakat mikroszkóp alá helyezzük, láthatjuk, hogy megvastagodott szélű, csavarodott szalaghoz hasonlít. A csavarodottság a tok felpattanása után a szálak száradásának eredménye. A maghéjról leszakított alsó vége szabálytalanul nyitott, a másik csúcsra zárt, szimmetrikus. Az érett szál erősen csavarodott, az éretlen pamut csavarodottsága alig látható. Az érettség a szekunder fal vastagságától függ. Az éretlen vagy holt pamutszál fala nem fejlődik ki, az

átlagosnál vékonyabb lesz. A pamutszálak tulajdonságai sokban függnek a gyapot érettségi fokától, a szálakon levő viaszréteg vastagságától.

A pamut szálak a penészgombákra, baktériumokra érzékenyek.[2]

A mesterséges polimerek a vegyipar által előállított szerves vegyületek. Az óriásmolekulákat (polimereket) kismolekulákból az un. monomerekből állítják elő polimerizációval, polikondenzációval vagy poliaddícióval.

A mesterségesen előállított szálasanyagok ezüstözése lehet felületi vagy anyagában ezüstözött.

A polimerizáció során a monomerek kettőskötéseinek aktiválásával létrehozott reakcióképes vegyértékek hozzák létre a polimert. A polimerizációval láncmolekulás szerkezet alakul ki. Így állítják elő pl. a polietilent (PE), a polipropilént (PP), a polivinilcloridot (PVC), a polisztirolt (PS), a politetrafluoretilent a (PTFE), poliakril-nitril (PAN), poliamid 6 (PA 6)[3], stb.

A polikondenzáció esetében a monomerek legtöbbször víz képződés mellett kapcsolódnak össze. pl. a poliamid 6.6 (PA 6.6), a polikarbonát (PC), a polietiléntereftalát (PET), poliészter (PES).

A poliaddicióban a kapcsolódást funkciós csoportok hozzák létre. pl. poliuretán PUR, epoxigyanták stb.

A kereskedelmi forgalomban a legelterjedtebb az ezüstözött poliamid (PA) valamint a poliészter (PES), biológiai ellenálló képességük jó, a PA és a PES gombákkal és rothadást okozó baktériumokkal szemben ellenálló.

2.2 Az ezüst felhasználása a gyógyászat területén

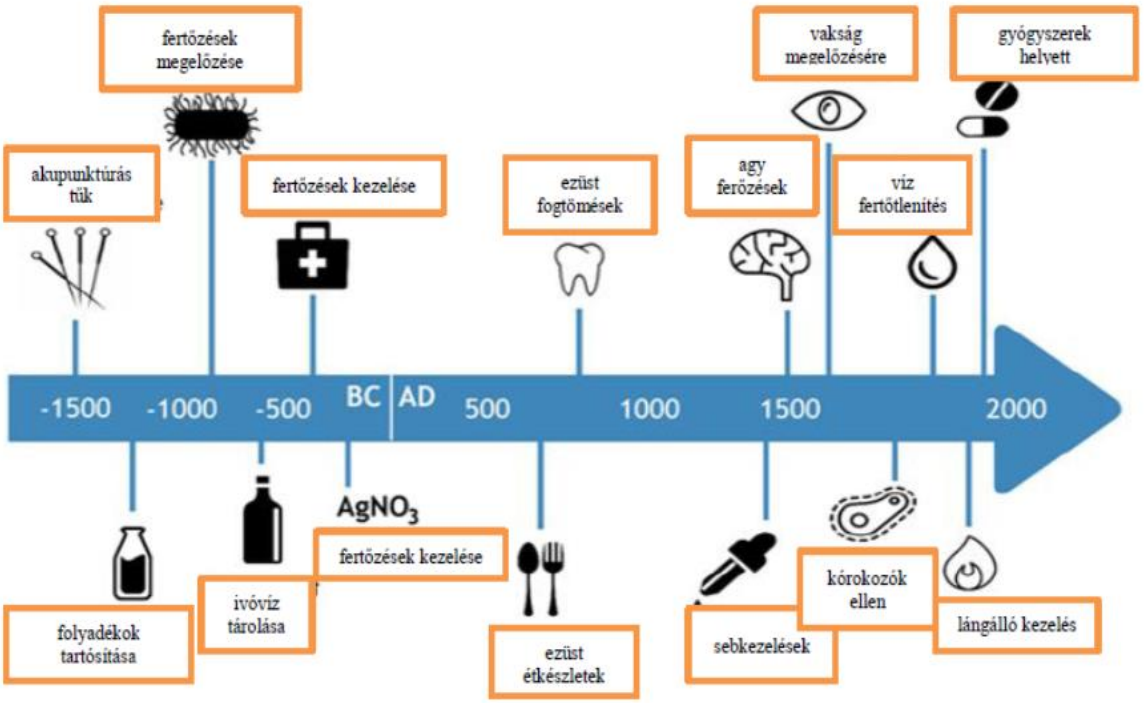
A legrégebbi feljegyzések az ezüst jótékony egészségügyi hatásairól az ókorból származnak, ahol már igen korán felismerték a gyógyító és betegségmegelőző hatásait. Az ezüstből tárolóedényeket készítettek, amelyben az ételek és a folyadékok sem romlottak meg.

A föníciaiak i.e. 200-300-ban ezüst edényekben tárolták az ivóvizet, a bort. Hippokratész, a modern orvostudomány atyja ezüst porral gyógyított. Pliniusz, híres római orvos enciklopédiájában beszámolt, az ezüst jótékony tulajdonságairól (i.e.79), használatát az ókori egyiptomi írások is említik.

Az ezüst értékének növekedése során egyre kevésbé volt jelentős az ezüst a gyógyászatban és az élet hétköznapi területein, sokkal inkább a pénzverés, az ékszer, értéktárgy, használati tárgy készítés került előtérbe. Az ezüst felhasználását időlétrán a 2. ábra mutatja be.

1817-1891 Karl Wilhelm von Nägeli megállapította az ezüstionok mikrobaellenes tulajdonságait és megfogalmazta az oligodinamikus[4] jellegét.

1884-ben egy német szülészorvos Carl Siegmund Franz Crede 1%-os ezüst-nitrátot ($AgNO_3$), szemcseppként használt, a Gonococcal ophthalmia neonatorum megelőzésére, talán ez volt az első tudományos dokumentáció az ezüst orvosi felhasználására.[3] Az ő eredményeinek köszönhetően sikerült teljesen legyőzni az akkoriban nagyon elterjedt betegséget, az újszülöttek szemén keletkező gennyes gyulladásokat, a német kórházakban. Ez a felfedezés elindította az ezüst felhasználását veszélyes bakteriális betegségek megelőzésére. C.S.F. Crede tanulmányait folytatta fia, Benne Crede. Ő már 1897-ben a XII. Nemzetközi Orvosi Kongresszuson beszámolt azokról az eredményekről, amelyeket a gyulladások kezelésében, valamint a sebészetben és belső használat esetén a fertőzések kezelésében, az ezüst-tartalmú szerekkel értek el.



2. ábra Az ezüst felhasználásának bemutatása időlétrán (Silver bullets: A new lustre on an old antimicrobial agent Jasper S. M., Wilson S. 2018.)

1900-as években az ezüst kolloidot vényre írták fel és szifilisz gyógyítására is használták, valamint az égési sebek elfertőzését előzték meg segítségével. Az eredmények hatására az orvosok elkezdték alkalmazni az ezüst-tartalmú szereket (Kollargol, Protargol)[5].

1910-ben a német Chemische Fabrik von Heyden által gyártott ezüst-tartalmú gyógyszerekről adtak ki egy összefoglalót, amiben a különböző fertőző betegségek gyógyszereként javasolták többek között: gennyes gócok, vérmérgezés, tífusz, tüdőgyulladás, agyhártyagyulladás, szifiliszes sebek, gombás fertőzések, szem, száj, orr, fül és torokgyulladások, reumás megbetegedések, égési sérülések, fekélyek és még más betegségek ellen.

Az I. Világháborúban az ezüst vegyületeket, fő fegyverként használták sebfertőzés ellen, mind addig, míg meg nem jelentek az antibiotikumok.[4]

Az 1920-as években, az amerikai élelmiszer és gyógyszerellenőrző hatóság (FDA) hatékony sebkezelési módszerként elfogadta a kolloid-ezüstöt. Az ezüst-szulfadizin krémet súlyos égési sebek kezelésére használták, antibakteriális kezelésként.

A múlt század 30-as éveiben sikeresen használták a Kollargolt (kolloid ezüstöt) reumás betegségek, asztma, tüdőgyulladás, influenza, torokgyulladás, gyomorhurut gyógyítására, külsőleg, gennyes sebek, égések kezelésére. 1940-ben korlátozták a Kollargol használatát a gyógyászat néhány területén, az antibiotikumok megjelenésével pedig feledésbe merült.[5]

Az 1950-es években ezüst alapú algásodás és penész elleni szerek kerültek forgalomba (medencék, gyógyfürdők tisztántartására).

1960-ban 0,5% ezüst nitrát oldattal impregnált vízszűrőket vezettek be a mikrobák szaporodásának megakadályozására.

Napjainkban a modern orvoslás mellett egyre szívesebben és egyre szélesebb körben fordulnak az emberek a természetes gyógymódok felé. A kísérletek azt bizonyították, hogy az ezüst ionok baktériumokra, algákra valamint a penész és élesztőgombákra koncentrációtól függően statikus és cid[6] hatást fejtenek ki, melynek következtében, fertőtlenítő hatóanyagként is kiválóan alkalmazhatók.

Szakboltokban ezüst klorid formájában bárki számára elérhető ez a természetes anyag, amely az orvostudomány szerint az emberi szervezetben elpusztítja a baktériumokat, vírusokat, mikrobákat, elősegíti a bőr és más finom szövetek újraképződését, miközben megakadályozza a fertőzések kialakulását (1970-es évektől Dr. Robert O. Becker, volt az ezüst kolloidokkal történő gyógyítás szorgalmazója Syracuse Medical University, USA).

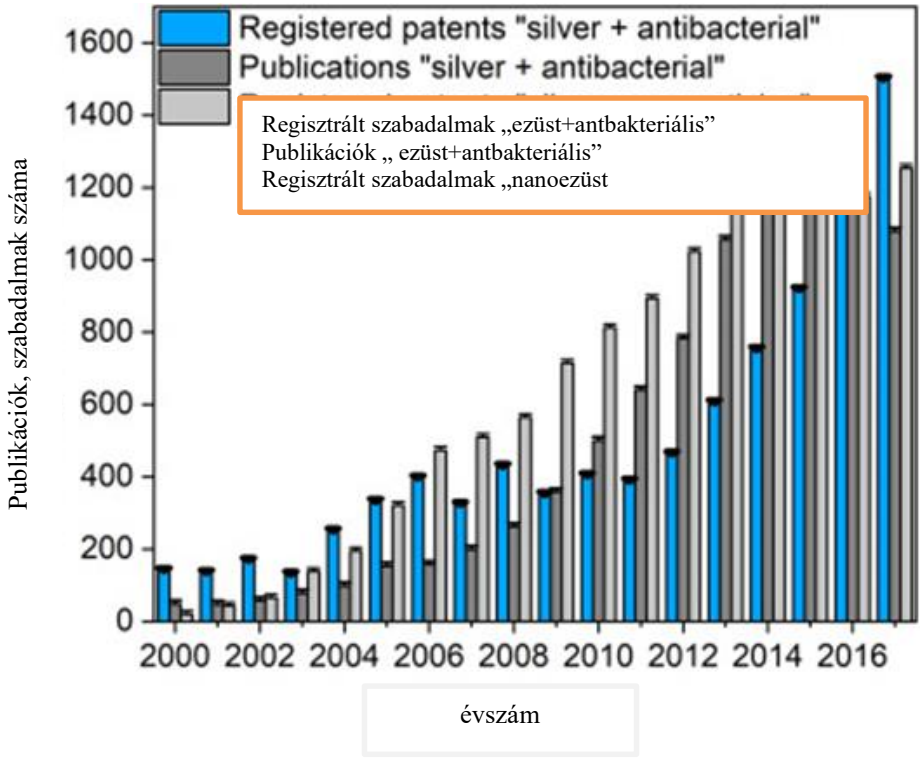
A fogszuvasodás ezüst-diamin-fluoriddal történő kezelése az amerikai FDA által jóváhagyott kezelés. Az ezüst-diamin-fluorid sok más országban is kereskedelmi forgalomban elérhető már több évtized óta (Kína, Japán, Németország, Nepál, Brazília, Argentína, Új-Zéland és Ausztrália).[6],[7]

Hosszútávon ezüsttartalmú termékek, nagy dózisban való bevitele algiriát okozhat, ami a hámréteg kékes vagy szürkés elszíneződéséhez vezet. Algyria kifejezést először 1816-ban Johann Abraham Albers használta.[8],[9]

Kutatások arra utalnak, hogy a lenyelt ezüst 90%-a a bélrendszeren átjut és nem szívódik fel, feltételezhető, hogy a májban és a hámszövetben az ezüst lerakódhat.

2.3 Korunk ezüsttel kezelt termékei

A 3. ábrán látható, hogyan növekedett az ezüst és az ezüst antimikrobás hatásával kapcsolatos publikációk és szabadalmak száma 2000 és 2017 között. A diagram a SciFinder® (American Chemical Society) oldalán az "antibakteriális + ezüst" kulcsszavas kifejezést kereső alapján lett összeállítva. 2000-ben, kevesebb, mint kettőszáz olyan regisztrált szabadalmat tartottak nyilván, ami az ezüst antibakteriális hatásán alapult, 2017-re csaknem 1500-ra emelkedett a számuk.



3. ábra Az elmúlt időszakban az antimikrobás tulajdonságok miatt ezüstöt használó innovatív technológiák számának változása, kulcsszavak alapján (Möhler, Sim 2018)

A nanotechnológia az utóbbi években az egyik leggyorsabban fejlődő tudományág, összeköti az anyagtudomány, biológia, kémia, fizika, a technika, farmakológia és az orvostudomány kutatási területeit.[10] Az ezüst ionok felhasználása után a nanoezüst új felhasználási területeket, lehetőségeket nyitott meg.

XXI. században újra rátaláltunk az ezüst előnyös tulajdonságaira, és egyre több ezüstöt tartalmazó új termék, gyógyszer, kozmetikum, elektronikai termék, szűrő, valamint a textíliák széles skálája jelenik meg a piacon. A modern egészségügyben ezüstözött ágyneműket használnak, a mindennapi életben ezüstözött alsóneműket, zoknikat viselhetünk.

Az utóbbi évek folyamán a kutatók csoportjai olyan lehetőségeket keresnek, amelyek segítségével megvédhetik betegeiket a különböző baktériumok okozta fertőzésektől. A

baktériumok sok esetben gyorsan alkalmazkodnak, rezisztensé és ennek folytán még veszélyesebbé válhatnak.

2.4 Nanotechnológia, nano részecskék

A nanosz görög eredetű szó, jelentése törpe. A szakirodalomban, sok esetben a kicsi-vékony-apró szálakat, bevonatokat, felületkezeléseket nanoként említik. Az ezüst esetében a vékony ezüst bevonatok, ezüst porral, ezüst ionokkal való kezelés esetében is több szerző nanokezelésről beszél a méret pontos megadása nélkül.

A nanoszerkezetű anyagok kutatása az 1980-as években kezdődött, miután felismerték, hogy a 100 nanométernél kisebb szemcseméretű anyagok tulajdonságai eltérnek az azonos összetételű, de nagyobb szemcsékből álló anyagok tulajdonságaitól. Az eltérés általában a kedvezőbb használati tulajdonságokban (mechanikai, mágneses, korróziós stb.) jelentkezik.

Szűkebb, és a mai használatban elfogadott értelemben csak azokat az eljárásokat nevezik nanotechnológiának, ahol az anyag kis mérete (a megnövekedett felület/térfogat arány) minőségi változással, és tulajdonságok kialakulásával, tulajdonságok változásával jár együtt.

A nanotechnológia teljesen új felhasználási területeket tesz elérhetővé. Forradalmi változáson mennek át az anyagok, a nanotechnológiával kezelt felületek, anyagok új tulajdonságaikkal új felhasználási területeket kapnak. Az új tulajdonságok között említhető az átlátszóság, a karcolás- és kopásállóság, az elektromos vezetőképesség, a korrózióvédelem, szennytaszító képesség, antibakteriális hatás. [11]

A nanotechnológia a textilipar minden területén elterjedt, különösen a szálgyártás, a kikészítés és a bevonatkészítés területén figyelhető meg. Sokat ígérők azok a kutatások, amelyek arra irányulnak, hogy a nanotechnológia alkalmazásával a textilanyag tulajdonságait javítsák, vagy újszerű tulajdonságokkal ruházzák fel azt.

A kereskedelmben ismertek, elérhetőek az ezüsttel kezelt kötszerek, orvosi eszközök, katéterek, implantátumok, textíliák (törölköző, ágynemű, ruházat). Az egészségügyben felhasznált ezüstözött sebészeti cérna antibakteriális hatása, a seb gyógyulását segítheti, a fertőzés veszélyét csökkentheti. Az ezüstözött tárgyak kínálata az elmúlt években kozmetikumokkal, műszaki cikkekkel (egér, billentyűzet), lakberendezési textíliákkal, WC ülőkékkel, festékekkel, gyógyszerekkel stb. bővült.

Kornphimol Kultong és társai tanulmánya szerint a nano ezüst részecskék nagy felület-térfogat arányuknak köszönhetően jó antibakteriális tulajdonságot mutatnak.[12]

Sadeghi és munkatársai kutatócsoportja bizonyította, hogy a nanorészecskék és az ionok aktivitásának összehasonlításakor az ionok alulmaradtak a nanorészecskékkel szemben [13]. Pal szerint a nanorészecskék aktivitása a méretüktől, formájuktól, a koncentrációjuktól függ [14].

Egyesek attól tartanak, hogy a nanorészecskék különleges mérete és tulajdonságai olyan veszélyeket rejthetnek, amelyek nem következnek a kémiai szerkezetből, s amelyeket nem láthatunk előre. A környezeti és fiziológiai hatásokat vizsgáló kísérletek néhány éve indultak el. Úgy tűnik, hogy a háztartásokban használt nanotermékekből a részecskék - elsősorban a szennyvízzel - a környezetbe kerülnek. Jelenleg még nem ismert, hogy ezek milyen mértékben juthatnak be az emberi szervezetbe, de valószínű, hogy a nanorészecskék a légzés és étkezés során, valamint a hámszöveten felszívódva is a testünkbe kerülhetnek.

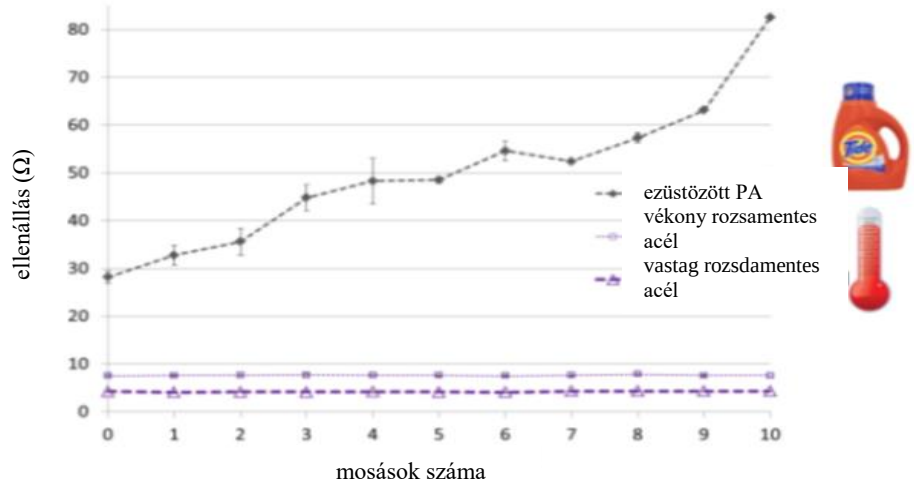
2013-ban aggodalmak merültek fel az ezüst nanorészecskék környezeti toxicitásával kapcsolatban. Az adatok azt mutatták, hogy egyes mikroorganizmusok a természetben különösen érzékenyek a fémmérgezésre. A fémek elpusztíthatják az érintetlen talajban, normál esetben jelen lévő, mikrobás diverzitás szinte 100%-át.[15]

A nanoezüst esetleges rákkeltő hatásának gyanúja miatt forgalmazásuk az EU országokban 2012-ben korlátozva lett [16].

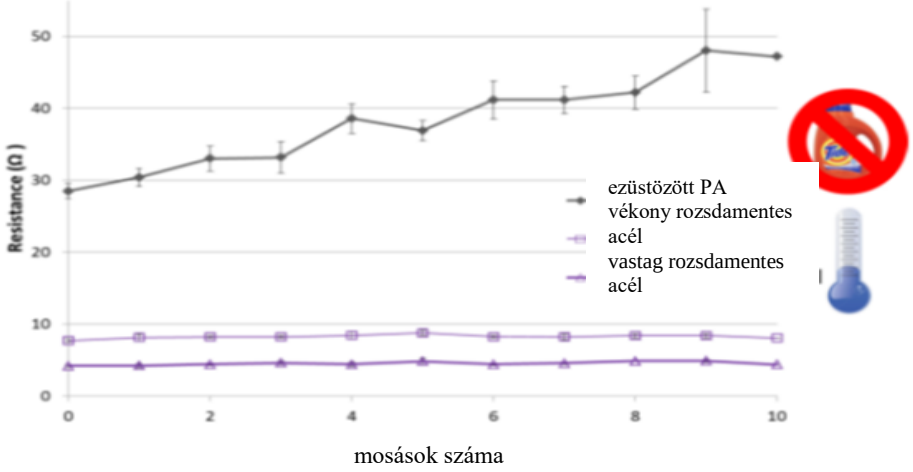
2.5 Elektromosságot vezető fémezett textíliák

Wei Wang és szerzőtársai kutatásukban poliakrilonitrilből (PAN) készült textílián ezüst bevonatot képeztek. Ezüstözés után mérték a kelmék ellenállását (a tanulmányban nem részletezik a mérés és a mosás körülményeit, valamint a bevonat vastagságát és jellemzőit). Eredményeik alapján az általuk mért kelme ellenállása 40 mΩ /m^2 majd 30 mosási ciklus után 80 mΩ/m^2. A mért ellenállás értékének növekedése 30 mosás után, tanulmányuk szerint nem befolyásolta a kelmék antimikrobás hatását [17].

Stephanie Villavicencio, munkájában rozsdamentes acél szálak vezetőképességét hasonlította össze az ezüst bevonatú PA szállal. 12 inch (30,48 cm) hagyományos textíliát varrnak át egy vezető szállal és annak az ellenállását vizsgálják mosás után. 15 perces mosási ciklusokat alkalmaztak és megállapították, hogy mosószer és meleg víz hatására az ezüstözött PA ellenállása nő (4. és 5. ábra).[18]



4. ábra Az ezüstözött PA szál és a vastag valamint vékony acél szál vezetőképességének változása meleg vizes mosás után



5. ábra Az ezüstözött PA szál és a vastag valamint vékony acél szál vezetőképességének változása mosószer nélkül, hideg vizes mosás után

Egy fogyasztón átfolyó elektromos áram erőssége egyenesen arányos a fogyasztó kivezetései között mért feszültséggel és az ellenállás reciprokával.

$$I = \frac{U}{R} \qquad \text{(1. képlet)}$$

ahol:
I: elektromos áram [A]
U: feszültség [V]
R: ellenállás [Ω]

2.6 Ezüstözött textíliák előállítása

A textilipar gyors fejlődése a 19. században az ipari forradalom előidézője volt, technikatörténetet tanulmányozva megállapíthatjuk, hogy az autóipar és a vasút fejlődésével egyidejűleg fejlődött a textilipar is. Az ipari forradalmat ma az informatikai forradalom követi, ami a számítógépek gyors fejlődésével kezdődött és a nanotechnológiával folytatódik, várhatóan 2050-re éri el csúcspontját.[19]

A hagyományos textilipari technológiák már nem tudják kielégíteni a piaci igényeket. A nanotechnológia, új, kedvező tulajdonságokat kölcsönöz a hordozóanyagnak, lehetővé teszi a kelmék stabilitását nedves és száraz környezetben. A nanorészecskék nagy felülettel rendelkeznek és magas felületi energiájuknak köszönhetően jobb affinitásuk[7] van minden más anyaggal szemben, ami növeli a felületi kezelések tartósságát. Fontos tudni, hogy a nanorészecskék rétegeződése nem befolyásolja a kelmék tapintását és kényelmi funkcióit.

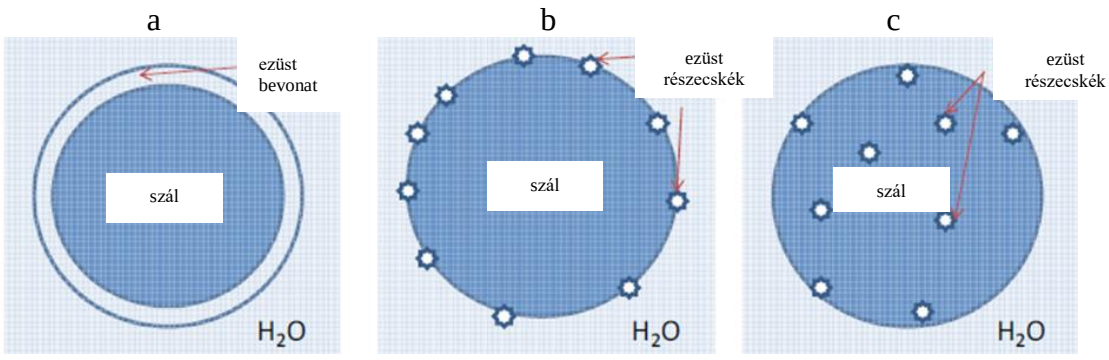
A fonalak ezüstözésének folyamatát már több mint 35 éve fejlesztette ki Rohm és Haas és ezek a fonalak elsősorban antisztatikus tulajdonságaik miatt voltak értékesek. A fonalak antimikrobás tulajdonságai később kerültek előtérbe.

A textíliákra nanorészecskéket nagyon sok módon: permetezéssel, nyomtatással, merítéssel, gőzöléssel, impregnálással, stb. rögzíthetünk. Ezek közül legtöbbet az impregnációt használják, a módszer egyszerűsége miatt. A kelmét nanorészecskéket tartalmazó oldattal kezelik, majd szárítják.[20],[21] Ezen kívül számtalan szabadalmazott módszert tart nyílván a szakirodalom. Lényegében 3 egyértelműen elkülöníthető módszert alkalmaznak az ezüstözött textil termék gyártása során (6. ábra):

-a szálak felületén filmszerű bevonatot képeznek (6. a)

-ezüst nanorészecskéket visznek fel a szálak felületére (6. b)

-a szálképzésnél a folyékony masszába adagolják az ezüst részecskéket. (6. c)



6. ábra Ezüst felvitelének módja a textíliákra: a) szálak felületén filmszerű bevonat,b) nanorészecsék a szálak felületen, c) a szálképzésnél folyékony masszába adagolják az ezüst részecskéket.[22],

A különböző bevonatok felvitelénél alapkritériumként fogalmazódik meg az az igény, hogy az ezüst réteg ne csökkentese a szálasanyag, a textilfelület hajlékonyságát, rugalmasságát, azaz könnyű alakíthatóságát a gyártás és a rendeltetésszerű felhasználás során.

Fontos követelmény a bevonat tartóssága, így a használat és kezelés, gondozás során nem következhet be hatáscsökkenés. A rétegvastagság felhasználási területtől függően, 0,1-1 μm vastagság között mozog. A textíliákkal történő elektromágneses árnyékoláshoz vastagabb fém bevonat szükséges. (A fémezett textíliák az elektroszmog[8] árnyékolásával javítják a környezeti körülményeket.[23],[24]).

A kutatásom során több különböző textíliák ezüstözésével kapcsolatos szabadalommal is találkoztam. (Pub. No. US 2010/0166832 A1, Silver coated nylon fibers and associated methods of manufacture and use, Pub. No. US 9.200.086 B2 Nanosilver coated bactrial cellulose, Pub. No. US 2015/0243408A1 Silver-plated product and method for producing same, Pub. No.US 6,979,491 B2 ANTIMICROBIAL YARN HAVING NANOSILVER PARTICLES AND METHODS FOR MANUFACTURING THE SAME, vagy IN3350DE2013 (A) A PROCESS FOR PREPARING ANTI MICROBIAL TEXTILE stb.)

Az alábbiakban a teljesség igénye nélkül, példaként felsorolok néhány olyan textília ezüstözési módszert, amit a gyártók használnak és a szakirodalom is foglalkozik velük:

-Ezüst részecskék felvitele direkt módon USA 6, 979, 491 számú szabadalom szerint ezüst nanorészecskéket a textíliák felületén képezik.

-Ezüstözött textíliák előállítása impregnálással. Impregnálásnál az ezüst kolloidot a szövés nélküli textíliák kezelésére alkalmazzák, PES-re, cellulóz és szintetikus alapanyagok esetében egyaránt. Az ezüst kolloid oldatokban 6, 11, 30, 70, 150 nm méretű nanorészecskék 10, 20, 30, 50, 200 ppm koncentrációban találhatók meg. A részecskék felvitele impregnálással történik, így erős antibakteriális hatást lehet elérni.[25] A különböző tényezők, mint az ezüst elrendezése a textílián, a kémiai és fizikai felépítése, egyaránt befolyásolják a mikroorganizmusok szaporodását.[26] Kutatók antimikrobás Ag/Na karboksi-metil pamut kötszert vizsgáltak a nyílt és az égési sebek gyógyulásához. Az antimikrobás hatóanyag-felszabadulás és a bakteriális és gombás szaporodás gátlásának következtében bizonyították, hogy az ezüst antimikrobás hatóanyagot tartalmazó kötözőanyagok védik a sebfelületeket a mikrobás inváziótól és hatékonyan gátolják a baktériumok szaporodását, segítik a sebek gyógyulását.[27]

-Szol-gél eljárás. Szol-gél eljárás alatt azt a műveletsort értjük, amikor a kialakítani kívánt nanométer vastagságú bevonat alkotóelemeit, vagyis a kolloid mérettartományba eső (1-500 nm átmérőjű) részecskéket az ún. prekurzorból[9] kiindulva folyékony közegben állítjuk elő. A részecskék keletkezésének folyamata minden esetben két egymást követő lépésből áll: először

a prekurzor-molekulák hidrolízise következik be, majd ezt követően kondenzációs lépések eredményeképpen alakulnak ki a nanoméretű részecskék. Ennek eredményeképpen első lépésben egy stabil kolloid rendszert, azaz szolt állítunk elő. A második lépésben ebből a folyadékközegű rendszerből képezünk egy, még jelentős folyadékmennyiséget tartalmazó (nedves) réteget a bevonni kívánt felületen. Ebből megfelelő szárítási és hőkezelési eljárásokkal alakítjuk ki a bevonat végső állapotát, természetesen a tervezett alkalmazásnak leginkább megfelelő módon. A szol-gél eljárás alkalmazásának számos előnye van az egyéb vékonyréteg-előállítási technikákkal szemben: egyszerű és költségkímélő eljárás, a kialakított rétegek egyszerűen és pontosan szabályozható vastagsága a rétegképzési műveletek ismétlése révén, a komponensek arányának és rétegbeli eloszlásával szabályozható.

A szol-gél eljárás lehetővé teszi az ezüst részecskék fizikai kötődését a szervetlen-szerves mátrixban, ami kémiailag kötődik a textil szálakhoz és így lehetővé teszi a mechanikus, kémiai és fotokémiai stabilitást és a biológiai tehetetlenséget, mert nem szolgál a mikroorganizmusok táptalajául. [28]

Ez az eljárás egyaránt alkalmazható szövött, kötött és szövésnélküli textíliák esetében, alkalmazható a sportruházat, alsóneműk, munkaruhák, lakberendezési és műszaki textíliák területén.

- Layer-by-layer eljárás. A nanorészecskéket egy polimer mátrixba keverik bele mielőtt a kívánt funkciós csoportot kémiailag rákötnék a szálakra. Ezt az új eljárást dolgozta ki Hinestroza és munkatársai, egy vékony polimer film réteget ágyaznak be a textil szövetébe. Többrétegű struktúrák kiépítését bevonatképzési eljárás ismétlésével nevezzük „layer-by-layer" típusú szerkezetképzésnek.[29]

-Szonokémiai[10] eljárás. Nanoméretű anyagok előállításának kevésbé ismert módja a szonokémiai eljárás, melynek alapja az akusztikus kavitáció[11] jelensége, azaz ultrahangos besugárzással létrehozott buborékképződés, -növekedés és -szétrobbanás. A folyadékfázis ultrahanggal történő besugárzása során az oldatban milliónyi mikro buborék keletkezik. 20 kHz frekvencia alatt ezek a buborékok a kavitáció jelensége nélkül szűnnek meg, az felett azonban a buborékok nőni kezdenek, és a térfogat növekedés következtében a buborékokban a nyomás egyre csökken. Az egyre kisebb nyomás miatt az üregbe egyre több oldószer- es oldott anyag molekula párolog. Az így létrejött buborékok össze is olvadhatnak, azonban elérve egy kritikus (rezonancia) méretet, robbanásszerűen szétpattannak, és az egész folyamat kezdődik előröl.[30]

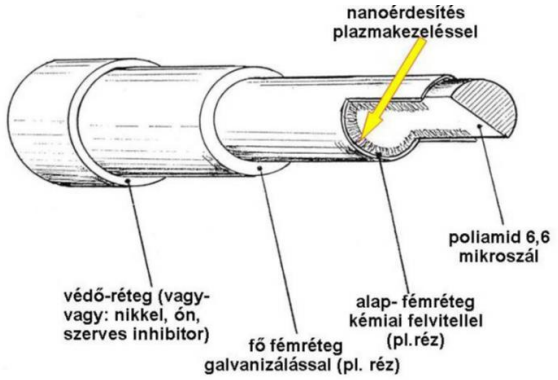
A szonokémia hatásos módszer nanoméretű anyagok előállítására, melynek alapja az, hogy ultrahanggal sugározzák be az adott oldatot. Ez az eljárás újnak bizonyult az antibakteriális tulajdonságokkal rendelkező ezüst nanorészecskékkel beborított nylon, poliészter és

pamutkelmék előállítására. Ennél az eljárásnál az ezüst tartalom az oldatban sokkal kevesebb, mint a minimum gátló hatást kifejtő koncentráció (MIC), melyet szokás szerint használnak (10 mg/ml). Az ezüst ionok, melyek az antibakteriális hatásért felelősek, sebességének köszönhetően, már 1,5 óra eltelte után a kiindulási élőcsíra-számot sikerült zéróra csökkenteni. Így elmondható, hogy a szonokémiai módszerrel előállított ezüsttel beborított pamut textíliák kitűnő antibakteriális tulajdonságokkal rendelkeznek.

-Mechanikai úton történő rögzítések vákuumban végzett fémpárologtatással. Ez az eljárás az ezüst mellett alkalmas a szálak alumínium és króm réteggel való borítására. Az elpárologtatásra váró fémet wolframtekercsekbe helyezik, amelyeket villamos árammal fűtenek. A keletkező hő a fémet, ezüstözésnél az ezüstöt megolvasztja. A bevonásra váró motringot a folyékony fém felületével szemben helyezik el. Az egész szerkezetet vákuumba helyezik. A felszabaduló gázokat elszívják, a nyomokban megmaradó mennyiséget folyékony levegővel lecsapatják. A bevonni kívánt termékeket gondosan zsírtalanítani kell, amit triklóretilénben, denaturált szeszben, vagy benzinben végeznek az alapanyagtól függően. Az eljárás gyors és olcsó, de csak motring formájában végezhető a szálas anyagon. A lecsapódott fémréteg egyenletes, fényes. [31]

-Galvanizálás.(7. ábra) Fémezett szálak előállítása hagyományos módszerrel, 5-6 lépéses technológiával történik. A mikroszál felületét „maratással” (plazmakezeléssel) teszik alkalmassá a fémréteg befogadására. Ezután a fém aktiválásával megkezdődik a fémionok kémiai felvitele a szál aktív csoportjaira, azaz kialakul a telített „szál-fém” határfelület. Végül az így kialakult alaprétegre elektrolízissel választják ki a galvanizáló fürdőből a főréteget képző fémbevonatot, azaz a szükséges védőréteget. Az ezüstön kívül használhatnak rezet, nikkelt, ónt, és aranyat.

Egy másik, hasonló eljárás szerint az 5-6 lépcső helyett egy művelettel lehet tartós, kémiai úton felvitt fémbevonattal ellátnia a szövött és a nem szőtt textilfelületet, ennek az eljárásnak a kifejlesztése dr. Lóránth József nevéhez fűződik.



7. ábra A fémezett szál felépítése[23]

-Ezüst felvitele szálakra magnetronnal (Empa[12] eljárása) Ag bevonat felvitele egy fordított hengeres magnetronban történik (Inverted Cylindrical Magnetron ICM).[32] 10 Pa (0,1 mbar) nyomáson Ar gázáramlással történő magnetron porlasztással. A szálak 72-szer haladnak át a bevonó zónán mielőtt elhagynák a vákuumkamrát.

Az említett korszerű módszerek, a fonalak nanoméretű ezüsttel történő kezelésére általában a folyamatos bevonatok esetében jellegzetesen ezüst csillogást biztosítanak. A bevonat jelentősen lassabb ütemben kerül fel a fonal felületére, mint a régen, hagyományosan alkalmazott galvanizálási eljárás esetében. E mellett alacsonyabb arányban tartalmaz ezüstöt és az új ezüstbevonatú fonal ugyanolyan antimikrobás aktivitást mutat, amit általában a hagyományos ezüst bevonatú kelmék. Figyelembe véve az ezüst aktuális árát és annak mozgását az elmúlt időszakban, a lehetőség, hogy kevesebb ezüstöt használjunk fel, ugyanolyan hatás elérése mellett jelentős költség megtakarítást eredményez az antimikrobás fonalakkal foglalkozó textil-gyártók és kiskereskedők számára. Környezetvédelmi előny, hogy ez az új módszer, kitűnő antimikrobás teljesítményt eredményez, míg kevesebb nyersanyagot igényel, mint a hagyományos ezüstözött fonalak. A gazdasági előnyökön túl a nanoméretű ezüstbevonatú fonalak a hagyományos fémezett ezüstfonalakkal szemben feldolgozási előnyökkel is rendelkeznek. Míg a hagyományos galvanizálási technika elsősorban PA fonalakra korlátozódik, a nanoméretű ezüst rögzíthető az általában használt természetes és szintetikus műszaki textil kelmékre (például PA, PES, PP, pamut, gyapjú, stb.) Ellentétben a kötési-bontási folyamatokkal, amik a fonalakra korlátozottak, az új, ezüst bevonatok módszere általában alkalmazható közvetlenül a fonalakon vagy vágott szálakon.

Az ezüstözött fonalak új családja, antimikrobás védelmet nyújtó textíliák gyártására ad lehetőséget a textilipari gyártók számára. Ezzel a módszerrel, az ezüstözött fonalat lehet kombinálni más fonalakkal. A magnetronos kezelési módot Wang és kutatócsoportja is kutatta. A nanofelépítésű, különböző vastagságú ezüst film rétegeket permeteztek a szövésnélküli textíliák felületére magnetronos eljárással. Az eredményeik alapján a fonalak jó elektromos vezetőképességgel rendelkeznek, és antibakteriális hatásuk van.[33]

2.7 Ezüstözött textíliák alkalmazása a gyógyászatban

2011-ben Dennis Maki a Wisconsini Egyetem oktatója a Fiber Med (International Conference on Fibrous Products in Medical and Health Care) konferencia előadójaként részletesen beszélt a mikroorganizmusok ellenálló képességéről és alkalmazkodásáról.[34] A mindennapi

fertőzések megelőzése a gyakorlatban fontos feladat. Az X-Static® fonalat gyártó Noble Biomaterials (USA) cég tanulmánya szerint az egészségügyi ellátással összefüggő fertőzések közel 100.000 halálesetet okoznak évente. Ez az amerikai egészségügyi rendszernek 6,5 milliárd dollár költséget jelent.[35] A statisztikák szerint a fertőzések által okozott halálozások nagy száma mellett, 30 000-127 000 dollár többletköltséget jelenthet betegenként.[36]

Évente mintegy 25 ezer személy, egy kisvárosnyi ember hal meg multirezisztens[13] kórokozó (MRK) okozta fertőzésben az Európai Unióban.[37]

A 1. táblázat 2007-ben készült, jól mutatja, hogy Magyarországon a kórházi, multirezisztens fertőzések következtében 1010 betegre 35417 ápolási napot kellett fordítani.

A táblázatban előforduló rövidítések:
Acinetobacter baumanii MACI, Escherichia coli MECO, Enterobacter spp. MENB, Klebsiella spp. MKLE, Pseudomonas aeruginosa MPAE, Staphylococcus aureus MRSA, Stenotrophomonas maltophilia MSTM, Staphylococcus aureus VISA, Enterococcus spp. VRE

Kórokozó	Ápoltak száma	Ápolási napok száma	Minimum nap	Maximum nap	Átlagos ápolási napok száma
MACI	79	2587	3	104	32,7
MECO	85	2596	3	205	30,5
MENB	9	260	7	90	28,9
MKLE	133	4654	5	129	35
PMPAE	79	2827	3	188	35,8
MRSA	611	22128	3	228	36,2
MSTM	6	122	5	34	20,3
VISA	nincs adat	nincs adat	nincs adat	nincs adat	nincs adat
VRE	8	244	14	60	30,5
Összes:	1010	35417	3	228	35

1. táblázat Multirezisztens kórokozók által okozott nosocomialis[14] fertőzésbe megbetegedett ápoltak átlagos ápolási ideje 2007/A NEMZETI NOSOCOMIALIS SURVEILLANCE RENDSZER (NNSR) 2007. ÉVI EREDMÉNYEI ***www.oek.hu/docs/korhazi_jarvany/Honlap_NNSR_ertekelés_2007.pdf***

2011-ben készült 2. táblázat adatai szerint a kórházi, multirezisztens fertőzések következtében megbetegedettek átlagos ápolási ideje (1945 beteg 69534 ápolási napja alapján).

A táblázatokat összevetve, 4 év alatt az ápolási napok duplájára nőttek, melynek eredményeképpen elképesztő, 2011-ben már 69534 ápolási napot kellett finanszírozni multirezisztens nosocomiális fertőzések következtében, ez a szám az összes nosocomiális fertőzésnek csupán 1%-a.

Kórokozó	Ápoltak száma	Ápolási napok száma	Minimum nap	Maximum nap	Átlagos ápolási napok száma
MACI	379	nincs adat	2	193	33,4
MECO	304	nincs adat	2	373	32,3
MENB	65	nincs adat	4	271	45
MKLE	398	nincs adat	2	591	37,2
PMPAE	105	nincs adat	4	193	37,2
MRSA	676	nincs adat	2	230	35,9
MSTM	9	nincs adat	9	165	52
VISA	4	nincs adat	nincs adat	nincs adat	22,3
VRE	5	nincs adat	nincs adat	nincs adat	22,6
Összes:	1945	69534	2	591	35,6

2. táblázat Multirezisztens kórokozók által okozott nosocomialis fertőzésbe megbetegedett ápoltak átlagos ápolási ideje 2011 (http://www.proidea.hu/czebe-med-kft-229021/index/a_6_d_18_1363598773683_czebe_med_ezustion_technologia.pdf)

Magyarországon a kórházi fertőzések adatai nem szerepelnek teljes mértékben a statisztikákban, ezért a helyzet valószínűleg még ennél is sokkal drámaibb. A 2009-es adat szerint a jelentéskötelezett kórházak kevesebb, mint fele jelent, a véráramfertőzéseket pedig az összes aktív fekvőbeteg ellátó intézmény 32%-a jelenti le.

Magyarországon, 2018. áprilisában mondta ki a Kúria, hogy ki kell adni a kórházi fertőzésekre vonatkozó adatokat, azonban írásom idejében ezt még mindig nem tette meg az Emberi Erőforrások Minisztériuma. A pert indító Társaság a Szabadságjogokért közleménye szerint az Emmi az időhúzást választotta, a bírósági döntés felülvizsgálatát kezdeményezte azzal a kéréssel, hogy az új döntésig ne kelljen kiadni az adatokat [38].

Magyarországon átlagosan évente 2.500.000 fekvőbeteget látnak el. Az arányszámokat vonatkoztatva, ezek hozzávetőlegesen 10 %-a fertőződik meg az ellátás során. Tehát 250.000 beteg ápolása fog a fertőzés miatt kitolódni, melynek a szállás költségvonzata is jelentős tétel, de a kezelések, labor és gyógyszerköltségek ennek súlyos többszörösét teszik ki [39].

A kórházakban a munkaruhák, köpenyek, ágyneműk, függönyök, kötszerek mind potenciálisan fertőzéshordozó felületek lehetnek. Mikroorganizmusoktól való védelmük az orvosi segédeszközökhöz hasonlóan, megoldható más szerek mellett, akár antibiotikumokkal is, amiket a humánegészségügy területén is alkalmaznak, azonban idővel a baktériumok rezisztensé válhatnak, így ezektől a kezelési módoktól célszerű minél inkább elállni.[40]

A fém nanorészecskék (réz, cink, titán, magnézium, arany, ezüst) kitűnő antibakteriális hatással rendelkeznek.[41] Az arany jobban inert a lebomlás szempontjából, mint az ezüst és biztonságosabbnak tartják az emberi szervezetben.[42] Az ezüsttel ellentétben, amely hajlamos

argyriát és egyéb mérgezést okozni, az arany sokkal inkább biokompatibilis[15].[43] Az aranyat széles körben használják főleg gyógyszer és genetikai terápiák esetében.

A rézzel, vassal és cinkkel ellentétben, amelyek az emberi szervezet számára fontos nyomelemek, az ezüst nem fordul elő természetesen az emberi testben.

2.8 Az ezüst hatása az emberre

A különféle technikák alkalmazásával, ezüsttel bevont textileket „smart textileknek”[16] is nevezik. Előnyben vannak a hagyományos textil termékekkel szemben a baktériumok számának növekedését gátló tulajdonságuk miatt. Ezeket az antimikrobás aktivitást mutató textileket használják fel az alsóneműk, fehérneműk, zoknik, valamint kórházi és laboratóriumi köpenyek és ruhák ipari előállítására. Különböző kelmék gyártásánál egyre kedveltebb az ezüst alkalmazása, és ezáltal egyre fokozódik az érdeklődés, hogy milyen hatással van az emberi bőrre e ruhaneműk viselése.

A klasszikus hatóanyagok- a különböző szteroidok, illetve a nem szteroid gyulladásgátló gyógyszerek- számos mellékhatással (emésztési zavarok, fehérvérsejtek számának csökkenése) járhatnak. Az alternatív gyógyszerészeti készítmények, kutatások alapján [44],[45],[46], nagy hatékonysággal, ugyanakkor káros mellékhatások nélkül alkalmazhatók a gyulladások kezelésében. Az ezüst bizonyítottan antibakteriális, vírusölő, gyulladáscsökkentő, valamint antioxidáns tulajdonságokkal rendelkezik.

A valamilyen formában ezüstözött zoknigyártók termékeiket többek között a neurodermatitises betegeknek ajánlják [47], szerintük az ezüst jótékony hatásainak köszönhetően gyógyszeres kezelés nélkül gyógyulhatnak a neurodermatitises elváltozásoktól (veleszületett túlérzékenységek, pl. ekcémák formájában stb.) a betegek.[23],[1]

A neurodermatitis neurogén-allergiás típusú krónikus bőrbetegség. Az összes bőrelváltozás számának mintegy 40% -át teszi ki. Leggyakrabban gyermekkorban észlelhető, de a pubertás időszakban más betegségek hiányában önállóan eltűnik. Mindazonáltal a szülőknek nagyon óvatosnak kell lenniük, mivel a neurodermatitis megfelelő kezelésének hiányában komplikációk alakulhatnak ki (hámréteg elváltozásai, pecsétképződés és fertőzés). A betegség leggyakoribb jelei közé tartozik a viszketés, bőrkiütések, hámlás, bőrpír és neurotikus rendellenességek. A neurodermatitis legelemibb tünete a súlyos viszketés előfordulása a kiütések megjelenése előtt. Továbbá a hámrétegen fokozatosan kis hám csomók, fényes felületek képződnek. Eleinte nem különböznek színben a normál hámrétegtől, majd barnás-rózsaszínű színezést kapnak. Később folyamatos, pikkelyes vagy vérzésre hajlamos

korpásodást hoznak létre. A hámréteg érintett területe kékes vagy bíborszínű lesz. Ugyanakkor a régi fókuszokban gyakran megfigyelhetőek a depigmentált területek. Hangsúlyozni kell, hogy neurodermatitis esetén a kóros folyamat területe nagyon változó lehet. A legtöbb elváltozás az ágyékban helyezkedik el, a haskörnyezet, a koponyacsont, a nagy szájperemek valamint a nyakon. A betegség kialakulásával jelentősen csökken a mellékvesék funkciója, melynek következtében a beteg bőre sötétedik. Ugyanakkor a betegek gyakran veszítenek testtömegükből, ami negatív hatást gyakorol testük általános állapotára. Előfordulhat vérnyomáscsökkenés, fáradtság, gyengeség, apátia és fokozott idegi ingerlékenység, csökken a vércukorszint és a gyomornedv elválasztása.[48]

Az antibakteriális ruházatok esetében az emberi test bőrkontaktus által érintkezik az ezüst nanorészecskékkel. Annak ellenére, hogy az emberi hámszövet számos rétegből áll, hatékony védőréteget képezve ezzel, tanulmányok igazolják, hogy az ezüst áthatolhat a bőrön.[49]

Nem az ezüst az egyetlen fémes elem, amely antimikrobás tulajdonságokkal rendelkezik. A Gram-pozitív[17] és Gram-negatív baktériumok elleni baktericid tulajdonsággal rendelkező fémek közé tartozik az arany, réz, cink, titán, nikkel, magnézium, ruténium és mások.[50],[51],[52],[53]

Egyesek attól tartanak, hogy a nanorészecskék különleges mérete és tulajdonságai olyan veszélyeket rejthetnek, amelyek nem következnek a kémiai szerkezetből, s amelyeket nem láthatunk előre. A környezeti és fiziológiai hatásokat vizsgáló kísérletek néhány éve indultak meg. Úgy tűnik, hogy a háztartásokban használt nanotermékekből a részecskék - elsősorban a szennyvízzel - a környezetbe kerülnek. Jelenleg még nem ismert, hogy ezek milyen mértékben juthatnak be az emberi szervezetbe, de valószínű, hogy a nanorészecskék a légzés és étkezés során, valamint a hámszöveten keresztül felszívódva is a testünkbe kerülhetnek.

A baktériumölő hatású készítmények hozzájárulnak az antibiotikum-rezisztenciához, de a nanoezüst nem csak a baktériumokra, hanem sok egyéb sejttípusra is mérgező. Vizsgálatok már igazolták, hogy a nanoezüst gátolja a hímivarsejtek növekedését, így a magzatokba jutó nanoezüst megzavarja az ivarsejtek kialakulását, miközben a tüdő, a máj, az idegrendszer és a hámszövet sejtjeire is mérgező.[54]

Az ezüst ionok emberi testbe történő bejutása egy 2018-ban megjelent cikk alapján [45] többféleképpen történhet. A bejutási útvonalak a következők lehetnek:

Hámszövet: ezüst tartalmú gyógyszerek, mint például ezüst sebkötöző helyi alkalmazása, ezüst részecskékkel vagy elemekkel való kontaktus. A 10 nm-nél kisebb részecskék átjuthatnak a kemény, külső réteg pórusain (stratum corneum). A 7-20 nm nagyságú részecskék bejuthatnak

a verejték és faggyúmirigyeken keresztül. A 20-200 nm nagyságú részecskék nem jutnak át a hámszöveten, de a szőrtüszőknél maradnak és a nyirokrendszeren keresztül terjedhetnek. [55]
Légzőrendszer: a levegőben lévő ezüst részecskék belégzése. A részecskék megtelepednek az alveolusok nedves külső felületén és maximum 7 napig ott maradhatnak.
Emésztőrendszer: Elemi ezüst vagy nanorészecskék közvetlen fogyasztása táplálékkiegészítők és gyógyszer formájában. A részecskék megtapadhatnak a bél al-nyálkahártya régiójában és felszívódhatnak a nyirok vagy a vérkeringés kapilláris rendszerébe. [55],[56]
Női urogenitális rendszer: ezüstözött egészségügyi betétek használata a kellemetlen szagok és fertőzések megakadályozása érdekében. [57] A részecskék megtapadhatnak a nagyajkakon és felszívódhatnak a nyirokkeringés rendszerébe.
Agy: a véráramban lévő ezüst nanorészecskék és kolloid ezüst eljut a vér-agy gáthoz. [56]
A hámszövet egyik legfontosabb tulajdonsága az, hogy védelmet biztosít a belső szervek károsodása ellen. A bőr egy külső epidermis rétegből (felhám), dermis rétegből (irha) és a hypodermis (subcutis rétegből a bőraljából) épül fel. A dermis rétege egy erős gát, melyen a szemcsés anyagok csak limitáltan juthatnak át. Kis részecskék bőrön keresztül történő behatolását már dokumentálták, pl. TiO_2 részecskék (mikron méterűek) napvédő krémek fő alkotóeleme, melyek behatoltak az emberi bőr alá, és elérték az dermis réteget is. Minden nanoezüstöt tartalmazó textilnél, a textil szálai közül, különböző külső hatásoknak köszönhetően például izzadásnál, ismétlődő súrolódás és mosás során, nanorészecskék szabadulhatnak ki.
További kutatási téma lehetne az ezüst nanorészecskék lehetséges bejutásának modellezése a bőrbe. Azok a nanorészecskék, melyek elérték a bőr mélyebb rétegeit, eljuthatnak a bőr alatti nyirokkeringésbe és a regionális nyirokcsomókig.
Ezüst nanorészecskékkel beágyazott vagy bevont kötszereket használnak a bőr sérüléseinek elfertőződése ellen, mint pl. égések vagy fekélyek. Ez a szoros kapcsolat nagyobb esélyt ad a részecskék bőrbe jutásához és a kapillárisokig való eljutásához. Chen klinikai beszámolót készített arról szól, hogy egy páciens vérében abnormálisan magas ezüst szintet mértek és ezüstmérgezésre jellemző szimptómák jelentkeztek, miután nanoezüsttel borított kötszerrel volt bekötve égési sérülése. A nanoezüst a vérkeringésbe jutott.[55]
Számtalan „nano” méretű anyagot teszteltek már humán betegségek in vitro és in vivo modelljeiben. A nanobiotechnológiai kutatások eredményességét igazolja, hogy az Amerikai Élelmiszer- és Gyógyszerfelügyeleti Hatóság (FDA) már jelentős számú, nanométeres tartományba eső gyógyszerkészítmény klinikai alkalmazását jóváhagyta.[58]

Az Ausztrál Bőrgyógyászati Folyóiratban (Australian Journal of Dermatology) 2013 szeptemberében megjelent egy beszámoló arról a tudományos kísérletről, amely az emberi bőr abszorpciós jellemzőit vizsgálta a nanokristályos ezüst részecskékkel szemben. A kísérletben 16 egészséges páciens vett részt, akik olyan műtét előtt álltak, melynek során bőrük egyes részeit eltávolították (ilyen műtét lehet pl. egy plasztikai sebészeti beavatkozás). A műtétet megelőző időszakban az eltávolításra váró bőrdarabot tartósan érintkezésbe hozták nanoezüsttel. Mivel ezekből a részekből a műtét során "hulladék" lett, így lehetőség volt egy sor vizsgálat elvégzésére az így nyert bőrmintákon. A méréseket tömegspektrometriával, fénymikroszkóppal, pásztázó elektronmikroszkóppal és röntgen diffrakciós spektrográfiával is elvégezték. Mindegyik vizsgálati módszer kimutatott ezüstöt a bőrben, de ez nem volt jelentősen magasabb, mint a kezelés előtt. A mérések azt mutatták, hogy az ezüst nanorészecskék képesek áthatolni az ép emberi bőrön, a szarurétegen át egészen az irharétegig. Mire azonban az elnyelt ezüst áthatol a hámrétegen, ezüst-oxiddá vagy más vízoldhatatlan vegyületekké alakul, jelentős csoportokat alkotva. Ennek köszönhetően mozgásuk megáll, nem kerülnek be a keringésbe, és ezért nem is hathatnak a belső szervekre. [59],[60], [61],[62],[63]
A sebek kezelésére tervezett textilekben is használnak ezüst nanorészecskéket, mivel gyulladáscsökkentő hatásuk miatt elősegítik a seb gyógyulását és egyben hozzájárulnak a sérülés felszínén lévő kórokozók pusztulásához.[64],[65],[66]
Bár a nanoezüst alapú kötszerek és sebészeti varratok elfogadottak klinikai alkalmazásokhoz és jól beváltak sebfertőzések ellen, bőrre gyakorolt toxicitásuk még vitatott. Annak dacára, hogy laboratóriumi és klinikai tanulmányok alátámasztják a bőr biokompatibilitását[18] a nanoezüst alapú kötszerekre nézve, néhány kutató megmagyarázta ezen anyagok sejtekre történő toxicitását. Eredményeik azt bizonyítják, hogy a hámsejtek szaporodását gátolják és a hámsejtek életképessége drasztikusan csökken, miután kölcsönhatásba lépett bármilyen típusú nanoezüst anyaggal. A kereskedelemben kapható nanoezüstre toxicitást mutatnak nem csak a hámsejtek, hanem a fibroblasztok[19] is. Ezen szembetűnő ellentmondások talán a laboratóriumi körülmények és a technikai alkalmazások közötti különbségeknek köszönhetőek. Meg kell jegyezni, hogy a legtöbb kísérletet in vitro végezték el, ahol a sejtek másképp viselkedhetnek, mint in vivo körülmények között. Klinikai esetekben, a seb gyógyulásánál maga a seb szivárgása/váladékozása biztosíthat egy „gátat" a nanoezüsttel szemben. A magas protein tartalmú váladék semlegesítheti a nanoezüst szövetekre gyakorolt toxicitását. Szakértői megfigyeléseken keresztül, pontosan megtervezett klinikai tanulmányok adhatnak valódi és tárgyilagos, átfogó toxikológiai értékelést.[67]

A nanorészecskék mérete kulcsfontosságú lehet. Megfigyelték például, hogy a kisebb, 5 μm körüli nanorészecskék könnyen ürülnek a szervezetből a vesén keresztül, míg a nagyobb, 150 nm méretű részecskék passzív módon lerakódnak a tüdőben. A keringésben eltöltött időt befolyásolja az alkalmazott nanorészecskék alakja: míg a diszkosz, vagy pálcika alakú nanorészecskék jobban megtapadnak a sejteken, ez a gömb formájú nanorészecskéknél kisebb mértékben történik meg, így tovább keringhetnek a véráramban.[68]

A Német Szövetségi Kockázatelemző Intézet (Bundesinstitut für Risikobewertung, BfR) BfR 2010/24-es szakvéleményében rámutat arra, hogy a nano-mérettartományba (100 nanométernél kisebb) tartozó ezüstrészecskéknek (nanoezüstnek) lehetnek olyan toxikológiai hatásai, amelyeket eddig még nem írtak le a "normál méretű" ezüsttel kapcsolatban. A nanorészecske-forma speciális fizikai-kémiai tulajdonságai miatt sok nanoanyag esetében ismert az eltérő toxikológiai hatás lehetősége. A BfR szerint a nanoezüstről csak nagyon kevés olyan toxikológiai adat áll rendelkezésre, amelynél úgy vizsgálták az anyagot, hogy figyelembe vették a nanospecifikus szempontokat is.[69] Az ezüst estében olyan kivételes helyzet áll fenn, hogy antimikrobás hatása más (fémes) formában is ismert és elismert évszázadok óta.

2.9 Az ezüst hatásmechanizmusa

Az ezüst ionok baktériumölő hatása közismert és kiterjedten tanulmányozott; ennek ellenére az antibakteriális hatásmechanizmusa csak részben ismert. A szakirodalom több féle módon magyarázza az ezüst ionok és az ezüst nanorészecskék antimikrobás hatását.

Az ezüst nanorészecskék programozott sejthalál hatása mögött egy „trójai faló” típusú mechanizmus áll. Ez azt jeleni, hogy a nanorészecskék ép, sértetlen formában képesek bejutni a sejtekbe, ahol toxikus ezüst ionok szabadulnak fel a nanorészecskék felszínéről.[70] Az ezüst ionok reaktív oxigén formák képződését segítik elő, melyek a sejt oxidatív homeosztázisának[20] felborulása mellett különböző sejtszervecskéket károsítanak, így a keletkezett membrán rendellenességek, DNS törések és a sejtek vázrendszerének károsodása miatt, bekapcsolódik a sejt halálát eredményező apoptotikus[21] program.[71],[72]

Az ezüst ionok által indukált oxidatív stressz-függő apoptózis jól magyarázza az ezüst nanorészecskék citotoxikus[22] hatásai mögött álló mechanizmusokat, arra van bizonyíték, hogy más folyamatok is szerepet játszanak a részecskék által kiváltott sejthalál aktiválásában. Mivel az ezüst nanorészecskék és a reaktív ezüst ionok eltérő fehérjéket és sejt szervrészeket képesek károsítani, valószínű, hogy a nanorészecskék toxikus hatása nem pusztán az ezüst ionoknak tulajdonítható. Fontos figyelembe venni azt is, hogy a fém nanorészecskék képesek

passziválódni. Ez azt jelenti, hogy egy adott mennyiségű ezüst ion keletkezése után visszamarad a nanorészecskéből egy mag, amelyről már több ion nem képes oldatba jutni.[73] Tehát a nanorészecskék csak egy adott mennyiségű reaktív ion képződését biztosítják, és ez erősen függhet a nanorészecskék méretétől és egyéb fizikai-kémiai tulajdonságaitól is. Ha kizárólag a nanorészecskék felszínéről felszabaduló reaktív ionok felelősek a megfigyelt programozott sejthalált kiváltó hatásért, tervezésük során számításba kell venni a nanorészecskék "passziválódási" képességét is. Az ezüst nanorészecskék szintézisére több módszert is fejlesztettek már, azonban a leggyakoribb eljárások az ezüst-nitrát oldatában lévő ezüst ionok redukálásán alapulnak. A szintézis során alkalmazott redukáló szer fontos szerepet játszik az előállított nanorészecske biológiai hatásában, mivel jelen lesz a nanorészecske kolloid oldatában, illetve a részecskék felszínén is. Leggyakrabban nátrium-borohidridet, keményítőt vagy citrátot alkalmaznak, de egyre többször használnak különböző biológiai forrásokból származó redukáló szereket is.[74] Ilyen esetekben általában valamilyen gyógyászati szempontból fontos növény kivonatát alkalmazzák redukáló szerként,[75],[76],[77],[78] így az ezüst-nitrát redukciója egy heterogén, különböző biológiailag aktív molekulákat tartalmazó redukáló keverékben történik. Gyakran a redukáló szer molekulái egyben stabilizálják is a keletkező nanorészecskét, megkötődnek annak felszínén és az ezüst nanorészecskék biológiai hatásait is jelentős mértékben módosíthatják. Ezek a felületet burkoló anyagok befolyásolják a részecske felületi töltéseloszlását is, ami pedig alapvetően meghatározza a nanorészecskék sejtekbe történő felvételét.

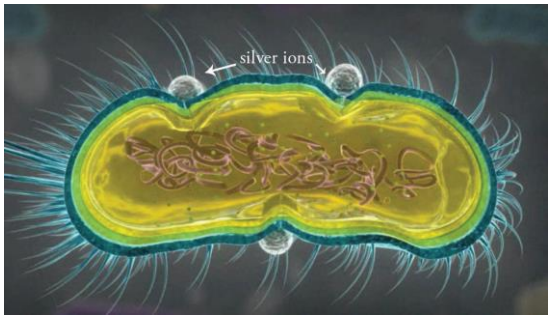
Az ezüst és az arany nanorészecskék sejtbiológiai hatásainak vizsgálata rákos és tumoros sejtekben is elkezdődött. Várható, hogy az ezüst nanorészecskéknek fontos szerepük lesz a sejthalál irányított és tudatos manipulálásában.[79],[74],[58]

Marambio-Jones és Hock [80] tanulmányában leírja, hogy a baktérium és a néhány nanométer nagyságú ezüst részecske érintkezésekor a baktérium sejtfalát alkotó vegyületek reakcióba lépnek az ezüst részecskével, ennek következtében a részecske felületéről ezüst-ionok válnak le. Mivel a sejtfal építőelemei átalakulnak a kémiai reakció során, ezért sérül a baktérium védelmét jelentő sejtfal, így könnyen bejuthatnak a baktérium belsejébe az ezüst-ionok. Az ezüst ionjai a baktérium számára létfontosságú enzimekhez kötődnek és hatásukra a DNS elveszíti szaporodó képességét. Az ezüst nanorészecskék reagálnak a sejtmembrán transzportfehérjéivel[23], a baktérium nem jut oxigénhez és ez pusztulásához vezet. [81],[82],[83],[84]

Az ezüst nanorészecskék toxicitási mechanizmusát baktériumokban részletesen tárgyalta Reidy [85], ők az ezüst nanorészecskéket és ezüstionokat hasonlították össze.

Li és társai [86] is vizsgálták az ezüst nanorészecskék lehetséges hatásmechanizmusait. Az első feltevésük szerint a nanorészecskék hozzátapadnak a baktérium felületéhez és ezáltal megváltoztatják a membrán tulajdonságait. A második feltevésük szerint az ezüst nanorészecskék a baktériumsejten belül DNS károsodást okoznak. A harmadik feltevésük szerint pedig az ezüst nanorészecskék feloldódása antimikrobás ezüstionok felszabadulását eredményezi, amelyek interakcióba lépnek a tiol[24] tartalmú fehérjékkel a sejtfalban és ezáltal hatással vannak annak funkcióira.

Az ezüst antimikrobás mechanizmusát tanulmányozva, Peggy Prinz Luebbert tanulmánya [35] és a Beyers gyógyszergyár szerint az ezüst ionok kölcsönhatásba lépnek a baktérium külső rétegével, bemélyedéseket formálnak a sejtfalán, megváltoztatják a membrán polaritását, szabad gyökök képződését segítik, amelyek károsíthatják a membránt, vagy e hatások kombinációjával érik el hatásukat, ami a 8. ábrán látható.[87],[88]

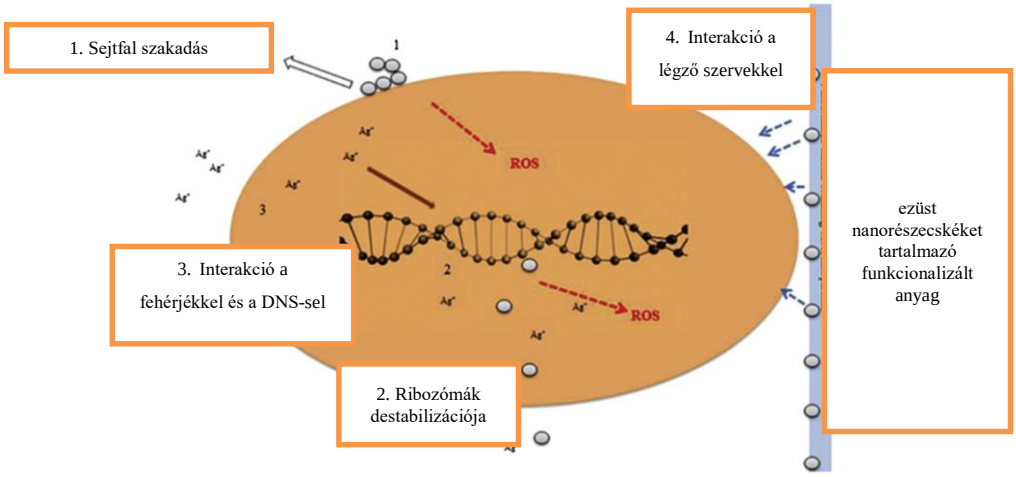


8. ábra Az ezüst ionok bemélyedéseket formálnak a sejtfalon [35]

Számos bizonyíték utal arra, hogy az ezüst ionoknak fontos szerepük van az ezüst nanorészecskék antibakteriális hatásában.[80],[85],[89],[90],[91],[92] Az ezüst nanorészecskék antimikrobás toxicitásának egyik fontos paramétere a részecskék mérete. Azoknál az ezüst nanorészecskéknél figyelték meg a legnagyobb koncentrációban az ezüstion kioldódást, amelyek a legnagyobb relatív felülettel rendelkeztek.

A legkisebb koncentrációjú ezüstion kioldódás a legkisebb relatív felülettel rendelkező ezüst nanorészecskéknél volt megfigyelhető, ami gyenge antibakteriális hatással járt.[93] Néhány szerző [94],[95],[96] fenntarja azt a véleményét, hogy az ezüst nanorészecskék antibakteriális hatásmechanizmusa az ezüstion kioldódásnak köszönhető és az ezüst nanorészecskék részecske-specifikus hatása elhanyagolható. Beszámoltak arról is, hogy a 20-80 μm-es ezüst nanorészecskék toxicitását az ezüstionok kioldódásnak tulajdonították, míg a 10 μm-es ezüst nanorészecskék toxikusabbnak bizonyultak az E.coli-val szemben a kisebb nanorészecske méret miatt.

Reidy és társai egy ábrán [85] összegezték a 2013-ban ismert tényeket az ezüst nanorészecskék antibakteriális hatásával kapcsolatban (9.ábra).



9. ábra Az ezüst naorészecskék és a kioldott ezüst ionok ismert antibakteriális hatásmechanizmusainak sematikus ábrázolása. Az 1-4 számok megfelelnek az eddigiekben leírt mechanizmusoknak. A szürke körök az ezüst NP és Ag+ jelölik, beleértve a NP-ből kioldódó ionos ezüstöt A ROS[25] az oxigén eredetű szabadgyökök, reaktív oxigén fajtákat jelöli (ROS- reactive oxygen species) [85]*Reidi ábrájának reprodukciója*

A bakteriális sejtburok és a plazmamembrán energiafelhasználás által pontosan felépített és gondosan fenntartott struktúra. Egyik fő funkciója, hogy megvédje az organizmusokat a környezeti behatásokkal szemben, miközben lehetővé teszi, hogy a tápanyagok bejussanak a sejtbe és lehetővé tegyék annak növekedését.[97],[98] A baktériumokban a védelmet két struktúra biztosítja, amelyek által a baktériumokat két csoportra oszthatjuk Gram-negatív és Gram-pozitív baktériumokra.[98] Bár kevés tanulmány számolt be arról, hogy az ezüstionok roncsolják mind a Gram-negatív mind pedig a Gram-pozitív baktériumok sejtmembránját [97],[99] a bakteriumok burkának összetételének különbségei fellett elsiklottak. Az ezüst nanorészecskék membránra gyakorolt hatása lehet direkt vagy indirekt interakciók eredménye. Számos képalkotó eljárás (transzmissziós és a nagyfelbontású elektronmikroszkóp (TEM), valamint az atomerő-mikroszkóp (AFM)) alátámasztotta azt az elméletet, amely szerint az ezüst nanorészecskék felszívódnak a sejtmembránba.[99],[97],[83],[100]

A konkrét mechanizmus, ami megmagyarázná az ezüst nanorészecskék antibakteriális hatását, valószínű még vita tárgya marad. Az viszont tény, hogy az ezüst nanorészecskék olyan kivételes fizikai-kémiai és biológiai tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyek megkülönböztetik őket az ömlesztett tömb ezüsttől.[101]

Összefoglalhatjuk, hogy az eddigi kutatások azt hangsúlyozzák, hogy a nanorészecskékből kioldódó ezüst ionok, amelyek a sejtekkel kapcsolatba kerülnek és bejutnak azokba, képesek

hozzájárulni a sejtek elpusztításához.[102],[103] A tanulmányok többsége felhívja a figyelmet az oldott ezüstionok antibakteriális hatására[104],[105],[73], ezekkel szemben több tanulmány is azt állítja, hogy az ezüstionok önmagukban nem elegendőek az ezüst nanorészecskék sejt toxicitásának a kiváltására.[92],[106],[107] A nanorészecskék mérete, valamint morfológiája nagy befolyással van annak biocid hatására.[108],[109],[110]

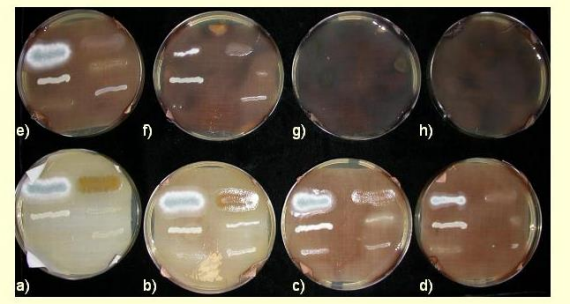
2.10 Az ezüst antibakteriális hatása a textíliákon

A 21. században az emberek igényei megnövekedtek a textíliákkal szemben és a hagyományos textilipari technológiák már nem tudnak kielégíteni minden piaci igényt, ezért az új igények kielégítésére új technológiákat kell alkalmazni, erre jelent megoldást a nanotechnolóia.

A textíliák nanorészecskékkel való kezelése kedvezően befolyásolja a víz- olaj- szennytaszítóképességet, gyűrődő képességet, mikrobás hatást, antisztatikusságot, UV fényvédelmet, elektromágneses sugárzásvédelmet, lángállóságot, színezék felvételi tulajdonságot, stb. Az ezüstrészecskék rétegeződése nem befolyásolja a kelmék tapintását, és kényelmi funkcióit.

Az ezüst tartalommal rendelkező kelmék bizonyítottan antibakteriális hatásúak, ami az egészségügyi és a vendéglátóiparban használt kelméknél a kifejtett gátló hatás miatt kimondottan előnyös. Az ezüstözött kelméből készült öltözködési cikk (zokni, alsónemű, pulóver) viselete frissebb érzést kelt, mindennapi életben mosása egyszerűbb, kevesebb vizet és mosószert kell felhasználni, karbantartásuk a hagyományos textíliáktól jelentősen környezetkímélőbb lehet, ha a felhasználó ismeri e termékek tulajdonságait és annak megfelelően tartja őket karban.

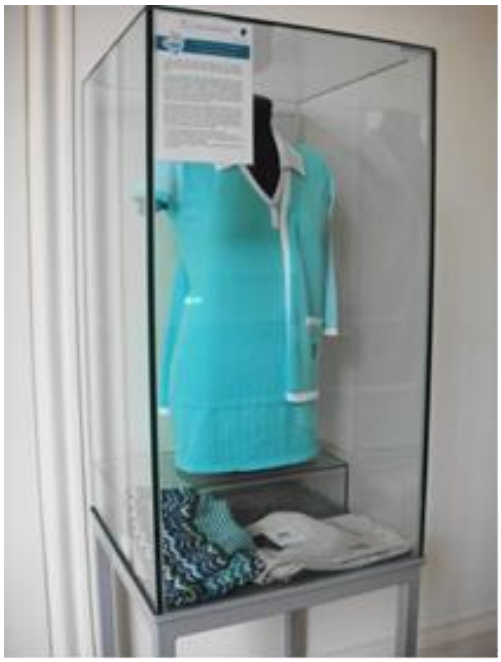
A 10. ábrán látható, hogy az ezüst kolloidba áztatott kelmék az ezüst kolloid elkészítéséhez használt ezüst-nitrát koncentrációjának növekedésével mind nagyobb gátlást mutattak.



10. ábra Antimikrobás teszt eredmények. a) Tiszta, fehér textília, b-h) AgNPs borított fehér textiliák. Az ezüst kolloid oldat készítéséhez használt ezüst-nitrát oldat koncentrációi a következők voltak: b) 0,001, c) 0,005, d) 0,01, e) 0,05, f) 0,1, g) 0,5 és h) 1 mol/dm[111]

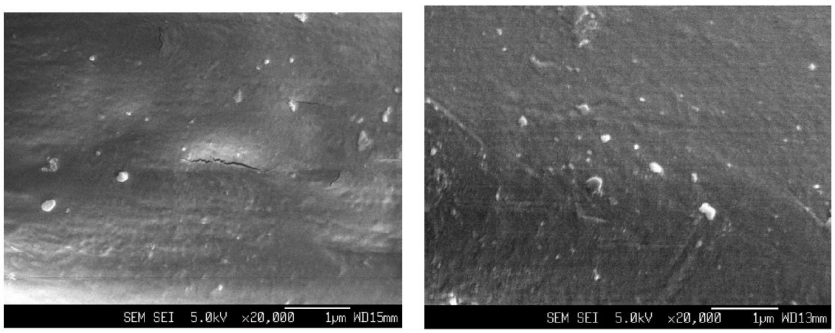
Az ezüst nanorészecskékkel kezelt textíliákból készített ruhák előállítása egyre elterjedtebb mind a tudományos mind az ipari területeken. A 11. ábrán látható a Szegedi

Tudományegyetemen kiállított nanoezüsttel kezelt ruha. Az öltözet a szegedi SZEFO (Szegedi Fonalfeldolgozó Zrt.) terméke, leírásuk szerint a kötött kelme lapokra kétféle módszerrel tudják felvinni a nanoezüst részecskéket. Az egyik módszer szerint a nanoezüst részecskék előállítása közvetlenül a textilek felületén történik, a lágyító mosás során, az ezüstöt só oldatként adják a technológiai folyamatba. A második módszer egy új eljárás, amelynek keretében gőz állapotban juttatják a kelme lapokra a nanoezüst részecskéket.



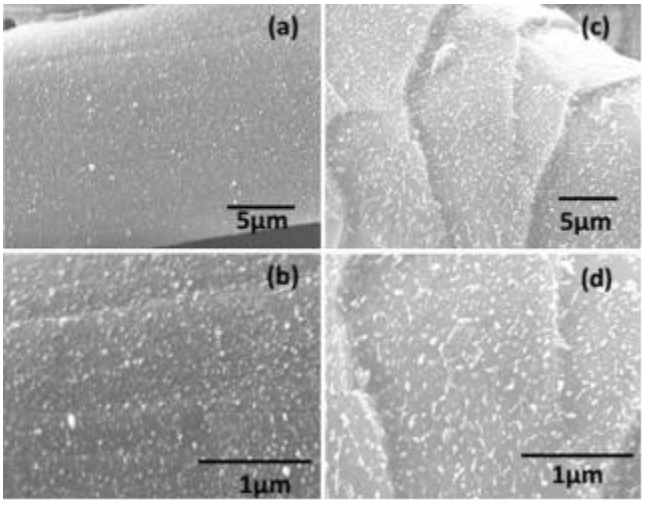
11. ábra A szegedi SZEFO nanoezüst technológiával kezelt felsőruházata (2013.03.26.-án a SZTE)

H. J. Lee és társai (2003) tanulmányukban vizsgáltak 50 ppm ezüstkolloiddal kezelt pamut és poliészter kelméket. Megállapították, hogy kezelésük után a kelmék antibakteriális tulajdonságokat mutatnak. A kelmékre ültetett E. coli, S. aureus, S. aureus, K. pneumoniae törzsek száma 24 óra elteltével akár 99%-kal is csökkent. Az ezüstkolloiddal kezelt kelméket kimosták 40 °C-on, szárították szárítógépben 70 °C-on és megvizsgálták a kelméket 5-10-20 mosási ciklus után. Eredményeik szerint a 20. mosási ciklus után az antibakteriális hatás csökkent, a törzsek száma 24 óra elteltével 30%-os csökkenést mutatott.[112]
A 12. ábrán látható, a pamut és a PES alapanyagú szálakon megtapadt ezüst kolloid részecskék méretbeli különbsége.



12. ábra SAM képek az 50 ppm ezüst kolloiddal kezelt pamut és PES kelméről [112]

V.V. Shinde, és társai 2013-ban bizonytották, hogy a 13. ábrán látható részecske méretbeli eltérés annak tulajdonítható, hogy a különböző nyersanyagtartalomnak köszönhetően (tanulmányukban a pamutnál-cellulóz és a gyapjúnál-fehérje) különböző az elektrosztatikus kölcsönhatás a kelme és az Ag-NP között [113]. A szerzők a szálasanyagok részletes jellemzőire nem térnek ki (pamut érettségi foka, minősége, stb. a gyapjú fajtája, minősége stb.). Pásztázó elektronmikroszkóp alatt megfigyelhetőek a kelme morfológiai jellemzői a 13. ábrán Ag-NP bevonatot látunk, 13.a ábrán pamut alapanyagon és 13.c ábrán gyapjú kelmén, a nagyított képek 13.b és d egyenletesebb Ag-NP borítást mutatnak a kelme felszínén. A pamut kelme felületén megfigyelhető, hogy az Ag-NP 30-50 nm méret tartományban mozog, míg a gyapjún 45-60 nm.



13. ábra Pásztázó elektronmikroszkóppal készült képek a) Ag-NP-bevonatú pamut 5.000x nagyítás b) Ag-NP-bevonatú pamut 10.000x nagyítás c) Ag-NP-bevonatú gyapjú szövet 5.000x nagyítás d) Ag-NP-bevonatú gyapjú szövet 10.000x nagyítás[113]

N. Lkhagvajav és társai munkája alapján elmondhatjuk, hogy a hámszövet ezüst kolloiddal való kezelésével a textíliákhoz hasonlóan antimikrobás hatást tudunk elérni.[114] A baktériumok és

a gombák jelen vannak környezetünkben. A textíliák a mikroorganizmusok szaporodásának táptalaját képezhetik, különösen nedves, meleg környezetben. Az állati eredetű szálak keratinjának felépítésében résztvevő proteinek, valamint a pamutszálakban levő szénhidrátok, megfelelő körülmények között jó táptalajként szolgálhatnak a mikroorganizmusok szaporodásához. A föld, por, izzadtság, sőt a textíliák utókezelései is serkenthetik a mikroorganizmusok szaporodását, ami számos nemkívánatos változással jár együtt. Ilyen a kellemetlen szag, a mechanikai tulajdonságok változása, a szakítószilárdság csökkenése. [24] Kutatók vizsgáltak pamut alapanyagú frottír törölközőt és ágyneműt, továbbá pamut-PES keverék kelmét, orvosi köpenyeket, elválasztó paravánokból származó PES-t, valamint PET védőkötényeket, hogy megállapítsák milyen hosszú ideig élnek rajtuk a baktériumok. A 3. táblázat a mikroorganizmusok túlélési idejét mutatja be a vizsgált anyagokon.[115]

mikroorganizmusok	vizsgált alapanyag (termék)				
	pamut (öltözet)	pamut (törölköző)	Pamut-PES (orvosi köpeny)	PES (paraván)	PET (kötény)
	mikroorganizmusok átélt napjainak száma termékenként				
Staphylococcus saprophyticus	8-12	6-27	6-28	7-22	41-74
Staphylococcus aureus	4-21	2-24	1-21	1-56	11-90
Enterococcus faecalis	11-33	20-29	18-29	73-90	80
Enterococcus faecium	20-90	33-90	29-90	43-90	68-90
Enterococcus gallinarium	28	34	34	90	90
Enteroccocus casseliflavis	15	28	15	90	90

3. táblázat A kórházakban használt textíliákon megtapadó Gram-pozitív baktériumok túlélése[115]

A tanulmányban szereplő kelmék mindegyikét használat után néhány nappal kimosták. A tanulmány eredményeiből láthatjuk, hogy a kórházi személyzet a mikroorganizmusok kolóniáit átviheti a saját ruházatára, a páciensekre vagy a kórházi elválasztó paravánokra. Amennyiben a mikroorganizmusok a paravánokra kerülnek, a paravánt érintve tovább átvihetők a személyzet többi tagjaira, más páciensekre vagy a látogatókra. A kéz helyes tisztántartása mellett a paravánok az első tárgyak, amiket a személyzet megérint a betegekkel való kontaktus előtt és után is. Az egészségügyi textíliákat kifőzéssel, gőzöléssel sterilizálni, UV fénnyel fertőtleníteni kell. A felsorolt módszerek közül egyik sem jelent prevenciót az ismételt fertőzéssel szemben. Az egészségügyi textíliák esetében az antimikrobás védelem, a mikroorganizmusok okozta fertőzésektől való védelem kiemelten fontos, itt kapnak szerepet a nanoezüstözött textilek,

amikkel antimikrobás és szagellenes tulajdonságokat tudunk elérni.[116] A mikrobák növekedése a textileken kordában tartható azáltal, ha a textília antimikrobás bevonatot kap, vagy ha biocidot vegyítenek a szintetikus szálakba a gyártás, az extrudálás során.[117]
Kutatók nanoezüstözött textíliákon életciklus elemzést végeztek, azonban nem vizsgálták milyen mértékben változik a textíliákból kioldódó ezüst mértéke. [118],[119],[120].
Ilic szerzőtársaival 2009, valamint Matyjas-Zgondek és szerzőtársai, 2008-ban kimutatták, hogy a különböző formájú nanoezüsttel funkcionalizált textilek hosszantartó antimikrobás tulajdonságokkal rendelkeznek.[121],[122]
A tudomány mai állása szerint bizonyított, hogy az antibakteriális hatás vizsgálatánál párhuzamosan több módszert érdemes alkalmazni, mert egy baktérium, illetve egy módszer nem elegendő a hatás bizonyításához vagy cáfolásához.[123]

2.11 Nanorészecskékkel szembeni bakteriális rezisztencia és mutáció

Kutatók, több esetben is feljegyeztek nem-klinikai környezetből izolált, ezüst jelenlétében rezisztens baktériumokat.[91],[124],[125] Az első ezüst-ion rezisztens baktériumot 1960-ban azonosították és izolálták egy ezüst-nitráttal kezelt beteg égési sérült sebéből.[126] További ezüst-rezisztens baktériumokat is izoláltak számos klinikai környezetből.[127],[128],[129]
Ezüst-rezisztens mikroorganizmusokat azonosítottak olyan környezetben is, ahol az ezüst természetes módon van jelen, pl. pseudomonas stutzeri bakterium törzset izoláltak Utah-i aranybánya talajából [130], klebsiella pneumoniae baktérium törzset az indiai part közeli vizek tengeri garnéláiból [131] és a candida argentea gombatörzset használaton kívüli fémbánya üledékéből az Egyesült Királyságban.[132] Az ezüst rezisztenicáért felelős elem számos környezeti baktériumban is megtalálható és gyakran mobilis genetikai elemen kódolt, amely géntranszferrel nagy gyakorisággal természetes környezeti körülmények között is bizonyos feltételek mellett átadódhat.[133] Mijnendonckx és kollégái [124] feljegyezték, hogy ez a folyamat képes lehet változatossá tenni a mobilis genetikai elemeket, így új fenotípusokat[26] létrehozni a baktérium populációkban.[134] Ezek a megfigyelések kiemelik annak fontosságát, hogy az ezüst ionok környezetbe való kijutása ellenőrzött körülmények között kell, hogy történjen. Figyelembe kell venni, hogy az ezüst ionok feltehetőleg elősegíthetik az ezüst-rezisztens mikroorganizmusok kialakulását és elterjedését a környezetben és a klinikailag jelentős organizmusokban egyaránt.[124]
Az a tény, hogy az ezüst nanorészecskék számos módon, a baktériumok élettani folyamataival és azok reprodukciós képességével kölcsönhatnak, arról győzte meg a kutatókat, hogy azokban

nehezen fog kialakulni a nanorészecskékkel szembeni rezisztencia. Számos környezeti mintában fellelhetők az ezüstion rezisztens baktériumok.[135],[136]

Hanczvikkel bizonyította, hogy a hazánkra jellemző, különböző antibiotikum-rezisztenciájú K. pneumoniae törzsek szoktatás hatására képesek ellenállóvá válni az ezüstionokkal szemben. Kutatta az ezüstrezisztencia hátterében álló mechanizmusokat és az ezüstrezisztencia kialakulásának hatását a baktériumok szaporodási képességére [137].

Grave és társai [138] escherichia coli K-12 MG1655 törzsön tesztelték az ezüst nanorészecskék hatását és azt találták, hogy a több mint 200 generáción keresztül ezüst nanorészecskéknek kitett populáció jobb növekedési hajlammal rendelkezett és kolónia-formáló egységgel (CFU) bírt különböző töménységű ezüst nitrát ($AgNO_3$) jelenlétében a kontroll törzshöz viszonyítva. A genomikai[27] vizsgálatok azt mutatták, hogy a 100. generáció után következtek olyan változások, amelyek az ezüst nanorészecskékkel szembeni rezisztenciában játszanak szerepet, valamint a 200. generációra, három ilyen típusú mutáció is nagy gyakorisággal megjelent a rezisztens törzsben. A szerzők szerint a korábbi megállapítások ellenére a baktériumok könnyedén képesek rezisztenciát kialakítani az ezüst nanorészecskékkel szemben egyszerű genomikai változások által. Továbbá azt javasolják, hogy a biocid felhasználásra mesterségesen előállított nanorészecskéket óvatosan kell alkalmazni.

Elképzelhető, hogy a széleskörűen használt ezüst nanorészecskék indukálni képesek a mikrobákat a rezisztencia kialakítására, mivel a nanorészecskék kioldódása ezüst ionokat eredményez a környezetünkben.

2.12 Az ezüstözött textíliák életciklusa

Az ezüsttel kezelt termékek, bakteriális gátlás mechanizmusát használva képesek csökkenteni a nem mosott textilek kellemetlen illatát. Egyes esetekben az ezüsttel kezelt textília előállításához szükséges magasabb energia és nyersanyag igény kompenzálható azzal, hogy ritkábban van szükség a textília mosására. Azonban a mosás gyakorisága, általában, az érzékelt tisztaságon alapuló kulturális norma és nem valószínű, hogy ezt a felhasználó a textiltől függően változtatni tudja.

Jelentős különbségek vannak a jelenleg piaci forgalomban elérhető ezüsttel kezelt textíliák között. A különbségek lehetnek az ezüsttartalomban, az ezüst eredetében, a részecskék méretében, formájában, a felvitel módjában az ezüstözés tartósságában stb. [139],[140],[141],[61],[142]

Több kutatásban végeztek életciklus elemzést nanoezüst textíliákon,[118],[120],[119] azonban Reed és társain kívül nem sokan vizsgálták milyen mértékben változik a textíliákból kioldódó ezüst mértéke.[143]

Az elhasznált kisebb-nagyobb ezüsttartalommal rendelkező textíliák életciklusuk végén, a hulladéktelepeken végzik, ártalmatlanítják, vagy újra felhasználják, hasznosítják őket. További kérdés marad, az, hogy mivel ezek a termékek életciklusuk végén már nem tartalmaznak megkülönböztető jelzést, hogy ezüstöt tartalmaznak, a megsemmisítés vagy akár az újrahasznosítás során az ezüsttartalommal mi fog történni.

A dán Európai Szakszervezeti Intézet jelentésében nincs humán veszélyeztetettségi mennyiségi adat arra vonatkozólag, hogy a dolgozók és a fogyasztók hámszövetén keresztül milyen mértékben kerülhet be a nano-anyag az emberi szervezetbe. A jelentés szerint a fogyasztók különösképpen ki lehetnek téve a nanoezüst hatásainak, mivel alkalmazása viszonylag elterjedt a ruházati ágazatban, de gyanújuk szerint az expozíció[28] még jelentősebb lehet a munkakörnyezetben. Az expozíció fő módjait a munkahelyi környezetben a belégzés és a hámszöveten át való bekerülés jelenti, de kiegészítő adatokra van még szükség az expozícióról, illetve az emberi szervezetre gyakorolt mérgező hatásról. A környezetvédelem terén tudományos bizonyítékok vannak arra, hogy a nanoezüst mérgező a vízben és szárazföldön élő organizmusokra nézve.[144]

2.13 Az ezüst környezeti hatásai

Az ezüst nanorészecskék és ionok emberi sejtekre és a környezetre gyakorolt toxikus hatásairól tanulmányok készültek, még mindig hiányosak ismereteink arra vonatkozólag, hogy az emberek számára milyen mértékben hasznos vagy éppen ellenkezőleg, lehet káros, a nanoezüst termékek használata.

2008-ban George Maass [145] a környezetbe kikerült nanoezüst viselkedéséről írt tanulmányt. Állítása szerint a vészjósló híresztelések figyelmen kívül hagyják, hogy a nanoezüstöt nehéz stabilizálni, ezért nem is marad meg a környezetben sokáig nanométeres részecskék formájában. A talajjal vagy vízzel történő kölcsönhatás során megváltozik a részecskék mérete, ami nagymértékben csökkenti a biológiai aktivitásukat. Kísérletében 27 liter 20 ppm töménységű ezüst kolloid oldatot öntött ki egy tonna talajra (ami a valóságtól elrugaszkodott mennyiség), ez nem okozott érdemi szennyezést, mert a részecskék összeálltak nagyobb egységekké. Tanulmányában arról a tévedésről is ír, hogy a nanoezüst részecskék ezüst ionokat bocsátanak ki víz vagy nedvesség hatására. Amennyiben ez így lenne, az azt jelentené, hogy az ezüst a vízben kémiailag oldódik. A Colloidal Science Laboratories által végzett kutatásban vizsgálták a tömör ezüst, a finom ezüst por, valamint a nanoezüst vízben oldhatóságát. Hosszú

idő alatt, állandó keverés mellett sem mutattak ki vezetőképesség változást, azaz ezüst ion koncentrációnövekedést. Leírásuk szerint az ezüst salétromsav hatására lép kémiai reakcióra, és így ezüst ionok keletkeznek.

J. Noble környezetvédelmi megoldásokat kutat és a Noble Purification cég (melynek alapítója) értékesíti technológiáit. Munkája eredményeképpen egy algafajtát sikerült módosítania úgy, hogy azok felvegyék az ezüst részecskéket és magukba építsék azt, így majdnem teljesen kiszűrve a vízből az ezüstöt. Az így kiszűrt részecskék ráadásul kinyerhetők az algákból és így újra értékesíthetők, felhasználhatók lesznek.[146]

Science Daily 2013-as cikke szerint nemzetközi kutatási program kereteiben vizsgálták meg a nano részecskék szennyvíz rendszerben kifejtett hatását. Mivel a nano ezüstöt széles körben használják az egész világon, ezért a vizsgálat java részt az ezüstről szól. A vizsgálatokat a Svéd szennyvíz rendszerből vett mintákon és laboratóriumi keretek között is elvégezték. Bizonyították, hogy a nano ezüst a környezetbe kerülve nem marad fémes formában, hanem ezüst-szulfidot képez. A folyamat a szennyvíz vezetékekben lejátszódik, és a nanoezüst fémes formájának 95%-a nem éri el a víztisztítót. Mivel az oldott ionok okozzák a fő problémát a környezetben és gátolhatják, hogy a baktériumok feldolgozzák a szennyvíziszapot, bizonyították, hogy a nanoezüst nem káros a környezetre nézve. A kutatások egyértelműen igazolják, hogy a nano ezüst részecskék hamar ezüst-szulfiddá alakulnak a bevonatuktól függetlenül. A kisebb méretű részecskék (10 nm) gyorsan átalakulnak, míg a nagyobb méretű részecskék lehet, hogy nem is tudnak teljesen sulfidosodni és ezzel folyamatosan ezüst ionokat bocsátnak a környezetükbe. Az kezelt vízben maradt 5% ezüst mennyisége csökkenthető részecskeszűrők beiktatásával.[147],[148]

2.13.1 Az ezüst kimosódása az ezüstözött kelmékről

Laboratóriumi vizsgálatok, megállapították, hogy a szintetikus izzadtságnak kitett nanoméretű ezüst leválhat a textíliáról.[149],[150]

Quadros, Pierson és társai munkájának az volt a célja, hogy meghatározzák, hogy az ezüst nanotechnológia felhasználásával készült háztartási eszközök milyen mértékben hatnak a gyerekekre. A 4. táblázatban a textíliákról különböző folyadékokba levált ezüst mennyiségét láthatjuk.[151]

Termék	ezüst tartalom mg Ag/kg	Folyékony közeg	A folyadékokba kivált ezüst mennyisége	
			mg Ag/kg	%
plüss játék/ belső hab	48,2±5,0	csapvíz	0,24±0,02	0,5±0,0
		nyál	1,77±0,03	3,7±0,1
		veríték	18,5±1,1	38,3±2,4
		vizelet	17,4±0,8	36,1±1,6
plüss játék/ külső szőr	0,6±0,1	csapvíz	nem kimutatható	-
		nyál	0,03±0,001	5,6±0,2
		veríték	0,14±0,002	2,6±0,6
		vizelet	nem kimutatható	-
újszülött takaró	109,8±4,1	csapvíz	1,6±0,3	1,5±0,3
		nyál	1,2±0,1	1,1±0,1
		veríték	4,8±0,3	4,4±0,3
		vizelet	3,7±0,3	3,4±0,3

4. táblázat A textíliákról különböző folyadékokba levált ezüst mennyisége mg-ban és %-ban [151]

Kutatások során vizsgálták a ionos és részecske alapú ezüsttel érintkezés hatásait szájon át, belégzés során és bőrön keresztül. Tanulmányozták az ezüst kioldódását abba a közegbe, amely a termék normál, életszerűen történő alkalmazása során is előfordul. Meghatározták a folyadékok összetételétől függő adatok alapján, milyen hatással vannak a folyadékok az ezüstre, az ezüst leválásának folyamatára. Munkájukban tanulmányoztak a textíliákon kívül más tárgyakat is.

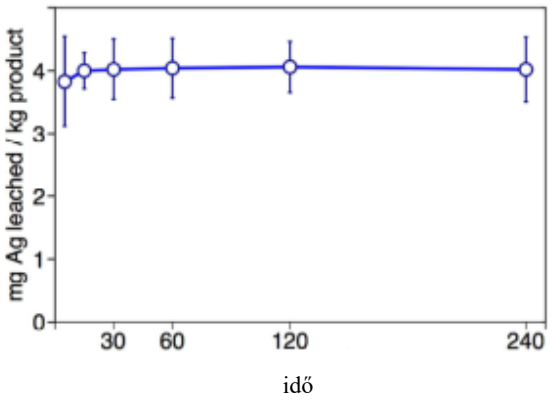
Kutatásuk alapján megállapítható, hogy a folyadékokba kioldódott ezüst mennyisége elérte a maximumot kevesebb, mint 5 perc alatt, és ezután nagyjából állandó maradt. Tehát, ha a textília hosszabb ideig van kitéve a verítéknek, nem jelenti azt, hogy több ezüst fog abból kioldódni. Azokról a mintákról, amiket háromszor egymás után mesterséges verítékbe mártottak, majd vízzel öblítettek, és végül szárítottak, veríték hatására minden alkalommal kevesebb ezüst vált le róluk. Minden egymást követő ciklus során az ezüst kioldódása a mintákból 4±1, 0,39±0,02 és 0,14±0,01 mg/kg, ami a textilben jelen levő ezüst ~5%-a.[151] Ezzel szemben Benn és Westerhoff kutatása szerint vízben, négy 24 órás ciklusban mosott zoknikból a legtöbb esetben az ezüsttartalmuk szinte teljes egésze kioldódott a negyedik mosásra.[152] A textilekről leváló ezüst részecskéket is megfigyelték a mosóvízben. Kutatásuk arra irányult, hogy felbecsüljék, mennyi ezüst oldódhat ki mosás során. Nem mérték fel, hogy ezek a termékek vajon megtartják-e antimikrobás tulajdonságaikat hosszabb használat után.

Érdekes tény, hogy kutatásuk alapján az ezüst a textília használata után, a sík felületről vett törleten is kimutatható. A kísérletben nedves állapotú textíliát helyeztek a csempére, a felület száradása után vettek törletet (5. táblázat).

termék	ezüst mennyisége a terméken (mg Ag/kg termék)	levált ezüst mennyisége ($\mu g/m^2$)
takaró	110±4	23,0±1,4
plüss játék, külső szőr	0,6±0,1	13,8±8,4
konyhai súroló	4,6±0,3	0,3±0,1

5. táblázat A textíliákon levő ezüst mennyisége és a törletre jutott ezüst mennyisége [152]

A fenti táblázat mutatja, hogy mennyi ezüst jutott a törletmintákra, amelyekkel, a lehetséges bőrrel való érintkezést szerették volna felmérni. Az értékek ezüst tömegegység/területben olvashatóak. Az átjutó ezüst mennyisége többé-kevésbé arányosan változik a termék ezüst tartalmával, kivéve a plüss játék esetében. Előfordulhat, hogy ennél a terméknél az ezüst a belső töltetből átjutott a külső bevonatra és ez befolyásolta a törletre jutó ezüst mennyiségét.
Az 14. ábrán mesterséges verítékkel kezelt gyermek takaróból kioldódott ezüstmennyiség változása látható az idő függvényében. Megállapíthatjuk, hogy a kioldódott ezüst mennyisége elérte a maximumot kevesebb, mint 5 perc alatt, és ezután változatlan maradt.



14. ábra A kioldott ezüst mennyisége 5 perc alatt elérte a maximumot [151]

Amennyiben a takarót hosszabb ideig kezeljük, verítékkel majd mossuk, nem jelenti azt, hogy több ezüst fog kioldódni. A háromszor egymás után mesterséges verítékkel kezelt takaró mintákról tiszta vizes öblítés és szárítás után minden alkalommal kevesebb ezüst oldódott ki. A textíliák mindennapi használata utáni tisztántartás, mosás kapcsán felmerült a kérdés, hogy az igénybevétel során, függetlenül attól, hogy milyen formában kerül a kelmére, vagy a fonalra, vajon sérül, leválik-e az ezüst. Erre vonatkozó tanulmányában Nowack és társai, különböző zokni gyártó termékeit hasonlították össze. Kísérletükben a mosóvízben visszamaradt ezüst mennyiségét vizsgálták. A tanulmány szerint minden termékből mosódott ki ezüst. A kutatásban szerepelt kereskedelmi forgalomban kapható antibakteriális, ezüst bevonatú zokni

(X-STATIC®) és nanoezüst tartalmú zokni (Ag Kill Bact), míg a többi kelme a gyártótól közvetlenül beszerzett, valamint egy kutatási projektből származó minta (PLASMA-NP).

termék	1. ciklus [µg/g]	2. ciklus [µg/g]	fehérítő ciklus [µg/g]
X-Static®	314	129	172
Plasma-NP	67	-	-
AgCl	2,7	1,8	3,6
AgCl-BINDER	2,4	0,9	3,2
NP-PES-SURF	10,1	-	-
NP-PES	1,3	0,35	2,7
NP-PES/PA	4,3	1,6	10,2
AG KILL BACT	377	99	184

6. táblázat Az ezüst kimosódása µg/g textíliára a különböző kereskedelemben kapható zoknikból 1-2 mosási ciklus és fehérítés után[153]

Kimutatták, hogy a fehérítőnek nagy hatása van az ezüst módosulataira a textíliákban és jelentős transzformáció ment végbe elemi ezüstből AgCl-be fehérítő jelenlétében (6. táblázat).[153]
Továbbá kimutatták, hogy a mosási körülmények során a textíliákról a mosóvízbe kioldódó ezüst nagy része 450 nm-nél nagyobb részecskék formájában van jelen, hogy csak 5-15% a kisebb részecske és a legtöbb textil esetében a kioldott Ag szintje meglehetősen alacsony. [154]
Benn és Westernhoff (2008) vizsgálta az ezüst kioldódását kereskedelmi forgalomban kapható nanotextíliákból desztillált vízbe. Kimutatták, hogy nagy rész oldódott fel ionos ezüst formájában.[152], majd (2010) megmérték a levált ezüst mennyiségét különböző textíliákból a csapvízbe. A kioldódott ezüst nagy része átjutott a 20 nm-es szűrőn, így oldott vagy nagyon kicsi nanorészecskék formájában kellett, hogy legyenek.[155]
Farkas és társai bizonyítékkal szolgáltak arra, hogy a mosógépek szennyvízében, amelyek Ag-t oldanak ki a mosóvízbe, 10 nm átmérőjű ezüst nanorészecskék voltak jelen.[156]
Ezek a tanulmányok kimutatták, hogy ha a nanotextileket vizes oldatnak tesszük ki, akkor ezüst fog kioldódni, de a legtöbb tanulmányban a kioldott részecskék kémiai tulajdonságai nem tisztázottak, valamint nem térnek ki a szálasanyagok pontos leírására, jellemzésére.
A kimosódás fokától függően a textíliákra felvitt ezüst mennyisége akár az antibakteriális hatás elveszítését is eredményezheti.[157]
Következtetésképpen, a kereskedelmi forgalomban kapható termékek élettartama során fellépő ezüst részecskék leválása, és annak üteme veszélyt jelenthet az ökológiai rendszerre.

2.13.2 Silver Nano ™ mosógépek

Egyes mosógépgyártók figyelmét is felkeltette az ezüsttel való fertőtlenítés lehetősége és belátták, hogy a fogyasztók számára igencsak korlátozottak voltak a lehetőségek, ha

fertőtleníteni akarták ruháikat. A 90-95 C° mosás, 15 perces forralás, vagy a különböző fertőtlenítő anyagok erősen fakították a ruha színét, és roncsolták a kelmét. Megjelentek a piacon a Silver Nano™ mosógépek, amik leírásuk szerint a nanotechnológiának köszönhetően egyesítik az emberi hajszál vastagságánál 75.000-szer kisebb ezüst nano részecskék fertőtlenítő és antibakteriális tulajdonságait, így hatékonyan elpusztítják a kórokozókat, penészgombákat és baktériumokat. A mosógépben elhelyezett ezüstlapok elektrolizálják a Silver Nano™ ionokat mosás és öblítés közben. A Silver Nano Health System™ működési elve a következő:

1. lépés: az elektromosság az elektródokon keresztül ezüst ionokat generál.
2. lépés: a befolyó vízzel az ezüst ionok a mosógép dob részébe jutnak.
3. lépés: mosás és öblítés közben a mosógép ezüsttel ionizált vizet használ.
4. lépés: az ezüst ionok elpusztítják a baktériumokat a mosógépben.
5. lépés: az ezüst ionok védő réteget képeznek a ruhán, megakadályozva ezzel a baktériumok kialakulását további 30 napon keresztül.

Az alacsony hőfokon kellő védelmet biztosító mosás a baktériumokat és penészgombákat szinte teljesen elpusztítja, szagtalanít és a szennyeződéseket is eltünteti. Az alacsony hőfok komoly energia megtakarítást és környezetkímélést jelent.

A mosás befejeztével a Silver Nano™ ionok olyan antibakteriális védőréteget képeznek, mellyel 30 napig védik a ruhát a baktériumoktól, és azokkal a kórokozókkal is végeznek, melyek az izzadtságban szaporodnak el. A technológia lehetővé teszi, hogy azokat a babaruhákat, kényes blúzokat, sortokat és női fehérneműket is lehessen mosógéppel tisztítani, melyeket eddig meleg (60-90 °C) vízben nem lehetett komolyabb károsodás nélkül kimosni. Ez a Samsung technológia „Sterilization Mark” díjat kapott a Koreai Teszt és Kutató Intézettől.[158]

2.13.3 Ezüst a vízben

Fejlődő társadalmunkban egyre komolyabb problémákat jelent az antibiotikumokra rezisztens baktérium törzsek fejlődése ezt követően pedig magától adódik a feladat: új baktériumölő anyagok kifejlesztése. A természethez és a gyökerekhez visszatérve, de az új, modern technológia adta lehetőségekkel korszerű antibakteriális felületek állíthatók elő.

A WHO szerint az ivóvíz Ag-tartalmára nem kell határértéket megállapítani,[38] mert természetes koncentrációja az egészségre veszélytelen. A magyar jog szerint a megfelelő minőségű ivóvízben legfeljebb 10 µg/l, a tűrhetőben legfeljebb 50 µg/l Ag lehet. Szántóföldön hasznosítani kívánt szennyvízben Magyarországon megengedhető határértéke 100 µg/l. Jogszabályban (10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendeletben (A felszín

alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről [39]) előírt, „hivatalos” határ értéke Magyarország talajaiban 0,3 g/t; szennyezettségi határértéke 2 g/t. Jogszabályban megengedett mennyisége országonként különböző.

1930-ban kezdtek ezüstionokkal, ipari mértékben ivóvizet fertőtleníteni. Egyes adatok szerint az így kapott ezüst víz baktériumölő hatása nagyobb, mint a klór, klórmész vagy más erős oxidáló anyag ugyanolyan koncentrációban. Az ezüst víz külsőleg való felhasználása esetén, az antibakteriális hatás nagyságrendekkel erősebb, mint a penicillin hatása.

Az űrhajósok az űrállomáson ezüst ionokkal fertőtlenített vizet fogyasztanak. A személyzet tagjai és az utasok a veszélyes fertőzések elkerülése érdekében ezüst ionnal fertőtlenített vizet isznak a hajókon, tengeralattjárókon, repülőgépeken. Minden pozitív tulajdonsága mellet is, ez a módszer az ezüst magas ára miatt nem terjedhetett el oly mértékben, mint a víz klórozása.

„Magyarországon, a Fővárosi Vízművek Rt. gyárt és alkalmaz mobil, repülőgépen katasztrófa helyzetben lévő területekre szállítható, nagykapacitású, ivóvíz előállítására alkalmas víztisztító berendezést, amelyben a víz sterilizálása ezüst-ion adagolással történik. Ezt a felszerelést sikeresen alkalmazták Sri-Lankán 2005 januárjában. Az ezüst ion koncentráció az így előállított ivóvízben 50-100 μg/l. A Fővárosi Vízműveknél van az 1986-ban rendszerbe állított csomagoló-berendezés, ami víztisztításra is alkalmas. Óránként 3000 liter vizet tud megtisztítani, 2000-et pedig becsomagolni. Tisztításkor szűr, UV-csírátlanítást hajt végre és a hosszabb eltarthatóság érdekében ezüstiont adagol a vízhez, így az tizennégy napig bátran fogyasztható. A mobil berendezést többek között a tiszai ciánszennyezéskor is használták.” [40]

A nemzetközi egészségügyi szervezet, a WHO 2003-ban adott ki az ivóvízről olyan jelentést, amelyben foglalkozott az ezüst-ion ivóvízre kifejtett hatásáról (Silver in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. 2003). Kutatásuk szerint „a természetes vizekben az átlagos ezüst koncentráció csak 0,2 – 0,3 μg/l. Az USA-ban végzett mérések alapján, az ivóvízben mért koncentrációk a „nem kimutatható” szinttől 5 μg/l-ig terjednek.

Az emberi szervezet, a bevitt ezüst 0-10% -t tartja csak fel. Általában, pár naptól 50 nap alatt a szervezetbe bevitt ezüst koncentrációja a felére csökken, majd kiürül.

A Labornite Kft. vízlabor szerint a mai tudományos eredmények alapján 10 g feletti ezüst bevitele az emberi szervezetbe (10 g =10 millió μg) veszélyesnek tekinthető. Az ivóvíz ezüsttel történő fertőtlenítése esetében, az ezüst maximális koncentrációját 100 μg/l szinten javasolják tartani. Ebben az esetben is csak 70 éves fogyasztás után gyűlhetne fel a szervezetben 5 g ezüst, vagyis a veszélyesnek tekinthető 10 g fele.[40]

A textilipar egyik új terméke az ezüstözött textília, számos kedvező tulajdonsággal rendelkezik, azonban kutatások mutatják, hogy a textíliák felületére felvitt ezüst mennyisége a használat és a mosások során kopik, a mosóvízbe kerül, a mosóvízzel pedig ki kerülhet a környezetbe.
További kutatásokra van szükség annak vizsgálatára, hogy az ezüst nanorészecskék veszélyt jelentenek-e a környezetre. Használatuknak van-e milyen és mekkora ökológiai és egészségügyi kockázata.

3. Vizsgálat tárgya és módszerei

Szakirodalmi kutatásaim alapján elmondhatom, hogy számos kutatás folyik az ezüst felhasználásával kapcsolatosan, azonban az eddigi vizsgálati eredmények nem adnak választ arra, hogy a textíliákon levő ezüst mennyiség hogyan változik mosás után. A mosások alkalmával az ezüst mennyisége mennyivel csökken a kelmén, mosóvízzel mennyi ürül ki a természetbe és az antibakteriális hatás mennyi ideig érvényesül.

A vizsgált alapanyagoknál számos számunkra ismeretlen tényezővel néztünk szembe, íme néhány:

-pamut esetében nem ismertük a pamut szál érettségét, viasztartalmát, szennyezettségét, az alkalmazott fonási eljárást, a kelmeképzési eljárást, stb.

- PA, PES esetében nem ismertük a lineáris sűrűséget, az alkalmazott speciális kezelést (pl. érdesítés, lángálló kezelés stb.)

-nem ismerjük az ezüst mennyiségét, minőségét, ezüst felviteli technológiát, stb.

A vizsgálataim során különböző mosási technológiákat használtam, de nem ismertük a berendezés/ edény baktériumtartalmát, egyéb szennyezettségét, a víz pontos összetételét (Szegedi víz összetétele 3. melléklet) stb. A vizsgálatom alatt nem számoltam a használat során az ezüsttartalmat befolyásolható izzadtság hatásával.

A vizsgálati körülmények mindegyike hatással van az ezüstözött textíliák antibakteriális hatásának változására, használat során kérdés megválaszolására.

A jelen munka értékelésénél javasolom a Heisenberg féle reláció eredeti formájának kiterjesztését a jelen témára, nevezetesen: egy rendszeren nem lehet méréseket végezni anélkül, hogy ezzel meg ne változtatnánk magát a rendszert. A téma sokrétűségére tekintettel, széleskörű nemzetközi kutatómunkának kell a kutatási témát folytatni.

Az irodalom áttekintése alapján megállapítottam, hogy a szakirodalom adatai nem adnak lehetőséget a mérések reprodukálására. Ebből következik a következő 2 megállapítás:

1. A mérések nem reprodukálhatóak, mert nem tudjuk a vizsgálat összes körülményeit, valamint nem ismerjük a szálasanyagok minden jellemzőjét (pamut érettségi fokát, mesterséges szálak milyen technológiával készültek, milyen kikészítési folyamatokon estek át, stb.). A termékekhez mellékelt vásárlói tájékoztatók nem elég részletesek és nem adnak teljes körű tájékoztatást.
2. A bizonytalan mérési eredmények miatt körvizsgálatot kellene kezdeményezni, az Európai Unióban. A vizsgálat a textilipari laboratóriumokat érintené, a vizsgálat során fényt kellene deríteni azokra a tényezőkre, amik a termékek leírásában nem szerepelnek,

de fontos szerepük lehet a vásárlók teljes körű tájékoztatásában. Ennek eredményeképpen a vásárlók széleskörűbb, pontos tájékoztatást kapnának.

A jelen kutatási téma ezért egy új kutatási témakör indításának tekinthető, amelyben csak az alábbi részletkérdések megválaszolására volt lehetőség:

1. Ezüstözött textíliák fajlagos ezüsttartalmának meghatározása (ICP- MS vizsgálat)
2. Ezüsttel kezelt textíliákon észlelt változások mosási ciklusok után (vizsgálat SEM-EDX módszerrel)
3. Ezüstözött textíliákon levő ezüst mennyiségének vizsgálata az ezüst leválasztásának módszerével (elektrolízis)
4. Fémezett textíliákon levő fém mennyiségének mérése fémdetektálási módszerrel
5. Az ezüstözött textíliák mikrobás hatásának változása mosási ciklusok után
6. Textíliák szerepe az egészség megőrzésében

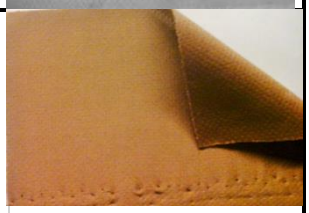
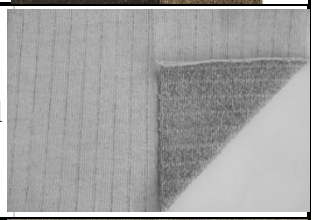
A már ismert vizsgálatok mellett néhány új vizsgálati módszert dolgoztam ki és megvizsgáltam 8, a kereskedelemben kapható ezüst bevonatú fonalakból, nanoezüstözéssel, vagy impregnálással készült termékeket.

3.1 Vizsgálat anyagai

A kutatáshoz kereskedelmi forgalomban kapható, a gyártó leírása szerint ezüstözött textilipari termékeket használtam.

A kutatás, a mérések, és mérési előkészületek során a kísérletek számát az ésszerűség határain belül tartottam. A kelméken végzett első vizsgálatok alapján rugalmasan módosítottam a kísérleteket és szelektáltam a mintákat.

A vizsgált kelmék összetétele, termékkísérő címkéjükön feltűntetett összetétele, valamint fotóik a 7. táblázatban láthatók.

azonosító	összetétel/ területi sűrűség	ezüstözés	fotó
ENZ-1	pamut 75% elasztán 10 % elasztin* 15% (180 g/m^2)	nanoezüstözött	
ENZ-2	pamut 75% elasztán 10 % elasztin 15% (220 g/m^2)	nanoezüstözött	
ENZ-3	poliészter (PES) 100% (160 g/m^2)	nanoezüstözött	
ENZ-4	pamut 64% poliamid (PA) 36% (200 g/m^2)	nanoezüstözött	
ESZ-1	pamut 82% X-static ezüstözött fonal 9% poliamid (PA) 6% elasztán 3% (180 g/m^2)	ezüstözött fonal	
ESZ-2	pamut 77% poliamid (PA) 10% lycra (LY) 3% ezüstözött poliamid (Ag PA) 10% (200 g/m^2)	ezüstözött fonal	
ESZ-3	pamut 76% poliamid (PA) 17% ezüstözött poliamid (Ag PA) 7% (190 g/m^2)	ezüstözött fonal	
EK-1	poliamid (PA) 100% (35 g/m2)	felületén ezüstözött	

7. táblázat A vizsgált ezüsttartalmú textíliák összetétele, fajlagos tömege, fotói

A 7. táblázatban *-gal jelölt elasztin elnevezés a textiltermékek elnevezéséről szóló 32008L0121 az Európai Parlament és a Tanács 2008/121/EK irányelve (2009. január 14.) I. mellékletében nem található.

Az Európai Unió Hivatalos Lapjában „A Bizottság 286/2012/Eu Felhatalmazáson Alapuló Rendelete (2012. január 27.) a textilszál-elnevezésekről és a textiltermékek szálösszetételének ehhez kapcsolódó címkézéséről és jelöléséről szóló 1007/2011/EU európai parlamenti és tanácsi rendelet I. mellékletének új textilszál elnevezéssel való kiegészítése érdekében, valamint VIII. és IX. mellékletének a műszaki fejlődéshez való hozzáigazítás céljából történő módosításáról (EGT-vonatkozású szöveg)”-ben nem szerepel az elasztin kifejezés.

A Magyar Közlöny 2010. december 14.-i 189 száma, 1 melléklete a 9/2010 (XII. 14.) NGM rendelethez, a textilszálak táblázatában sem szerepel az elaszin elnevezés, azonban a gyártó címkéjén ez a felirat szerepelt. Feltételezhetően, elasztikus szálat jelenthet.

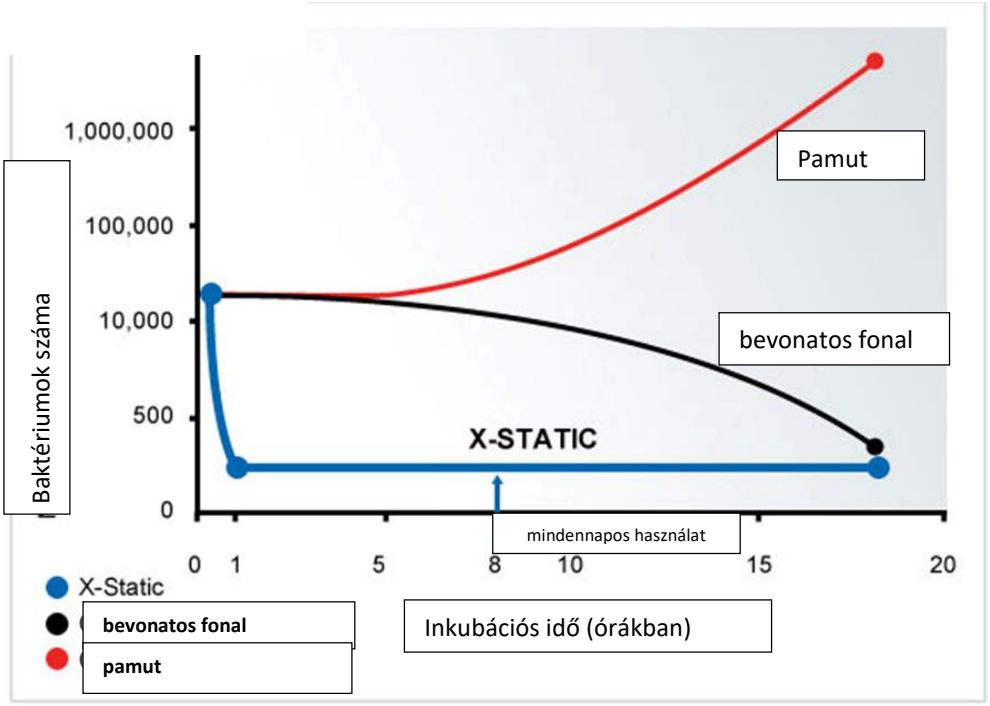
A vizsgált termékek kötött kelmék, jellemzően 160-220 g/m^2 területi sűrűségűek. Az ENZ-1, ENZ-2, ENZ-3, ENZ-4 kelme a gyártó leírása szerint anaoezüstözött.

Az ESZ-1-2-3 kelmék ezüstözött fonalat tartalmaznak (15. ábra), a 0,1 mikron vastagságú Ag bevonat nem befolyásolja a PA fonal eredeti mechanikai tulajdonságát, így a kötés és feldolgozás során nem jelent különösebb gépészeti problémát.

A 15. ábrán látható mikroszkóp alatt az ezüstözött PA filamens ezüstös, fémes fénye.

15. ábra Ezüsttel bevont PA filamens 36x nagyításban (ESZ-2 mintakelméből)

Az X-Static® szál ezüstözött rugalmas polimer [146] (poliamid PA) alapú vezetőképes szál amit a Noble Biomaterials, Inc. (USA) gyártó cég szabadalmazott és védett márkanéven forgalmaz. A gyártó a honlapján, az X-Static® szál antibakteriális hatását az alábbi 16. ábrával bizonyítja.



16. ábra X-Static® fonalak antibakteriális hatása
(forrás: http://www.infectionpreventiontextiles.com/X-Static-Technology.php)

AZ EK-1 kelme szövött, területi sűrűsége 35 g/m^2 (EK-1 jelzésű) felülete ezüstözött, a kelme a gyártó elmondása szerint impregnálással készült.

3.2 Mosás

3.2.1 Mosás körülményei 1.

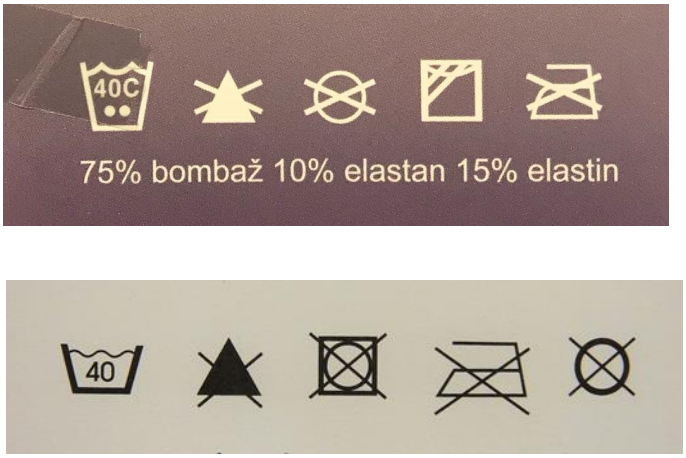
A mosások körülményeit a MSZ EN ISO 6330 Textíliák. Háztartási mosási és szárítási eljárások textilvizsgálatokhoz nevű szabvány írja le.

A vizsgálat célja a textilanyagokon levő ezüst, mosással szembeni tartósságának meghatározása. A tanulmány során egy átlagos mosást szimuláltunk.

A mosást Launderometerben végeztük, a mosáshoz csapvizet használtunk (csapvíz adatai 3. mellékletben találhatók), a mosó fürdő aránya: 5 g/liter, mosószer kereskedelemben kapható, optikai fehérítő nélkül (Tomi Color összetétel 4. melléklet), 40 ºC-on, a mosást 30 percen át végeztük, az öblítés csapvízben, szárítás fektetve, szobahőmérsékleten történt.

A mosás utáni öblítésnek fontos szerepe volt, hiszen a mosószer maradványok eltávolítása különösen fontos a kísérlet elvégzésénél. A mosási kísérlet mosószerének kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy ne tartalmazzon titándioxidot, aminek maradványai a méréseket befolyásolhatják. A szárítást, minden esetben, a mérések előtt 12 órás kondicionálás követte.

A minták kezelése során visszamaradó mikrobiológiai ágensek inaktiválása érdekében az anyag maximális hőterhelését jelentő 105 °C-on 120 percen keresztül hőlégsterilezőben hőkezeltük.



17. ábra A kereskedelmi forgalomban kapható ezüstözött textíliák kezelési útmutatója

A textilkresz szerint (17. ábra) az ezüstözött textíliák 40 °C moshatóak, nem fehéríthetőek, szárítódobban nem száríthatók, nem vasalhatók és nem vegytisztíthatók.

3.2.2 Mosás körülményei 2.

A vizsgálatok során a hagyományos mosószerrel mosott minták az ICP-MS vizsgálat során habzottak. A habzás a minták vizsgálatát akadályozta, így az ICP-MS vizsgálat speciális igényei miatt ehhez a vizsgálathoz különleges mosási módszert kellett kidolgozni.

A mosási kísérletek során 6 párhuzamos mintával (3x3 cm méretű textil darabok) végeztük a kísérleteket. Ezekből hármat az ICP-MS vizsgálatokhoz, hármat a mikrobiológiai vizsgálatnak vetettük alá különböző mosási ciklusonként. A mosást Na_2CO_3 oldattal (mosószóda) végeztük. A mosószóda alkalmas zsíros, olajos szennyeződések eltávolítására is, valamint vízben kitűnően oldódik. Az ICP-MS vizsgálatok miatt célszerű választás volt, mert összetétele (analitikai szempontból) nem kontrollálatlan, és nem habzik jelentősen, szemben a forgalomban lévő mosószerekkel (amikben ugyanakkor sokszor alkotóként előfordul). A nátrium-karbonát vizes oldata bázikus kémhatású, és mivel az ezüst vélhetően többnyire elemi állapotban van jelen a textíliákon (nanorészecske, fémbevonat), ezt a lúg nem oldja. Ugyanakkor az ezüst kis része ionos formában is jelen lehet a vizsgált mintákon, ami a lúggal reagálva AgOH-dá alakul, majd gyorsan AgO-dá, és ez a mosás mechanikai művelete illetve az öblítés során távozik a felületről. A mosószóda adagolásához a forgalomban lévő termékek címkéjének iránymutatását vettük alapul, 0,4 g/l koncentrációjú Na_2CO_3 oldatot készítettünk. Egy mosás alkalmával 100

ml Na_2CO_3 oldatot öntöttünk az egyes mintákra, majd rázógépbe helyeztük a műanyag mintatartókat 15 percre, mellyel a mosás körülményeit szimuláltuk. Minden rázatási ciklus után leöntöttük a használt mosóoldatot, a mintákat alaposan (háromszor 100 ml nagytisztaságú laborvízzel) átöblítettük, majd a mintatartókat újra felöntöttük Na_2CO_3 mosóoldattal. Az öblítésre két okból volt szükség: az egyik, hogy a habzást minimálisra csökkentsük, valamint a másik ok, hogy a lúgot eltávolítsuk, így a minták későbbi savas feltárásánál a lúg nem semlegesítette az alkalmazott savat. A különböző mintadarabokat 1, 5, 10, illetve 20 mosási ciklusnak vetettük alá. Végül szárítószekrénybe helyeztük a mintákat a későbbi mérésekig.

3.3 Koptatás

Használat szempontjából igen fontos követelmény a kelmék kopással szembeni ellenállása. Azokon a helyeken ahol a kelme saját anyagával, más textíliával vagy idegen tárggyal (testtel) érintkezik, kopásnak van kitéve. A gyakorlatban a kelme lassan kopik, a laboratóriumi vizsgálatokhoz olyan módszert alkalmaztam, amivel modellezni tudtam a valós kopást, de a mechanikai dörzsölés folyamatát gyorsítottam.

Az általam használt koptatógép 1302 Mini Martindale, 2 munkafejes készülék. Felépítése: a testen elhelyezkedő próbadarab befogására és rögzítésére alkalmas befogópofa, valamint a koptatószerszám. A koptatószerszám és a próbadarab tartó tengelye egymással párhuzamos és egymáshoz képest eltolt helyzetű. A koptatás során a koptató szerszámot ugyanazzal a kelmével vontuk be, amit a koptató fejre helyeztem. (Így a kelme önmagát koptatja).

A koptatást MSZ EN ISO 12947-2:2000 Textíliák. Kelmék kopásállóságának meghatározása nevű szabvány alapján végeztük. Mivel nem a kelme kopásállóságát szerettem volna vizsgálni, csupán megkoptattam a kelme felületét. 50 koptatási ciklust alkalmaztam, a koptatás 7±2 kPa nyomás alatt történt (a műszaki textíliák esetén alkalmaznak 12 kPa-t).

A kelmék koptatása mindig a mosást követően történt, a koptatott kelméket újabb mosási és koptatási ciklusok alá nem vetettem. Munkám során az ESZ-2, ESZ-3, és az EK-1 jelzésű mintakelméket koptattam.

3.4 Mérések és kondicionálás körülményei

A kelméket mérések előtt kondicionáltam MSZ EN ISO 139:2005 szabvány szerint 20±2 °C-os és 65±4% relatív nedvességterű légtérben. A mintákat egymástól elkülönítve egy rácson legalább 12 órán keresztül pihentettem, a mérésekhez, vizsgálatokhoz is ugyanilyen légteret biztosítottam.

3.5 Vizsgálati módszerek

3.5.1 A textíliák fajlagos ezüsttartalmának meghatározása (ICP-MS)

Olyan eljárást igyekeztünk kifejleszteni, ami az ezüst leoldását oxidatív környezetben megvalósítja. A keletkező oldatok fémtartalmát induktív csatolású plazma tömegspektrometriával (ICP-MS) határoztuk meg. A méréseket az antimikrobás hatást kifejtő textíliákra (EK-1, ESZ-2, ENZ-2) fókuszálva végeztük el (Ezüstözött kelmék antimikrobás vizsgálata 4. módszer).

A tömegspektrometria egyaránt szolgál szerves és szervetlen anyagok minőségi és mennyiségi elemzésére. Egyike a legáltalánosabban alkalmazható és a legjobb kimutatási képességgel bíró (10^{-16}g) analitikai eljárásoknak. Alkalmazásának korlátja, hogy csak gáz halmazállapotú, vagy a mérőberendezésben gázhalmazállapotúvá alakítható vegyületek mérésére alkalmas.

A módszer alapelve a következő: A mintában lévő atomokat, molekulákat ionizáljuk, az ionokat tömeg szerint (valójában töltésegységre eső tömeg, m/z szerint) szétválasztjuk és a mennyiségükkel arányos jelet regisztráljuk.

Bár semmiféle kapcsolata nincs az optikai módszerekkel, a műszert mégis tömegspektrométernek nevezik, az általa előállított tömegspektrumok optikai spektrumokhoz hasonló kinézete miatt.

A tömegspektrometriás mérés részfolyamatai:

1. A minta gázállapotba hozása (Kombinált módszer esetén ICP-vel).
2. A mintakomponensek ionizációja és fragmentációja[29].
3. A keletkezett ionok felgyorsítása elektromos tér segítségével.
4. Az elektromos és mágneses térben a töltésegységre jutó tömegük szerint (m/z) elválasztott ionnyalábok regisztrálása, az így szétválasztott különböző tömegű fragmens ionok mennyiségének a meghatározása.

A fenti folyamatoknak vákuumban kell végbemenniük, mivel az ionsugaraknak kellő hosszúságú, ütközés nélküli szabad utat kell megtenniük. A 6000-8000 K hőmérsékletű plazma hatékony ionforrás, a legtöbb fém ionizációjának hatásfoka nagyobb, mint 90 % bár van néhány fontos elem, ami csak kisebb mértékben ionizálódik (As, Se, S, F). Kimutatási határa pg/ml (ppb)[30] nagyságrendű. Az ICP-ionforráson keresztül a tömegspektrométerbe bevitt minta ionjai tömeg/töltés (m/z) hányados szerint időben elválasztva kerülnek detektálásra. A módszerrel nagyszámú minta és nagyszámú elem határozható meg. Az ICP-MS készülékbe nagy oldott anyag koncentrációjú oldatokat nem lehet betáplálni, mert a mintavevő hamar eltömődik.

Általában híg salétromsavas közegben készítik a mintákat.[159]

3.5.2 Ezüst detektálása a textílián röntgen fluoreszcenciával (XRF[31])

A polimerekre felvitt ezüst mennyiségének, a használat során bekövetkező változását nehéz kimutatni. A szálakon olyan kis mennyiségű ezüst van, hogy a hagyományos tömegmérési módszereket nem lehet alkalmazni. Még az analitikai mérés pontatlansága is nagyobb, mint a tömeg változása a mérési sorozat két állomása között. Ezért valami merőben más mérési módszert kellett keresni. Választásom végül egy olyan eszközre esett, amely fémek rétegvastagság mérésére alkalmas. Alapesetben ennek az eszköznek a fő alkalmazási területe fém hordozókra felvitt fém bevonatok rétegvastagság mérése és a galvánfürdő elemzése. A pontszerű mérés során pozícionálható, hogy pontosan hol szeretnénk a mérést elvégezni, a 0,1-0,5 mm átmérőjű röntgensugárral. Ráadásul az is kiderül az anyagspektrumokból, hogy a textilre felvitt anyag tényleg ezüst-e és milyen tisztaságú. Tartalmaz-e, és ha igen, milyen mértékben ötvöző anyagot.

Az X-Strata 920-as mérőműszer segítségével röntgenfluoreszcens mérést végeztem. A mérés során a mérési felület pontszerű, 0,1-0,3 mm. Detektálva a mintából kijövő röntgensugárzást a vonalak energiája alapján meghatározhatók a mintát alkotó elemek, míg az egyes vonalak intenzitásából a koncentrációra következtettem. Bármely amplitúdó értékhez meghatározható a karakterisztikus röntgensugárzás energiája, (így azonosítva az elemeket), míg a csúcs nagyságából, a csúcs alatti területből kiszámítható a koncentráció.

3.5.3 Ezüst mennyiségének vizsgálata az ezüst leválasztásának módszerével

A textíliákon levő ezüst leválasztására elektrolízist használtam, kísérleti berendezésem az elektrolizáló cella.

Elektrolízis folyamán elektromos energiát használtam fel kémiai reakciók elősegítésére. A folyamat elektrolizáló cellában történik, alkotói az elektródák és az elektrolit oldat.

Az elektrolitban külső áramforrás hatására megindul az ionok adott irányú mozgása – ellentétes töltésű pólus felé mozognak: kationok a negatív pólus (katód) felé – itt redukció játszódik le, az anionok a pozitív pólus (anód) felé – itt oxidáció történik.

Az elektrolízis sebessége nem függ az elektrolit koncentrációjától vagy hőmérsékletétől. Faraday első törvénye szerint az elektródon levált anyag tömege egyenesen arányos az áramerősséggel és az elektrolízis időtartamával.

$$m = k \cdot I \cdot t. \qquad \text{(2. képlet)}$$

m: az elektrolízis során kivált alkotórészek mennyisége [g]

k: arányossági tényező
I: az áthaladó áram erőssége [A]
t: elektrolízis időtartama [s]

Az általunk használt áramforrás 4,5 V, az elektrolit oldat desztillált víz és ecetsav, más néven etánsav szerves vegyület, képlete CH_3COOH (oldat koncentrációja 270 ppm[ii] ami 0,5 mS/cm vezetőképességnek felel meg, mivel a szakirodalom szerint 1 mS/cm vezetőképesség 500-600 mg/l illetve 0,5-0,6 g/l, vagy 500-600 ppm felel meg).

A tiszta víz vezetőképessége nagyon alacsony (0,055 – 1,00 µS/cm). A csapból folyó ivóvíz vezetőképessége 500-800 µS/cm (0,50-0,80 mS/cm). A nagy tisztaságú vizek vezetőképessége csupán néhány µS, sótartalmuk nagyon alacsony és 0,5 mg/l környékén van. Egy ilyen oldat koncentrációja %-ban kifejezve megfelel 0,00005%.

Az EC (vezetőképesség-mérés, vagy konduktometria) mértékegysége a mS/cm vagy az ezerszer kisebb µS/cm. Egy mS/cm megközelítőleg 500-700 mg/l (vagy ppm) sótartalomnak (TDS) felel meg. Az általam használt TDS mérőműszert ismert sótartalmú oldattal kalibrálják. A leggyakrabban használt kalibráló a NaCl (vagyis konyhasót) tartalmazó oldat. Ebben az esetben, 1 mS/cm vezetőképesség megfelel 500 mg/l (vagy 0,5g/l, vagy 500 ppm) sótartalomnak[iii].

3.5.4 Pásztázó elektronmikroszkóp energiadiszperzív röntgen-analizátorral (SEM-EDX vizsgálat)

A Bűnügyi Szakértői és Kutatóintézet, Fizikai-Kémiai Szakértői Osztályán végeztünk vizsgálatokat, a vizsgálatok elvégzéséhez speciális optikai mikroszkópok, pásztázó elektronmikroszkóp (SEM), energiadiszperzív röntgen-spektroszkóp (SEM-EDX), valamint a tanulmányozott ezüstözött mintákat MTA-BME Műszaki Analitikai Kémiai Kutatócsoport BME Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszékén (JEOL JSM-5500LV SEM-EDX berendezéssel) is megvizsgáltam.

[ii] ppm-ppb: kis koncentrációkat általában a ppm vagy ppb értékben adunk meg. Mindig 1-nél kisebbek, a százalék (%) századrészt jelent, a ppm milliomodrész (az angol „parts per million”-ból), vagyis a % tízezred része, a ppb viszont nem billiomodrész, hanem milliárdod-rész, vagyis a ppm ezredrésze. (Az USA szóhasználatában a billió nem 10^{12}, hanem 10^9).

[iii] A mértékegységek a következő képen kapcsolódnak egymáshoz:
1 mS/cm = 1000 µS/cm= 1 EC
1 g/l = 1000 mg/l = 1000 000 µg/l= 1000 ppm
1 EC megközelítőleg megfelel 0,5g/l szárazanyag tartalomnak (TDS)
1 mS/cm=1 EC megfelel TDS-ben 500 mg/l = 500 000 µg/l .
1 µS/cm megfelel TDS-ben 0,5 mg/l =0,5 ppm= 500 µg/l .

A SEM-EDX készülék rendkívül fontos az anyagtudományi, gyógyszer, polimer stb. kutatásban. A pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) rutin eszköz a kutatásokban, és az általa szolgáltatott információk a minták morfológiájáról és elemi összetételéről rendkívül fontosak.
A készülék korszerű lehetőséget kínál szilárd minták felületi, morfológiai vizsgálatához, pontszerű elemanalízisének, illetve elemösszetétel térképének elkészítéséhez. Bár jobbára csak a minta felületének közeléből kapható információ, a legjobb mikroszkópokkal szerkezeti, topografikus és összetételbeli adatokat is nyerhetünk. A képalkotáson kívül lehetőség van a vizsgált anyag felületi elemösszetételének meghatározására, a hozzá csatlakozó energiadiszperzív röntgen-analizátorral (EDS/EDX/EDAX).
A mérési módszer elve, hogy a vizsgált mintában jelenlévő elemeket röntgensugárral gerjesztettem úgy, hogy mindegyik elem a jelenlevő sugárzást emittálja. Az emittált röntgensugár hullámhosszának mérésével minőségileg azonosíthatóak a jelenlevő elemek. Ha a különböző hullámhosszú sugárzások intenzitását mérem, az egyes elemek mennyiségét tudom meghatározni. A vizsgálati eredmények értékelése számítógépes program segítségével történik.
Az elemzési módszer előnye abban áll, hogy a vizsgálat roncsolásmentes, gyors minimális az üzemeltetési költsége, egyaránt alkalmazható főkomponens és ötvöző elemek meghatározására, a készülék egyszerűen kezelhető, főalkotóra a mérési pontosság 3‰. Hátránya, hogy csak felületet és azon egy adott pontot vizsgál.
Minták: az analízishez szilárd halmazállapotú minták szükségesek. Nagy vákuum üzemmódban vezető, vagy vezetőréteggel bevont mintákat lehet vizsgálni, kis vákuum üzemmódban szigetelő mintákat is. A mintákat arany- palládium vagy szén nanofilmmel lehet bevonni a porlasztó készülékkel.
A tárgyasztal beállításait (fókusztávolság, döntés, forgatás, különféle mintatartók) széles határok között lehet változtatni, így nagyobb méretű minták vizsgálata is elvégezhető.
Felületi, morfológiai vizsgálatok (SEM): A készülékkel egyrészről elektromosan vezető, illetve vezető réteggel bevont minták vizsgálata végezhető el, ahol a mintakamra nagy vákuum alatt van.
A mikroszkóp az úgynevezett kis vákuum üzemmódban is tud működni (low vacuum –LV), amikor a mintakamrában kis vákuum van (10-100 Pa). Ebben az üzemmódban a minta gyakorlatilag nem igényel előkészítést, a vizsgálatnak nem feltétele minta vezetése.
Pontszerű elemanalízis, elemeloszlás térkép (EDS/EDX/EDAX) képalkotáson kívül lehetőség van a vizsgált anyag felületi elemösszetételének meghatározására. A berendezéshez csatlakozó energiadiszperzív röntgen-analizátorral az elektronsugaras mikroanalízis annak a röntgensugárzásnak a mérésén alapul, amelyet az analizált mintában a mikroszkóp

elektronnyalábja keltett. A gerjesztett karakterisztikus röntgensugárzás energiája vagy hullámhossza arra az elemre jellemző, amely kibocsátotta, intenzitása pedig a kibocsátó elem koncentrációjával arányos. A mintából érkező röntgensugarakat egy Si(Li) detektor regisztrálja. A detektor a bórnál nagyobb rendszámú elemek jelenlétét képes kimutatni.

3.5.5 Az ezüstözött kelmék szerepe az egészség megőrzésében

Az SZTE ÁOK Bőrgyógyászati és Allergológiai Klinika 10 paciense kapott tesztelésre 1-1 pár ESZ-2 minta térdzoknit. A felmérésben résztvevő betegek az alsó végtagjaikon (mindkettőn) az egyik leggyakoribb bőrbetegséggel, neurodermatitisszel küzdenek. A kísérletek során nem vizsgáltam a hámrétegen jelentkező neurodermatitis pontos eredetét, tesztelésem csupán arra irányult, hogy a felszíni hámréteg elváltozásokra hatással van-e az ezüstözött zokni. A páciensek név nélkül vállalták, hogy az ezüstözött zoknit egyik végtagjukon rendeltetésszerűen, napi szinten viselik, a másik végtagjukra a számunkra megszokott, mindennapi viseletet használják. Életvitelszerűen, amikor azt úgy látják, a zoknikat moshatják, cserélhetik. A kísérlet ideje alatt gyógyszert nem szednek, a lábukat, amelyikre ezüstözött zoknit húznak, gyógyszerrel, gyógyhatású készítményekkel (krémmel) nem kezelik.

A páciensek vállalták, hogy a 7 napig tartó kísérlet végén egy kérdőív kérdésein keresztül beszámolnak tapasztalataikról.

A felmérést kérdőívvel végeztem (5. melléklet).

3.5.6 Ezüstözött kelmék antimikrobás hatásának vizsgálata

Antimikrobás hatásnak nevezzük az anyagok azon tulajdonságát amely elpusztítja az élő mikroorganizmusokat vagy meggátolja azok szaporodását.

A Science Digest 1978/3-as számában közzétett kutatási eredmények szerint az ezüst kb. 650-féle kórokozó elpusztítására képes.

A textilek vizsgálatát szabvány szerint a MSZ EN ISO 20743-2013 Textíliák. Baktériumölő kikészítésű termékek baktériumölő hatásának meghatározása nevű szabvány, valamint a MSZ EN ISO 20645:2005 Textiltermék. A baktériumölő hatékonyság meghatározása. Aggardiffúziós lemezpróba nevű szabvány írja le.

Munkám során a szabványnak megfelelő elvárásokat maradéktalanul nem tudtam teljesíteni. A szakirodalom sok egyéb vizsgálati módot ír le [160],[161],[108],[162], ebből merítve dolgoztam ki saját, kivitelezhető és reprodukálható módszert, abból a tényből kiindulva, hogy

a textilek mindennapi használata során a mikrobás hatást nem laboratóriumi körülmények között várjuk.

A tudomány mai állása szerint bizonyított, hogy az antibakteriális hatás vizsgálatánál párhuzamosan több módszert érdemes alkalmazni, mert egy mikroorganizmus, illetve egy módszer nem elegendő a hatás bizonyításához vagy cáfolásához.[123]

A baktérium és gombafajok széles skálájából mindössze néhány törzset vizsgáltam.

A választott törzsek rövid ismertetője:

Staphylococcus aureus, egy Gram-pozitív baktérium, telepei általában kerekek, enyhén domborúak, simák, fénylőek, vaj konzisztenciájúak. Az esetek többségében aranysárga színű, de lehet citromsárga vagy fehér is. A leggyakoribb humán patogének közé tartozik.

Escherichia coli (kólibaktérium vagy kólibacilus) Gram-negatív baktérium. Könnyen és jól tenyészthető. Rendszerint melegvérű állatok tápcsatornájának alsó szakaszában él.

Candida albicans a széles körben elterjedt „Candida" sarjadzógombák osztályának a leggyakoribb faja a normál bélbaktérium flóra résztvevője. Az egészséges szervezetben igen ritkán fordul elő az enyhe lefolyású betegségekért felelős kórokozó, ám a legyengült immunrendszerű betegeknél súlyos, gyakran végzetes kórfolyamot indíthat el.

Aspergillus niger egy gomba és az Aspergillus nemzetség egyik leggyakoribb számos enzimet - pektinázt, amilázt és egyebeket- állíttatnak elő vele, humán megbetegedéseket is kiválthat. Kiderült, hogy ezek a gombák rákkeltő toxinokat állítanak elő. Feltételezik, hogy ez a toxin a világ számos részén gyakori nyelőcsőrák kiváltásában játszhat szerepet.

A gátlóanyag-érzékenységi vizsgálatok kivitelezési módszerei:

Az agar-diffúziós módszer onnan kapta a nevét, hogy a vizsgált vegyületek az agar lemezben diffundálni képesek és hatékonyságuktól függő mértékben váltják ki a teszt mikroorganizmusok szaporodás-gátlási zónáját. A gátlási zóna nagysága függ a vegyület diffúziós sebességétől, koncentrációjától, a mikroba érzékenységétől. Az eljárás lényege: az előre elkészített táptalajba külső hordozóanyag segítségével (pl. korong, tabletta), vagy anélkül (lyuktesztnél egyszerűen vizes oldatban) diffúzióval juttatjuk be a hatóanyagot. A két legelterjedtebb metodika: a korong- és a lyukmódszer.

A korongmódszer esetében a tesztmikrobával beoltott agarlemez felületére helyezik az ismert koncentrációjú vegyülettel átitatott papírkorongokat. Majd meghatározott ideig (általában 24-48 óráig) inkubálják. A gátlóanyag a táptalajba diffundál, és gátlási zónát hoz létre, amennyiben a mikroorganizmus érzékeny az adott szerre. A gátlási zóna átmérőjének mérésével következtethetünk a vizsgált anyag hatékonyságára.

A lyukteszt módszer lényege, hogy a vizsgált mikroorganizmust tápagar lemezbe, vagy annak felületére szélesztjük[32] és dugófúrócsővel, steril körülmények között (10 mm átmérőjű) lyukakat vágunk a lemezbe. A lyukakba a vizsgált anyag vizes oldatából készített hígítási sorából azonos mennyiségeket (200 µl) helyezünk. Ezt követően a Petri-csészéket 4 ± 2 °C-os hűtőszekrénybe tesszük és 10 órán át tároljuk. Ezután 28 °C-os termosztátba helyezzük és 1-2 napos inkubáció után megmérjük a lyukak körül kialakuló gátló (vagy serkentő) zónák átmérőjét, amiből következtethetünk a gátlóanyag toxikusságára.[163]

Módszer 1. leírása:

A vizsgálatokat NYME-MÉK Élelmiszertudományi Intézetben Dr. Ásványi Balázs és Nagy Tamás segítségével végeztem.

A vizsgálathoz szükséges törzsek tiszta tenyészetek előállítása:

A vizsgált mikroorganizmust Eschrichia coli, Enterococcus faecalis, Pseudomonas aeruginosa, Candida albicans, Staphylococcus aureus subsp. aureus, Aspergillus brasiliensis előzetesen szelektív táptalajon tiszta tenyészeteket állítottunk elő. A tenyésztést aerob módon, Candida albicans és Aspergillus brasiliensis törzset 26 °C-on 48-72 órán át, az Escherichia coli, Enterococcus faecalis, Pseudomonas aeruginosa és a Staphylococcus aureus subsp. aureus törzset pedig 37 °C-on 24±4 órán át végeztünk termosztátban. Az elszaporított tiszta tenyészetekből 0,5 McFarland töménységű szuszpenziókat (20 cm^3) állítottunk elő (DensiCheck segítségével ellenőrzött). Ez 1,5×108 CFU (Colony Forming Unit-Telepképző egység)/cm^3 mikroba koncentrációnak felel meg.

Mikrobiológiai vizsgálathoz alkalmazott táptalajok:

1. Chromocult-Coliform tápagar /CC/ (*Escherichia coli* tenyésztéshez)
2. Citrate-Azide-Tween-Carbonate tápagar /CATC/, és Slanetz-Bartley tápagar /SB/ *(Enterococcus faecalis* tenyésztéshez)
3. Cetrimid tápagar /CN/ *(Pseudomonas aeruginosa* tenyésztéshez*)*
4. Yeast-Glucose-Chloramphenicol tápagar /YGC/, Malt-Extract agar /MEA/ *(Candida albicans* tenyésztéshez)
5. Baird-Parker tápagar /BP/ (*Staphylococcus aureus subsp. aureus* tenyésztéshez*)*
6. Yeast-Glucose-Chloramphenicol tápagar /YGC/ (*Aspergillus brasiliensis* tenyésztéshez)

Az ezüstözött textil minták vizsgálatára a leírt „agar-diffúziós módszer" módosított változatát dolgoztuk ki. A „módosított módszer"-nél ezüstözött textil mintákat használtunk a korong tesztben alkalmazható papírkorongok helyett.

Az antimikrobás hatás vizsgálataimat két ismétlésben végeztem el. A módszer lényege, hogy a vizsgált vegyületek (jelen esetben az ezüst részecskék) az agarlemezben diffundálni[33] képesek és hatékonyságuktól függő mértékben váltják ki a teszt mikroorganizmusok szaporodás-gátlási

zónáját. A gátlási zóna nagysága függ a vegyület diffúziós sebességétől, koncentrációjától, a mikroba érzékenységétől.

Módszer 1 a. leírása

A textil mintákból fentiekben leírt agar-diffúziós módszert alapul véve lamináris fülke alatt steril eszközökkel kb. 7 × 7 cm-es darabok készültek, azokat steril Petri-csészékbe tettük. A kiválasztott tiszta tenyészetek 2 cm^3-nyi mennyiségét szelektív/differenciáló tápközegekkel elkevertük, majd a szövetmintákat tartalmazó Petri-csészékbe azonos mennyiségű (20 cm^3) táptalajt tartalmazó lemezeket öntöttünk. Ezután a Petri-csészéket 4-8 órára 4±2 °C-os hűtőszekrénybe helyeztük. Az ezt követő inkubálást a mikroorganizmusok igényeinek figyelembevételével a fentiekben leírt a Módszer 1 leírása bekezdésben részletezettek szerint történt.

Módszer 1 b. leírása

Második körben steril Petri-csészékbe pipettáztunk 2 cm^3 szuszpenziót, majd a vizsgált fajoknak megfelelő szelektív/differenciáló tápközegekkel azonos mennyiségű (20 cm^3) táptalajt tartalmazó lemezeket öntöttünk. Az agar-lemezek szilárdulása után a vizsgált textil mintákból lamináris fülke alatt steril eszközökkel kb. 1,5 × 1,5 cm-es darabokat készítettünk, majd az agar felületére fektettük. Ezután a Petri-csészéket 4-8 órára 4±2 °C-os hűtőszekrénybe helyeztük. Az ezt követő inkubálást a mikroorganizmusok igényeinek figyelembevételével a fentiekben leírt a Módszer 1 leírása bekezdésben részletezettek szerint történt.

Módszer 1 c. leírása

Miután a fent leírt módszerekkel nem tapasztaltam gátlást, megvizsgáltuk külön az ESZ-2 kelme ezüstözött fonalát.

Steril Petri-csészékbe a leírt tiszta tenyészetek 2 cm^3-nyi mennyiségét pipettáztuk, majd a vizsgált fajoknak megfelelő szelektív/differenciáló tápközegekkel azonos mennyiségű (20 cm^3) táptalajt tartalmazó lemezeket öntöttünk. A végső inokulum^{34} 10^8 sejt/cm^3 töménységű volt. Lamináris fülke alatt steril eszközökkel a vizsgált ezüstözött felületű PA fonalból steril eszközökkel kb. 5 cm hosszú kötegeket készítettem, majd steril csipesszel az 1cm^3 szuszpenzióval inokulált frissen leöntött táptalajba nyomtam, szilárdulás után pedig egy köteget az agar felületére is fektettem. A lemezeket 4 - 6 órára 10± 2 °C-os hűtőszekrénybe helyeztem. Az ezt követő inkubálást a mikroorganizmusok igényeinek figyelembevételével a fentiekben leírt a Módszer 1 leírása bekezdésben részletezettek szerint történt.[164]

A módszer lényege, hogy a vizsgált vegyületek az agarlemezben diffundálni képesek és hatékonyságuktól függő mértékben váltják ki a teszt mikroorganizmusok szaporodás-gátlási

zónáját. A gátlási zóna nagysága függ a vegyület diffúziós sebességétől, koncentrációjától, a mikroba érzékenységétől.

Módszer 2. leírása

Az ÁNTSZ által alkalmazott, az egészségügyi intézmények mosógépeinek fertőtlenítő hatásfokát vizsgáló módszer alapján dolgoztunk ki egy saját vizsgálati módszert.

Az ÁNTSZ a baktériumokkal, gombákkal mesterségesen fertőzött 10x10 cm-es kelmemintákat kimossa a vizsgálni kívánt mosógépben és a tesztbaktérium visszatenyésztését végzik.

Az ezüstözött textíliák vizsgálatára ezt a mosástesztet fejlesztettem tovább.

A baktérium és gomba kontroll törzsekből adott töménységű szuszpenziót készítettem denzitométerrel[35]. Ezen szuszpenzióból 2-3 ml-rel megfertőzzük a steril textildarabkákat, majd ezeket ráfektettem a (szelektív) szilárd táptalajra (sós-véres agar, eozin-metilénkék, brillantzöld agar, saboraudra) 2-3 órára, majd a textilminták eltávolítása után 24-48 órára inkubáltuk a táptalajon a baktériumokat, gombákat. A baktériumok 37 °C-on, gombákat 30 °C-on pihentettük.

A pozitív kontrollnak ugyanilyen összetételű, ezüstözés nélküli textilmintát használtam. A negatív kontroll a nem fertőzött, steril ezüstözött textil. A pozitív kontrollhoz viszonyítva lehet következtetéseket levonni a csíraszám változásról (54. ábra). Csíraszámot az ÁNTSZ nem számol az esetleges csíraszámcsökkenést/növekedést vizuális becsléssel értékelik, fotódokumentációt készítenek, én is ezt a módszert alkalmaztam.

Módszer 3. leírása

Mikrobiológiai aktivitás vizsgálata kvalitatíve módon

A 3. módszer alapján a SZTE Természettudományi és Informatikai Kar Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszékén, Prof. Dr.Galbács Gábor tanszékvezető egyetemi tanár, Kéri Albert Phd hallgató, Fuderer Dalma hallgató, Dr. Pffeifer Ilona egyetemi docens közreműködésével végeztük.

A textilminták mikrobiológiai aktivitását kvalitatíve oly módon vizsgáltuk, hogy baktériumok és gombák szuszpenzióját cseppentettük egy-egy kivágott textildarabra, majd azokat táptalajba helyeztük és két napon keresztül termosztáltuk 30 °C-on. A telepek két nap elteltével kialakuló mérete alapján becsültük meg, hogy az adott ezüstözött textília milyen erős antimikrobás aktivitást fejt ki. Egy kontroll mintát is készítettünk, ami csak a táptalajt és a szuszpenziókat tartalmazta, de textildarab nem volt benne. Az ebben növekvő telepek méretéhez hasonlítottuk a vizsgált textíliákon kialakuló telepek méretét.

A kísérlet során háromféle baktériumot és négyféle gombát használtunk. A vizsgált baktériumok: Staphylococcus aureus (Gram-pozitív), Micrococcus luteus (Gram-pozitív),

Escherichia coli (Gram-negatív); a vizsgált gombák: Candida albicans, Candida glabrata, Candida krusei, Cryptococcus neoformans.

Az előző kísérletekben Staphylococcus aureus, Escherichia coli (Gram-negatív); a vizsgált gombák: Candida albicans, szerepelt. Részben más körülmények között próbáltuk bizonyítani az ezüst gátló hatását a textílián, részben volt lehetőség újakat kipróbálni és ezért bővítettűk, kiterjesztettük a vizsgálatokat.

A használt táptalaj összetétele (0,5 liter térfogatban): 5 g glükóz, 2 g húskivonat (állati fehérje hidrolizátum), 2 g pepton (pepszinnel emésztett állati fehérje hidrolizátum), 0,5 g élesztő. Ezek mind vízoldékonyak, ezekhez adtuk hozzá a vizet, majd a nem vízoldékony agart, ami a szilárdító komponens. 10 g agar hozzáadása után 25 percen át kuktában főztük, majd a Petri-csészékbe helyezett mintákra öntöttük a táptalajt. A talaj rövid idő alatt, perceken belül megdermedt, és ezt követően lehetett felcseppenteni a baktériumokat és gombákat.

Módszer 4. leírása

Mikrobiológiai vizsgálat optikai denzitás (optikai sűrűség) mérésével

A mikrobás hatás vizsgálata során célunk az volt, hogy kvantitatíven detektálhatóvá tegyük az antimikrobás hatás változását (várhatóan csökkenését) a mosási ciklusok függvényében. Az antimikrobás hatást a gyakorlatban „van/nincs” módon szokás jellemezni. Dr. Pfeiffer Ilona javaslatát követve mikroorganizmusokkal beoltott tápoldat optikai denzitását (OD), vagyis lényegében fényelnyelését, Fuderer Dalmával vizsgáltuk az inkubációs időszak végén. Ennél a módszernél a nagyobb antimikrobás aktivitást a minél kisebb OD érték jellemzi.

Az előkísérletek során alkalmazott mikroorganizmusok széles skáláját célszerű volt csökkenteni a vizsgálatok munka- és időigényének mérséklése érdekében. Az Escherichia coli népszerű a biotechnológiai és a géntechnológiai kutatásokban gyors növekedése, szaporodása miatt, a Cryptococcus neoformans pedig az előkísérletek során egyértelműen mindhárom kiválasztott textilminta esetén igen érzékenyen reagált azok antimikrobás hatására. A kísérletekhez Cryptococcus neoformans gombát és Escherichia coli baktériumokat illetve a tápoldatukat tartalmazó szuszpenziókat készítettünk, melyek koncentrációja $5x10^4$ sejt/ml volt. A Cryptococcus neoformans tápoldat 2 ml YPD (élesztő/pepton/D glükóz) volt, az Escherichia coli baktériumoké pedig (szintén 2 ml) Luria-Bertani (LB) oldat volt. Utóbbi az Escherichia colival való munkák során legáltalánosabban használt táptalaj, összetétele: 10 g/L pepton, 5 g/L élesztő kivonat és 10 g/L NaCl.

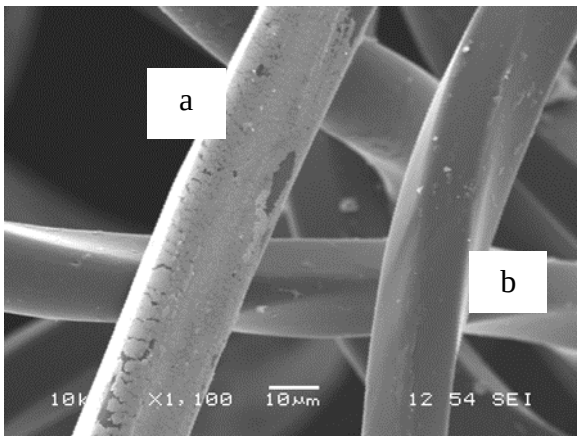
Az optikai denzitás vizsgálatának kísérletsorozatához minden mintából 1 cm^2-es darabokat vágtunk ki. A textil mintákat kuktában 20 percig sterilizáltuk a kísérleteket megelőzően. A textildarabokat és a mikroorganizmusokat tartalmazó szuszpenziókat előzetesen sterilizált

Eppendorff csövekbe helyeztük. Az így elkészített mintákat 30° C-on rázattuk 24 óráig. A rázatást követően 100 µL szuszpenziót pipettáztunk a mintákból egy lapra és 620 µm hullámhosszon mértük az optikai denzitást. 48 óránál tovább nem érdemes folytatni a kísérletet, mivel ekkorra már annyira elszaporodnak a sejtek, hogy elfogy a tápanyag és emiatt elpusztulnak maguktól.

Kontrollként olyan mintákat is készítettünk, amelyek csak a mikroorganizmusok és azok táptalajának szuszpenzióját tartalmazták, (antimikrobás hatást kifejtő) textil mintadarabokat nem. Az 5, 10, 15, 20 mosási ciklusú kezelésben részt vett textíliákat is tartalmazó szuszpenziók fényelnyelését ehhez hasonlítottuk, és ebből számoltuk a mikrobás növekedés gátlást százalékos értékben.

3.5.7 Elektromos ellenállás vizsgálat

Az ezüsttel kezelt szálakon folyamatos bevonatok képzésével, vékony, ezüst filmréteg képződik, ezzel vezetőképessé válnak a szálak. Alkalmassá válnak e-textíliák előállításához, vagy hordozható elektronika és intelligens ruházat előállításához.



18. ábra ESZ-3 koptatott mintakelme SEM képei a) szál amelynek lefedettsége részleges és b) szál aminek felületén egy zárt film réteg található.

Amennyiben a bevonattal rendelkező fonalakat a textíliákba belekötjük, beleszőjük, vagy ilyen cérnával varratokat képzünk, a textíliák vezetőképesek lesznek, a fonal megszakadásáig ellenállásuk mérhető. Használat, mosás, kopás során a folyamatos bevonat megszakadhat, így a termék vezetőképességét elveszítheti (18. ábra).[18]

Az ezüst bevonatokat képző technológia tisztán fémes ezüstöt használ vékony, egyenletes bevonatot képezve a rugalmas polimer felületén.

Az eletromos ellenállás azt mutatja meg, hogy egy adott vezetőben mennyire könnyen folyik az elektromos áram, a szabadon mozgó töltéshordozók mennyire könnyen mozoghatnak a vezető belsejében.

Textilipari szempontból a textíliák villamos ellenállásának megállapítása, a feldolgozás és használat közben keletkező és az ellenállással összefüggő elektrosztatikus feltöltődés valamint az ezzel kapcsolatos jelenségek (a szálak, fél-vagy késztermékek tapadása, csavarodása, szennyeződése, taszítása) szempontjából lényeges. Alapesetben a textíliák nem jó elektromos vezetők, de a felületükön levő fémes bevonatok (ebben az esetben ezüst), vagy az ilyen cérnákból képzett varratok vezetőképessé teszik őket.

Egy fogyasztón átfolyó elektromos áram erőssége egyenesen arányos a fogyasztó kivezetései között mért feszültséggel. Ez Ohm törvénye.

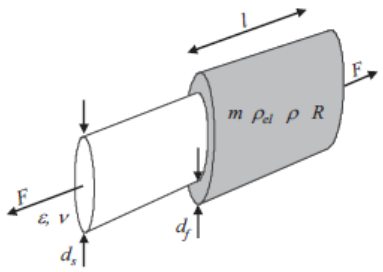
A feszültség és az áramerősség mérésével, meghatározható valamely áramköri elem ellenállása:

A kristályos fémek (ezüst is ebbe a csoportba tartozik) elsőfajú vezetők. Vezetőképességük a kristályszerkezeten alapul, amiben a le nem kötött vegyértékelektronok sok atom közös elektronjaivá válnak, és szabadon elmozdulhatnak. Az elsőfajú vezetők kémiailag változatlanok maradnak az áram vezetése közben. A legjobb vezetők közé tartozik az ezüst, az arany és a réz.

A textíliák villamos ellenállásának meghatározása MSZ 11 400-81 szabvány szerint végeztem. Térfogati villamos ellenállást mértem, a próbadarab ellentett oldalaira helyezett két rozsdamentes acél elektródra kapcsolt feszültség és az elektródok között a próbadarab belsejében folyó áram hányadosát mértem (Ohm, [Ω]).

Az általánosan használt univerzális mérőműszer több méréshatárú feszültségmérőn és árammérőn kívül, több méréshatárú ellenállásmérőt is tartalmaz. Az ellenállás értéke ugyan Ohm törvénye alapján kiszámítható a rá eső feszültségből és az átfolyó áramból, de a mérést a közvetlen ellenállásértéket mutató Ohm mérő műszer alkalmazása nagyon leegyszerűsíti és gyorsítja.[165]

Az általunk használt univerzális mérőműszer MY-68 Mastech, tápellátása 1 db 9 V elem.



19. ábra A szál (fehér) ezüst bevonattal (szürke) és annak mechanikai és elektromos paraméterei [166]

A fonalaknál az ezüst mennyiségének és a bevonat ellenállóságának elméleti viszonyát kompakt, tökéletes ezüst bevonat esetére számítottuk ki egyenetlenség és kémiai szennyezés nélküli felületen, ahogy azt a 19. ábra is mutatja. Tehát a bevonatok ellenállása nem eshet a következő kiszámított értékek alá:

$$\rho = \frac{m}{V} = m/l \cdot A \qquad \text{(3.képlet)}$$

ahol:

$$A = \frac{m}{\rho} \qquad \text{(4. képlet)}$$

$$\rho_{el} = \frac{A \cdot R}{l} \qquad \text{(5. képlet)}$$

$$\frac{R}{l} = \frac{\rho_{el}}{A} \qquad \text{(6. képlet)}$$

$$\frac{R}{l} = \rho_{el} . \rho . \frac{l}{m} \qquad \text{(7. képlet)}$$

A sűrűség ρ (3. képlet) képletét a fajlagos ellenállás ρ_{el} (5. képlet) képletével kombinálva megkapjuk a hossz szerinti ellenállást, amint az a 7. képletben látható. [167] Eszerint tehát a hossz szerinti ellenállás függ a mért hosszúságtól *l*, az ezüst mennyiségtől *m*, és az anyag konstansaitól, mint például (az ezüstözött PA szál esetén) a fajlagos ellenállás ρ_{el}=1,63 x 10^{-8}Ω·m és a sűrűség ρ=10,49 g/cm^3.[168]

3.5.8 Az ezüstözött textíliákon levő ezüst kimutatása fémdetektálási módszerrel

Az ezüstözött és általában a fémezett textíliák esetében a fém kimutatható nagy érzékenységű fémdetektor segítségével.

A kereskedelmi forgalomban kapható hagyományos fémdetektorok azt a kis mennyiségű fémet, ami a textíliákon található nem, vagy csak abban az esetben érzékelik, ha több rétegben helyezzük a textíliát a detektor érzékelőfeje alá.

A textíliákon található ezüst (fém) mennyiségének kimutatására kidolgoztunk egy speciális nagy érzékenységű fémdetektort.

A fémdetektor egy tekercs induktivitásának megváltozását jelzi, valamilyen fémdarab közelébe kerülésekor. Az induktivitás megváltozása nagyon kicsi, néhány ezrelék. Ilyen kis változást nehéz mérni egyszerű eszközökkel, ezért a mérendő tekerccsel egy ún. rezgőkört hoznak létre, és ebbe az áramkörbe építenek egy másik, referenciaoszcillátort, állandó, közel ugyanekkora

frekvencián. A két rezgés jelét „összeszorozzák”, majd a kettő közötti különbséget egy hangszóróra vezetik, így vehető észre például egy földfelszín alatt lapuló fémpénz vagy más fémtárgy.

3.5.8.1 A fémkeresők működési elve

A fémkereső (fémdetektor) olyan készülék, amely elektromágneses indukció segítségével kimutatja közelében lévő fémek jelenlétét. Fő alkalmazási területei: az élelmiszeriparban és gyógyszergyártásban a kopásfémek kimutatása, biztonsági kapukban fegyverek és tiltott tárgyak érzékelése, aknakeresés, ipartelepek vagyonvédelme, építő- és szerelőiparban vezetékek és betonvasak érzékelése, geológiai érckutatás, régészet, hobbi.[169] Speciális célokra használnak nem indukcióval működő fémérzékelőket is, például rádióhullámokat, ultrahangot, stb.

A fémkeresők alapvetően a fémek más anyagoktól eltérő anyagi tulajdonságait használják ki, azt, hogy jó elektromos vezetők, és egyes fémek nagy relatív permeabilitással[36] rendelkeznek.

A fémkeresők legfontosabb része, azaz eszköz, amellyel az időben változó mágneses mezőt létrehozza, ezt rendszerint áramjárta tekerccsel lehet megoldani.[169] A fémkeresők egy része olyan felépítésű, hogy külön gerjesztő-, és külön keresőtekerccsel van felszerelve, míg más típusoknál ez a kettő egy és ugyanaz. A gerjesztő tekercs funkciója, hogy időben változó mágneses mezőt generáljon egy bizonyos térfogatban, ahol a fémet sejtjük. Erre a mágneses mezőre a fémek válaszjelet sugároznak az említett tulajdonságaik miatt. Egyfelől a váltakozó mágneses mező hatására a fémben köráramok indukálódnak, amelyek szintén időben változó mágneses mezőt generálnak, és ezen mágneses indukciós erővonalak egy része visszakerül a keresőtekercsbe, amely ezt érzékeli. Másfelől egyes fémek és ferromágneses anyagok, a beléjük eső mágneses indukciót felerősítik vagy gyengítik, ezt a keresőtekercs érzékeli.

3.5.8.2 A fémérzékelés folyamata

Ha egy fémdarab közelit a tekercs mágneses mezőjébe, megzavarja ezt a mezőt és felborul az egyensúly. Ennek magyarázata igen komplex és különböző a mágnesezhető és nem mágnesezhető fémek esetében.

Mágnesezhető fémek esetében a mágneses mező oly módon módosul, hogy az indukált feszültség megnő, nem mágnesezhető fémek esetében, az indukált feszültség csökken. Mindkét folyamat az egyensúly felborulását eredményezi, ezzel érzékeli a műszer a fémeket.[170]

A fémdetektor elvárható érzékenysége nagyon sok tényezőtől függ. Néhány kulcsfontosságú ezek közül:

- A fém mérete és elhelyezkedése, keresőtekercstől való távolsága. Minél kisebb a fém mérete, annál nehezebb az érzékelése.
- A keresendő fém fajtája (mágnesezhető, nem mágnesezhető, fémes vegyületek)
- Minél nagyobb a frekvencia, annál nagyobb az érzékenység. Sajnos azonban a maximális frekvencia használatának különböző akadályai vannak. Az alkalmazható frekvencia nagyban függ a vizsgált fém fajtájától.

Fémkeresők fajtái:
- Abszorpciós[37] (blocking oszcillátoros) fémkereső;
- Üttető oszcillátoros (BFO);
- Induktív híd (Induction Balanced);
- Félrehangolt rezgőkörű (Off-resonance);
- Alacsonyfrekvenciás (Very Low Frequency);
- Impulzusüzemű (Pulse Induction);
- Rádiós (Ultra High Frequency)

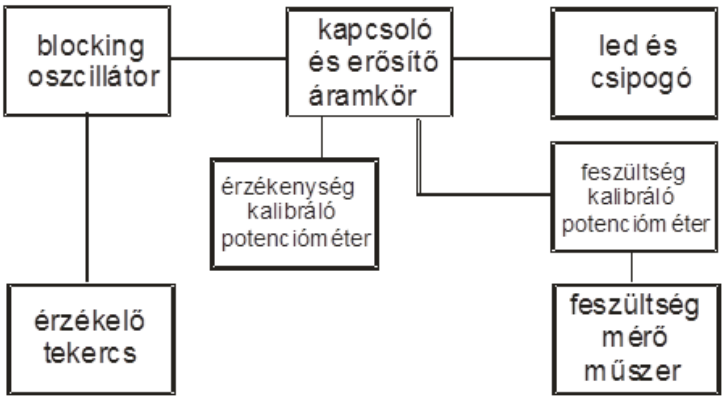
3.5.8.3 Nagy érzékenységű abszorpciós fémkereső

Az abszorpciós (blocking oszcillátoros) fémkereső működési elve a keresett fémekben keltett örvényáramok illetve a keresőtekercsben létrejövő mágneses energiaveszteségen alapul. A keresőtekercs jelét egy kis teljesítményű, nagyfrekvenciás oszcillátor biztosítja. Ezen tekercs által keltett mező a fémekben nagy veszteségű örvényáramokat eredményez. Az energia elvonás következtében a rezgés amplitúdója csökken, sőt túl közeli nagy fém esetén akár teljesen meg is szűnik. A (csökkent energiájú) rezgés amplitúdóját szűrés után általában egy feszültség összehasonlító IC (komparátor) érzékeli, amelynek kimenete eltérés esetén jelzést ad.

Fém részecskék textíliákban való kimutatására, abszorpciós működési elvű fémkeresőt alkalmaztam, mivel egyszerű felépítésű és alkalmas bármilyen típusú fém, igen kis méretű szemcséinek az érzékelésére.

A fémkereső felépítése a 20. ábrán látható blokk vázlat alapján:

A fémkereső áll egy un. blocking oszcillátorból, egy ferrit rúdra tekert érzékelő tekercsből és egy kapcsoló és erősítő áramkörből, amelyre feszültség mérő műszert kötve mérhetővé válik a fém részecskék mennyisége.

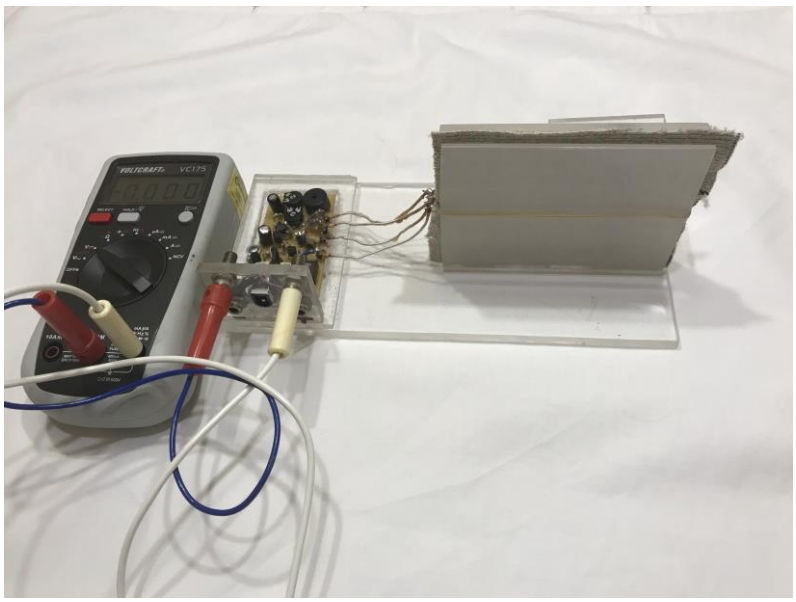


20. ábra Fémkereső felépítésének blokk vázlata

Működési elv:

A fémkereső egy LC blocking oszcillátorra épül, amely 1 MHz közeli frekvencián üzemel. Az oszcillátor működési áramát egy trimmer potenciométerrel a berezgés határáig kell csökkenteni. Az érzékelő tekercshez fém tárgyat közelítve, az energiát von el a rezgőkörből és a rezgés amplitúdója csökken.

A kapcsoló és erősítő áramkörre kötött led és csipogó, a fény és hang intenzitás erősödésével jelzi az oszcillátor működésének gyengülését, illetve az idekötött feszültség mérő műszerrel számszerűen mérhető a változás. A fémkeresőt helyesen beállítva, 0V feszültség felel meg, ha nincs az érzékelő tekercs közelében fém, 9V a maximális mérési határ, ez a fémkereső 9V-os üzemi tápfeszültségéből adódik (21. ábra)



21. ábra Fémkereső tápegységgel és Voltmérővel

Az érzékelő tekercshez közelítve, tömör fémtárgyak esetén, a fémtárgyakban indukált örvény áramok miatt az „energiavesztés” erőteljes. Egymástól szigetelten elhelyezkedő kicsiny méretű fém részecskékben örvény áramok nem tudnak létre jönni, de a mágneses erővonalakra ezek is hatással vannak, megváltoztatják az energia viszonyokat amelyek, az oszcillátor működését gyengítik.

A fémkeresőt fizikailag úgy alakítottuk ki, hogy a keresőtekercs egyik oldalán alkalmas textíliák vizsgálatára.[171]

A mosószerekben alkalmazott titán-dioxid a legelterjedtebben alkalmazott fehér pigment, erős fényszórásának és magas törésmutatójának (n=2,4), valamint nagy stabilitásának köszönhetően közkedvelt optikai fehérítőszer.

A mérés előkészítésénél, a mosás utáni pontos mérési eredmények elérése érdekében, fontos szerepet játszik a körültekintéssel végzett csapvizes öblítés, a TiO_2 eltávolítása érdekében.

A készülék kézi, mobilis, egyszerűen kezelhető, üzemi körülmények között és a háztatásokban egyaránt használható.

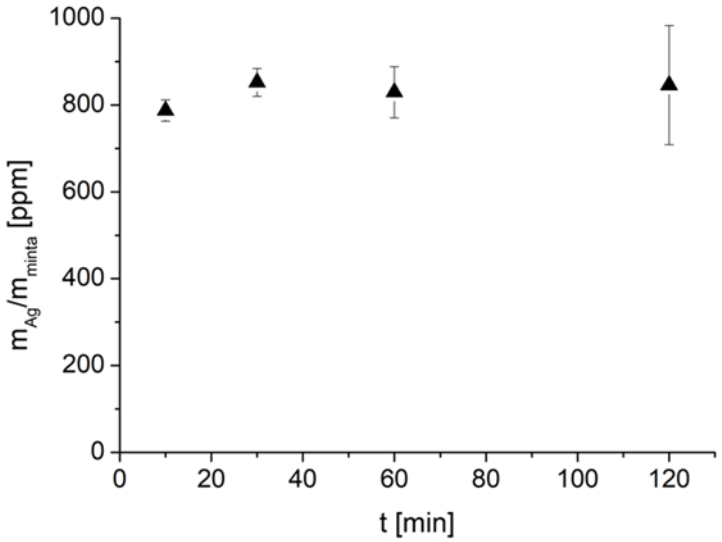
4. Vizsgálatok eredményei

4.1 A textíliák fajlagos ezüsttartalmának meghatározása (ICP-MS)

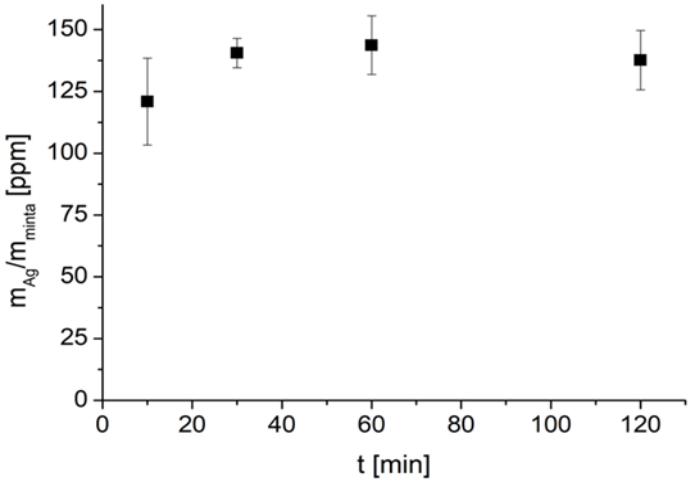
A méréseket SZTE Természettudományi és Informatikai Kar Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszékén Dr. Galbács Gábor, Kéri Albert, Fuderer Dalma közreműködésével végeztük.

A vizsgált textíliákból 3×3cm-es darabokat vágtunk ki. Mivel 10-30-60-120 perces vizsgálatokat végeztünk minden időpontra 3 mintát biztosítottunk, így minden mintatípust három párhuzamos vizsgálatnak vetettük alá. A kivágott darabokon salétromsavas kioldást végeztünk 20 ml savoldattal. A salétromsav koncentrációját 0,2 mol/dm^3 értékre állítottuk be; a sav anyagmennyisége a várható fémtartalom feloldására elegendő volt. A mintákat 10, 30, 60 és 120 perces rázatásnak vetettük alá. A rázatási idő leteltével a textil darabot ioncserélt vízzel alaposan átmostuk (a lecsurgó oldatot a mintatartó edényben gyűjtve), majd az oldatot kvantitatívan átszűrtük egy membrán szűrőn egy 100 ml-es mérőlombikba, és jelre töltöttük. Ezt a leoldási kísérletet elvégeztük egy nanoezüstözött, egy ezüstözött fonalat tartalmazó és egy felületén ezüstözött kelmén (EK-1, ESZ-2 és ENZ-2 azokon a kelméken, amiken az antimikrobás hatást bizonyítani tudtuk).

A kiértékelés során az ezüsttartalmat tömegre vetítve, mg/kg (ppm) dimenzióban ábrázoltuk az idő függvényében. A vizsgált minták mindegyikének esetében elmondható, hogy a nagy szórások az egyes kivágott mintadarabok ezüsttartalmának inhomogenitására utalnak. Várakozásaink szerint arra számítottunk, hogy a kezelés időtartamának növekedése a leoldott ezüstmennyiséget növeli, amely a hosszabb kezelési idők felé haladva (120 perc) telítésbe megy. Az EK-1 és ESZ-2 minták esetén (22. és 23. ábra) ezt tapasztaltuk. Az eredmények alapján 120 perc kezelési időt alkalmazva, feltételezhetően sikerült leoldanunk a felületi ezüsttartalom döntő részét. Leolvasható továbbá a görbékről, hogy az impregnálással készített ezüstözött textília fajlagosan lényegesen nagyobb ezüst koncentrációt tartalmaz (ESZ-2 minta ezüsttartalmának több mint hatszorosát).



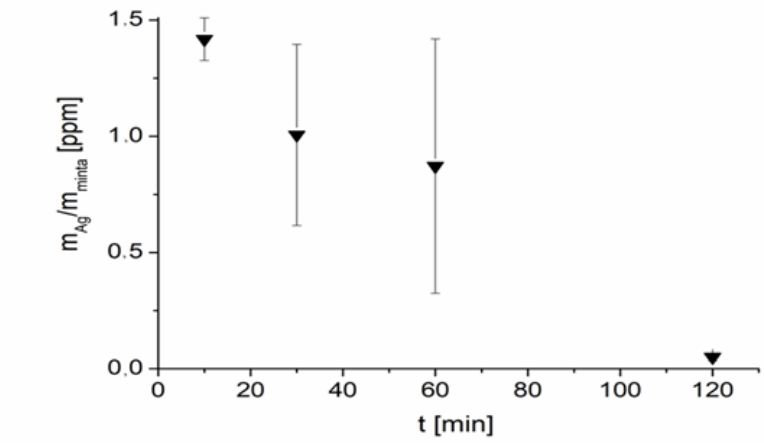
22. ábra Az EK-1 minta leoldási kísérletének eredménye



23. ábra Az ESZ-2 minta leoldási kísérletének eredménye

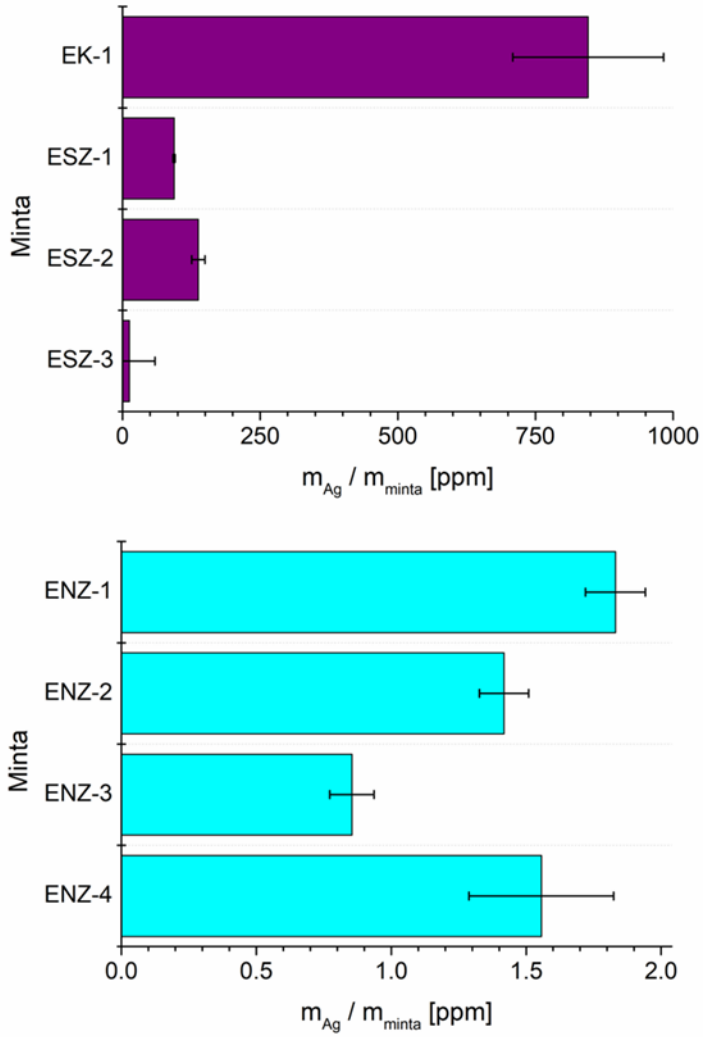
Az ENZ-2 minta esetében a kezelési idő növelésével a mért leoldott ezüst koncentráció egyre inkább csökkent (24. ábra). Mivel azt tapasztaltuk, hogy a minta, kezelés közben erősen habzott, ezért az a feltételezés merült fel, hogy a hab esetleg a részecskék vagy ionok egy részét megköti; mivel a habot nem használtuk fel a méréskor, ezért ez magyarázhatná a növekvő veszteséget az idő függvényében. Ennek kiküszöbölésére megismételtük a kísérletsort előzetesen elvégzett alapos vizes öblítéssel is (tizenötször öblítettük át 100 ml ioncserélt vízrészlettel a mintadarabokat a savas kezelést megelőzően). A megismételt mérések után is megegyezett a görbe lefutása. Valószínűsíthető, hogy a kelme tartalmaz olyan összetevőt, amely képes a feloldott nanorészecskékből (elemi állapot) keletkező ezüstionok megkötésére. A jelenség pontos felderítését azonban idő hiányában, és a kevés mintához mérten egyelőre nem

vizsgáltuk, hanem ezen minta esetében a 10 perces rázatással összekötött leoldást választottuk optimálisnak. Elmondható, hogy ennek a mintának az ezüsttartalma lényegesen alacsonyabb volt, mint a másik kettő vizsgálté.



24. ábra Az ENZ-2 minta leoldási kísérletének eredménye

Az így kidolgozott feltárási módszer segítségével meghatároztuk mind a 8 minta ezüsttartalmát, ezt a 25. ábra szemlélteti. Szembeötlő, hogy a vizsgált nanoezüstözött textíliák lényegesenmkisebb koncentrációban (0,9-1,8 ppm) tartalmaznak fajlagosan ezüstöt, mint az ezüst bevonatot tartalmazó fonalakból készített kelmék (12,2-137,7 ppm) illetve az impregnálással készített textíliák (846 ppm). Továbbá magukon a mintacsoporton belül is nagyon eltérő az egyes mintatípusok fajlagos ezüsttartalma. Ugyanakkor itt is megemlíthető, hogy a vizsgált 3 párhuzamos minta mért ezüst koncentrációja is nagy szórást mutatott.

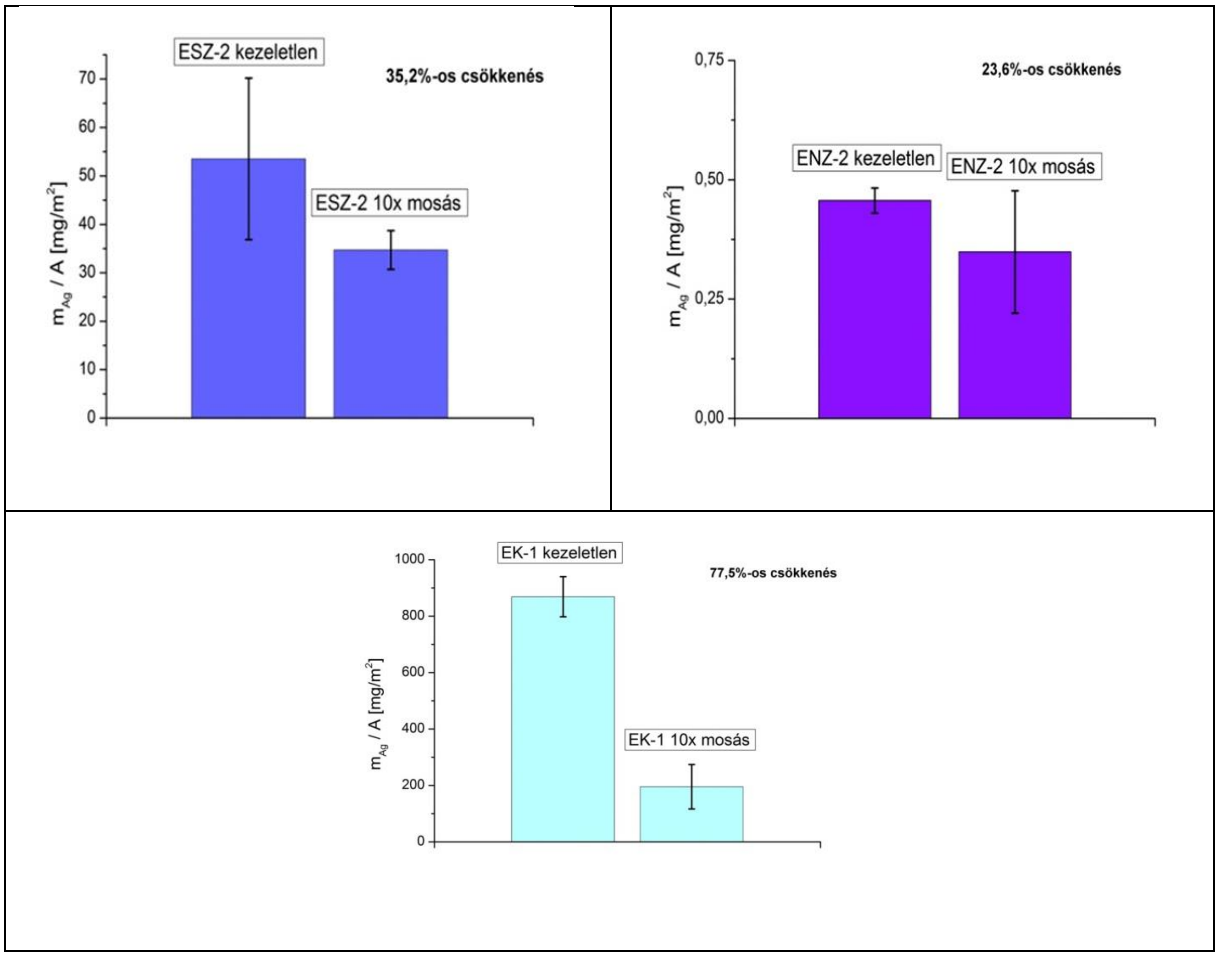


25. ábra A vizsgált ezüstözött textíliák fajlagos ezüsttartalma mosás előtt mg/kg (ppm) értékben

A mosott mintákat a korábban elvégzett leoldási kísérletek során optimált kondícióknak megfelelően készítettük elő ICP-MS mérésre.

Annak ellenőrzésére, hogy a textíliák ezüstkoncentrációja milyen mértékben változott a mosás hatására, a 10 mosási ciklus után a mintákat a korábban elvégzett leoldási kísérletek során optimált kondícióknak megfelelően készítettük elő ICP-MS mérésre.

Az ICP-MS mérés során 10 mosási ciklus után igen jelentős csökkenést tapasztaltunk: az EK-1 esetén 77,5%-kal, az ESZ-2 esetén 35,2%-kal, az ENZ-2 minta esetén pedig 23,6%-kal csökkent az ezüst mintatömegre vonatkoztatott koncentrációja a textíliákon (26.ábra).



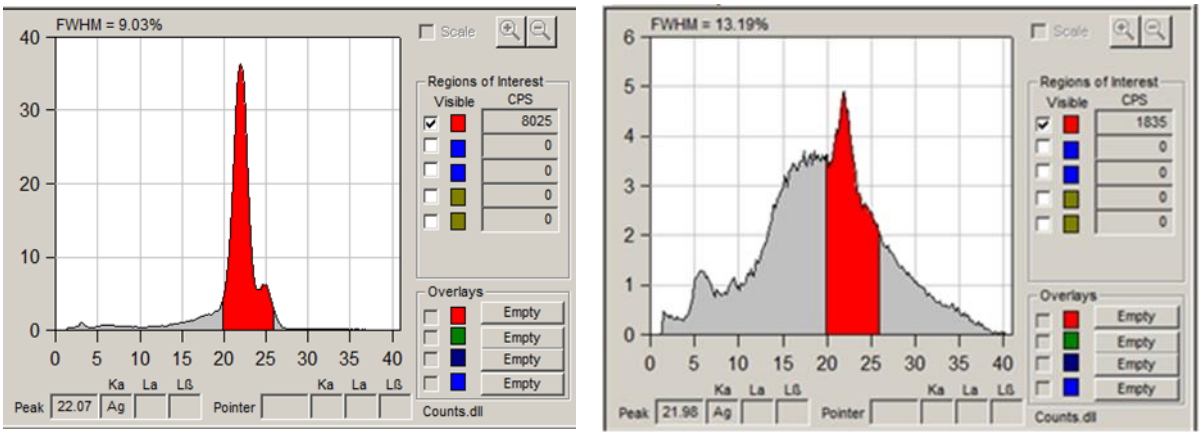
26. ábra A 0 mosás és a 10 mosási cikluson átesett textíliák mért fajlagos ezüsttartalma mg/m² értékben

4.2 Ezüst detektálása a textílián röntgen fluoreszcenciával (XRF)

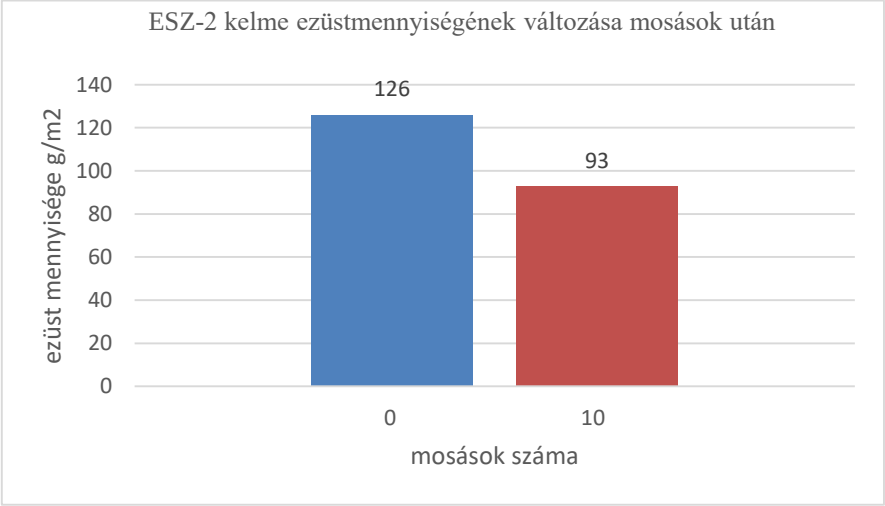
Mérésemet az ezüstözött fonalból készült kelméken végeztem. A 27. ábrán az ESZ-2 kelmén végezett mérés látható. A műszerrel végezett mérésekkel bizonyítottam, hogy az ezüst kimutatható a kelmén, pontos kalibrációval és ismert etalonokkal a mérést pontosítani lehet.

A 27-es ábrán látható diagram x tengelyén (keV) az energia, a detektorba érkező röntgen fotonok energiája, míg az y tengelyen (cps) az intenzitás, vagyis a rötgenfotonok száma másodpercenként olvasható. [181],[182]

A képen a 20-26-os tartományban regisztrálható az ezüst, kifejezett csúccsal.



27. ábra X-Strata 920-as mérőműszerrel kapott eredmény a bal oldalon mosás nélküli eredmények és a jobb oldalon 10 mosás után az ezüstözött PA fonalból kötött ESZ-2 minta röntgenspektruma, a 20-26 keV



28. ábra Az ESZ-1 kelme ezüst mennyisée 0 mosás és 10 mosás után X- Strata műszerrel mért eredmények alapján

A mennyiségi meghatározáshoz a mintákat négyrét hajtottam, hogy a jel-zaj arány jobb legyen. Eredmények: mosás előtti minta: 1008 mg/m^2 ± 0,3 mg/m^2; 10 mosás utáni minta: 744 mg/m^2 ± 0,3 mg/m^2. Ezek a négyrét hajtott mintákon kapott eredmények, tehát magán a kelmén ezen fajlagos értékek nyolcada található (28. ábra). 10 mosás után az ezüst 26%-a kimosódik.

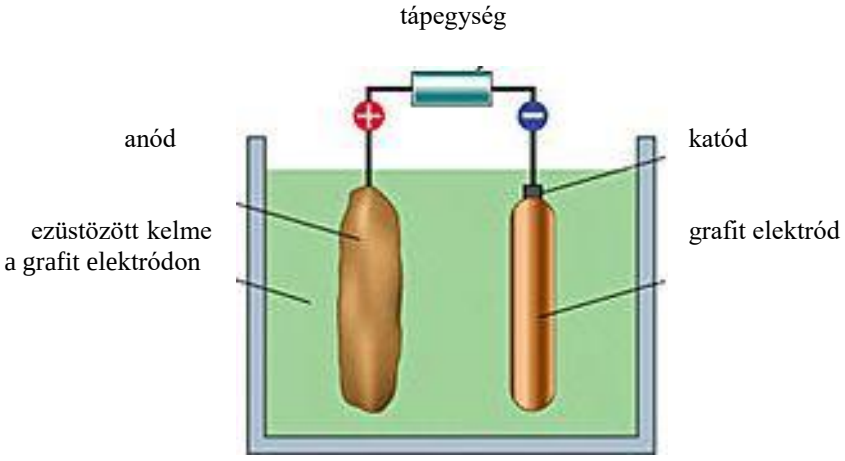
Ez a módszer csak az ezüstözött bevonattal rendelkező kelmék vizsgálatára alkalmazható, a nanoezüstözés vizsgálatára nem alkalmas.

4.3 Ezüst mennyiségének vizsgálata az ezüst leválasztásának módszerével

Az ezüst leválasztása elektrolízissel, szén elektródák segítségével

Az ESZ-1, ESZ-2, ESZ-3 jelzésű mintakelmék ezüstözött bevonatú fonalat tartalmaznak, míg az EK-1 jelzésű minta felületén ezüstözött. Ezeknél a kelméknél alkalmazható az ezüst leválasztás elektrolízis segítségével.

Az elektrolit oldatba két grafit elektród nyúlik, egymástól 2 cm-re. A két grafit elektród közé 4,5 V egyenfeszültségű áramforrást kapcsoltam és az anódra ráhelyeztem az ezüstbevonatú kelmét (29.ábra).



29. ábra Az ezüst leválasztása az ezüstözött bevonatú fonalat tartalmazó kelméről elektrolízissel

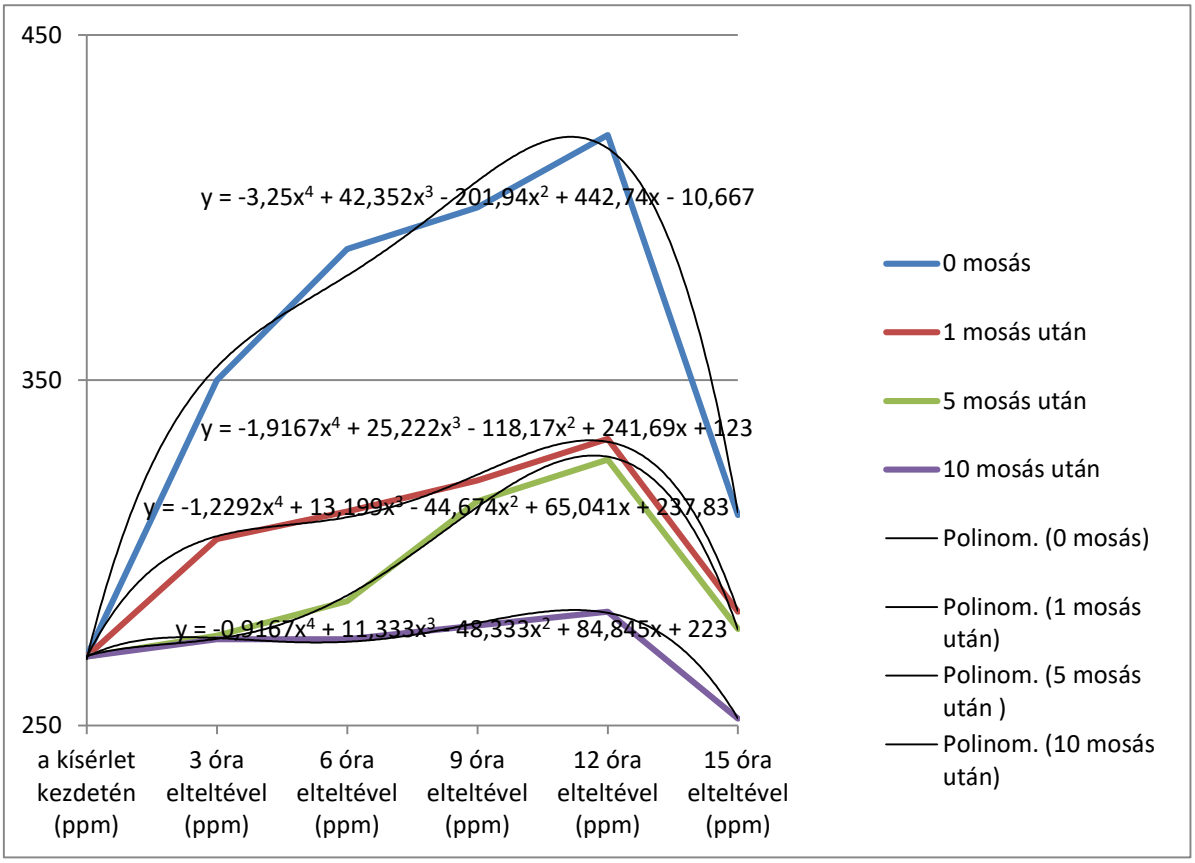
Az elektrolízis folyamata szobahőmérsékleten, 22 °C-on zajlott. Az elektrolizáló cellában elhelyezett 10x10 cm-es mintát, 12 óra elteltével, vízzel leöblítettem és száradás, kondícionálás után vizsgáltam, valamint megvizsgáltam az elektrolit oldatot is.

Mosásonként 10 mérést végeztem és az ESZ-1 kelme mérések átlag eredményeit mutatom be a 8. táblázatban.[172]

ezüstözött kelme	kísérlet kezdetén (ppm)	3 óra elteltével (ppm)	6 óra elteltével (ppm)	9 óra elteltével (ppm)	12 óra elteltével (ppm)	15 óra elteltével (ppm)
mosás nélkül	270	350	388	400	421	311
1 mosás után	270	304	312	321	333	283
5 mosás után	270	276	286	315	327	278
10 mosás után	270	275	275	279	283	252

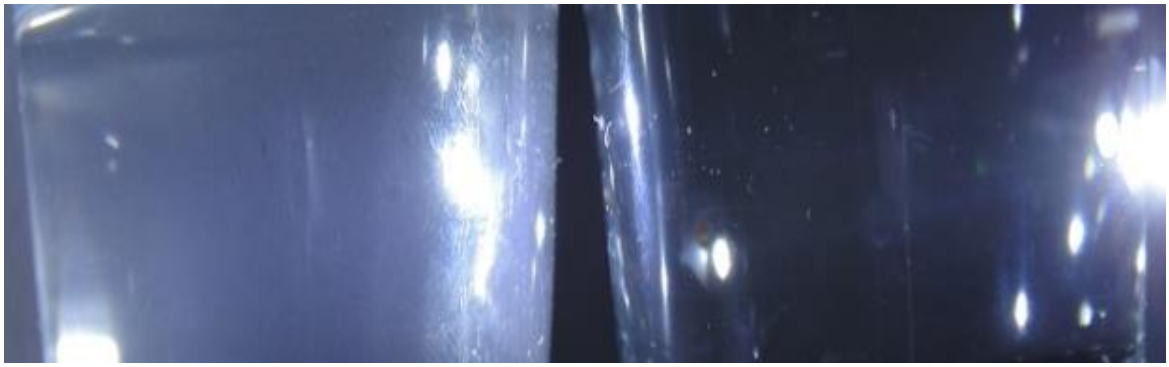
8. táblázat Az elektrolízisnek alávetett mosatlan és mosott ezüstözött fonalat tartalmazó ESZ-1 kelme elektrolit oldat-koncentrációjának változása

A kísérlet elején az elektrolit oldat vezetőképessége (ppm-je) növekedést mutatott, míg jellemzően 12 óra elteltével csökkenő tendenciát mutatott. A 12 óra elteltével a fonalról leválasztott ezüst csapadék formájában az edény aljára ülepedett. Ezzel a módszerrel eredményesen eltávolítható a fonalakon levő ezüst. Az elektrolit oldat szűrhető, a benne levő ezüst mennyisége mérhető. Az elektródok távolsága, a feszültség és az elektrolit oldat helyes beállításával mérhetővé válik a textíliákon levő ezüst mennyiségének változása, a mosási ciklusok között.



30. ábra Elektrolit oldat ppm változása az idő függvényében, trendvonal megjelenítésével

A mért eredmények alapján az adatsorokhoz polinomiális trendvonal illeszthető. (30. ábra)
Ilyen vizsgálatra, ami a textíliákon levő ezüst mennyiségének változására vonatkozik a nemzetközi irodalomban nem találtam utalást.
A folyamat elkezdésekor az ezüstözött kelme körül tejes fehér köd képződik és az elektrolit a folyamat végére fehéres árnyalatot kap. Egy erős, koncentrált fénnyel oldalról megvilágítottam az oldatot, egy kúp alakú fénynyalábot láttam. Ez a jelenség az úgynevezett Faraday-Tyndall hatás, a kolloid oldatok oldalról megvilágítva fényszóródást, opalizálást mutatnak (31. ábra).



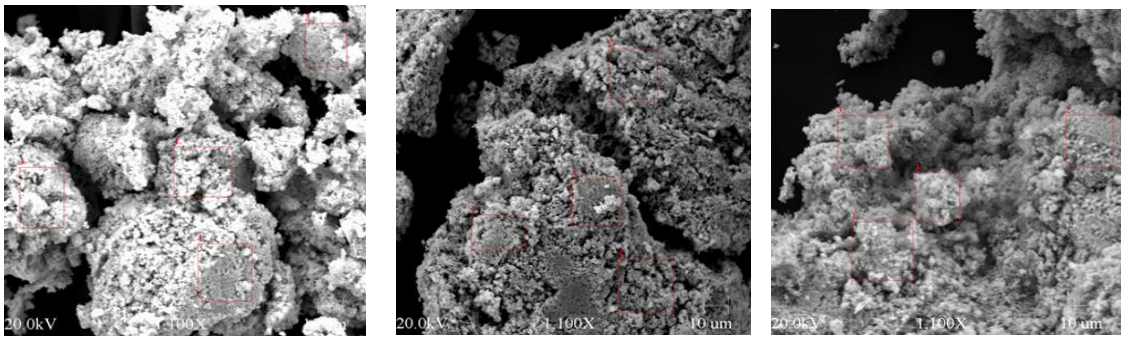
31. ábra Az elektrolit oldat megvilágítása, balról elektrolízis utáni, jobbról elektrolízis előtt

Az elektrolit oldatban, a Tyndall hatást lézerfénnyel mutattam ki (32. ábra). Balról elektrolízis utáni, jobbról elektrolízis előtti elektrolit oldat látható.

32. ábra Az elektrolit oldat megvilágítása lézerfénnyel, balról elektrolízis utáni, jobbról elektrolízis előtt

A leülepedett csapadékot SEM-EDX-vel megvizsgáltam, az eredmények szerint az üledék 100% ezüst (33. ábra).

Az elektrolizáló cella negatív pólusáról (katódról) törletet vettem. Megvizsgáltam a leválasztott anyagot elektronmikroszkóppal és EDX módszerrel és megállapítottam, hogy a póluson levő anyag 100% Ag.



Mérési pontok	Ag	
	Atom%	m/m%
EDX1-1	100,00	100,00
EDX1-2	100,00	100,00
EDX1-3	100,00	100,00
EDX2-1	100,00	100,00
EDX2-2	100,00	100,00
EDX2-3	100,00	100,00
EDX3-1	100,00	100,00
EDX3-2	100,00	100,00
EDX3-3	100,00	100,00
Átlag	100,00	100,00
Szórás	0,00	0,00

33. ábra 6 órás elektrolízis után elektródáról vett törlet SEM képe, négyzetekkel az EDX vizsgálat helyeit jelöltem. A táblázatban olvashatóak az EDX mérési eredményei

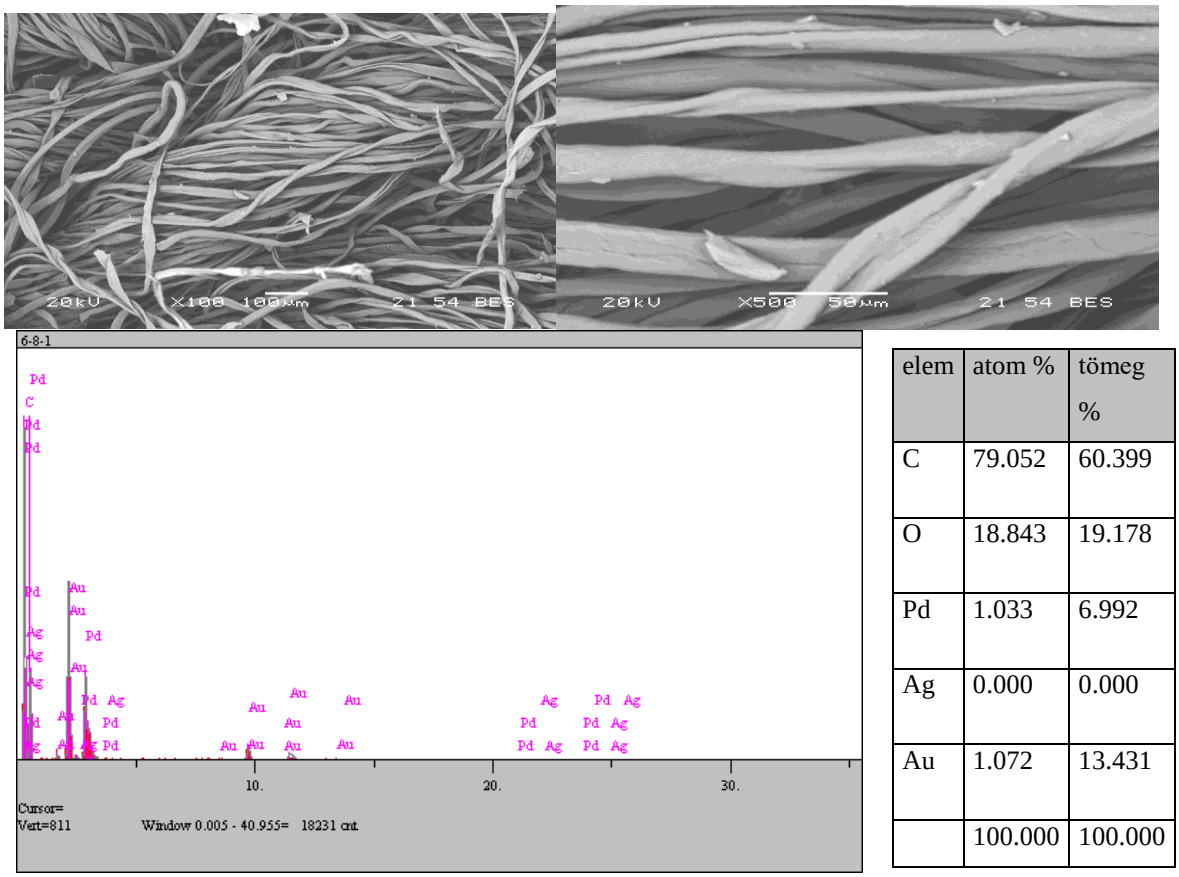
A leülepedett ezüst mennyisége az elektrolit oldat leszűrése után mérhető, azonban az edényen maradó veszteségek miatt, a kelmén maradó ezüst mennyiségét vizsgáltam.

Amennyiben saválló acél elektródákat használunk az elektrolízis során felszabaduló Ag a katódot vonja be (34. ábra). A katódról az ezüst letörölhető és mennyisége mérhető.

34. ábra Ezüst leválasztása a kelméről elektrolízissel

A kísérletek alatt az ezüstözött kelme a henger alakú elektródákkal nem érintkezett egyenletesen így az ezüst leválasztódása is egyenetlen volt. Az egyenletes leválasztás érdekében az elektrolízist elvégeztem rozsdamentes lap elektródákkal. A kelme felülete egyenletesen érintkezik a lap elektródával, ennek következményeként az ezüst egyenletesen válik le a kelméről.

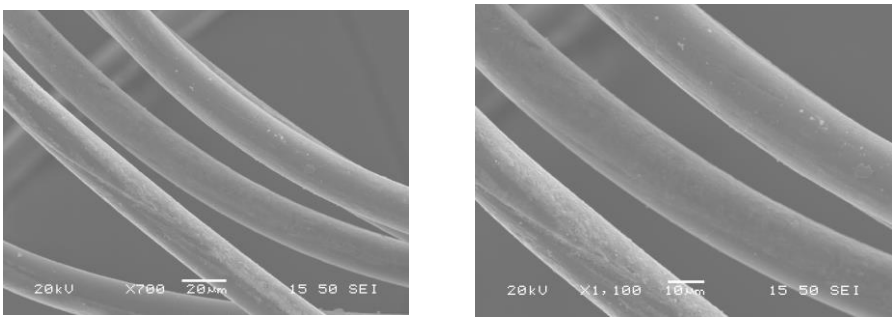
12 órás elektrolízis után, alapos öblítést követően megvizsgáltam az ezüstözött fonalat tartalmazó kelméket SEM-EDX méréssel (35. ábra).



elem	atom %	tömeg %
C	79.052	60.399
O	18.843	19.178
Pd	1.033	6.992
Ag	0.000	0.000
Au	1.072	13.431
	100.000	100.000

35. ábra Pásztázó elektronmikroszkóppal készült képek ESZ-1 kelméről 12 órás elektrolízis után (100x és 500x nagyítás) és a róla készült EDX spektrum, ami arra utal, hogy nincs ezüst a textílián.

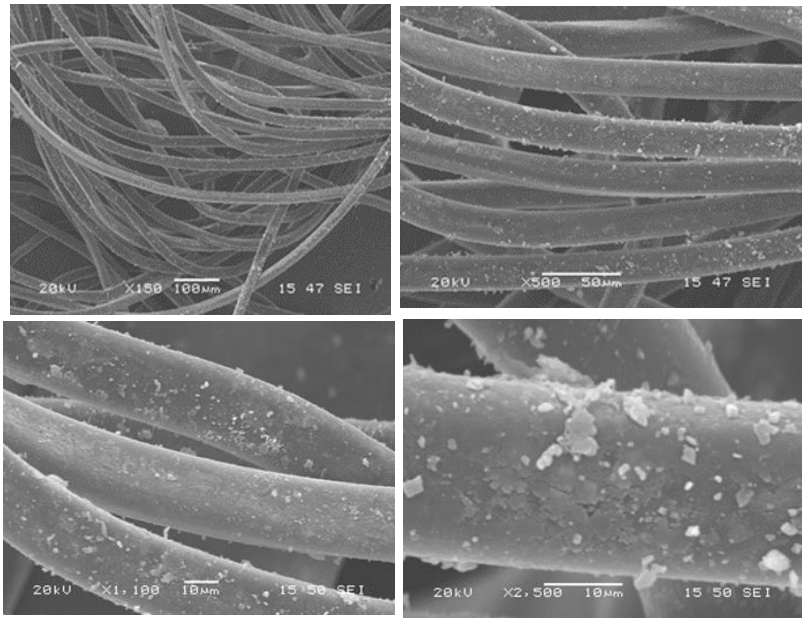
A kísérlet után a kelméken nem volt kimutatható ezüst. A SEM képen nem különült el az ezüstözött PA, az EDX spektrumon ezüst nem észlelhető.



36. ábra ESZ-3 mintakelme SEM képe elektrolízis előtt 700x, 1100x nagyításban

Az ESZ-3 mintakelme SEM képén elektrolízis előtt (36. ábra) a kelmében levő ezüstözött poliamid fonalakon látható a folyamatos ezüst bevonat, sima a felületük. Az ESZ-3 minta elektrolízis és mosás előtti EDX eredményei a 54. ábrán (93. oldal) láthatóak.

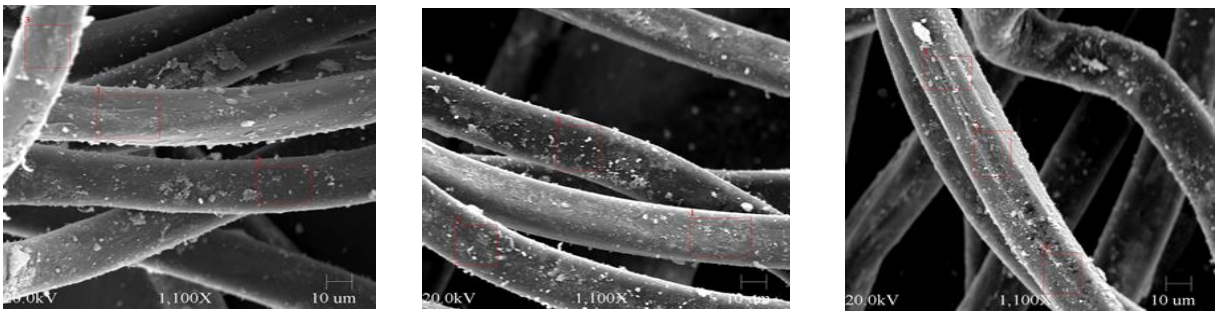
6 órás elektrolízis után, alapos öblítést követően megvizsgáltam az ezüstözött fonalat tartalmazó kelméket SEM-EDX méréssel.



37. ábra ESZ-3 mintakelme SEM képe 6 óra elektrolízis után 150x, 500x, 1100x, 2500x nagyításban

Az ESZ-3 mintán, 6 óra elektrolízis után látszik (37. ábra), hogy a fonalak felületén felbomlott a sima, egyenletes ezüst bevonat és a felszínén rendezetlen ezüst részecskék láthatóak.

A 38. ábrán jelölt 9 pontban megvizsgáltam az ESZ-3 mintán elektrolízis után a szálak összetételét EDX módszerrel.



Mérési pontok	C		O		Ag	
	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%
EDX1-1	81,02	73,90	18,54	22,53	0,44	3,57
EDX1-2	84,61	77,15	14,79	17,96	0,60	4,89
EDX1-3	79,57	66,13	18,66	20,65	1,77	13,22
EDX2-1	78,40	70,23	21,02	25,07	0,58	4,70
EDX2-2	78,92	70,85	20,50	24,52	0,58	4,64
EDX2-3	79,24	71,75	20,30	24,49	0,46	3,77
EDX3-1	80,38	74,42	19,42	23,95	0,20	1,63
EDX3-2	79,26	71,72	20,27	24,43	0,47	3,86
EDX3-3	75,35	65,95	23,86	27,83	0,79	6,22
Átlag	79,64	71,34	19,71	23,49	0,65	5,17
Szórás	2,45	3,67	2,42	2,83	0,45	3,26

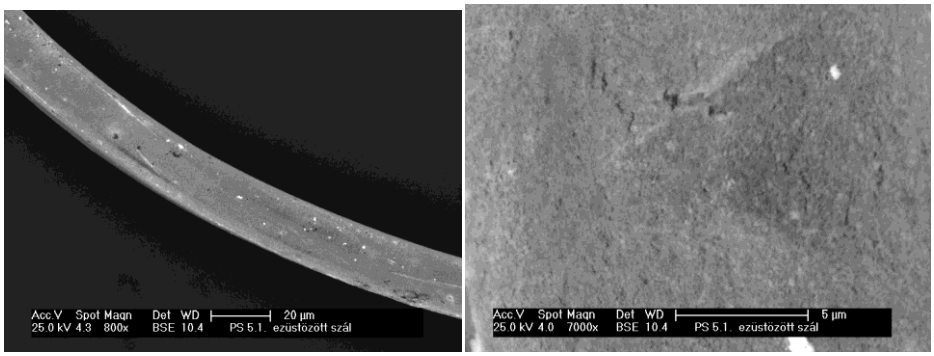
38. ábra ESZ-3 mintakelme ezüstözött PA fonalának SEM képe, 6 órás elektrolízis után, négyzetekkel az EDX vizsgálat helyeit jelöltem. A táblázatban olvashatóak az EDX mérési eredményei

Megállapítottam, hogy ezzel az új módszerrel 12 óra alatt leválasztható a fonalon található ezüst, mérhető az elektrolit vezetőképességének változása. Mérhető a leülepedett ezüst mennyisége, azonban az arányaiban vett nagy vestességek miatt (az ezüst lerakódik az edény falán, elektródán és maradéktalanul nem eltávolítható) ezzel az ezüstmennyiséggel a kutatás során nem foglalkoztam.

4.4 Pásztázó elektronmikroszkóp energiadiszperzív röntgen-analizátorral (SEM-EDX vizsgálat)

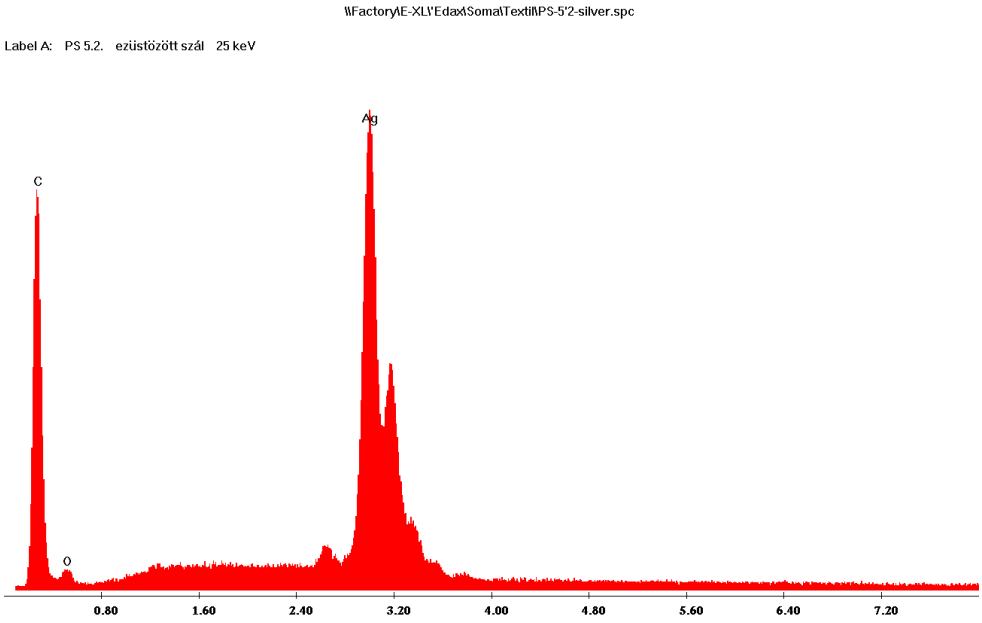
A Bűnügyi Szakértői és Kutatóintézet, Fizikai-Kémiai Szakértői Osztályán végeztem vizsgálatokat, a vizsgálatok elvégzéséhez speciális optikai mikroszkópok, pásztázó elektronmikroszkóp (SEM), energiadiszperzív röntgen-spektroszkóp (SEM-EDX) állt rendelkezésre.

A 39. ábrán mosás nélkül a kelme felületén látható a folyamatos ezüst bevonat, a 41. ábrán 1 mosás után a fonal felületén enyhe sérülések láthatóak, míg a 42. ábra 10 mosást követő állapotot mutatja be, a fonal felületén megszűnt a folyamatos bevonat, foltokban látszik a hordozó PA filamens.



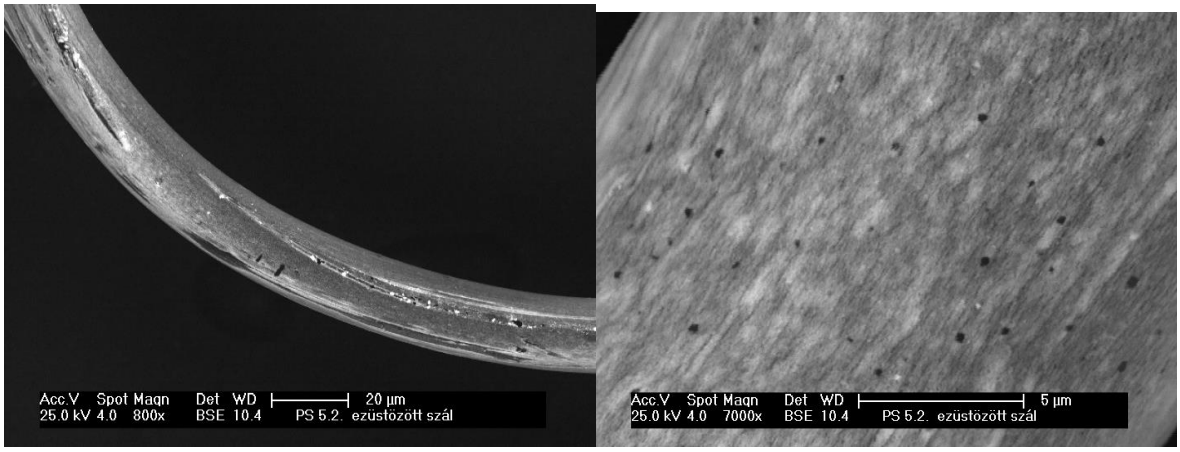
39. ábra ESZ-2 Mosás nélküli kelméből kibontott ezüstözött PA szál felületének képe 800x nagyításban és 7000x nagyításban

Megvizsgáltam az ESZ-2 kelméből kibontott ezüstözött fonalak felületét (39. ábra) és összetételét (40. ábra), a méréseket scanning elektronmikroszkóppal, röntgenfluoreszcencia alkalmazásával végeztem. A gerjesztő target Ti volt, ami igen jó hatásfokkal gerjeszti az ezüstöt. Ez a módszer abszolút mennyiség meghatározására nem alkalmas, azonban az eredmény alapján látható a fonal összetétele és a komponensek mennyiségi aránya.



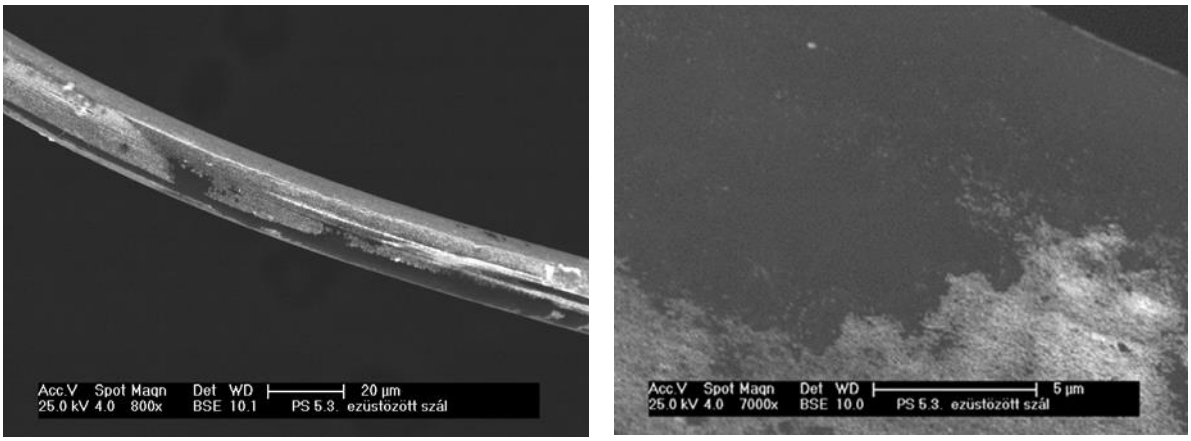
40. ábra ESZ-2 mintakelméből kibontott PA szál röntgen spektruma

A 40. ábra illusztrálja, hogy a folyamatos ezüsttel bevont szálakból készült fonalakból kötött kelmék esetében kimutatható az ezüst, a 3,00 keV körüli tartományban jól kiemelkedő csúccsal.



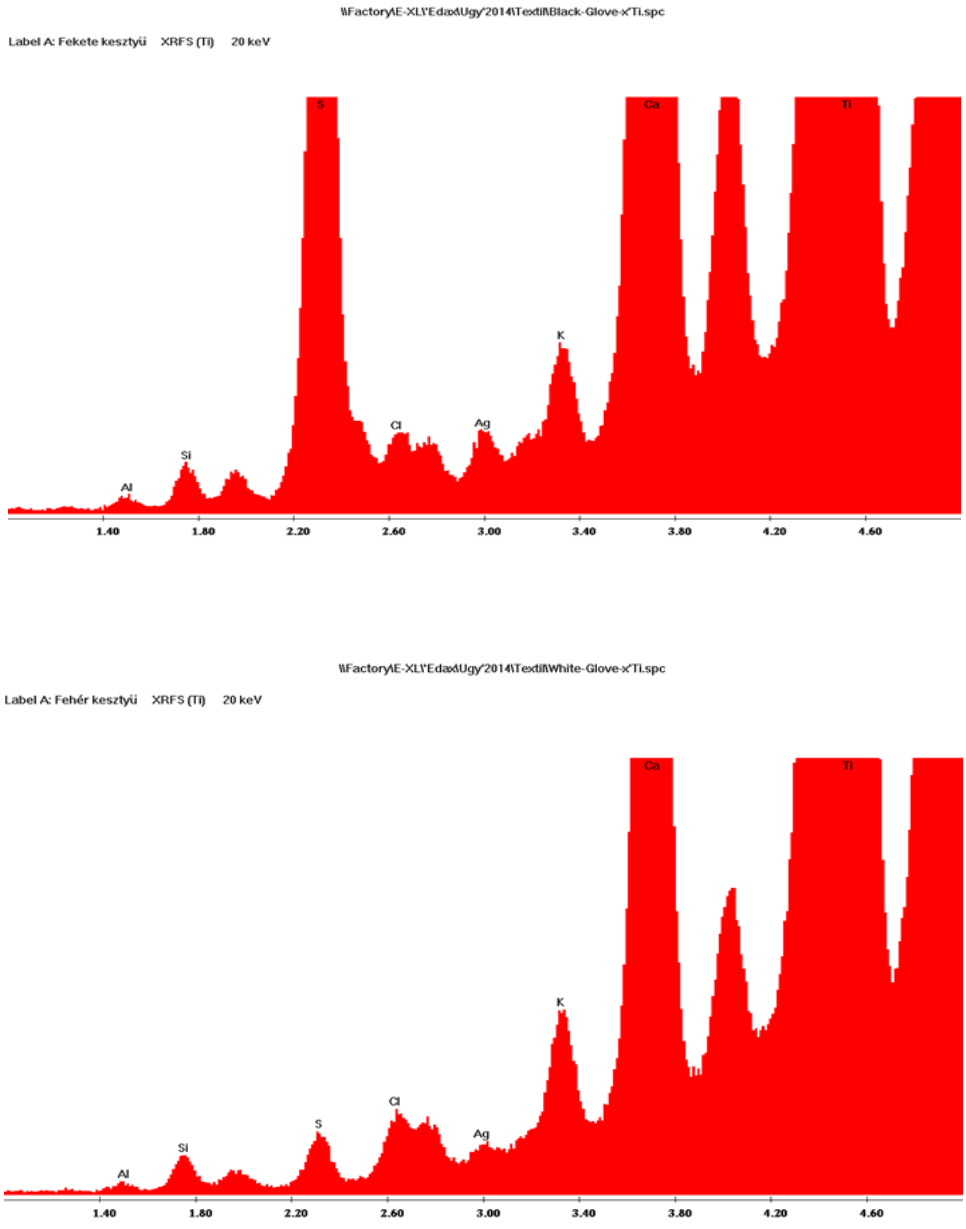
41. ábra 1 mosást követően ESZ-2 kelméből kibontott ezüstözött PA szál felületének képe 800x nagyításban és 7000x nagyításban

Ezzel a módszerrel a PA szálakon található ezüst réteg kimutatható, rajzolata a szálakon megfigyelhető (41. ábra), valamint a mosási ciklusok utáni bevonat változásai, kopásai szemmel láthatóak, (42. ábra).



42. ábra 10 mosást követően ESZ-2 kelméből kibontott ezüstözött PA szál felületének képe 800x nagyításban és 7000x nagyításban

A nanoezüstözött kelme ezüsttartalma ezzel a módszerrel nem ilyen egyértelműen bizonyítható. ENZ-1 és ENZ-2 mintakelmén kimutatható az ezüst, de csak egész kis mennyiségben, a 3,00 keV körüli tartományban éppen a kimutatási határ felett. (43. ábra)



43. ábra ENZ-1-felső kép és ENZ-2-alsó kép nanoezüstözött mintakelmék röntgen spektruma

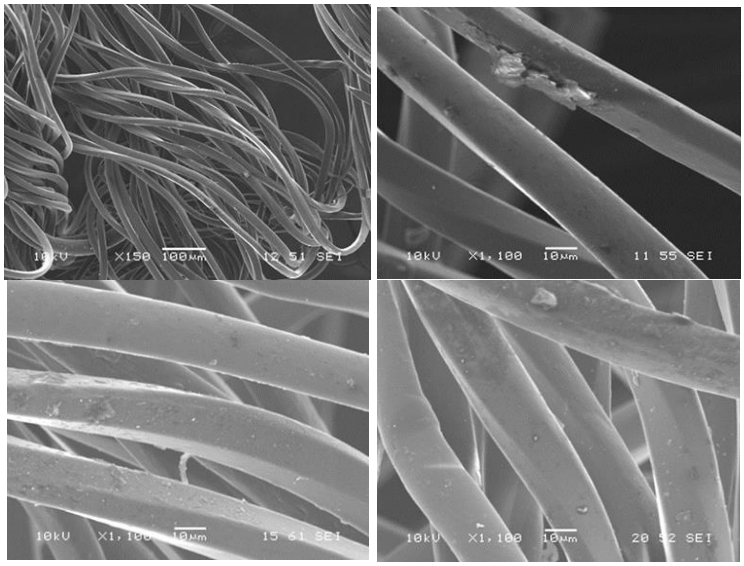
Sajnos, ez a módszer abszolút mennyiség meghatározására nem alkalmas, da az ezüst jelenléte röntgen spektruma detektálható.

Az eddig tanulmányozott ezüstözött mintákat pásztázó elektronmikroszkóp segítségével (SEM-EDX JEOL JSM-5500LV) is megvizsgáltam.

A mintákat vizsgálat előtt, arany-palládium Au/Pd vezető filmmel vontam be, (kb. 9 nm vastagságban), hogy azok vizsgálat alatt ne töltődjenek. A mikroszkópos képek felvételéhez

szekunder elektron detektort alkalmaztam. A textilmintákról 150-, 220-, 300-, 500-, 700-, 1100-, 3500-szoros nagyítású felvételeket készítettem.

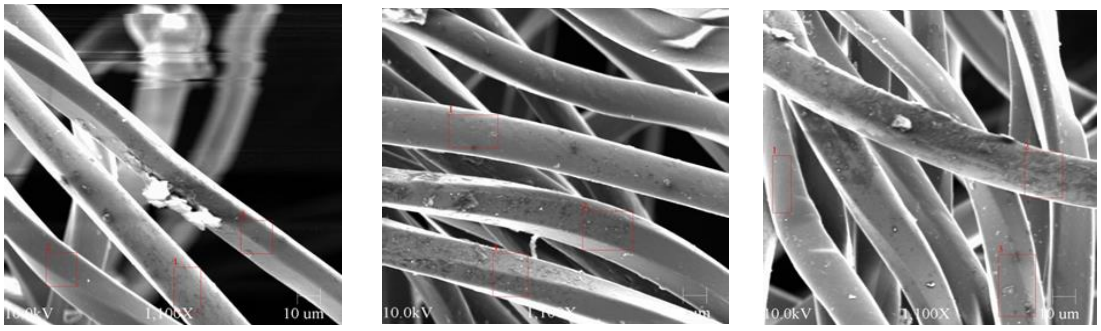
Az EDX vizsgálattal a textilmintákat alkotó egyedi fonalak elemösszetételét határoztam meg úgy, hogy minden minta 3 különböző részletén 3 pontban végeztem méréseket, összesen 9 egyedi fonal összetételét vizsgálva. A 9 mérési eredményt ezután átlagoltam, így jellemezve az adott ezüstöt tartalmazó textilmintát.



44. ábra ENZ-1 mintakelme mosás előtti SEM képe 150x, 1100x nagyításban

A ENZ-1 jelzésű minta kelme SEM képén mosás előtt nem látható folyamatos ezüst bevonat, helyenként ezüst részecskék rajzolódnak ki (44. ábra).

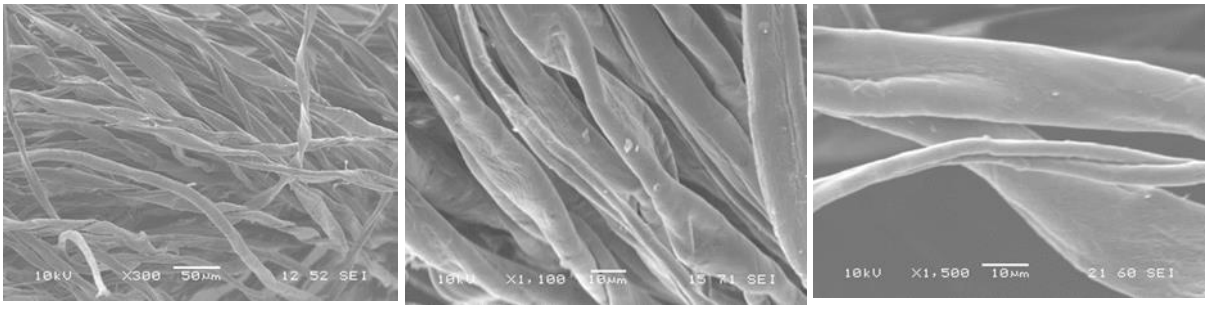
A 45. ábrán jelölt 9 pontban megvizsgáltam a ENZ-1 mintakelme szálainak összetételét EDX módszerrel. A mérések eredményét az alábbi táblázatba rendeztem.



Mérési pontok	C		O		Ag	
	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%
EDX1-1	81,02	75,66	18,88	23,48	0,10	0,86
EDX1-2	83,04	78,37	16,92	21,26	0,04	0,37
EDX1-3	84,16	78,49	15,58	19,36	0,26	2,15
EDX2-1	80,28	74,71	19,61	24,31	0,12	0,99
EDX2-2	78,31	67,02	20,07	22,88	1,21	9,32
EDX2-3	79,66	73,96	20,22	25,01	0,12	1,04
EDX3-1	82,41	77,50	17,53	21,96	0,06	0,54
EDX3-2	83,61	78,37	16,23	20,27	0,16	1,36
EDX3-3	83,15	76,98	16,33	20,14	0,29	2,41
Átlag	81,74	75,67	17,93	22,07	0,26	2,12
Szórás	2,01	3,64	1,79	1,98	0,37	2,79

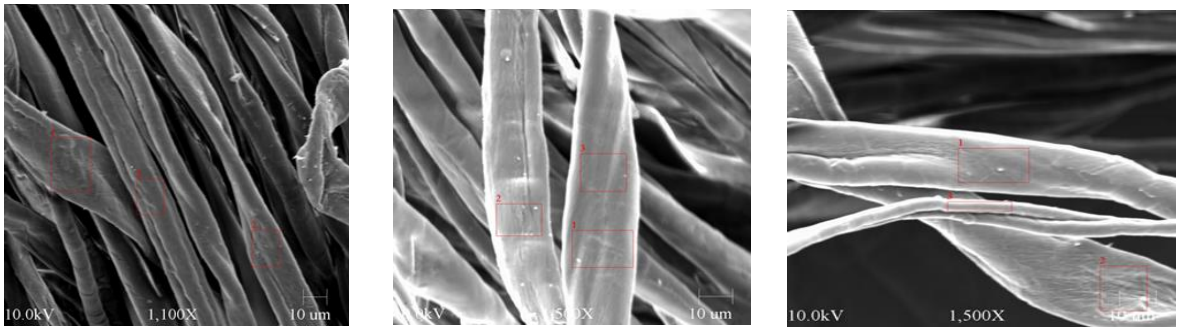
45. ábra ENZ-1 mintakelme SEM képe mosás előtt, négyzetekkel az EDX vizsgálat helyeit jelöltem. A táblázatban olvashatóak az EDX mérési eredményei

A szálak felületén jól láthatóan, µm-es szemcsék ülnek, a kisebbek 1 µm alattiak. Az ESZ-1,-2,-3 jelzésű mintákhoz hasonló egybefüggő bevonat itt egyáltalán nem jellemző, az elemösszetétel mérések eredményei alapján az átlagos ezüsttartalom igen csekély: 0,26 atom%. ENZ-2 jelzésű minta kelme, nanoezüstözött, SEM képén nem látható folyamatos ezüst bevonat (46. ábra). Kirajzolódik a pamut jellegzetes csavart szalagra emlékeztető képe.



46. ábra ENZ-2 mintakelme mosás előtti SEM képe 300x, 1100x, 1500x nagyításban

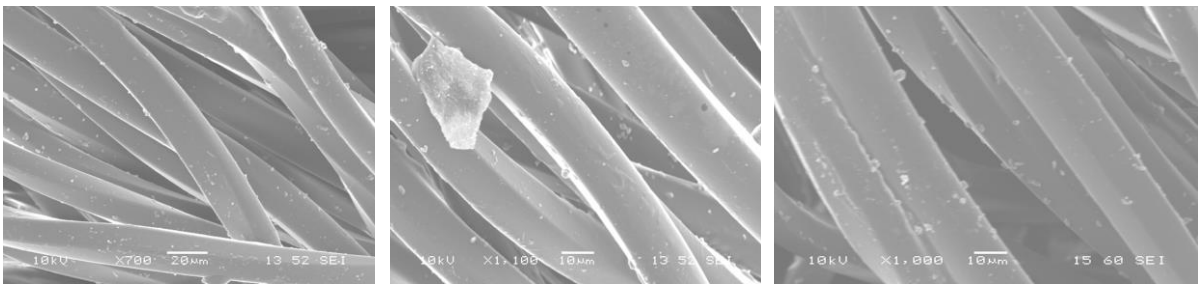
ENZ-2 jelzésű mintakelmét is megvizsgáltam EDX módszerrel, az eredményeket az alábbi, 47-es ábrán foglaltam össze.



Mérési pontok	C		O		Ag	
	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%
EDX1-1	79,92	73,05	19,72	24,01	0,36	2,95
EDX1-2	79,31	71,39	20,14	24,15	0,55	4,46
EDX1-3	79,95	73,33	19,64	24,00	0,30	2,43
EDX2-1	80,04	73,98	19,76	24,33	0,20	1,69
EDX2-2	65,16	29,76	20,80	12,66	14,04	57,58
EDX2-3	83,17	77,83	16,66	20,77	0,17	1,40
EDX3-1	75,56	68,34	24,12	29,05	0,32	2,61
EDX3-2	79,64	73,03	20,06	24,50	0,30	2,47
EDX3-3	79,91	73,13	19,76	24,08	0,34	2,79
Átlag	78,07	68,20	20,07	23,06	1,84	8,71
Szórás	5,21	14,63	1,90	4,43	4,58	18,35

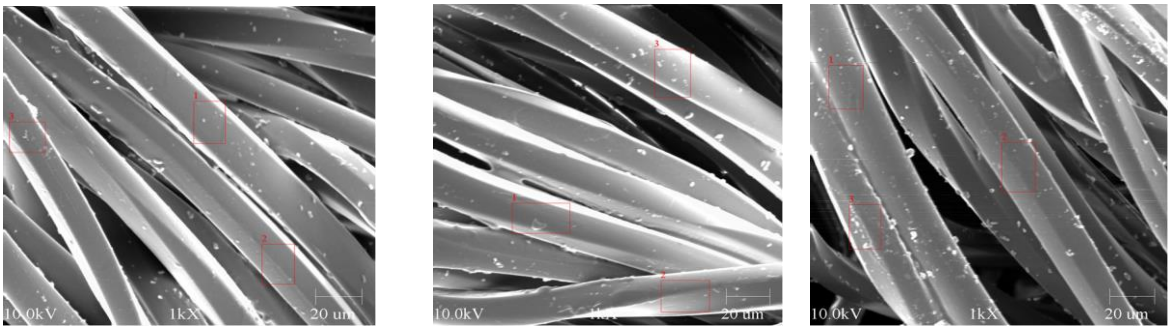
47. ábra ENZ-2 mintakelme mosás előtti SEM képe, négyzetekkel az EDX vizsgálat helyeit jelöltem. A táblázatban olvashatóak az EDX mérési eredményei

A SEM felvételeken alig látszik itt-ott néhány szemcse a szálak felületén, bevonat sincs a felületükön. Az átlag Ag-tartalom 1,84 atom%, de a legtöbb mérési pontban 0,6 atom% alatti értéket mértünk, kivéve egyet, ahol ez 14,04 atom% volt.



48. ábra ENZ-3 mintakelme mosás előtti SEM képe 700x, 1100x, 1000x nagyításban

ENZ-3 jelzésű mintakelmét mosás nélkül megvizsgáltam elektronmikroszkóppal (48. ábra) majd EDX módszerrel (49. ábra). Folytonos bevonat itt sincs a szálakon, de szemcsék láthatóak. A minta átlagos ezüst tartalma csekély, mindössze: 0,63 atom% volt, a szórás 0,87.



Mérési pontok	C		O		Ag	
	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%
EDX1-1	89,82	85,82	10,01	12,74	0,17	1,44
EDX1-2	89,19	84,87	10,62	13,46	0,20	1,67
EDX1-3	90,66	85,54	8,97	11,27	0,38	3,19
EDX2-4	88,78	84,59	11,06	14,04	0,16	1,37
EDX2-5	88,15	83,77	11,68	14,79	0,17	1,44
EDX2-6	93,00	86,80	6,37	7,92	0,63	5,28
EDX3-4	90,67	81,78	8,32	10,00	1,02	8,22
EDX3-5	89,15	85,02	10,69	13,58	0,16	1,40
EDX3-6	86,29	68,40	10,89	11,50	2,82	20,11
Átlag	89,52	82,95	9,84	12,14	0,63	4,90
Szórás	1,87	5,64	1,68	2,19	0,87	6,17

49. ábra ENZ-3 mintakelme mosás előtti SEM képe, négyzetekkel az EDX vizsgálat helyeit jelöltem. A táblázatban olvashatóak az EDX mérési eredményei

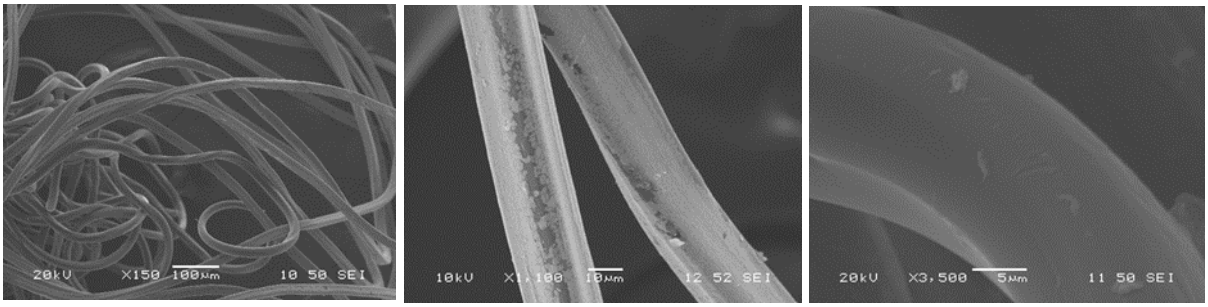
Az ENZ-3 mintakelmét 10 mosási cikus után megvizsgáltuk. Mikroszkópi képén jelentős változás nincs, továbbra is elszórtan ezüst szemcsék láthatók. Az EDX mérések 0,37 atom% ezüstöt mutattak (9. táblázat).

Mérési pontok	C		O		Ag	
	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%
EDX1-1	82,53	76,31	17,17	21,15	0,35	2,52
EDX1-2	80,09	73,4	19,57	23,9	0,32	2,09
EDX1-3	80,55	73,96	19,12	23,39	0,32	2,64
EDX2-1	77,64	70,86	22,07	26,86	0,28	2,39
EDX2-2	82,02	74,87	17,5	21,29	0,46	3,82
EDX2-3	77,9	71,06	21,73	26,44	0,307	2,51
EDX3-1	79,34	72,29	22,27	24,07	0,37	3,1
EDX3-2	81,2	74,33	17,8	21,5	0,509	4,15
EDX3-3	80,37	73,1	19,86	23,2	0,447	3,69
Átlag	80,18	73,35	19,68	23,53	0,37	2,99
Szórás	1,68	1,77	1,99	2,09	0,08	0,73

9. táblázat ENZ-3 mintakelme10 mosási ciklus utáni EDX mérési eredményei

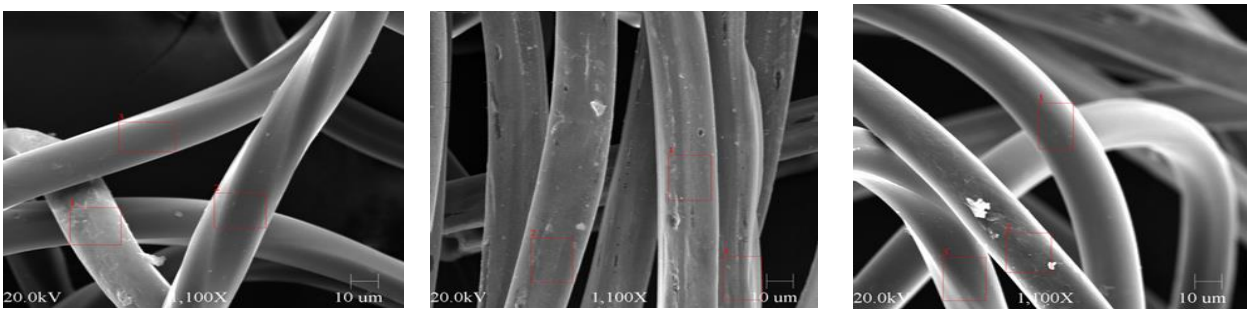
A nanoezüstözött kelmék ezüsttartalma a vizsgálataink alapján kisebb szórást mutatnak, mint a folyamatos ezüst bevonattal rendelkező kelmék esetében. Megállapítottam, hogy a mosási ciklusok során az ezüst mennyisége atom%-osan (42%) és m/m%-osan (39%) kimutatva egyaránt csökkenő tendenciát mutat.

A ESZ-2 jelzésű minta kelme mosás előtti SEM képén látható az ezüstözött PA fonalon található folyamatos ezüst bevonat (50. ábra).



50. ábra ESZ-2 jelzésű mosás nélküli mintakelme SEM képe 150x, 1100x, 3500x nagyításban

Megvizsgáltam a mintakelmét SEM-EDX módszerrel 9 különböző pontban (51. ábra).



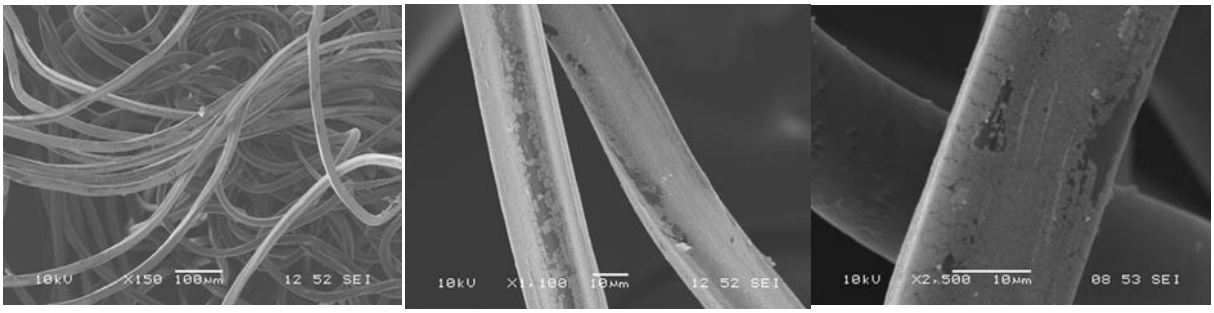
Mérési pontok	C		O		Ag	
	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%
EDX1-1	79,90	32,75	2,15	1,18	17,95	66,08
EDX1-2	66,91	19,47	2,67	1,03	30,42	79,50
EDX1-3	57,75	14,11	3,67	1,20	38,58	84,69
EDX2-1	52,00	11,44	3,74	1,10	44,26	87,46
EDX2-2	63,75	17,65	3,67	1,35	32,58	81,00
EDX2-3	71,99	31,65	6,20	3,63	15,50	61,21
EDX3-1	77,69	31,71	4,32	2,35	17,99	65,95
EDX3-2	76,86	29,95	3,67	1,91	19,47	68,14
EDX3-3	85,91	45,56	3,13	2,21	10,97	52,23
Átlag	70,31	26,03	3,69	1,77	25,30	71,81
Szórás	11,09	11,03	1,14	0,86	11,50	11,89

51. ábra ESZ-2 mintakelme SEM képe mosás előtt 1100x nagyításban, négyzetekkel az EDX vizsgálat helyeit jelöltem. A táblázatban olvashatóak az EDX mérési eredményei

A SEM képen láthatók a vizsgált pontok, az atom% méréseink alapján átlagosan 25,30, míg a m/m% méréseink alapján átlagosan 71,81.

A minta elektonmikroszkópos képein látható, hogy ezeken a szálakon alig találhatók szemcsék, nagyrészt sima felületűek.

Az ESZ-2 jelzésű mintakelmét 10 mosási ciklus után is megvizsgáltam. (52. ábra). 10 mosási ciklus után a képeken láthatóan az ezüst bevonat jelentősen sérült, valamint ezüst szemcsék láthatóak a bevonat nélküli szálakon is.

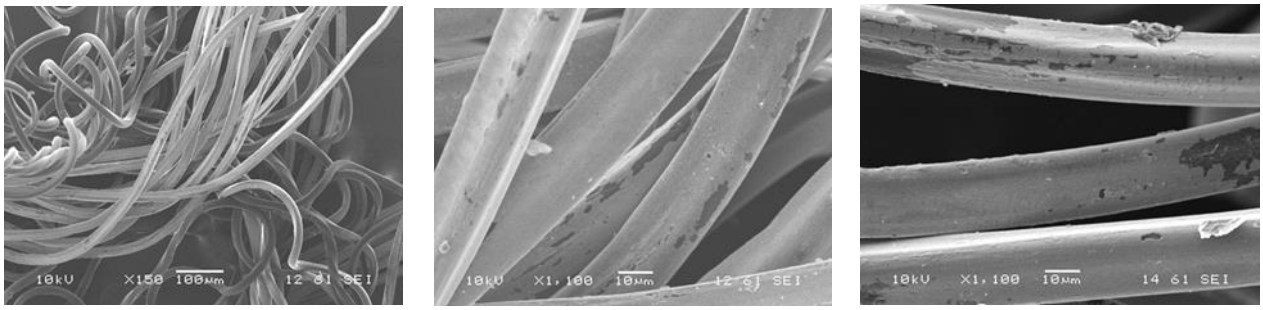


Mérési pontok	C		O		Ag	
	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%
EDX1-4	82,48	39,18	3,83	2,42	13,69	58,40
EDX1-5	85,97	47,95	4,28	3,18	9,76	48,87
EDX1-6	87,02	51,23	4,41	3,46	8,57	45,31
EDX2-1	64,59	17,89	2,83	1,04	32,58	81,06
EDX2-2	67,38	20,02	3,11	1,23	29,51	78,75
EDX2-3	68,00	20,28	2,61	1,04	29,39	78,69
EDX3-1	63,29	17,24	3,39	1,23	33,32	81,53
EDX3-2	64,95	18,58	3,94	1,50	31,10	79,92
EDX3-3	67,88	20,18	2,61	1,03	29,52	78,79
Átlag	72,40	28,06	3,44	1,79	24,16	70,15
Szórás	9,77	13,94	0,70	0,97	10,30	14,89

52. ábra ESZ-2 mintakelme SEM képe 10 mosási ciklus után 150x, 1100x, 2500x nagyításban. A táblázatban olvashatóak az EDX mérési eredményei

ESZ-2 minta 10 mosási ciklus utáni SEM felvételein kétféle szálat láthatunk: vannak szálak, amelyek felületén néhány helyen láthatóak csak az 1-2 µm nagyságú szemcsék és vannak szálak, melyek felülete szinte teljes egészében borított. Ennek függvényében mindkét típusú szálról külön-külön készítettünk EDX spektrumokat 3 különböző mintarészletről 3-3 (összesen 9) pontról. A bevonatos szálak EDX méréseiből azt a következtetést lehet levonni, hogy a bevonat ezüstből áll, más fémet nem tudtunk azonosítani. Az ezüst átlagértéke 24,16 atom%. Ezzel szemben a bevonat nélküli minták esetén ez az érték csupán 0,63 atom%, ami alátámasztja az elektronmikroszkópos felvételeken látottakat is.

Az ESZ-2 mintakelmét megvizsgáltam 20 mosási ciklus után. (53. ábra)



Mérési pontok	C		O		Ag	
	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%
EDX1-1	80,76	34,35	2,41	1,36	16,83	64,29
EDX1-2	69,47	21,55	2,79	1,16	27,74	77,29
EDX1-3	51,44	10,83	1,62	0,45	46,94	88,72
EDX2-1	86,01	81,80	13,93	17,65	0,07	0,56
EDX2-2	85,49	80,58	14,35	18,01	0,17	1,41
EDX2-3	87,51	83,75	12,45	15,87	0,04	0,38
EDX3-1	86,97	82,77	12,93	16,39	0,10	0,84
EDX3-2	86,22	81,97	13,70	17,35	0,08	0,69
EDX3-3	84,81	80,36	15,13	19,10	0,06	0,54
Átlag	79,85	61,99	9,92	11,93	10,23	26,08
Szórás	12,04	30,41	5,80	8,26	17,01	38,50

53. ábra ESZ-2 mintakelme SEM képe 20 mosási ciklus után 150x, 1100x, nagyításban. A táblázatban olvashatóak az EDX mérési eredményei

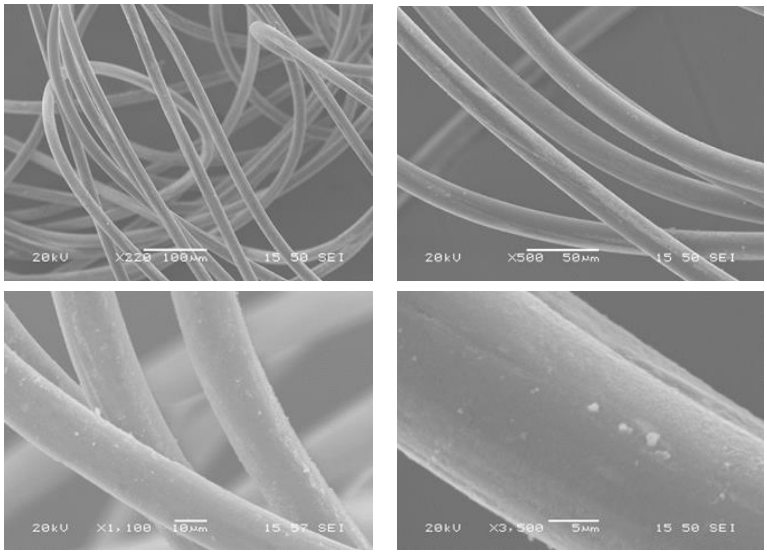
Az EDX vizsgálat mérési eredményei alátámasztják azt a megfigyelést, hogy a minták a fémek közül ezüstöt tartalmaznak, hiszen az 2-es és 3-as mintarészletek 0,04-0,17 atom%-os mennyiségben mutatható ki ezüst. Az 1-es mintarészlet azonban ennél sokkal nagyobb értékeket szolgáltat: 16,83/27,74/ 46,94 atom%. Ennek oka lehet, hogy az előző felvételeken az ezüstözetlen szálakat, itt pedig az ezüstözött poliamid szálról sikerült mennyiségi meghatározást csinálni. Ez utóbbi a SEM képen is látszódik (55. ábra 3. fotó), ahol egyértelmű, a szálak felületén szemcsék-egybefüggő rétegek is megjelennek.

Méréseink igazolták, hogy azok a kelmék, amik ezüstözött bevonatú szálakat tartalmaznak a 20. mosás végére akár az ezüsttartalmuk felét is elveszíthetik. Az ENZ-2 minta esetében a mosás előtti 25,3 atom% és 71,81 m/m% 10 mosási ciklus után 24,16 atom% és 70,1 m/m%-ra csökkent. A 20. mosási ciklus végén az eredmények 10,23 atom%-ot, és 16,08 m/m%-ot mutattak.

Az ESZ-2 mintakelme a 10. mosási ciklus végére az atom%-os adatok szerint 4,5 %, míg m/m%-os adatai alapján 2,5% ezüstöt veszít, a 20. ciklus végére pedig a mosás nélküli állapothoz képest atom% adatai alapján 60%, a m/m%-os adatok alapján pedig 78%-ot.

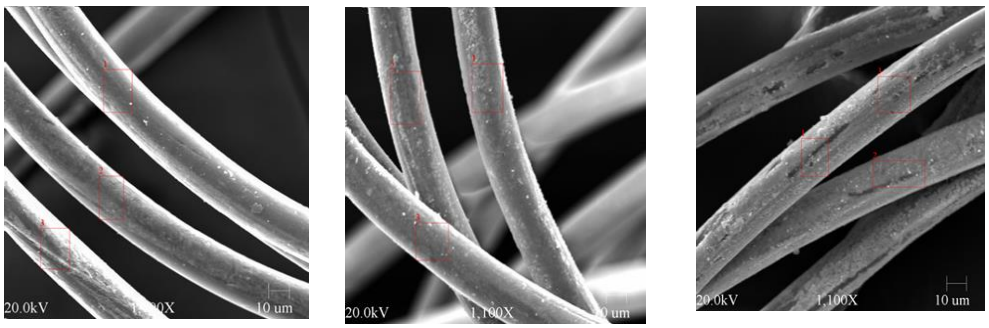
Az ESZ-3 jelzésű minta kelme mosás előtti SEM képén 220x nagyításban látható az ezüstözött

poliamid fonalon található folyamatos ezüst bevonat, a 3500 x-os nagyításban az apró egyenetlenségek is láthatóak. (54. ábra).



54. ábra ESZ-3 mintakelme mosás előtti SEM képe, 220x, 500x, 1100x, 3500x nagyításban

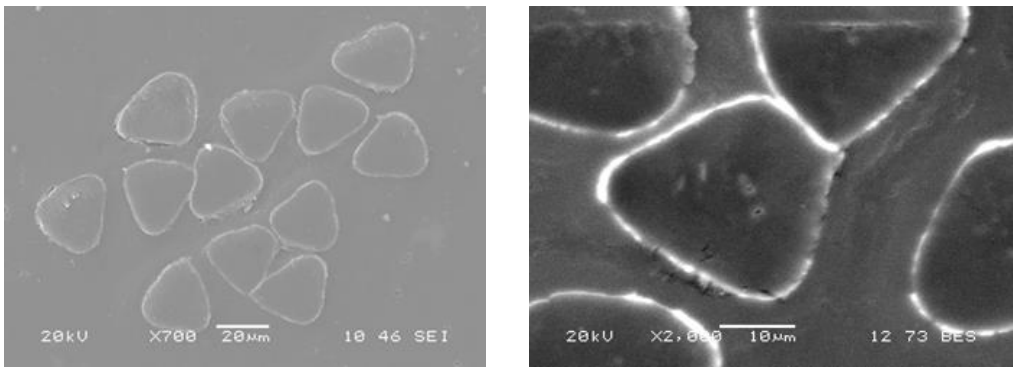
Az ESZ-3 textilmintákat alkotó egyedi fonalak elemösszetételét 3 különböző részleten, 3 pontban vizsgáltam. A 9 mérési eredményt ezután átlagoltam (55. ábra)



Mérési pontok	C		O		Ag	
	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%	Atom%	m/m%
EDX1-1	85,68	68,51	11,66	12,42	2,66	19,07
EDX1-2	83,70	66,34	13,59	14,35	2,71	19,30
EDX1-3	85,29	80,70	14,61	18,41	0,11	0,89
EDX2-1	80,77	58,54	15,11	14,59	4,13	26,87
EDX2-2	83,05	70,51	15,36	17,37	1,59	12,12
EDX2-3	80,95	63,42	16,27	16,98	2,79	19,60
EDX3-1	66,91	22,08	7,97	3,50	25,11	74,42
EDX3-2	69,34	23,13	5,87	2,61	24,79	74,26
EDX3-3	72,26	26,42	6,25	3,05	21,49	70,54
Átlag	78,66	53,29	11,85	11,48	9,48	35,23
Szórás	7,19	22,87	4,11	6,57	10,83	29,26

55. ábra ESZ-3 mintakelme mosás előtti SEM képei 1100x nagyításban, négyzetekkel az EDX vizsgálat helyeit jelöltük. A táblázatban olvashatóak az EDX mérési eredményei

A SEM képen láthatók a vizsgált pontok, az atom%[38] méréseink alapján átlagosan 9,48, míg a tömeg%[39] méréseink alapján átlagosan 35,23. Mindkét esetben nagy szórásról beszélhetünk, ezt annak tulajdonítottuk, hogy a mérések alkalmával volt amikor a száltömegből nagyobb ezüstözött és volt amikor nagyobb ezüstözés nélküli részt mértünk. A SEM-EDX mérések során feltételeztük az Ag részecskék homogenitását a szálakon, amelyet a SEM képek igazoltak. Éppen ezért több helyen végzett méréseket, hogy átlagos mennyiségű ezüst tartalmat kapjunk.
A SEM-EDX vizsgálatokat követően elvégeztem az elektromos ellenállás (4.6-os fejezet) és a fémdetektálási mérést (4.7-es fejezet). Ezeket a vizsgálatokat azon a kelmén tudtam elvégezni, ahol a kelmeszerkezetben folyamatos ezüst bevonatú fonal található.
Az 56. ábrán látható az ESZ-2 kelméből kibontott eszüstözött PA szálak keresztmetszete és a fonalak felületén található folyamatos ezüst bevonatnak köszönhetően a kontúrvonalak világos árnyalata kirajzolódik.



56. ábra ESZ-2 kelme Ag bevonatú PA szálainak keresztmetszete 700x és 2000x nagyításban

4.5 Az ezüstözött kelmék szerepe az egészség megőrzésében

Az SZTE ÁOK Bőrgyógyászati és Allergológiai Klinika 10 paciense tesztelésre kapott 1-1 pár ESZ-2 minta térdzoknit. A felmérésben résztvevő betegek az alsó végtagjaikon (mindkettőn) az egyik leggyakoribb bőrbetegséggel, neurodermatitisszel küzdenek. A kísérletek során nem vizsgáltam a hámrétegen jelentkező neurodermatitis pontos eredetét, tesztelésem csupán arra irányult, hogy a felszíni hámréteg elváltozásokra hatással van-e az ezüstözött zokni. A páciensek név nélkül vállalták, hogy az ezüstözött zoknit egyik végtagjukon rendeltetésszerűen, napi szinten viselik, a másik végtagjukra a számunkra megszokott, mindennapi viseletet használják. Életvitelszerűen, amikor azt úgy látják, a zoknikat moshatják, cserélhetik. A kísérlet ideje alatt gyógyszert nem szednek, a lábukat, amelyikre ezüstözött zoknit húznak, gyógyszerrel, gyógyhatású készítményekkel (krémmel) nem kezelik.
A páciensek tapasztalatairól a felmérést kérdőívvel végeztem (10. táblázat).

KÉRDŐÍV neurodermatitises végtagú betegek számára		
Kedves Uram/ Hölgyem!		
Kérem, osztja meg az ezüstözött zokni 7 napos használatával kapcsolatos tapasztalatait velünk és válaszoljon a következő kérdésekre! Kérjük, hogy válaszait aláhúzással jelölje.	összesítő	
1. Milyen rendszerességgel viselte az ezüstözött zoknit az elmúlt 7 napon?		
a. minden nap a lábamon volt	10	
b. csak időközönként használtam	0	
c. nem használtam	0	
		10
2. Milyen hosszú ideig használta a zoknit?		
a. egész nap a lábamon volt (éjjel-nappal, csak tisztálkodásnál vetettem le)	8	
b. napközben viseltem	2	
c. rendszertelenül, mikor-úgy gondoltam, viseltem	0	
		10
3. Milyen sűrűn cserélte a lábán a zoknit?		
a. naponta húztam másikat, az előzőt kimostam	1	
b. néhány napig viseltem egy zoknit, azután kimostam	8	
c. nem tudom megmondani milyen rendszerességgel cseréltem a zoknit	1	
		10
4. Észlelt-e valamilyen különbséget a zoknis és a zokni nélküli láb között?		
a. egész idő alatt jobb volt	0	
b. első napokban észleltem	0	
c. csak az utolsó napokban észleltem	0	
d. néhány napon észleltem	0	
e. nem észleltem	10	
f. bizonytalan vagyok	0	
		10
5. Ha észlelt különbséget, kérjük, jelölje miben különbözött a két láb érzete?		
a. a zokni alatt a lábam bőre kevésbé viszketett	0	
b. a zokni hűsítette a lábamat	0	
c. a zokni nyugtatta a bőrömet	0	
d. semmi különbséget sem éreztem	10	
e. Egyéb:……..	0	
		10
6. Gyógyszeres kezelést alkalmazott-e az elmúlt 7 napban az neurodermatitise enyhítésére?		
a. igen, kellett gyógyszeres kezelést alkalmaznom	0	
b. csak azon a lábamon alkalmaztam kezelést, amin a zoknit viseltem	0	
c. csak a zokni nélküli lábon alkalmaztam a gyógyszeres kezelést	5	
d. nem alkalmaztam semmilyen gyógyszeres kezelést, egyik lábamon sem	5	
		10
7. huzamosabb ideig viselné-e neurodermatitises tünetei enyhítésére a zoknit?		
a. igen	0	
b. nem	10	
c. egyéb kedvező tulajdonságai miatt igen:……	0	
		10
Válaszait, és a kérdőív kitöltésére szánt idejét tisztelettel köszönjük.		
2016. augusztus 16. Jó egészséget kívánunk!		

10. táblázat Neurodermatitises betegek kérdőívének összesítése

A zoknik gyártója a termék viselésével kapcsolatosan semmilyen instrukciókat nem közölt, mint pl. viselés gyakorisága, időtartama, mosás gyakorisága stb. a vizsgálat egyéb részleteit nem dolgoztuk ki. A páciensek vállalták, hogy a 7 napig tartó kísérlet végén egy kérdőív kérdésein keresztül beszámolnak tapasztalataikról.

A kérdőívek összesítése alapján megállapítottam, hogy mindenki rendszeresen viselte a zoknit, minden nap a lábukon volt. 80% minden nap és éjszaka is viselte, 20% éjszakára levette. 80% néhány napig viselt egy zoknit, majd azután kimosta 10% naponta cserélte és mosta, 10% nem tudta megmondani milyen rendszeresen cserélte. Senki sem észlelt a zokni hatásának tulajdonítható változást 7 nap alatt. A betegek 50% nem használt semmilyen készítményt egyik lábukon sem, 50% csak azon a lábukon használtak, amin nem volt zokni.

A megkérdezettek közül az észlelt hatásai alapján senki sem viselne rendszeresen ezüstözött zoknit.

Szemrevételezés alapján (57. ábra) a kezelés előtt fennálló piros foltok a zokni viselése után is maradtak. A piros szín intenzitása van akinél valamivel enyhült, de nem szembetűnő módon. A foltok mérete szemrevételezés alapján nem változott.

A kiscsoportos tesztelésben résztvevők körében, a tesztelést követően megállapítottam, hogy a mindennapi viselet során nem mutatott határozott, egyértelmű, szemmel látható pozitív irányú változást az ezüstözött zokni.

57. ábra Neurodermatitis-es páciensek végtagjai a jobb oldalon a kezelés elején és a bal oldalon 7 nap után

4.5.1 Ezüstözött kelmék antimikrobás hatásának vizsgálata

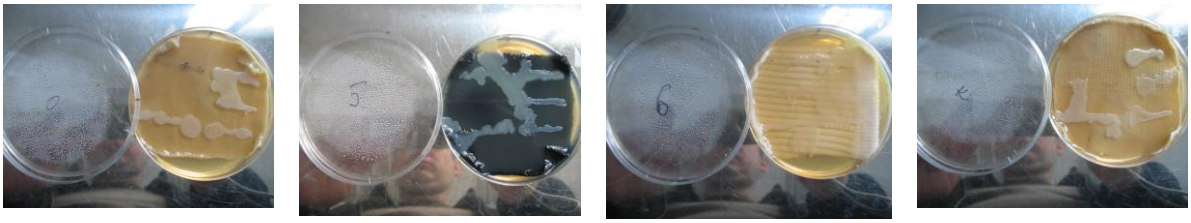
Módszer 1 a. eredményei

Az inkubálás után történt az értékelés, oly módon, hogy a kialakuló gátló (vagy serkentő) zónák megjelenését vizsgáltuk. Amennyiben a nanoezüstözött textil (ENZ1,-2,-3,-4), vagy az ezüstözött fonalból készült kelme (ESZ-1,-2,-3) rendelkezik antimikrobás hatással, úgy a baktériumokat tartalmazó tápközegben a textil kontakt zónájában növekedés nem tapasztalható (11. táblázat).

Vizsgált mikroorganizmus	Gátlási zóna	Alkalmazott tápközeg
Pseudomonas aeruginosa	-	Cetrimid agar (CN)
Candida albicans	-	Yeast-Glucose-Chloramphenicol agar (YGC)
Aspergillus brasiliensis	-	Yeast-Glucose-Chloramphenicol agar (YGC)
Enterococcus faecalis	-	Slanetz-Bartley agar (SB)
Escherichia coli	-	Chromocult-Coliform agar (CC)
Staphylococcus aureus subsp. aureus	-	Baird-Parker agar (BP)

11. táblázat textilminták antimikrobás hatásának mikroorganizmusokra gyakorolt hatása 1.a módszer
Jelölés: + (pozitív, gátlási zóna tapasztalható); - (negatív, gátlási zóna nem tapasztalható)

Vizsgálatuk során a kelmeminták közül a nanoezüstözött és az ezüstözött szálakat tartalmazó kelme sem rendelkezett antimikrobás hatással a tesztelt mikroorganizmusokkal szemben, a baktériumokkal elkevert tápagarban mikrobaszaporodás volt tapasztalható (58. ábra).

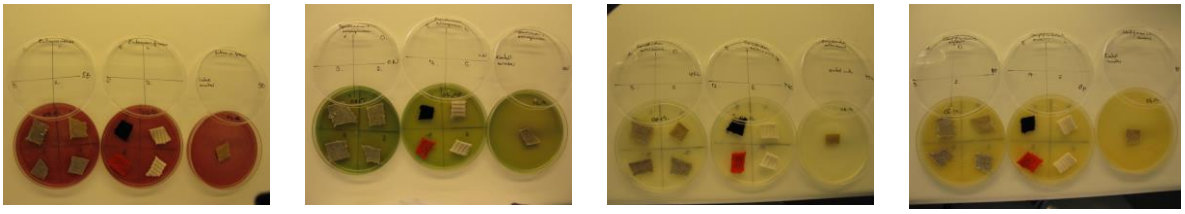


58. ábra Az ezüstözött textíliák gátlásának vizsgálata 1.a módszer

Módszer 1 b. eredményei

Az inkubálás utáni értékelés, oly módon történt, hogy vizsgáltuk a kialakuló gátló (vagy serkentő) zónák megjelenését. A klasszikus korong teszt analógiájára, amennyiben a nanoezüsttel átitatott textil rendelkezik antimikrobás hatással, úgy a tápagar felületén a textilek által lefedett területen baktérium növekedés nem tapasztalható.

A klasszikus korong teszt analógiájára vizsgált nanoezüsttel kezelt textilek nem rendelkeztek antimikrobás hatással, a teszt mikroorganizmusokkal szemben, mivel a tápagar felületén a textilek által lefedett területen mikroba szaporodás volt tapasztalható (59. ábra). Az így kapott negatív eredmények miatt, további vizsgálatokat végeztünk.



59. ábra Az ezüstözött textíliák gátlásának vizsgálata 1.b módszer

A nanoezüstözött és ezüst bevonatú szálakat tartalmazó kelméket ezzel a módszerrel többször megvizsgáltuk, de sajnos semmiféle gátlást nem tapasztaltam.

Módszer 1 c. eredményei

Az 60. ábra az ezüstözött fonal kötegek gátlási zónáját szemlélteti néhány vizsgált mikroorganizmus esetében. A 12. táblázatban látható, hogy az ESZ-2 kelméből eltávolított ezüstözött fonalon vizsgált mikroorganizmusok közül Pseudomonas aeruginosa és Escherichia coli esetében a gátlás a felületen és a táptalajban, míg Candida albicans esetében csak a felületen észlelhető.

60. ábra Vizsgált mikroorganizmusok közül Pseudomonas aeruginosa és Escherichia coli esetében a gátlás a felületen és a táptalajban, míg Candida albicans esetében csak a felületen észlelhető.

Vizsgált mikroorganizmus	**Gátlás a felületen***	**Gátlás a táptalajban***	**Alkalmazott tápközeg**
Pseudomonas aeruginosa	+	+	Cetrimid agar (CN)
Candida albicans	+	-	Yeast-Glucose-Chlopaphenicol agar(YGC)
Aspergillus barlsiliensis	-	-	Yeast-Glucose-Chlopaphenicol agar (YGC)
Enterococcus faecalis	-	-	Slanetz-Bartley agar (SB)
Escherichia coli	+	+	Tryptone Bile agar with X-Glucuronide (TBX)
Staphylococcus aureus subsp. aureus	+	+	Baird-Parker agar (BP)

12. táblázat ESZ-2 kelméből kibontott ezüstözött fonal mikroorganizmusokra gyakorolt gátó hatása

Jelölés: + (pozitív, gátlási zóna tapasztalható); - (negatív, gátlási zóna nem tapasztalható)*gátlás osztályzása egytől négy keresztig

A gátlási zónák mérete a 13. táblázatban látható.

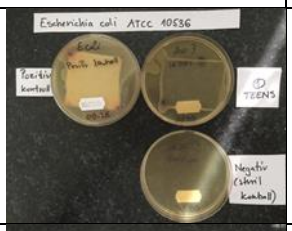
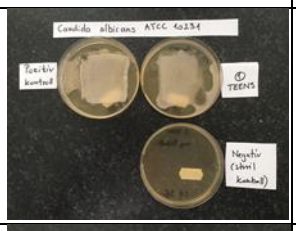
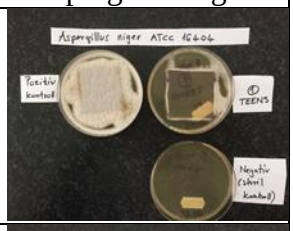
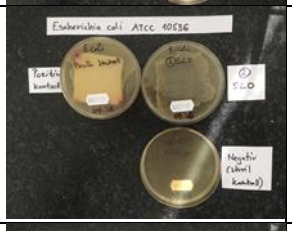
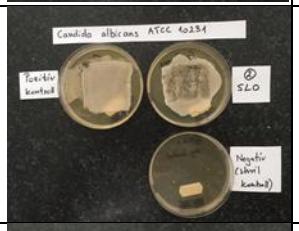
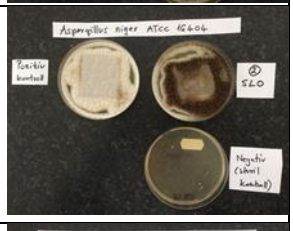
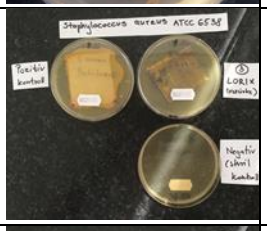
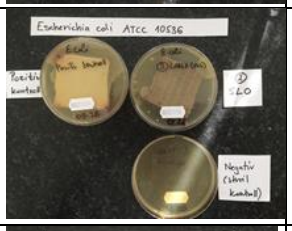
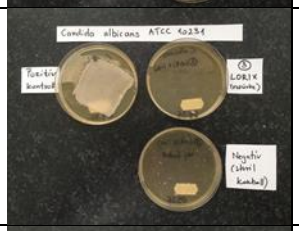
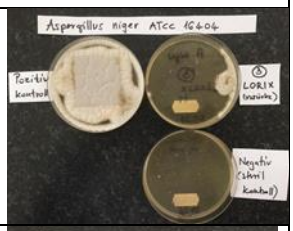
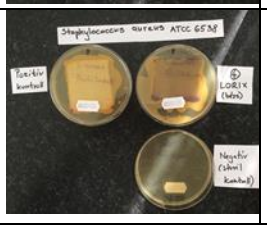
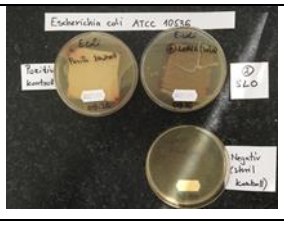
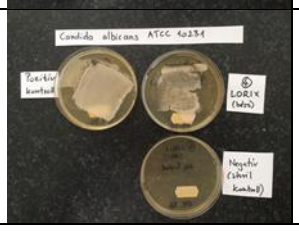
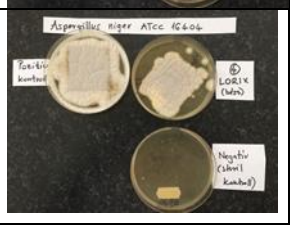
Vizsgált mikroorganizmus	Gátlási zónák mérete táptalaj felületen (átlag, mm)	Gátlási zónák mérete táptalajban (átlag, mm)
Pseudomonas aeruginosa	12 ± 0,3	11 ± 0,3
Escherichia coli	4 ± 0,3	3 ± 0,3
Staphylococcus aureus subsp. aureus	2 ± 0,3	1 ± 0,3
Candida albicans	1 ± 0,3	0
Aspergillus brasiliensis	0	0
Enterococcus faecalis	0	0

13. táblázat Az eszüstözött PA szálak körül kialakult gátlási zónák mérete

Az ezüstözött szálakból készült fonalak bevonatának elektronmikroszkóp alatt látható sérülései nem befolyásolták a szálak antibakteriális hatását, az ezüst mennyiségének csökkenése ellenére a gátló hatás a vizsgált körülmények között megmaradt.

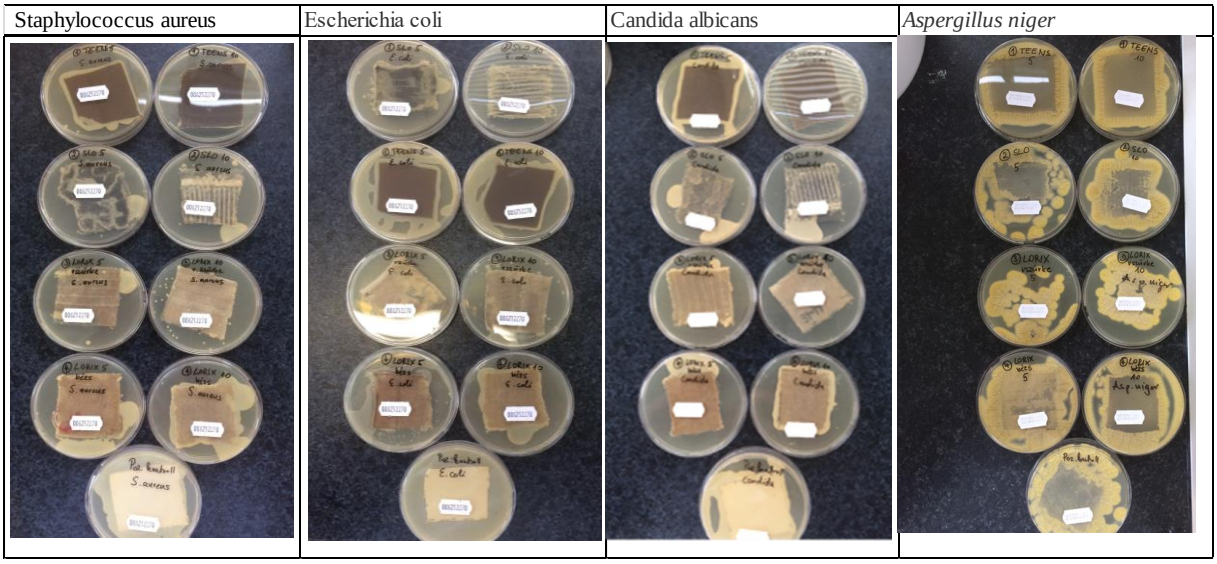
Vizsgálatunk alapján elmondhatjuk, hogy a gátló hatást a módszer 1-a és b esetében, valószínű, hogy az ezüst gátló hatása ellenére a kelme valamelyik összetevője akadályozza. További vizsgálatok szükségesek a gátló hatás minden részletének feltárására.

Módszer 2. eredményei

minta	Staphylococcus aureus	Escherichia coli	Candida albicans	Aspergillus niger
ENZ-3				
ENZ-2				
ENSZ-2				
ENSZ-3				

61. ábra Az ezüstözött textíliák gátlásának vizsgálata 0 mosás utáni eredmények fotói

Az ezüstözött fonalat tartalmazó kelmék jelentősebb gátló hatást mutattak, mint a nanoezüstözöttek. A nanoezüstözött kelmék egyáltalán, semmire nem (mint az ENZ-2 minta esetében) mutattak gátlást vagy éppen ellenkezőleg, (az ENZ-3 minta esetében) gátló hatást mutattak. Ezek a kelmék valószínűsíthető, hogy vagy nem olyan (és a két minta nem ugyanabban a) formában tartalmaznak nano részecséket, hogy gátlást tudnának kifejteni, vagy a kelme egyéb összetevői akadályozzák meg a gátló hatás kifejtését (61. ábra).
A vizsgálatot 5 és 10 mosási ciklus után megismételtük (62. ábra).



62. ábra Az ezüstözött textíliák gátlásának vizsgálata 5 és 10 mosás utáni eredmények fotói

Az ezüstözött textíliák mikroorganizmusokra gyakorolt gátlóhatását mosások során a 14. táblázatban mutatom be.

minta	*mosások száma*	*Staphylococcus aureus*	*Escherichia coli*	*Candida albicans*	*Aspergillus niger*
ENZ-2	0	--	--	--	--
	5	--	--	--	--
	10	--	--	--	--
ENZ-3	0	++	++	--	++
	5	++	++	--	--
	10	++	++	--	--
ESZ-2	0	+	++	++	++
	5	++	++	++	--
	10	++	++	++	--
ESZ-3	0	++	++	+	--
	5	++	++	++	--
	10	--	--	--	--

14. táblázat Az ezüstözött textíliák mikroorganizmusokra gyakorolt gátlóhatása

(++nem tenyészett vissza- nem szaporodtak a bacilusok/gombák, gátolta a szaporodásukat
--visszatenyészett- nem gátolta a szaporodást
+csíraszám csökkenés- kevesebb van mint a kontroll mintán)

Ennél a módszernél az eddig alkalmazott vizsgálati módszerekhez viszonyítva az ENZ-2 nanoezüstözött minta kivételével jelentősen nagyobb gátlást mutattak a textíliák.(14. táblázat) Az ENZ (nanoezüstözött) és az ESZ-2 (ezüstözött fonalat tartalmazó) minta az 5. mosás után elveszítette gátló hatását az Aspergillus niger gombával szemben. Az ESZ-3 kelmeminta esetében a 10. mosás után megszűnt minden addig észlelhető antimikrobás hatás.

Módszer 3. eredményei

A 15. táblázat mutatja be a kapott eredményeket az összes mintára. Az eredmények azt mutatják, hogy a vizsgált textíliák antibakteriális hatása az alkalmazott baktérium és gomba koncentrációknál igen változó. Egyik minta sem volt minden mikroorganizmusra nézve aktív.

Minta/Faj	Micrococcus luteus	Staphylococcus aureus	Escherichia coli	Candida albicanus	Candida glabrata	Candida krusei	Cryptococcus Neoformans
ENZ-1	--	--	--	--	--	--	--
ENZ-2	--	+	+	--	+	--	++
ENZ-3	--	--	--	--	--	--	--
ENZ-4	--	--	--	--	--	--	--
ESZ-1	--	--	--	--	+	--	--
ESZ-2	--	+	+	--	+	--	++
ESZ-3	--	--	--	--	--	--	--
EK-1	++	++	+	--	+	--	--

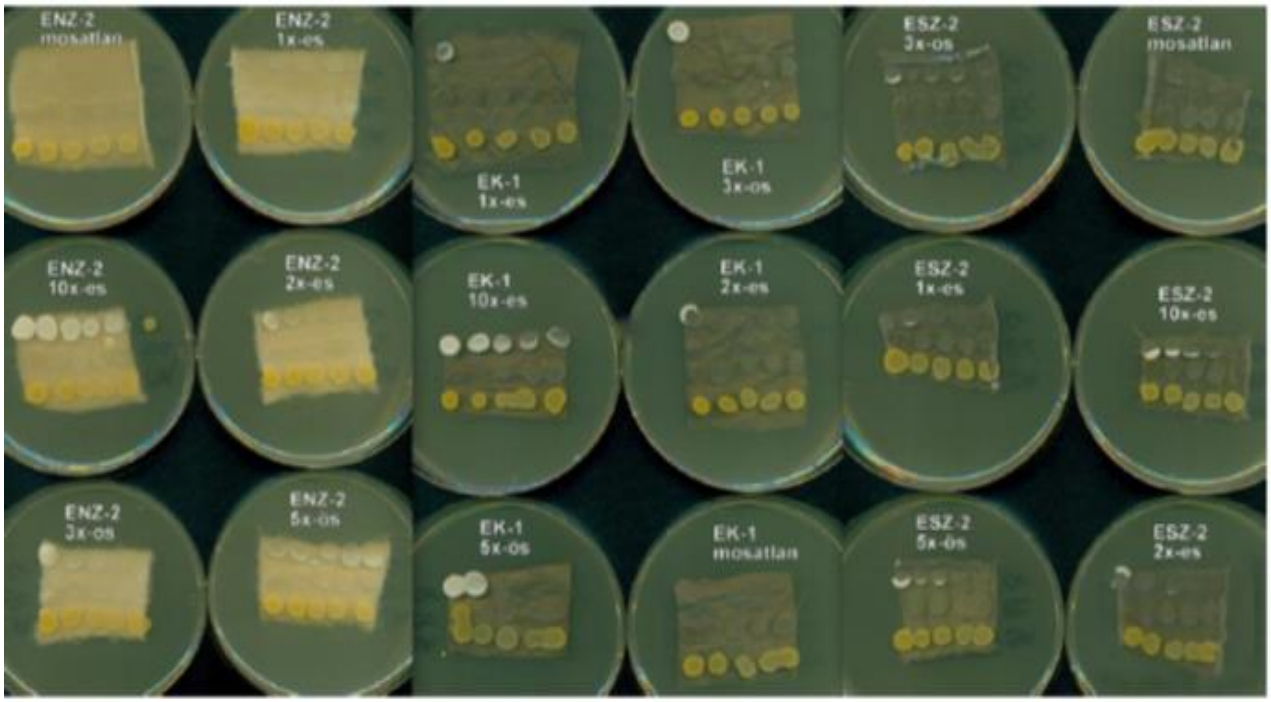
15. táblázat Az ezüstözött textíliák mikrorganizmusokra gyakorolt gátlóhatása

(++nem tenyészett vissza- nem szaporodtak a bacilusok/gombák, gátolta a szaporodásukat
--visszatenyészett- nem gátolta a szaporodást
+ csíraszám csökkenés – kevesebb van mint a kontroll mintán)

Három minta, nevezetesen az EK-1, ESZ-2 és ENZ-2 jelűek, (egy ezüstözött felületű, egy ezüstözött szálakat tartalmazó és egy nanoezüstözött kelme) mind baktériumokra, mind pedig a vizsgált gombákra mutatott hatást, ezért a továbbiakban ezzel a három mintával folytattuk a kutatást.

Ezeknél a mintáknál láthatóan nem fejlődött ki a telep, vagy csak minimális mértékben, így tehát megfékezték a baktériumok és gombák elszaporodását.

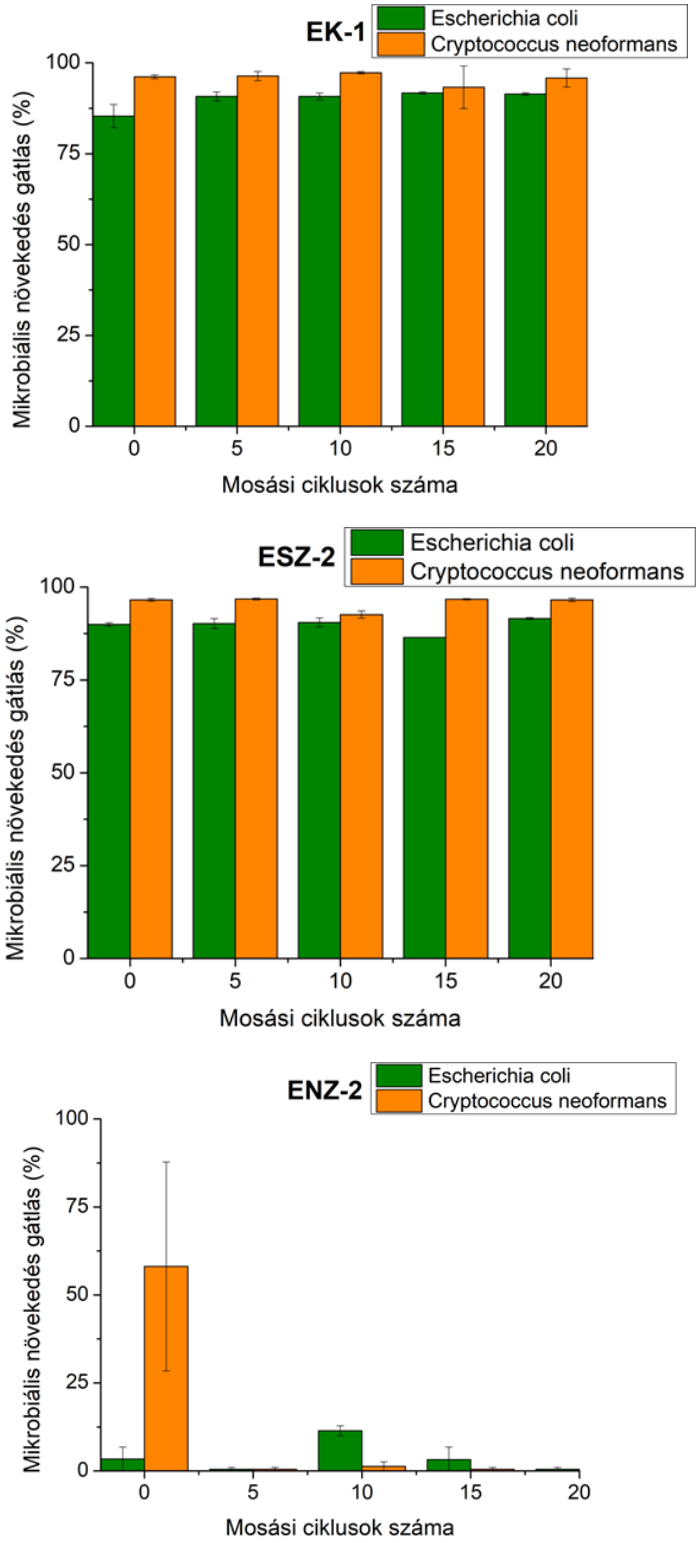
Az 63. ábrán láthatók a különböző mosási ciklusokon átesett mintadarabok fotói a telepek kifejlődése után.



63. ábra A különböző mosási ciklusokon átesett mintadarabok fotói a telepek kifejlődése után

Módszer 4. eredményei

Az eredmények azt mutatják, hogy a mosási ciklusok számának növekedése nem csökkentette jelentősen a mikrobás növekedés gátlását az EK-1 és ESZ-2 jelű minták esetében, amely mindkét minta esetén hasonlóan magas maradt (több mint 80%). Az ENZ-2 minta eleve alacsony antimikrobás hatást mutatott az Escherichia colival szemben, míg a Cryptococcus neoformans gátlása a mosási ciklusok hatására (már 5 mosási ciklust követően) jelentősen csökkent (64. ábra).



64. ábra A mikrobás növekedés gátlás változásának szemléltetése az alkalmazott mosási ciklusok számának függvényében

Az eredmények alapján azon következtetések fogalmazhatók meg, miszerint az EK-1 illetve az ESZ-2 mintákon olyan jelentős koncentrációban fordul elő az ezüst, hogy az a mosási kísérletek által kiváltott csökkenés ellenére még mindig elegendő az általunk alkalmazott kísérleti

körülmények között a megfelelő antimikrobás hatás elérésére. Ezzel szemben az ENZ-2 minta már eleve jóval kisebb koncentrációban tartalmazott ezüstöt, ezért annak további csökkenésével már az antimikrobás hatás is közel megszűnt. Fontos szem előtt tartani azt is, hogy a textíliák egyéb alkotóelemei is rendelkezhetnek önmagukban antimikrobás hatással, amely hozzájárulhat az általunk tapasztalt az ezüstnek tulajdonított hatáshoz.

Az ezüstözött fonalak bevonatának sérülései nem befolyásolták a szálak antibakteriális hatását. Az elektronmikroszkóppal látható repedések, (SEM-EDX vizsgálat fejezete) az ezüst mennyiségének csökkenése ellenére az antibakteriális hatás megmarad.

A szakirodalom szerint bizonyított, hogy az antibakteriális hatás vizsgálatánál párhuzamosan több módszert érdemes alkalmazni, mert egy baktérium, illetve egy módszer nem elegendő a hatás bizonyításához vagy cáfolásához.[123] Ezt a megállapítást a mi eredményeink is alátámasztották.

Vizsgálataink során bebizonyosodott, hogy volt olyan minta kelme, ami semmilyen gátlást nem mutatott (ENZ-2 (ÁNTSZ vizsgálatnál nem mutatott gátló hatást, SZTE vizsgálatnál igen), ESZ-2 (az SZTE vizsgálatnál nem mutatott ÁNTSZ-nél igen)), míg a megváltoztatott vizsgálati körülmények mellett gátlást fejtett ki.

Nem szabad elfeledkezni arról a tényről, hogy a használat során a textilipari termékek nem laboratóriumi körülmények között kell, hogy antimikrobás és antifungicid hatást fejtsenek ki.

Megállapítható, hogy az ezüstözött textíliák antbakteriális és antifungicid hatása egyaránt függ a kiválasztott textilanyag tulajdonságaitól, a csökkenteni vagy megszűntetni kívánt baktériumok jellegétől és a textília és a baktériumok/gombák környezeti körülményeitől. A használat során a textíliákra dörzsölés, izzadtság, mosás stb. hat és mind ezek a körülmények hatással vannak a textília tulajdonságaira.

Jelképesen a textíliák antibakteriális tulajdonságát a szemléltetés érdekében az alábbi összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$B^{(t)} = B_{oj} \times B_{on} \times (T_{tex}) \times (H_{Aa}) \times (H_{Ag}) \times (T_{idő}) \times (K_{köz}) \qquad \text{(8. képlet)}$$

Ahol:
$B^{(t)}$ – a vizsgált textília
B_{oj}– a baktérium fajtája (jellege)
B_{on}– a baktérium koncentrációja
T_{tex}– a textília összetétele, cellulóztartalma, viasztartalma, felületi egyenlőtlenségei stb.
H_{Aa}– az alapanyag változásai használat során (mosás, dörzsölés, stb. hatására)
H_{Ag}– ezüsttartalom változása használat során
$T_{idő}$ – az inkubációs idő, amíg a baktérium a textílián van
$K_{köz}$ –azok a külső körülmények, amik a textíliákra és a baktériumokra hatnak (vizes közeg, véres közeg, levegő, hőmérséklet stb.)

Tapasztalataim alapján több millió vizsgálatot kellene elvégezni és akkor sem tudnánk figyelembe venni a felsorolt tényezők időbeli változását.

4.6 Elektromos ellenállás vizsgálat

Kutatásom során először az ezüsttel bevont fonalakból készült kötött kelmék ellenállását mértem, mosás előtt és után. 0,1 mikron vastagságú ezüst réteggel bevont 44/12 dtex PA fonalból készült, ESZ-2, -3 valamint az EK-1 jelzésű kötött kelmét vizsgáltam, koptatás és a mosás utáni változásait regisztráltam.

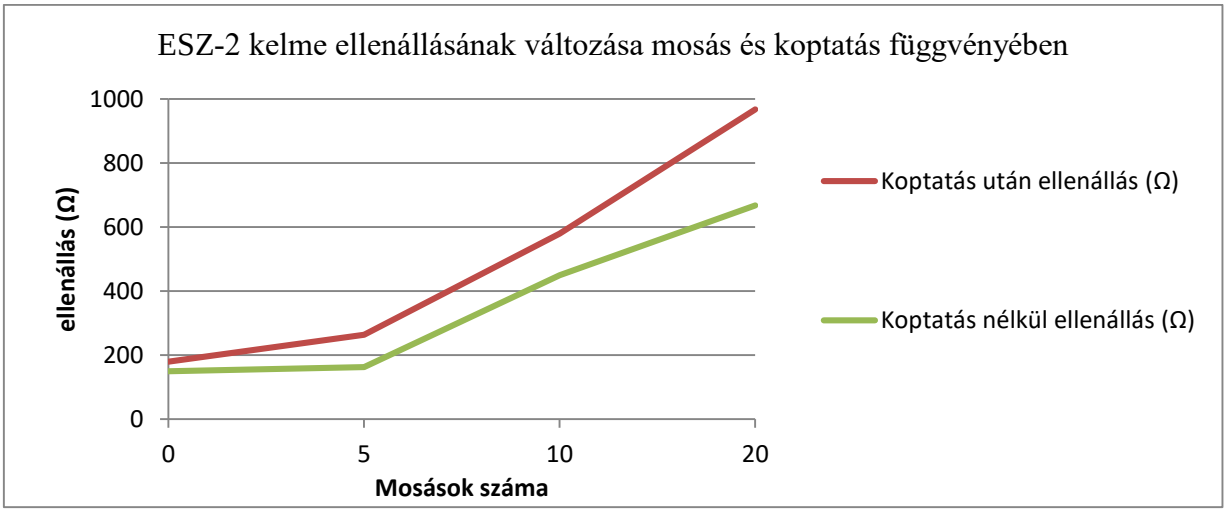
A mérést elvégeztem ENZ-1-4 jelzésű nanoezüstözött kelméken is. Megvizsgáltam a kelméket mosás előtt, majd a mintadarabokat két csoportra osztottam. Az első csoportban levő kelméket mosás és koptatás után, míg a másik csoportot koptatás nélkül, mosás után vizsgáltam.

A nanoezüstözött ENZ-1-4 kelmék ellenállása a műszerünk felső méréshatárán kívül esett. A nanoezüsttel kezelt kelme ellenállása nem mérhető, mivel nem képez folyamatos bevonatot, az elektromos áramot nem vezeti.

A kelmék ellenállását lapra fektetett állapotban, 15*15 cm kelmevágaton, 15 cm kelme szakaszon Ohm mérővel mértem. A műszer csipeszei közé rögzített minta kelmét a mérések során elforgattam. A mérést minden kelme esetében 10 alkalommal ismételtem meg, a minta 10 különböző pontján és a mérési eredmények átlagát, kerekítve a 16. táblázatban mutatom be.

Kelme (15x15 cm)	mosások száma	Koptatás után ellenállás (Ω)	Koptatás nélkül ellenállás (Ω)
ENZ-1-4	0	∞	∞
ESZ-2	0	180	150
ESZ-2	1	250	163
ESZ-2	5	264	183
ESZ-2	10	580	450
ESZ-2	20	967	668
ESZ-3	0	8	6
ESZ-3	1	50	37
ESZ-3	5	253	148
ESZ-3	10	805	490
ESZ-3	20	∞	∞
EK-1	0	2	2
EK-1	1	6	5
EK-1	5	11	10
EK-1	10	16	15
EK-1	20	40	35

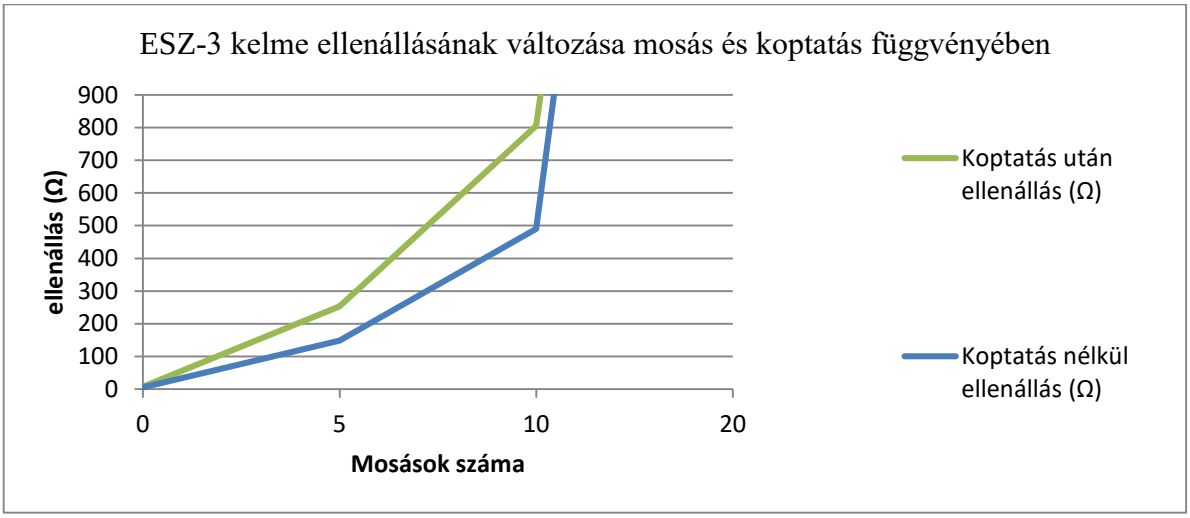
16. táblázat ESZ-2, ESZ-3, EK-1 kelmék ellenállása mosás és koptatás előtt és után



65. ábra ESZ-2 kelme ellenállásának változása mosás és koptatás előtt és után

Az ESZ-2 kelme mosás és koptatás nélküli ellenállása 10 mérés átlagából számítva, kerekítéssel 150 Ω . A koptatási ciklusok után, mosás nélkül a kelme ellenállása 180 Ω.

A mosási cilkusok és a koptatási ciklklusok számának növekedésével az ellenállás nőtt (65.ábra).



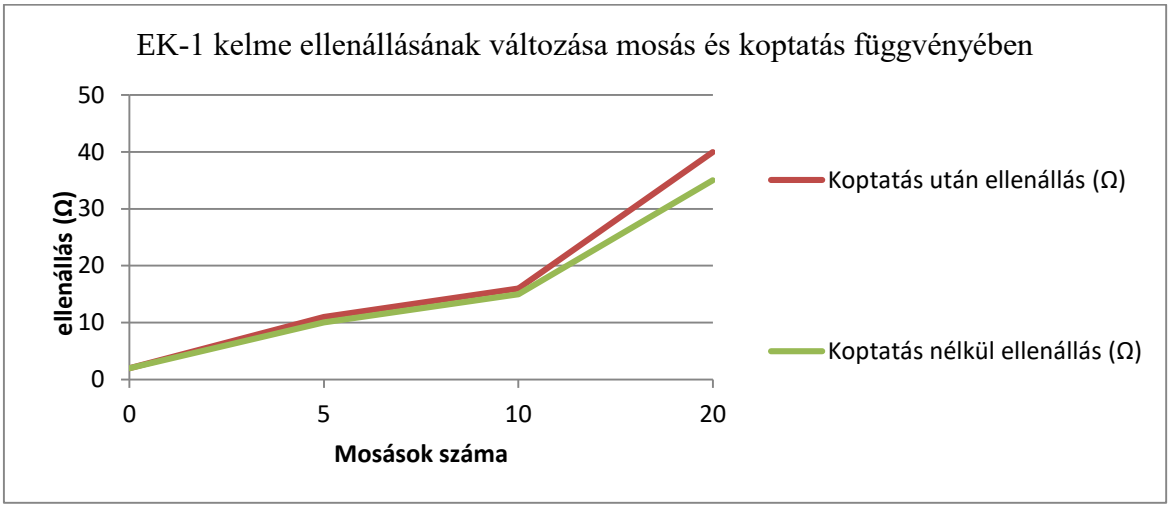
66. ábra ESZ-3 kelme ellenállásának változása mosás és koptatás előtt és után

Az ESZ-3 kelme mosás és koptatás nélküli ellenállása 6 Ω . A 3.3 fejezetben leírt koptatási ciklusok után, mosás nélkül 8 Ω.

Az ESZ-3 kelme ellenállása 10. mosási ciklus után jelentősen megnőtt, értéke műszerem mérési határán kívül esett (66. ábra).

Az EK-1 jelzésű kelme az ezüstözött fonalat tartalamzó kelmékhez hasonlóan viselkedett. A kezdeti kicsi ellenállás a mosási és koptatási ciklusok számának növekedésével nőtt (67. ábra). Az első mosás után a vizsgált ezüstözött kelmék ellenállása a mosatlan 1,8-6 szorosára nőtt. Átlagosan a kelmék ellenállása az első mosás után a mosatlan érték 3 szorosára nőtt. A

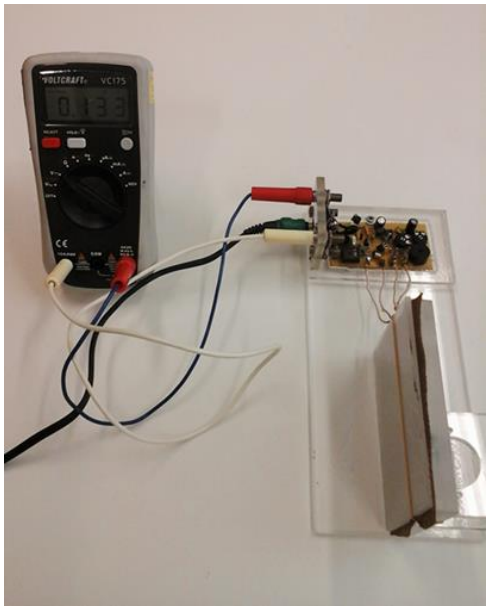
továbbiakban az 5-10-20. mosás utáni érték azt mutatta, hogy a kelmék ellenállása további növekvő tendenciát mutat, az egyes ciklusok utáni értékek általában 2,5 szeresei az előző értékeknek.



67. ábra EK-1 kelme ellenállásának változása mosás és koptatás előtt és után

A vizsgálatot SEM vizsgálat eredményeivel kiegészítve megállapítottam, hogy a folyamatos ezüst bevonattal rendelkező kelmék ellenállása a mosások számával folyamatosan csökken, míg a folyamatos bevonat a fonalakon (56. ábra, 94. oldal) meg nem szakad. A folyamatos bevonat megszakadása esetén a kelme ellenállása nem mérhető.

4.7 Az ezüstözött textíliákon levő ezüst kimutatása fémdetektálási módszerrel



68. ábra Mérés fémdetektálási módszerrel

A mérést 10x10 cm-es mintákon végeztem. A minta kelme vágatokat behelyeztem a műszer befogólemezei közé (68. ábra). A műszer fényjelzése, sípolása és a kilengés után leolvastam a kijelzőn a kelme behelyezésével gerjesztett feszültséget. Az univerzális mérőműszeren a kimutatott értékkel számszerűen mérhető a fém jelenléte miatt bekövetkező feszültség változás (17. táblázat).

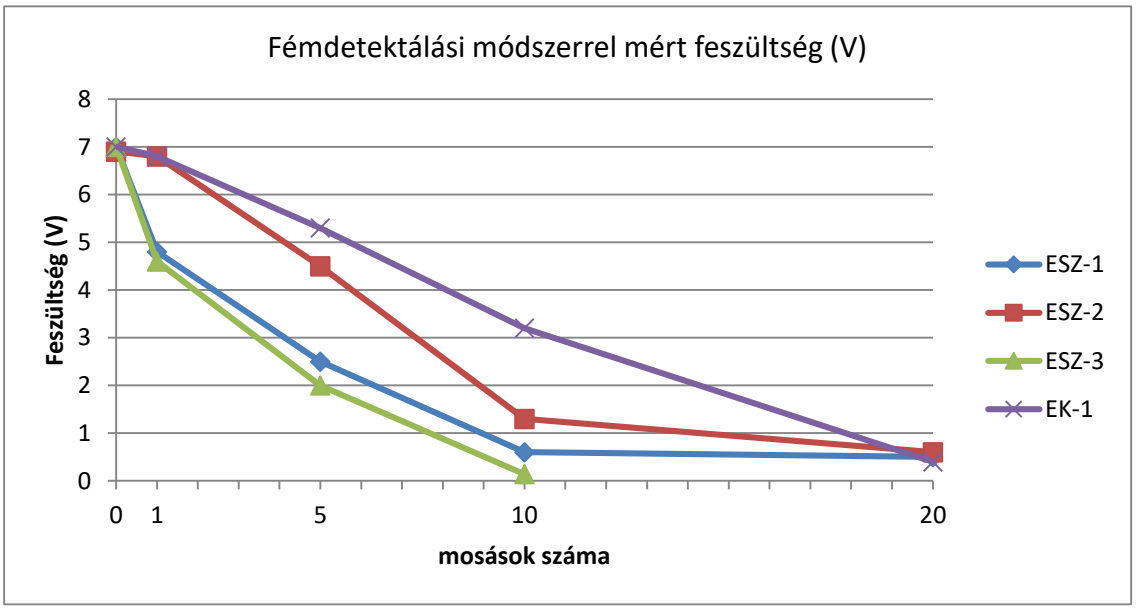
azonosító	mosások száma	Fémdetektálási módszer feszültség (V)
ESZ-1	0	7
	1	4,8
	5	2,5
	10	0,5
	20	0,6
ESZ-2	0	6,9
	0 koptatott	6,5
	1	6,8
	1 koptatott	3,2
	5	4,5
	5 koptatott	2,5
	10	1,3
	10 koptatott	0,9
	20	0,6
	20 koptatott	nem mérhető
ESZ-3	0	7
	0 koptatott	5
	1	4,6
	1 koptatott	4,2
	5	2
	5 koptatott	1,8
	10	0,14
	10 koptatott	0,1
	20	nem mérhető
	20 koptatott	nem mérhető
	elektrolízis	nem mérhető
EK-1	0	7
	0 koptatott	6,9
	1	6,8
	1 koptatott	5,8
	5	5,3
	5 koptatott	5
	10	3,2
	10 koptatott	3,1
	20	0,4
	20 koptatott	0,1

17. táblázat Fémdetektálási módszerrel mért mérési (10 mérés) eredmények átlaga

Az általam alkalmazott ezüstözött fonalat tartalmazó és ezüstözött felületű kelmék mosás előtt közel 7-es értéket mutattak. Mosások során ez az érték folyamatosan csökkent, míg a 20. mosási ciklus végére az érték 0V közeli értéket mutatott.

Az EK-1 minta 20 mosási és koptatási valamint az ESZ-3 kelme 10 mosási és koptatási ciklus után az alsó mérési határt megközelítő 0,1V értéket mutatott. Fémdetektálási módszer alsó méréshatárát az ICP-MS módszerrel kiegészítve bebizonyítottam, hogy a mért eredmények alapján 5 mg/kg feletti mennyiségben az ezüstözött textíliákon levő ezüst kimutatható fémdetektálási módszerrel. Ennek alapján a berendezés a nanorészecskékkel kezelt textíliák esetében nem használható, hiszen ezek ezüstmennyisége méréseink alapján 0,9-1,8 mg/kg (ppm).

A kelmét a befogólemezek között minden mérésnél 90°-ban elforgattam, az értékeket leolvastam és a 17. táblázatban és a 69. ábrán a 10 mérés átlagértékei láthatók.



69. ábra Fémdetektálási módszerrel mért mérési eredmények átlaga trendvonal illesztéssel

A fémdetektálással mért eredmények alapján elmondhatjuk, hogy mosások után, az ezüst mennyiségének csökkenése, jellemzően exponenciális lecsengésű.

A készülék beállítása odafigyelést, pontosságot követel. Ez a módszer alkalmas a kelmék ezüstmennyiség változásának, egyszerű és gyors, roncsolásmentes kimutatására. A rendelkezésünkre álló, ezüstözött szálat tartalmazó kelmék által generált feszültség a mosási sorozatok után, csökkenő tendenciát mutat, ami a fém (ezüst) mennyiségének csökkenésére utal. Az impregnált ezüstözött kelme által generált feszültség mérsékeltebben csökken, de a 20.

mosás után a kimutatható határhoz közelít, ugyanúgy, mint az ezüstözött fonalat tartalmazó kelmék esetében.

5. Összefoglalás

Nyolcféle, a kereskedelmi forgalomban kapható textilmintát vizsgáltam, amelyek között nanoezüstözött, ezüstözött fonallal kötött, illetve impregnálással készített ezüst bevonatú mintakelme szerepelt. Optikai mikroszkópia és elektron mikroszkópia segítségével megvizsgáltam a textíliák felületét. Láttam, hogy az ezüst bevonatú fonalakat tartalmazó kelmék ezüstözése mosások során elvékonyodik, az ezüst részecskék a kelme felületén szóródnak.

Salétromsavas leoldási eljárást dolgoztunk ki, majd ICP-MS méréseket alkalmazva vizsgáltunk a textíliák ezüsttartalmát és megállapítottuk, hogy az széles tartományban változik, jellemzően a 0,8-800 mg/kg tartományba esik. A bevonatos kéztörlőnek szánt textília (EK-1) esetén volt a legmagasabb, míg a nanoezüstözött minták nagyságrendekkel kevesebb ezüstöt tartalmaztak.

A kelméken, mosások során, méréseink alapján 10 mosás után 23,6-77,5%-os ezüst mennyiség csökkenés tapasztalható.

A folyamatos ezüstbevonattal rendelkező kelmék ellenállása, közvetlen módon mérhető. Az első mosás után a vizsgált ezüstözött kelmék ellenállása a mosatlan 1,8-6 szorosára nőtt. Átlagosan a kelmék ellenállása az első mosás után a mosatlan érték 3 szorosára nőtt. A továbbiakban az 5-10-20. mosás utáni érték azt mutatta, hogy a kelmék ellenállása további növekvő tendenciát mutat, az egyes ciklusok utáni értékek általában 2,5 szerese az előző értékeknek. A koptatott és a koptatás nélküli kelmék ellenállásának változása közel azonos tendenciát mutat. A 20. mosási ciklusra a kelmék ellenállása megnő, vagy már műszerünkkel nem mérhető.

A mérések alapján megállapíthatom, hogy a koptatás nem befolyásolja jelentősen az ellenállás görbéjének változását.

Az antimikrobás vizsgálatokat is folytattam a mintákkal. Előbb előkísérleteket hajtottam végre háromféle baktérium és négyféle gomba felhasználásával. Ez alapján kiválasztottuk azt a három textilmintát (mindegyik mintacsoportból egyet-egyet), amelyek a legjelentősebb antimikrobás hatást mutatták.

Szimulált mosási kísérleteket végeztünk (Na_2CO_3 oldattal) annak felderítésére, hogy az antimikrobás aktivitás hogyan változik a mosási ciklusok számának (max. 20) függvényében. A textilminták jelentős antimikrobás hatást fejtettek ki. A mosási ciklusok számának

növekedése ellenére, egyedül a nanoezüstözött minta veszített hatékonyságából. Ezzel szemben a 10-szeres mosási ciklusszámmal kezelt minták esetén jelentős ezüstkoncentráció-csökkenést tapasztaltam. Ezek magyarázata részben az lehet, hogy az ezüstkoncentráció a csökkenés ellenére még elegendően magas volt a vizsgált antimikrobás hatás eléréséhez, részben pedig, hogy az ezüst mellett a textília egyéb alkotói is hozzájárulhattak a kívánt hatás eléréséhez.

Az általam kidolgozott, módszerekkel kontrollálható a még kelmén levő ezüst mennyisége, ellenőrizhető a mosások közötti ezüst mennyiség változása.

A módszer eredményeképpen a kelméről leválasztott ezüst mennyisége az elektrolit vezetőképességét az ezüst mennyiségének függvényében növeli. Elektrolízissel eltávolítottam a kelmén levő ezüstöt, olyan mértékig, hogy a SEM-EDX mérés ezüstöt minimális mennyiségben regisztrál a kelmén. Így meghatározható a kelmén levő ezüst mennyiségének változása.

Pásztázó elektronmikroszkóppal megvizsgáltam a szálasanyagokat és energiadiszperzív röntgen-analizátorral (SEM-EDX vizsgálat) megállapítottam a szálakon levő fém fajtáját. A kifejlesztett speciális textilipari fémdetektor segített abban, hogy nyomon követhető legyen a textíliákon levő fém mennyiségének változása bármilyen igénybevétel során. A közvetlen mérési módszer (feszültség leolvasása) kézi, hordozható mérőműszer segítségével a kelmén levő ezüst mennyiséget számszerűsítettem. Összehasonlíthatóvá tettem, a textílián levő ezüst mennyiségét mosás előtt és mosás után, valamint össze tudtam hasonlítani két kelmét.

Megállapítottam, hogy a kereskedelmi forgalomban kaphatók olyan ezüstözött textiltermékek, amik vásárlás pillanatában nem rendelkeznek antimikrobás hatással, míg más textilminták 20 mosási ciklus után, a vizsgált körülmények között, megölik vagy gátolják a vizsgált baktérium és gomba törzsek szaporodását.

Az ezüstözött textíliák ezüst tartalma használat során jelentősen változhat. A változás minden esetben termék, technológia, alapanyag függő és egységes következtetéseket ezüstözött textíliákra vonatkozóan nem tudok levonni. Minden terméket külön-külön kell vizsgálni, egységes következtetést a nanoezüstözött vagy az ezüstbevonatú kelmékre vonatkozóan nem tudok tenni, mivel a nyersanyag, az ezüstözés technológiája, a felvitt ezüst milyensége befolyásolja a kelme mikrobás tulajdonságait.

6. További lehetséges kutatások

A kereskedelmi forgalomból általam szúrópróbaszerűen kivett ezüstözött textíliák vásárlói tájékoztatói nem felelnek meg a vásárlói tájékoztatók követelményeit tartalmazó kiírásoknak.

A közölt adatok mérésekkel nem ellenőrizhetők, vagyis a közölt vizsgálatok nem reprodukálhatók. Ezért javasolom egy nemzetközi kutatás létrehozását a textilvizsgáló laboratóriumok összefogásával, annak érdekében, hogy a kereskedelmi forgalomban elérhető textilipari termékek részletesebb adatokkal rendelkezzenek az antimikrobás hatás idejéről, körülményeiről.

Megállapítottam, hogy a textíliák esetében az ezüstözött textília jelzés nem elegendő. Minden esetben meg kell vizsgálni a terméket, annak megállapítására, hogy a kereskedelmi forgalomban elérhető gyártói tájékoztató szerint ezüstözött termék, ténylegesen ezüstöt tartalmaz-e és milyen formában tartalmaz (nanoezüst, ezüst bevonat a fonalon, stb.) ezüstöt.

Megállapítottam, hogy a témakörben megjelent irodalmi közlések jelentős része nem reprodukálható. A kutatásokban szereplő anyagok leírása pontatlan, nem ismerjük a vizsgálat összes körülményeit. Nem ismerjük a pamut érettségi fokát, a mesterséges szálasanyagok pontos technológiai paramétereit. A kereskedelmi forgalomban kapható textilipari termékek vásárlói tájékoztatóin minimális, az összetételre, a kezelésre vonatkozó instrukció található, amit a textilkresz ikonjaival jelölnek. A gyártók tájékoztatásában részletek nem szerepelnek.

A jelenlegi előírásoktól részletesebb vásárlói tájékoztatást tartok szükségesnek, mert:

-a fogyasztó vásárlást megelőző maradéktalan tájékoztatása csak úgy valósulhat meg, ha az előírt kezelési körülmények ismertek a textiltermék kiválasztása előtti döntéskor (például, ha a háztartásilag moshatókat részesíti előnyben a vásárló, a tisztítással kapcsolatos választási lehetőségek esetén),

-csak így lehet rendeltetésszerűen használni és gondozni (mosni, tisztíttatni) a terméket, amely a szavatossági jogosultság alapja,

-tisztességtelen kereskedelmi tevékenységet folytat (így szankcionálható) az a gyártó/forgalmazó, amely elhallgatja a fontos (jelentős) tájékoztatást, például a használatra-kezelésre vonatkozó tudnivalókat.[173] Különös tekintettel arra, hogy a vizsgálatba bevont termékek egészségügyi alkalmazásba kerülnek, gyógyászati segédeszköznek minősülnek,[174] a vásárlói tájékoztatónak a hagyományos tájékoztatótól részletesebbnek kell lennie.

A fenti tények ismeretében javasolom:

- adják meg a kereskedelmi forgalomba kerülő ezüstözött textilipari termék antibakteriális hatásának várható időtartamát. A kérdés összetettsége miatt egy nemzetközi összefogásra lenne szükség a laboratóriumok együttműködésével és a kapott eredmények ismeretében határozzák meg a vásárlók számára egyértelműen az általuk elvárt paramétereket.

-induljon vizsgálat az ezüstözött textíliák együtthatására a:

-körömgomba elleni orvosságokkal

-lábgomba elleni orvosságokkal

-cipőspray-jel történő együttes alkalmazásakor

Különösen fontos lehet az értékelés a fertőzések megelőzésében, illetve a kialakult fertőzések megszűntetésében, figyelembe véve a gyógyszerek alkalmazásának esetenként több hónap időtartamú szükségességét és a zoknik napi használatát.

Különösen fontosnak tartom Felföldi Tamás kutatási [175] eredményeit, nevezetesen a szaporodási görbék meghatározását az ezüstözött textíliák vizsgálatánál. Több éves vizsgálatai, valamint saját kutatási eredményeim után kétségeim merülnek fel az olyan közlésekkel kapcsolatban, melyek szerint pl. a körömgomba lézerrel [176], akupunktúrával [177], homeopátiával, joghurttal, almaecettel, hagymával [177] stb. gyógyítható, miközben a gyógyszerek (Ciklopirox, Amorolfine, Bifonazole) alkalmazása 3-12, míg a Mauka Foot Spray 1-6 havi alkalmazást igényel.

A kutatásokban elsősorban vegyészek vesznek rész, vizsgálják a részecskéket, hatásukat a termékeken, de a termékek elő és utóéletével még nem foglakoztak. A technológiai hulladékok és az életciklus végi vizsgálatok kimaradtak a tanulmányokból.

A kutatások során a méréseket ellenőrzött környezetben végzik, szabványok és előírások alapján. A valóságban azonban a laboratóriumi környezettől eltérő viszonyok alakulnak ki, ezért nagyon sok estben nehéz megjósolni a környezetbe kikerülő ezüst hatását a biológiai és a környezeti rendszerekre.

További kutatások során fényt kell deríteni a felszíni vizekbe kikerülő ezüst részecskék ökoszisztémára gyakorolt hatására. A téma tanulmányozását az ökotoxicitás kockázatait Wijnhoven társaival 2009.-ben elkezdte.[178]

Fontos lenne feltárni, hogy az ezüsttel kezelt textíliák életciklusuk végén a hulladékok közé kerülve milyen hatással vannak a környezetükre és egy esetleges megsemmisítés milyen következményekkel járhat.

További fontos kérdés lehet, hogy az eszüsthöz hasonló tulajdonságokat egy antibakteriális hatású növényi kivonattal (eukaliptusz [179], kamilla stb.) környezetkímélő módon el tudunk-e érni. Erre irányuló kutatások elkezdődtek, Ocimum sanctum (tulszi, indiai bazsalikom)-mal [78] Chenopodium murale (gáti libatop)-val [76] kezelt textíliákat antimikrobás célra már laboratóriumokban előállítottak, de kereskedelmi forgalomban még nem kapható.

Személyes véleményem szerint, ezt a fejlődési irányt tartom fenntarthatónak, környezetkímélőnek.

7. Kutatómunka tézisei

Szakirodalmi kutatásaim során arra a következtetésre jutottam, hogy a kereskedelmi forgalomban előforduló ezüstözött kelmék vizsgálatával nagyon kevesen foglalkoznak. Jellemzően laboratóriumi körülmények között állítanak elő kelméket, kontrollált ezüsttartalommal, ismerik az ezüst szemcsék méretét és alakját, vagy a bevonatok vastagságát, a hordozóanyagok pontos fizikai és mechanikai jellemzőit stb.

Kutatómunkám során az alábbi megállapításokat tettem:

1. TÉZIS

Megállapítottam, hogy a témakörben megjelent irodalmi közlések nem reprodukálhatóak. A kutatásokban szereplő anyagok leírása pontatlan, nem ismerjük a vizsgálat összes körülményeit. Nem ismerjük a pamut érettségi fokát, nem ismerjük a mesterséges szálasanyagok pontos technológiai paramétereit. A kereskedelmi forgalomban kapható textilipari termékek vásárlói tájékoztatóin minimális, az összetételre, a kezelésre vonatkozó instrukció található-amit a textilkresz ikonjaival jelölnek. A gyártók tájékoztatóiban részletek nem szerepelnek.

A jelenlegi előírásoknál részletesebb vásárlói tájékoztatást tartok szükségesnek, erre a ÉMI-TÜV SÜD Kft. Kermi osztályán és az Innovatext Kft.-nél tettem javaslatot.

2. TÉZIS

Megállapítottam, hogy a textíliák esetében az ezüstözött textília jelzés nem elegendő. Minden esetben meg kell vizsgálni a terméket, annak megállapítására, hogy a kereskedelmi forgalomban elérhető gyártói tájékoztató szerint ezüstözött termék, ténylegesen ezüstöt tartalmaz-e és milyen formában tartalmaz (nanoezüst, ezüst bevonat a fonalon, stb.) ezüstöt.

Röntgenflüereszcens mérést elsőként használtam textilipari célra. A módszer segítségével megállapítottam, hogy a textíliákon, fonalakon, szálakon levő fémbevonat kitűnően detektálható a segítségével, azonban a nano részecskék kimutatására a készülék nem alkalmas. E módszer segítségével roncsolásmentesen, egyértelműen meg tudtam állapítani, hogy a kelmék, fonalak felületén található bevonat milyen anyagokat tartalmaz.

3. TÉZIS

Bebizonyítottam, hogy az ezüst bevonatot tartalmazó textíliákon levő ezüst leválasztható elektrolízissel. E saját fejlesztésű módszer alapja az, hogy az elektrolit kezdő ppm-je állandó, és a különböző mosási ciklusokon átesett kelmék az elektrolízis alatt az elektrolit oldat ppm-jét megváltoztatják. A kidolgozott módszer szerint a 12 órás időintervallum alatt az elektrolizáló

cella oldatának vezetőképessége növekvő tendenciát mutat, ennyi idő alatt a kelméken levő ezüst bevonat, az alkalmazott elektromos paraméterek mellett leválasztható.

Bizonyítottam, amennyiben az elektrolízishez szén elektródákat használunk, az elektrolízis kezdetén a kelme körül tejes fehér köd képződik és az elektrolit opalizálást mutat. 12 óra után az oldat vezetőképessége csökken, az ezüst leülepszik, az elektrolizáló edény aljára.

A saválló acél elektródák esetében az elektrolízis során az ezüstözött kelméről felszabaduló ezüst a katódot vonja be.

Mindkét esetben elektrolízis után megvizsgáltam a kelméket és az üledéket SEM-EDX módszerrel. Megállapítottam, hogy a kelméken 12 óra elektrolízis után nem kimutatható az ezüst, míg a törlet analízise 100% ezüstöt mutatott. Az üledék mérésével meghatározható az ezüst mennyisége, azonban a nagy veszteségek miatt ezt a módszert nem alkalmaztam. Megállapítottam, hogy a módszer hátránya, hogy roncsolásmentesen nem kivitelezhető, a nanoezüstözött kelméken levő ezüst mennyiségének mérésére nem alkalmas.

4. TÉZIS

Megállapítottam, hogy elektronmikroszkóppal a kelmék felületén, egyértelműen látszik a mosások utáni változás. A folyamatos bevonatok esetében a fonalak felületén megrepedezik az ezüstbevonat, az ezüstszemcsék szóródnak, részben befedik a nem ezüstözött szálakat. A 10. mosás után megjelentek a kopás jelei, az elemösszetétel vizsgálattal igazoltam az ezüst atom és tömeg %-os változását.

Ezzel a módszerrel a textíliákon, fonalakon levő felületi ezüstözés és a nanoezüstözés is mérhető. A módszer hátránya, hogy roncsolásmentes vizsgálatok végzésére nem alkalmas.

Megállapítottam, hogy az ezüstözött textíliák esetében a 10. mosás után új ellenőrző mérést kell bevezetni, aminek eredményeit a vásárlókkal közölni kell.

5. TÉZIS

Egyszerű piackutatás és fogyasztói felmérés alapján megállapítottam, hogy az ezüstözött termékeket (zokni) vásárlók körében a termék, kedvező tulajdonságai között a legfontosabbnak tartott tulajdonság az antibakteriális hatás.

A mikrobás hatás tesztelésére 6 módszert használtam, így bizonyítottam be, hogy van olyan minta kelme, ami az egyik vizsgálati módszer esetében semmilyen gátlást nem mutatott, míg a megváltoztatott vizsgálati körülmények mellett gátlást fejtett ki. Az eredmények alapján több módszer segítségével bizonyítottam, hogy az EK-1 illetve az ESZ-2 mintákon olyan jelentős koncentrációban fordul elő az Ag, hogy az a mosási kísérletek által kiváltott csökkenés ellenére elegendő, az általunk alkalmazott kísérleti körülmények között, az antimikrobás hatás elérésére. Az ENZ-2 minta a többi vizsgált mintától a vizsgálatok elején jóval kisebb koncentrációban

tartalmazott ezüstöt. A mosások során az ezüst csökkenésével már az ENZ-2 minta antimikrobás hatása közel megszűnt, míg az általam elvégzett más módszerrel antibakteriális gátlást egyáltalán nem mutatott.

6. TÉZIS

Induktív csatolású plazma tömegspektrometria segítségével (ICP-MS) megállapítottam, hogy a vizsgált nanoezüstözött textíliák ENZ-1, ENZ-2, ENZ-3, ENZ-4 lényegesen kisebb koncentrációban (0,9-1,8 ppm) tartalmaznak fajlagosan ezüstöt, mint az ezüstözött szálakat tartalmazó kelmék ESZ-1, ESZ-2, ESZ-3 (12,2-137,7 ppm) illetve az impregnálással készített textília EK-1 (846 ppm). A mintacsoporton belül is nagyon eltérő az egyes mintatípusok fajlagos ezüsttartalma. Megállapítottam, hogy a vizsgált 3 párhuzamos minta mért ezüst koncentrációja nagy szórást mutatott.

Annak ellenőrzése céljából, hogy a textíliák ezüstkoncentrációja milyen mértékben változott mosás hatására, a 10 mosási ciklus után a mintákat a korábban elvégzett leoldási kísérletek során optimált kondícióknak megfelelően készítettük elő ICP-MS mérésre. Igen jelentős csökkenést tapasztaltunk: az EK-1 esetén 77,5%-kal, az ESZ-2 esetén 35,2%-kal, az ENZ-2 minta esetén pedig 23,6%-kal csökkent az ezüst koncentrációja a textíliákon.

Megállapítottam, hogy ezzel a módszerrel a felületén ezüstözött kelmék, fonalak és a nanoezüstözött kelmék ezüsttartalma egyaránt mérhető. A módszer hátránya, hogy roncsolásmentesen nem végezhető.

7. TÉZIS

A kelméket mosási ciklusok után és koptatási ciklusok után is megvizsgáltam. A vizsgált kelmék ellenállása a kezelések számának növelésével folyamatos növekvő tendenciát mutatott. A vizsgálatot SEM vizsgálat eredményeivel kiegészítve megállapítottam, hogy a folyamatos ezüst bevonattal rendelkező kelmék ellenállása a mosások számával folyamatosan csökken, míg a folyamatos bevonat a fonalakon meg nem szakad. A folyamatos bevonat megszakadása után a kelme ellenállása nem mérhető, így ez a módszer nem alkalmas az ezüst mennyiségének meghatározására, segítségével a bevonat folyamatossága ellenőrizhető, roncsolásmentesen.

8. TÉZIS

Bebizonyítottam, hogy 5 mg/kg feletti mennyiségben az ezüstözött textíliákon levő ezüst kimutatható fémdetektálási módszerrel.

A kereskedelmi forgalomban kapható hagyományos fémdetektorok azt a kis mennyiségű fémet, ami a textíliákon található nem érzékelik. A textíliákon található ezüst (fém) mennyiségének kimutatására kidolgoztunk egy speciális nagy érzékenységű fémdetektort.

Megállapítottam, hogy a rendelkezésünkre álló ezüstözött szálat tartalmazó kelmék által generált feszültség a növekvő mosásszámok után csökkenő tendenciát mutat, ami a fém (ezüst) mennyiségének csökkenésére utal. Az impregnált ezüstözött kelme által generált feszültség mérsékeltebben csökken, mint az ezüstözött fonalat tartalmazó kelménél, de a 20. mosás után a kimutatható határhoz közelít, ugyanúgy, mint az ezüstözött fonalat tartalmazó kelmék esetében. A közvetlen mérési módszer (feszültség leolvasása 0-7 érték között) kézi, hordozható mérőműszer segítségével lehetővé teszi, hogy a kelmén levő ezüst mennyiséget számszerűsítsük és ilyen módon összehasonlíthatóvá válik, a textílián levő ezüst mennyisége mosás előtt és mosás után, vagy összehasonlítható két kelme fémtartalma.

8. Irodalomjegyzék

[1] „Ezüstszálas zokni”. [Online]. Elérhető: https://divat-trend.com/ezustszalas-zokni.

[2] S. Medveczkyné, Dr. Szücs, Szabó, Pataki, Dr. Kokasné, *Könnyűipari enciklopédia*. Budapest: BMF-RKK-60000/III, 2002.

[3] W. B. Russel, A.D., Hugo, „7 Antimicrobial Activity and Action of Silver”, *Prog. Med. Chem.*, köt. 31, o. 351–370, 1994.

[4] J. Davies és D. Davies, „Origins and Evolution of Antibiotic Resistance”, *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, köt. 74, sz. 3, o. 417–433, 2010.

[5] „Ezüst”. [Online]. Elérhető: http://egeszsegugyi-tudastar.blogger.hu/2014/12/26/az-ezust-felhasznalasanak-tortenelme. [Elérés: 03-márc-2017].

[6] et al. Fung, M., „Randomized Clinical Trial of 12% and 38% Silver Diamine Fluoride Treatment”, *Journal of Dental Research*, sz. 97(2), o. 171–178, 2017.

[7] M. L. Mei *és mtsai.*, „Formation of Fluorohydroxyapatite with Silver Diamine Fluoride”, 2017.

[8] K. Van De Voorde, T. Nijsten, K. Schelfhout, G. Moorkens, és J. Lambert, „NOSE-DROPS RESULTING IN SYSTEMIC ARGYRIA”, o. 33–35, 2005.

[9] M. Eturska és E. Obreshkova, „[Argyria in the prolonged use of adsorgan]”, *Vutreshni bolesti*, köt. 18, sz. 2, o. 121—123, 1979.

[10] N. Islam és K. Miyazaki, „Nanotechnology innovation system: Understanding hidden dynamics of nanoscience fusion trajectories”, *Technological Forecasting and Social Change*, köt. 76, sz. 1, o. 128–140, jan. 2009.

[11] T. Dudás és J. Pitrik, „Introducing newly developed textiles in education”, in *INFORMACIONE TEHNOLOGIJE I RAZVOJ OBRAZOVANJA 2012*, 2012, ITRO Confe., o. 120–125.

[12] K. Kulthong, S. Srisung, K. Boonpavanitchakul, W. Kangwansupamonkon, és R. Maniratanachote, „Determination of silver nanoparticle release from antibacterial fabrics into artificial sweat”, *Particle and Fibre Toxicology*, köt. 7, sz. 1, o. 8, 2010.

[13] B. Sadeghi *és mtsai.*, „Comparison of the anti-bacterial activity on the nanosilver shapes: Nanoparticles, nanorods and nanoplates”, *Advanced Powder Technology*, köt. 23, sz. 1, o. 22–26, jan. 2012.

[14] S. Pal, Y. K. Tak, és J. M. Song, „Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the Gram-negative bacterium Escherichia coli.”, *Applied and environmental microbiology*, köt. 73, sz. 6, o. 1712–20, márc. 2007.

[15] J. Gans, M. Wolinsky, és J. Dunbar, „Computational Improvements Reveal Great Bacterial Diversity and High Metal Toxicity in Soil”, *Science*, köt. 309, sz. 5739, o. 1387–1390, aug. 2005.

[16] „COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL AND THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE”, *Brussels, 3.10.2012*, 2012. [Online]. Elérhető: http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/policy/communication-from-the-commission-second-regulatory-review-on-nanomaterials_en.pdf.

[17] D. Yu, W. Tian, B. Sun, Y. Li, W. Wang, és W. Tian, „Preparation of silver-plated wool fabric with antibacterial and anti-mould properties”, *Materials Letters*, 2015.

[18] S. Villavicencio és K. C. Chen, „The Effects of Washing Environment on the Resistance of Silver Plated Nylon and Stainless Steel Conductive Threads”, 2015.

[19] L. Grancarić, Ana Marija; Rybicki, Edward; Tarbuk, Anita; Pavlović, Gordana; Botteri, „Nanočestice srebra u antimikrobnoj obradi tekstila.”, *Journal of Textile & Clothing Technology*, köt. 60, sz. 12, o. 629–639, 2011.

[20] Y. W. H. Wong, C. W. M. Yuen, M. Y. S. Leung, S. K. A. Ku, és H. L. I. Lam, „Selected applications of nanotechnology in textiles”, *Autex Research Journal*, köt. 6, sz. 1, o. 1–8, 2006.

[21] J. Beringer, „Nanotechnology in Textile Finishing”, *Hohenstein Institute Germany*, 2005. [Online]. Elérhető: http://www.freewebs.com/jayaram-co/doc/nanovision-beringer.pdf.

[22] M. Burkhardt, „Entsorgung nanosilberhaltiger Abfälle in der Textilindustrie - Massenflüsse und Behandlungsverfahren -”, *Forschungsberichte HSR Hochschule für Technik*, köt. 41, sz. 0, o. 0–33, 2011.

[23] C. Kutasi, „Nanorészecskék és technológiák a textiltermékek gyártásában”, *Magyar Textiltechnika*, köt. 1, o. 7–14, 2013.

[24] T. Dudás és B. Ćurčić, „Uticaj tekstilnih proizvoda u očuvanju zdravlja”, *Tekstilna industrija*, köt. 3, o. 19–32, 2017.

[25] H. J. Lee és S. H. Jeong, „Bacteriostasis and Skin Innoxiousness of Nanosize Silver Colloids on Textile Fabrics”, *Textile Research Journal*, köt. 75, sz. 7, o. 551–556, 2005.

[26] R. H. Demling, „Effects of silver on wound management”, *Wounds*, köt. 13, o. 1–5, 2001.

[27] D. V. Parikh *és mtsai.*, „Antimicrobial Silver/Sodium Carboxymethyl Cotton Dressings for Burn Wounds”, *Textile Research Journal*, köt. 75, sz. 2, o. 134–138, 2005.

[28] et al Mihailo Ristić, „PRIMJENA SOL-GEL POSTUPKA APRETIRANJA SA NANOČESTICAMA SREBRA U CILJU DOBIJANJA TEKSTILNOG MATERIJALA SA ANTIBAKTERIJSKIM SVOJSTVIMA”, *Glasnik hemičara, tehnologa i ekologa Republike Srpske*, köt. 2, o. 141–148, 2009.

[29] K. Hyde, M. Rusa, és J. Hinestroza, „Layer-by-layer deposition of polyelectrolyte nanolayers on natural fibres: cotton”, *Nanotechnology*, köt. 16, sz. 7, o. S422–S428, júl. 2005.

[30] J. Kis-Csitári, „Ezüst nanorészecskékkel borított intelligens textíliák antibakteriális hatásának vizsgálata”, 2009. [Online]. Elérhető: http://epa.oszk.hu/02700/02735/00068/pdf/EPA02735_katonai_logisztika_2009_2_129-160.pdf.

[31] D. Bartus és Á. Gyovai, „A textiliparban feldolgozható fém és fémezett szerves szálas anyagok 2.rész”, *Textilfórum*, köt. 307, 2005.

[32] M. Amberg, J. Geerk, M. Keller, és A. Fischer, „Design, characterisation and operation of an inverted cylindrical

magnetron for metal deposition”, *Plasma Devices and Operations*, köt. 12, sz. 3, o. 175–186, szept. 2004.
[33] H. Wang, J. Wang, J. Hong, Q. Wei, W. Gao, és Z. Zhu, „Preparation and characterization of silver nanocomposite textile”, *Journal of Coatings Technology and Research*, köt. 4, sz. 1, o. 101–106, ápr. 2007.
[34] M. G.D., „The Need for a new Paradigm for Control of Nosocomial Infection in the 21st Century, FiberMed 2011. Plenary lection, Tampere (FI), 28.06.2011.”, 2011.
[35] P. P. Luebbert, „Soft Surface Bacterial Contamination : Considerations for a Complete Infection Prevention Program”, *www.InfectionPreventionTextiles.com*.
[36] E. Larson, „Factors associated with variation in estimates of the cost of resistant infections”, *Med Care*, köt. 48, sz. 9, o. 767–775, 2010.
[37] I. Miseta, „Multirezisztens kórokozók terjedése – kizárólag kórházi probléma?”, 2013. [Online]. Elérhető: http://www.pharmaonline.hu/gyogyszereszi_gondozas/cikk/multirezisztens_korokozok_terjedese__kizarolag_korhazi_problema. [Elérés: 07-júl-2015].
[38] „A minisztérium szerint pánikkeltő, ha kiderül a kórházi fertőzések száma”, *hvg.hu*, 2018. [Online]. Elérhető: http://hvg.hu/itthon/20180719_A_miniszterium_szerint_panikkelto_lenne_ha_kiderulne_a_korhazi_fertozesek_szama.
[39] Biomaster Antimicrobal Technology, „Ezüstion Technológia”. [Online]. Elérhető: http://www.proidea.hu/czebe-med-kft-229021/index/a_6_d_18_1363598773683_czebe_med_ezustion_technologia.pdf. [Elérés: 12-jún-2016].
[40] A. M. et al Grancaric, „Antimikrobial Protection of of proceedings”, in *6th AUTEX 2006 World Textile Conference*, 2006, o. 100–106.
[41] P. Gong *és mtsai.*, „Preparation and antibacterial activity of Fe3O4 and Ag nanoparticles”, *Nanotechnology*, köt. 18, sz. 28, o. 285604–7, 2007.
[42] S. K. Boda, *Cytotoxicity of ultrasmall gold nanoparticles on planktonic and biofilm encapsulated gram-positive staphylococci*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 69469 Weinheim, Germany, 2015.
[43] K. Martin, Claire; LiLow, Wan; Gupta, Abhishek; Cairul Iqbal Mohd Amin, Mohd; Radecka, Iza; T. Britland, Stephen; Raj, Prem; (MA) Kenward, *Strategies for antimicrobial drug delivery to biofilm*. *Curr. Pharm.* 2015.
[44] N. Chichieveishvili *és mtsai.*, „Synthesis of silver nanoparticles using plants extract and analysis of their antimicrobial property”, *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, köt. 10, sz. October 2016, o. 50–56, 2017.
[45] J. S. Möhler, W. Sim, M. A. T. Blaskovich, M. A. Cooper, és Z. M. Ziora, „Silver bullets: A new lustre on an old antimicrobial agent”, *Biotechnology Advances*, köt. 36, sz. 5, o. 1391–1411, 2018.
[46] N. Chichieveishvili, S. Khubulava, B. Korsantiya, G. Kristesashvili, és G. Pichhaia, „The possibility of silver nanoparticle use in medicine”, köt. 10, sz. 7, o. 1222–1226, 2018.
[47] „Ezüst szálas gyógyzokni”. [Online]. Elérhető: https://www.harisnyaexpressz.hu/termek.php?product=511-ezust-szalas-gyogyzokni.
[48] „A neurodermatitis”. [Online]. Elérhető: http://hu.medicine-worlds.com/nejrodermit.htm.
[49] F. F. Larese *és mtsai.*, „Human skin penetration of silver nanoparticles through intact and damaged skin”, *Toxicology*, köt. 255, sz. 1–2, o. 33–37, jan. 2009.
[50] G. Grass, C. Rensing, és M. Solioz, „Metallic Copper as an Antimicrobial Surface ”, *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*, köt. 77, sz. 5, o. 1541–1547, 2011.
[51] F. Fang és J. A. Imlay, „Silver (I), Mercury (II), Cadmium (II), and Zinc (II) Target Exposed Enzymic Iron-Sulfur Clusters when They Toxify Escherichia coli”, *Applied and environmental microbiology*, sz. I, o. 3614–3621, 2012.
[52] G. Vimbela, C. Fraze, és L. Yang, „Antibacterial properties and toxicity from metallic nanomaterials”, o. 3941–3965, 2017.
[53] M. Mital és Z. Ziora, „Biological applications of Ru(II) polypyridyl complexes”, *Science Direct*, köt. 375, o. 434–458, 2018.
[54] M. Montazer és S. B. Malekzadeh, „Electrospun antibacterial nylon nanofibers through in situ synthesis of nanosilver: Preparation and characteristics”, *Journal of Polymer Research*, köt. 19, sz. 10, 2012.
[55] X. Chen és H. J. Schluesener, „Nanosilver: A nanoproduct in medical application”, *Toxicology Letters*, köt. 176, sz. 1. o. 1–12, 2008.
[56] E. Eckhardt, S., „Nanobio Silver: Its Interactions with Peptides and Bacteria, and Its Uses in Medicine”, *Chem. Rev. 113 (7)*, köt. 113(7), o. 4708–4754., 2013.
[57] P. Brandtzaeg, „Mucosal immunity in the female genital tract”, *Journal of Reproductive Immunology*, köt. 36, sz. 1–2, o. 23–50, nov. 1997.
[58] A. Langer, K. R. Kevin, L.-J. James, J. K. Robert, és C. Kaczmarek, *Cancer Nanotherapeutics in Clinical Trials*. Cancer Treatment and Research, 2015.
[59] R. George, S. Merten, T. T. Wang, P. Kennedy, és P. Maitz, „*In vivo* analysis of dermal and systemic absorption of silver nanoparticles through healthy human skin”, *Australasian Journal of Dermatology*, köt. 55, sz. 3, o. 185–190, aug. 2014.
[60] D. Xiang, Q. Chen, L. Pang, és C. Zheng, „Inhibitory effects of silver nanoparticles on H1N1 influenza A virus in vitro”, *Journal of Virological Methods*, köt. 178, sz. 1–2, o. 137–142, dec. 2011.
[61] R. R. KHAYDAROV, R. A. KHAYDAROV, S. EVGRAFOVA, RAS, és C. E. T. SCHEPER, „SILVER NANOPARTICLES Environmental and Human Health Impacts”, *Springer Science*, o. 287–297, 2009.
[62] V. Ilić *és mtsai.*, „The influence of silver content on antimicrobial activity and color of cotton fabrics functionalized with Ag nanoparticles”, *Carbohydrate Polymers*, köt. 78, sz. 3, o. 564–569, 2009.
[63] V. J. Schacht *és mtsai.*, „Effects of silver nanoparticles on microbial growth dynamics”, *Journal of Applied Microbiology*, köt. 114, sz. 1, o. 25–35, jan. 2013.

[64] A. Hebeish, M. H. El-Rafie, M. A. EL-Sheikh, A. A. Seleem, és M. E. El-Naggar, „Antimicrobial wound dressing and anti-inflammatory efficacy of silver nanoparticles”, *International Journal of Biological Macromolecules*, köt. 65, o. 509–515, 2014.

[65] J. Wu *és mtsai.*, „In situ synthesis of silver-nanoparticles/bacterial cellulose composites for slow-released antimicrobial wound dressing”, *Carbohydrate Polymers*, köt. 102, o. 762–771, febr. 2014.

[66] J. Li, Donghong; Diao, Junlin; Zhang, Jiaotao; Liu, „Fabrication of New Chitosan-Based Composite Sponge Containing Silver Nanoparticles and Its Antibacterial Properties for Wound Dressing”, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*,.

[67] X. Chen és H. J. Schluesener, „Nanosilver: A nanoproduct in medical application”, *Toxicology Letters*, köt. 176, sz. 1, o. 1–12, jan. 2008.

[68] E. Blanco, H. Shen, és M. Ferrari, „Principles of nanoparticle design for overcoming biological barriers to drug delivery”, *Nature Biotechnology*, köt. 33, o. 941, szept. 2015.

[69] „Sicherheit von Nanosilber in Verbraucherprodukten: Viele Fragen sind noch offen”, 2011. [Online]. Elérhető: https://www.bfr.bund.de/de/presseinformation/2011/10/sicherheit_von_nanosilber_in_verbraucherprodukten__viele_fragen_sind_noch_offen-70227.html. [Elérés: 12-szept-2015].

[70] E.-J. Park, J. Yi, Y. Kim, K. Choi, és K. Park, „Silver nanoparticles induce cytotoxicity by a Trojan-horse type mechanism”, *Toxicology in Vitro*, köt. 24, sz. 3, o. 872–878, ápr. 2010.

[71] S. Kim *és mtsai.*, „Oxidative stress-dependent toxicity of silver nanoparticles in human hepatoma cells”, *Toxicology in Vitro*, köt. 23, sz. 6, o. 1076–1084, szept. 2009.

[72] S. Arora, J. Jain, J. M. Rajwade, és K. M. Paknikar, „Cellular responses induced by silver nanoparticles: In vitro studies”, *Toxicology Letters*, köt. 179, sz. 2, o. 93–100, jún. 2008.

[73] J. Liu, D. A. Sonshine, S. Shervani, és R. H. Hurt, „Controlled Release of Biologically Active Silver from Nanosilver Surfaces”, *ACS Nano*, köt. 4, sz. 11, o. 6903–6913, nov. 2010.

[74] S. Patra, S. Mukherjee, A. K. Barui, A. Ganguly, B. Sreedhar, és C. R. Patra, „Green synthesis, characterization of gold and silver nanoparticles and their potential application for cancer therapeutics”, *Materials Science and Engineering: C*, köt. 53, o. 298–309, aug. 2015.

[75] C. Krishnaraj, E. G. Jagan, S. Rajasekar, P. Selvakumar, P. T. Kalaichelvan, és N. Mohan, „Synthesis of silver nanoparticles using Acalypha indica leaf extracts and its antibacterial activity against water borne pathogens”, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, köt. 76, sz. 1, o. 50–56, 2010.

[76] M. S. Abdel-Aziz, M. S. Shaheen, A. A. El-Nekeety, és M. A. Abdel-Wahhab, „Antioxidant and antibacterial activity of silver nanoparticles biosynthesized using Chenopodium murale leaf extract”, *Journal of Saudi Chemical Society*, köt. 18, sz. 4, o. 356–363, 2014.

[77] „Antibacterial activity of silver Nanoparticles produced by Rosmarinus officinalis L leaf extract against some human pathogenic bacteria”, *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, köt. 4, sz. 1, o. 108–111, 2016.

[78] M. H. Patel, P. B. Desai, és M. P. Student, „Nano herbal grafted medical textiles for production of antimicrobial textile”, *International Journal of Fiber and Textile Research*, köt. 4, sz. 3, o. 49–54, 2014.

[79] K. Dávid, „Arany és Ezüst nanorészecskék sejtbiológiai hatásainak vizsgálata P deficiens rákos sejtekben és tumor metasztázis modellben”, SZTE TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR BIOKÉMIAI ÉS MOLEKULÁRIS BIOLÓGIAI TANSZÉK, 2017.

[80] C. Marambio-Jones és E. M. V. Hoek, „A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment”, *Journal of Nanoparticle Research*, köt. 12, sz. 5, o. 1531–1551, jún. 2010.

[81] I. Sondi, D. V. Goia, és E. Matijević, „Preparation of highly concentrated stable dispersions of uniform silver nanoparticles”, *Journal of Colloid and Interface Science*, köt. 260, sz. 1, o. 75–81, 2003.

[82] D. Yu, G. Kang, W. Tian, L. Lin, és W. Wang, „Preparation of conductive silk fabric with antibacterial properties by electroless silver plating”, *Applied Surface Science*, 2015.

[83] I. Sondi és B. Salopek-Sondi, „Silver nanoparticles as antimicrobial agent: A case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria”, *Journal of Colloid and Interface Science*, köt. 275, sz. 1, o. 177–182, 2004.

[84] M. Y. Morones, JL Elichiguerra, A Camacho, K Holt, JB Kouri, JT Ramirez, „The bactericidal effect of silver nanoparticles”, *Nanotechnology*, köt. 16, sz. 10, o. 2346–2353, 2005.

[85] B. Reidy, A. Haase, A. Luch, K. A. Dawson, és I. Lynch, „Mechanisms of silver nanoparticle release, transformation and toxicity: A critical review of current knowledge and recommendations for future studies and applications”, *Materials*, 2013.

[86] Q. Li *és mtsai.*, „Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: Potential applications and implications”, *Water Research*, köt. 42, sz. 18, o. 4591–4602, nov. 2008.

[87] M. DiRienzo, „New Applications for Silver”, *The LBMA Precious Metals Conference*, o. 85–90, 2006.

[88] A. Melaiye és W. J. Youngs, „Silver and its application as an antimicrobial agent”, *Expert Opinion on Therapeutic Patents*, köt. 15, sz. 2, o. 125–130, 2005.

[89] A. Manke, L. Wang, és Y. Rojanasakul, „Mechanisms of Nanoparticle-Induced Oxidative Stress and Toxicity”, *BioMed Research International*, köt. 2013, o. 1–15, 2013.

[90] S. Rajeshkumar és C. Malarkodi, „In Vitro Antibacterial Activity and Mechanism of Silver Nanoparticles against Foodborne Pathogens.”, *Bioinorganic chemistry and applications*, köt. 2014, o. 581890, szept. 2014.

[91] C. A. Dos Santos *és mtsai.*, „Silver Nanoparticles: Therapeutical Uses, Toxicity, and Safety Issues”, *Journal of Pharmaceutical Sciences*, köt. 103, sz. 7, o. 1931–1944, júl. 2014.

[92] J. Wu *és mtsai.*, „Effects of prenatal exposure to silver nanoparticles on spatial cognition and hippocampal neurodevelopment in rats”, *Environmental Research*, köt. 138, o. 67–73, ápr. 2015.

[93] K. Zawadzka *és mtsai.*, „Surface area or diameter – which factor really determines the antibacterial activity of silver nanoparticles grown on TiO 2 coatings?”, *New J. Chem.*, köt. 38, sz. 7, o. 3275–3281, máj. 2014.

[94] A. Ivask *és mtsai.*, „Toxicity Mechanisms in Escherichia coli Vary for Silver Nanoparticles and Differ from Ionic Silver”, *ACS Nano*, köt. 8, sz. 1, o. 374–386, jan. 2014.

[95] A. Ivask *és mtsai.*, „Size-Dependent Toxicity of Silver Nanoparticles to Bacteria, Yeast, Algae, Crustaceans and Mammalian Cells In Vitro”, *PLoS ONE*, köt. 9, sz. 7, o. e102108, júl. 2014.

[96] H. Palza és Humberto, „Antimicrobial Polymers with Metal Nanoparticles”, *International Journal of Molecular Sciences*, köt. 16, sz. 12, o. 2099–2116, jan. 2015.

[97] W.-R. Li, X.-B. Xie, Q.-S. Shi, H.-Y. Zeng, Y.-S. OU-Yang, és Y.-B. Chen, „Antibacterial activity and mechanism of silver nanoparticles on Escherichia coli”, *Applied Microbiology and Biotechnology*, köt. 85, sz. 4, o. 1115–1122, jan. 2010.

[98] T. J. Silhavy, D. Kahne, és S. Walker, „The bacterial cell envelope.”, *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, köt. 2, sz. 5, o. a000414, máj. 2010.

[99] O. Bondarenko, A. Ivask, A. Käkinen, I. Kurvet, és A. Kahru, „Particle-Cell Contact Enhances Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles”, *PLoS ONE*, köt. 8, sz. 5, o. e64060, máj. 2013.

[100] A. Chwalibog *és mtsai.*, „Visualization of interaction between inorganic nanoparticles and bacteria or fungi”, *International Journal of Nanomedicine*, köt. 5, o. 1085, dec. 2010.

[101] O. Choi, T. E. Clevenger, B. Deng, R. Y. Surampalli, L. Ross Jr., és Z. Hu, „Role of sulfide and ligand strength in controlling nanosilver toxicity”, *Water Research*, köt. 43, sz. 7, o. 1879–1886, ápr. 2009.

[102] J. S. Kim *és mtsai.*, „Antimicrobial effects of silver nanoparticles”, *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, köt. 3, sz. 1, o. 95–101, márc. 2007.

[103] C. Baker, A. Pradhan, L. Pakstis, D. J. Pochan, és S. I. Shah, „Synthesis and antibacterial properties of silver nanoparticles.”, *Journal of nanoscience and nanotechnology*, köt. 5, sz. 2, o. 244–9, febr. 2005.

[104] D. Lee, R. E. Cohen, és M. F. Rubner, „Antibacterial Properties of Ag Nanoparticle Loaded Multilayers and Formation of Magnetically Directed Antibacterial Microparticles”, *Langmuir*, köt. 21, sz. 21, o. 9651–9659, okt. 2005.

[105] C. Gunawan, W. Y. Teoh, C. P. Marquis, J. Lifia, és R. Amal, „Reversible Antimicrobial Photoswitching in Nanosilver”, *Small*, köt. 5, sz. 3, o. 341–344, febr. 2009.

[106] L. Wei, J. Tang, Z. Zhang, Y. Chen, G. Zhou, és T. Xi, „Investigation of the cytotoxicity mechanism of silver nanoparticles *in vitro*”, *Biomedical Materials*, köt. 5, sz. 4, o. 044103, aug. 2010.

[107] N. S. Wigginton *és mtsai.*, „Binding of Silver Nanoparticles to Bacterial Proteins Depends on Surface Modifications and Inhibits Enzymatic Activity”, *Environmental Science & Technology*, köt. 44, sz. 6, o. 2163–2168, márc. 2010.

[108] S. Pal, Y. K. Tak, és J. M. Song, „Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium Escherichia coli”, *Journal of Biological Chemistry*, köt. 290, sz. 42, o. 1712–1720, 2007.

[109] M. E. Samberg, P. E. Orndorff, és N. A. Monteiro-Riviere, „Antibacterial efficacy of silver nanoparticles of different sizes, surface conditions and synthesis methods”, *Nanotoxicology*, köt. 5, sz. 2, o. 244–253, jún. 2011.

[110] W. Liu *és mtsai.*, „Impact of silver nanoparticles on human cells: Effect of particle size”, *Nanotoxicology*, köt. 4, sz. 3, o. 319–330, szept. 2010.

[111] J. Kis-Csitári, „Antibakteriális textíliákelőállítása ezüst nanorészecskék felhasználásával”, *Magyar Textiltechnika*, köt. 63, sz. 1, o. 2–5, 2010.

[112] H. J. Lee, S. Y. Yeo, és S. H. Jeong, „Antibacterial effect of nanosized silver colloidal solution on textile fabrics”, in *Journal of Materials Science*, 2003, köt. 38, sz. 10, o. 2199–2204.

[113] V. V. Shinde, P. R. Jadhav, J. H. Kim, és P. S. Patil, „One-step synthesis and characterization of anisotropic silver nanoparticles: Application for enhanced antibacterial activity of natural fabric”, *Journal of Materials Science*, 2013.

[114] N. Lkhagvajav, M. Koizhaiganova, I. Yasa, E. Çelik, és Ö. Sari, „Characterization and antimicrobial performance of nano silver coatings on leather materials”, köt. 48, o. 41–48, 2015.

[115] S. Michielsen, „Approaches to Controlling Micro-organisms in Hospital Textiles, Conference Proceedings Medical Textiles, Pittsburgh, Pennsylvania USA oct.26-27”, 2004.

[116] R. Dastjerdi és M. Montazer, „A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties”, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, köt. 79, sz. 1. o. 5–18, 2010.

[117] Y. Gao és R. Cranston, „Recent Advances in Antimicrobial Treatments of Textiles”, *Textile Research Journal Article Textile Research Journal*, köt. 78, sz. 1, o. 60–72, 2008.

[118] T. Walser, E. Demou, D. J. Lang, és S. Hellweg, „Prospective environmental life cycle assessment of nanosilver T-shirts”, *Environmental Science and Technology*, 2011.

[119] D. E. Meyer, M. A. Curran, és M. A. Gonzalez, „An examination of silver nanoparticles in socks using screening-level life cycle assessment”, *Journal of Nanoparticle Research*, köt. 13, sz. 1, o. 147–156, 2011.

[120] A. L. Hicks, L. M. Gilbertson, J. S. Yamani, T. L. Theis, és J. B. Zimmerman, „Life Cycle Payback Estimates of Nanosilver Enabled Textiles under Different Silver Loading, Release, and Laundering Scenarios Informed by Literature Review”, *Environmental Science and Technology*, köt. 49, sz. 13. o. 7529–7542, 2015.

[121] I. Vesna *és mtsai.*, „The influence of silver content on antimicrobial activity and color of cotton fabrics functionalized with Ag nanoparticles”, *Carbohydrate Polymers*, köt. 78, sz. 3, o. 564–569, 2009.

[122] Matyas-Zgondek és Bacciarelli, „Antibacterial Properties of Silver - Finished Textiles”, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, köt. 5, o. 101–107, 2008.

[123] Anja LELJAK, Beti ROGINA-CAR, és I. Tomislav, „USPOREDBA STANDARDIZIRANIH ISO METODA ZA ODREĐIVANJE ANTIBAKTERIJSKE UČINKOVITOSTI TEKSTILINIH MATERIJALA”, in *Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet*, 2017, o. 152–158.

[124] K. Mijnendonckx, N. Leys, J. Mahillon, S. Silver, és R. Van Houdt, „Antimicrobial silver: uses, toxicity and potential

for resistance”, *BioMetals*, köt. 26, sz. 4, o. 609–621, aug. 2013.
[125] J.-Y. Maillard és P. Hartemann, „Silver as an antimicrobial: facts and gaps in knowledge”, *Critical Reviews in Microbiology*, köt. 39, sz. 4, o. 373–383, nov. 2013.
[126] C. Jelenko és 3rd, „Silver nitrate resistant E. coli: report of case.”, *Annals of surgery*, köt. 170, sz. 2, o. 296–9, aug. 1969.
[127] G. L. McHugh, R. C. Moellering, C. C. Hopkins, és M. N. Swartz, „Salmonella typhimurium resistant to silver nitrate, chloramphenicol, and ampicillin.”, *Lancet (London, England)*, köt. 1, sz. 7901, o. 235–40, febr. 1975.
[128] I. J. Davis, H. Richards, és P. Mullany, „Isolation of silver- and antibiotic-resistant Enterobacter cloacae from teeth”, *Oral Microbiology and Immunology*, köt. 20, sz. 3, o. 191–194, jún. 2005.
[129] A. N. Kremer és H. Hoffmann, „Subtractive hybridization yields a silver resistance determinant unique to nosocomial pathogens in the Enterobacter cloacae complex.”, *Journal of clinical microbiology*, köt. 50, sz. 10, o. 3249–57, okt. 2012.
[130] C. Haefeli, C. Franklin, és K. Hardy, „Plasmid-determined silver resistance in Pseudomonas stutzeri isolated from a silver mine.”, *Journal of bacteriology*, köt. 158, sz. 1, o. 389–92, ápr. 1984.
[131] P. Choudhury és R. Kumar, „Multidrug- and metal-resistant strains of Klebsiella pneumoniae isolated from Penaeus monodon of the coastal waters of deltaic Sundarban.”, *Canadian journal of microbiology*, köt. 44, sz. 2, o. 186–9, febr. 1998.
[132] S. L. Holland, P. S. Dyer, C. J. Bond, S. A. James, I. N. Roberts, és S. V. Avery, „Candida argentea sp. nov., a copper and silver resistant yeast species”, *Fungal Biology*, köt. 115, sz. 9, o. 909–918, szept. 2011.
[133] R. I. Aminov, „Horizontal Gene Exchange in Environmental Microbiota”, *Frontiers in Microbiology*, köt. 2, Frontiers, o. 158, 26-júl-2011.
[134] H. Heuer, C. Kopmann, C. T. T. Binh, E. M. Top, és K. Smalla, „Spreading antibiotic resistance through spread manure: characteristics of a novel plasmid type with low %G+C content”, *Environmental Microbiology*, köt. 11, sz. 4, o. 937–949, ápr. 2009.
[135] A. Gupta és S. Silver, „Molecular Genetics: Silver as a biocide: Will resistance become a problem?”, *Nature Biotechnology*, köt. 16, sz. 10, o. 888–888, okt. 1998.
[136] J. L. Graves, „JSM Nanotechnology & Nanomedicine A Grain of Salt: Metallic and Metallic Oxide Nanoparticles as the New Antimicrobials”, *JSM Nanotechnol Nanomed*, köt. 2, sz. 2, 2014.
[137] H. Adrienn, V. András, B. Hamuda, E. A. F. Hosam, és T. Ákos, „Multirezisztens , nozokomiális baktériumtörzsek túlélése antibakteriális hatóanyagokkal kezelt pamutszöveten *”, o. 18–22, 2016.
[138] J. L. Graves *és mtsai.*, „Rapid evolution of silver nanoparticle resistance in Escherichia coli”, *Frontiers in Genetics*, köt. 6, o. 42, febr. 2015.
[139] C. Lorenz *és mtsai.*, „Characterization of silver release from commercially available functional (nano)textiles”, *Chemosphere*, köt. 89, sz. 7, o. 817–824, okt. 2012.
[140] E. Lombi *és mtsai.*, „Silver speciation and release in commercial antimicrobial textiles as influenced by washing”, *Chemosphere*, köt. 111, o. 352–358, szept. 2014.
[141] D. M. Mitrano, E. Rimmele, A. Wichser, R. Erni, M. Height, és B. Nowack, „Presence of nanoparticles in wash water from conventional silver and nano-silver textiles”, *ACS Nano*, köt. 8, sz. 7, o. 7208–7219, 2014.
[142] V. J. Schacht *és mtsai.*, „Effects of silver nanoparticles on microbial growth dynamics”, *Journal of Applied Microbiology*, köt. 114, sz. 1, o. 25–35, 2013.
[143] R. B. Reed *és mtsai.*, „Potential Environmental Impacts and Antimicrobial Efficacy of Silver- and Nanosilver-Containing Textiles”, *Environmental Science and Technology*, köt. 50, sz. 7, o. 4018–4026, 2016.
[144] S. A. Blaser, M. Scheringer, M. MacLeod, és K. Hungerbühler, „Estimation of cumulative aquatic exposure and risk due to silver: Contribution of nano-functionalized plastics and textiles”, *Science of the Total Environment*, 2008.
[145] G. J. Maass, „Silver Nanoparticles Silver No Threat”, *Colloidal Science Lab. Inc.*, 2008. [Online]. Elérhető: https://www.purestcolloids.com/SilverNoThreat.pdf.
[146] Adam Nobel, „Adam Nobel - Novel Biofiltration System”. [Online]. Elérhető: https://www.youtube.com/watch?v=FFdxGMCmBoQ. [Elérés: 09-aug-2015].
[147] „Environmental toxicology: Removing nanosilver from wastewater”, *Schweizerischer Nationalfonds zur Foerderung der wissenschaftlichen Forschung*, 2013. [Online]. Elérhető: https://www.sciencedaily.com/releases/2013/04/130418094643.htm. [Elérés: 25-jún-2017].
[148] A. Voegelin *és mtsai.*, „Fate and transformation of silver nanoparticles in urban wastewater systems”, *Water Research*, köt. 47, sz. 12, o. 3866–3877, aug. 2013.
[149] N. Von Goetz, C. Lorenz, L. Windler, B. Nowack, M. Heuberger, és K. Hungerbühler, „Migration of Ag- and TiO2-(nano)particles from textiles into artificial sweat under physical stress: Experiments and exposure modeling”, *Environmental Science and Technology*, 2013.
[150] J. Hedberg, S. Skoglund, M.-E. Karlsson, S. Wold, I. Odnevall Wallinder, és Y. Hedberg, „Sequential Studies of Silver Released from Silver Nanoparticles in Aqueous Media Simulating Sweat, Laundry Detergent Solutions and Surface Water”, *Environmental Science & Technology*, köt. 48, sz. 13, o. 7314–7322, júl. 2014.
[151] M. E. Quadros *és mtsai.*, „Release of silver from nanotechnology-based consumer products for children”, *Environmental Science and Technology*, köt. 47, sz. 15, o. 8894–8901, 2013.
[152] T. M. Benn és P. Westerhoff, „Nanoparticle silver released into water from commercially available sock fabrics”, *Environmental Science and Technology*, 2008.
[153] L. Geranio, M. Heuberger, és B. Nowack, „The behavior of silver nanotextiles during washing”, *Environmental Science and Technology*, köt. 43, sz. 21, o. 8113–8118, 2009.
[154] D. Ding *és mtsai.*, „Natural ageing process accelerates the release of Ag from functional textile in various exposure scenarios”, *Nature Publishing Group*, 2016.

[155] T. Benn, B. Cavanagh, K. Hristovski, J. D. Posner, és P. Westerhoff, „The Release of Nanosilver from Consumer Products Used in the Home”, *Journal of Environment Quality*, köt. 39, sz. 6, o. 1875, nov. 2010.
[156] J. Farkas *és mtsai.*, „Characterization of the effluent from a nanosilver producing washing machine”, *Environment International*, köt. 37, sz. 6, o. 1057–1062, aug. 2011.
[157] B. Tomšič *és mtsai.*, „Sol-gel coating of cellulose fibres with antimicrobial and repellent properties”, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 2008.
[158] „Samsung”. [Online]. Elérhető: http://skp.samsungcsportal.com/integrated/popup/FaqDetailPopPrint.jsp?cdsite=hu&seq=74140&cdcnt=FAQ. [Elérés: 25-máj-2015].
[159] „A környezeti analitikában alkalmazott atomspektroszkópiai módszerek”. [Online]. Elérhető: www.agr.unideb.hu/~kremper/musz/nap3.ppt.
[160] M. H. Patel és P. B. Desai, „ISSN 2277-7156 Original Article Nano herbal grafted medical textiles for production of antimicrobial textile”, köt. 4, sz. 3, o. 49–54, 2014.
[161] M. Mirjalili, N. Yaghmaei, és M. Mirjalili, „Antibacterial properties of nano silver finish cellulose fabric”, *Journal of Nanostructure in Chemistry*, köt. 3, sz. 1, o. 43, 2013.
[162] L. Lin, W.-Z. Gong, és S.-Y. Wang, „Hollow PET fibers containing silver particles as antibacterial materials”, *The Journal of The Textile Institute*, köt. 102, sz. 5, o. 419–423, 2011.
[163] „mtk.nyme”. [Online]. Elérhető: http://www.mtk.nyme.hu/fileadmin/user_upload/elelmiszer/Mikro/segedanyag/MIKROBIOLOGIA_BSc/MIKROORGANIZMUSOK_AZONOSITASA_I..pdf.
[164] T. Dudás, S. I. Boyadjiev, I. M. Szilágyi, és B. Ásványi, „Ezüstözött textíliák vizsgálata az ezüst leválasztásának módszerével”, *Textiltechnika*, köt. 3, o. 15–20, 2015.
[165] Nemes József, *Méréstechnika*, NYME. Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem, 2012.
[166] D. R. Jackson, „News”, *Environmental Health News*. [Online]. Elérhető: http://www.environmentalhealthnews.org/ehs/newscience/silver-nanoparticles-impair-sperm-stem-cell-signals.
[167] M. Amberg, K. Grieder, P. Barbadoro, M. Heuberger, és D. Hegemann, „Electromechanical behavior of nanoscale silver coatings on PET fibers”, *Plasma Processes and Polymers*, köt. 5, sz. 9, o. 874–880, 2008.
[168] „MSZ 11400-81Textíliák villamos ellenállásának meghatározása”.
[169] H. László, *Processzor Alapú Fémdetektor Készítése, Jelfeldolgozó*. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék, 2011.
[170] „Fémdetektálás”, *Marker Bt.* [Online]. Elérhető: http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/femdetektalas.pdf. [Elérés: 13-ápr-2017].
[171] Dudás Tünde és F. Mester, „Fémezett textíliákon levő fém mennyiségének mérése”, *Textiltechnika*, köt. 3, o. 9–13, 2016.
[172] T. Dudás, I. M. Szilágyi, I. B. Stefan, és B. Ásványi, „Studying silver coated textiles with the method of silver separation , Proučavanje posrebrenog tekstila metodom odvajanja srebra”, *Tekstilna industrija*, köt. 3, o. 15–22, 2015.
[173] Kutasi Csaba, „A textilkezelési jelkép új, magyar nyelven kiadott szabványa”. [Online]. Elérhető: http://www.mszt.hu/web/guest/textilkezeles.
[174] „Gyógyászati segédeszköz fogalma”, *OGYÉ*, 2017. [Online]. Elérhető: https://www.ogyei.gov.hu/gyogyaszati_segedeszkoz_fogalma/.
[175] T. Felföldi, „A szaporodási görbe”. [Online]. Elérhető: http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/BevProkariotakVilagaba/ch04s06.html.
[176] „Körömgomba”. [Online]. Elérhető: https://koromgomba.com/mire-kell-figyelni/?gclid=CjwKCAiAjNjgBRAgEiwAGLlf2uoQTfjN4MjoaGNDIAc84SQ-NaJNd-ty5QNpd99rRTAqZeQWUiKEFxoCVmsQAvD_BwE.
[177] „Körömgomba”. [Online]. Elérhető: http://napidoktor.hu/blog/7-fantasztikus-hazi-keszitesu-szer-koromgomba-ellen/.
[178] S. W. P. Wijnhoven *és mtsai.*, „Nano-silver - A review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment”, *Nanotoxicology*, köt. 3, sz. 2, o. 109–138, 2009.
[179] V. De Siqueira Mota, R. N. T. Turrini, és V. De Brito Poveda, „Antimicrobial activity of Eucalyptus globulus oil, xylitol and papain: A pilot study”, *Revista da Escola de Enfermagem*, köt. 49, sz. 2, o. 216–220, 2015.
[180] „Intelligens textíliák”. [Online]. Elérhető: https://hu.wikipedia.org/wiki/Intelligens_textíliák.
[181] „Genomika”. [Online]. Elérhető: https://hu.wikipedia.org/wiki/Genomika.

A munka során felhasznált egyéb dokumentumok

https://www.feosz.hu/upload/termekek(1).doc
https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:095:0001:0006:HU:PDF
http://www.kozlonyok.hu/nkonline/MKPDF/hiteles/mk10189.pdf

A munka során felhasznált szabványok

MSZ EN ISO 6330Textíliák. Háztartási mosási és szárítási eljárások textilvizsgálatokhoz
MSZ EN ISO 12947-2:2000 Textíliák. Kelmék kopásállóságának meghatározása
MSZ EN ISO 139:2005 Textíliák. Szabványos kondicionálási és vizsgálati légterek
MSZ EN ISO 20743-2013 Textíliák. Baktériumölő kikészítésű termékek baktériumölő hatásának meghatározása
MSZ EN ISO 20645:2005 Textiltermék. A baktériumölő hatékonyság meghatározása. Aggardiffúziós lemezpróba
Textíliák villamos ellenállásának meghatározása: MSZ 11 400-1981(visszavont !)

9. Mellékletek

10.13147/SOE.2019.013

1. Melléklet
KÉRDŐÍV

Kedves Vásárló!

Ön ezüstözött textíliát vásárolt. Engedje meg, hogy kutatási célból néhány kérdést feltegyünk a termékkel kapcsolatosan. Köszönjük, hogy megtisztel bennünket válaszadásával.
Kérjük, X (ix) jelzéssel jelölje, hogy döntésénél fontos szempontot képviseltek-e a termék, gyártó által ígért következő tulajdonságai. Amennyiben a kijelentésnek nincs jelentősége, azt jelölje – (vízszintes vonallal).

Megállapítás	X / -
A termék alkalmas lábfertőzések megakadályozására.	
A termék használható neurodermatitis (idegi alapú bőrgyulladás) esetén. (az atópiás dermatitis-nek vagy endogén ekcémának is nevezett betegség esetében olyan nem fertőző bőrbetegségről van szó, amelyet viszketés kísér)	
A termék használható lábszagkeltő baktériumok ellen.	
A termék alkalmas keringési problémák megszűntetésére.	
A termék alkalmas gombák szaporodásának meggátolására.	
A termék használható sportoláshoz.	
A termék használható lábdagadás és lábfázásos tünetetekre.	
A termék használható cukorbetegek részére.	

Tisztában van Ön azzal, hogy az ezüstözött zokni elektromos vezető lehet? (válaszát, kérjük, aláhúzással jelölje)

igen nem

Válaszait, és a kérdőív kitöltésére szánt idejét tisztelettel köszönjük.
Jó egészséget kívánunk!

2014. március 10.

2. Melléklet

ÖSSZESÍTŐ

Megállapítás	fontos szempont (X)	nem fontos szempont (-)	összesen
A termék alkalmas lábfertőzések megakadályozására.	63	38	100
A termék használható neurodermatitis (idegi alapú bőrgyulladás) esetén. (az atópiás dermatitisznek vagy endogén ekcémának is nevezett betegség esetében olyan nem fertőző bőrbetegségről van szó, amelyet viszketés kísér)	65	35	100
A termék használható lábszagkeltő baktériumok ellen.	82	18	100
A termék alkalmas keringési problémák megszűntetésére.	10	90	100
A termék alkalmas gombák szaporodásának meggátolására.	85	15	100
A termék használható sportoláshoz.	10	90	100
A termék használható lábdagadás és lábfázásos tünetetekre.	8	92	100
A termék használható cukorbetegek részére.	5	95	100
Tisztában van Ön azzal, hogy az ezüstözött zokni elektromos vezető lehet?	60 igen	40 nem	100

3. Melléklet

2017. évben a szegedi fogyasztóknál vett ivóvízminták főbb jellemzőinek átlagértéke

2017. évben a fogyasztóknál vett ivóvízminták főbb jellemzőinek átlagértéke

Jellemző	mértékegység	Határérték 201/2001. Kr.	Alsó méréshatár	Átlag év
zavarosság	NTU	*		1,87
ammónium	mg/l	0,5	0,01	0,36
nitrit	mg/l	0,50	0,01	0,005
vas	mg/l	0,200	0,020	0,219
mangán	mg/l	0, 050	0,010	0,030
kémiai oxigénigény	mg/l	5,00	0,20	0,97
vezetőképesség	µS/cm	2500	10	464
pH		6,5-8,5		7,58
arzén	mg/l	0,010	0,002	0,007
összes aktív klór	mg/l			0,10
szabad aktív klór	mg/l			0,05
kötött aktív klór	mg/l	3,00		0,05
nitrát	mg/l	50	0,7	0,110
klorid	mg/l	250	2	4,8
szulfát	mg/l	250	2	2,00
m lúgosság	mmol/l		0,1	5,59
p lúgosság	mmol/l		0,1	0,00
összes keménység	CaO mg/l	50-350	2	111
kloroform	µg/l		1	3,9
bróm-diklórmetán	µg/l		1	0,5
dibróm-klórmetán	µg/l	1		0,1
bromoform	µg/l		1	0,0
trihalo-metán összes	µg/l	50	1	4,5
összes szerves szén TOC	mg/l		3	0,1
nátrium	mg/l	200	1	21,86
kálium	mg/l		1	1,16
antimon	µg/l	5,0	2,0	0,10
alumínium	µg/l	200	2	1,03
bór	mg/l	1,0	0,1	0,01
higany	µg/l	1,0	0,4	0,00
nikkel	µg/l	20	2	1,08
szelén	µg/l	10	2	0,10
ólom	µg/l	10	1	0,13

fluorid	mg/l	1,5	0,07	**0,20**
cianid	µg/l	50	5	**6,63**
réz	mg/l	2,0	0,1	**0,01**
króm	µg/l	50	5	**0,08**
kadmium	µg/l	5,0	1,0	**0,29**

4. Melléklet

Tomi Color mosópor	Henkel
Összetevők megadása a mosó és tisztítószerekről szóló 648/2004/EK rendelet szerint	
• SODIUM SULFATE • SODIUM CARBONATE • SODIUM C10-13 ALKYL BENZENESULFONATE • SILICIC ACID,SODIUM SALT • AQUA • SODIUM POLYACRYLATE • CITRIC ACID • TETRASODIUM ETIDRONATE • ALCOHOLS,C12-13,ETHOXYLATED (5 MOL EO AVERAGE MOLAR RATIO) • CARBOXYMETHYL CELLULOSE, NA-SALT • NAAL-SILIKAT ZEOLITH A • STARCH • FATTY ACID-NA • PARFUM • COLORANT • PROTEASE • LIPASE • AMYLASE • CELLULASE • MANNANASE	

Tomi Color mosópor összetétele

5. Melléklet
KÉRDŐÍV neurodermatitises végtagú betegek számára

Kedves Uram/ Hölgyem!

Kérem, osztja meg az ezüstözött zokni 7 napos használatával kapcsolatos tapasztalatait velünk és válaszoljon a következő kérdésekre! Kérjük, hogy válaszait aláhúzással jelölje.

1. Milyen rendszerességgel viselte az ezüstözött zoknit az elmúlt 7 napon?
   a. minden nap a lábamon volt
   b. csak időközönként használtam
   c. nem használtam

2. Milyen hosszú ideig használta a zoknit?
   a. egész nap a lábamon volt (éjjel-nappal, csak tisztálkodásnál vetettem le)
   b. napközben viseltem
   c. rendszertelenül, mikor-úgy gondoltam, viseltem

3. Milyen sűrűn cserélte a lábán a zoknit?
   a. naponta húztam másikat, az előzőt kimostam
   b. néhány napig viseltem egy zoknit, azután kimostam
   c. nem tudom megmondani milyen rendszerességgel cseréltem a zoknit

4. Észlelt-e valamilyen különbséget a zoknis és a zokni nélküli láb között?
   a. egész idő alatt jobb volt
   b. első napokban észleltem
   c. csak az utolsó napokban észleltem
   d. néhány napon észleltem
   e. nem észleltem
   f. bizonytalan vagyok

5. Ha észlelt különbséget, kérjük, jelölje miben különbözött a két láb érzete?
   a. a zokni alatt a lábam bőre kevésbé viszketett
   b. a zokni hűsítette a lábamat
   c. a zokni nyugtatta a bőrömet
   d. semmi különbséget sem éreztem
   e. Egyéb:……..

6. Gyógyszeres kezelést alkalmazott-e az elmúlt 7 napban az neurodermatitise enyhítésére?
   a. igen, kellett gyógyszeres kezelést alkalmaznom
   b. csak azon a lábamon alkalmaztam kezelést, amin a zoknit viseltem
   c. csak a zokni nélküli lábon alkalmaztam a gyógyszeres kezelést
   d. nem alkalmaztam semmilyen gyógyszeres kezelést, egyik lábamon sem

7. Viselné-e huzamosabb ideig neurodermatitises tünetei enyhítésére a zoknit?
   a. igen
   b. nem
   c. egyéb kedvező tulajdonságai miatt igen:……

Válaszait, és a kérdőív kitöltésére szánt idejét tisztelettel köszönjük.

2016. augusztus 16. Jó egészséget kívánunk!

6. Melléklet

Neurodermatitises végtagú betegek kérdőívének ÖSSZESÍTŐJE

Kedves Uram/ Hölgyem!

Kérem, osztja meg az ezüstözött zokni 7 napos használatával kapcsolatos tapasztalatait velünk és válaszoljon a következő kérdésekre! Kérjük, hogy válaszait aláhúzással jelölje.	összesítő	
1. Milyen rendszerességgel viselte az ezüstözött zoknit az elmúlt 7 napon?		
a. minden nap a lábamon volt	10	
b. csak időközönként használtam	0	
c. nem használtam	0	
		10
2. Milyen hosszú ideig használta a zoknit?		
a. egész nap a lábamon volt (éjjel-nappal, csak tisztálkodásnál vetettem le)	8	
b. napközben viseltem	2	
c. rendszertelenül, mikor-úgy gondoltam, viseltem	0	
		10
3. Milyen sűrűn cserélte a lábán a zoknit?		
a. naponta húztam másikat, az előzőt kimostam	1	
b. néhány napig viseltem egy zoknit, azután kimostam	8	
c. nem tudom megmondani milyen rendszerességgel cseréltem a zoknit	1	
		10
4. Észlelt-e valamilyen különbséget a zoknis és a zokni nélküli láb között?		
a. egész idő alatt jobb volt	0	
b. első napokban észleltem	0	
c. csak az utolsó napokban észleltem	0	
d. néhány napon észleltem	0	

e. nem észleltem 10

f. bizonytalan vagyok 0

10

5. Ha észlelt különbséget, kérjük, jelölje miben különbözött a két láb érzete?

a. a zokni alatt a lábam bőre kevésbé viszketett 0

b. a zokni hűsítette a lábamat 0

c. a zokni nyugtatta a bőrömet 0

d. semmi különbséget sem éreztem 10

e. Egyéb:…….. 0

10

6. Gyógyszeres kezelést alkalmazott-e az elmúlt 7 napban az neurodermatitise enyhítésére?

a. igen, kellett gyógyszeres kezelést alkalmaznom 0

b. csak azon a lábamon alkalmaztam kezelést, amin a zoknit viseltem 0

c. csak a zokni nélküli lábon alkalmaztam a gyógyszeres kezelést 5

d. nem alkalmaztam semmilyen gyógyszeres kezelést, egyik lábamon sem 5

10

7. Viselné-e huzamosabb ideig neurodermatitises tünetei enyhítésére a zoknit?

a. igen 0

b. nem 10

c. egyéb kedvező tulajdonságai miatt igen:…… 0

10

Válaszait, és a kérdőív kitöltésére szánt idejét tisztelettel köszönjük.

2016. augusztus 16. Jó egészséget kívánunk!

7. Melléklet

ÉMI-TÜV SÜD Kft.
Dugonics u. 11
1043 Budapest
Molnár Orsolya részére

Kedves Orsolya!

Ezüstözött textíliákkal kapcsolatos kutatásaim során megállapítottam, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható ezüstözött termékeken megjelenített hagyományos összetétel és kezelésre vonatkozó instrukciók nem elegendőek.

Az általunk megszólított ezüstözött terméket vásárlók döntő többsége elvárja, hogy az ezüstözött textíliából készült végtermék (pl. zokni) a dermatofion gombákra, valamint baktériumikra kifejtett hatása révén megakadályozza a lábszagot.

A kutatásaim alapján elmondhatom, hogy a használat során az ezüstözött termékeken levő ezüst mennyisége csökken. A nanoezüstözött termékek antibakteriális hatása, valamint az ezüst bevonatot tartalmazó fonalak, kelmék hatása különböző mosásállóságú.

Megállapítottam, hogy a témakörben megjelent irodalmi közlések nem reprodukálhatóak. A kutatásokban szereplő anyagok leírása pontatlan, nem ismerjük a vizsgálat összes körülményeit. A kereskedelmi forgalomban kapható textilipari termékek vásárlói tájékoztatóin minimális, az összetételre a kezelésre vonatkozó instrukció található-amit a textilkresz ikonjaival jelölnek. A fogyasztók érdekében a gyártók részéről részletesebb tájékoztatásra van szükség. Az ezüstözött termékeknél jellemzően nem ismerjük a pamut érettségi fokát, nem ismerjük a mesterséges szálasanyagok pontos technológiai paramétereit, az ezüstözés módját, a részecskék méretét, stb.

A tudomány mai állása szerint bizonyított, hogy az antibakteriális hatás vizsgálatánál párhuzamosan több módszert érdemes alkalmazni, mert egy baktérium, gomba, illetve egy módszer nem elegendő a hatás bizonyításához vagy cáfolásához.

A jelenlegi előírásoktól részletesebb vásárlói tájékoztatást tartok szükségesnek. A fenti tények ismeretében javasolom, hogy adják meg a kereskedelmi forgalomba kerülő ezüstözött textilipari termék antibakteriális hatásának várható időtartamát. A kérdés összetettsége miatt egy nemzetközi összefogásra lenne szükség a laboratóriumok együttműködésében és a kapott eredmények ismeretében határozzák meg a vásárlók számára egyértelműen az általuk elvárt paraméterek adatait.

Kérem, a javaslatom kivizsgálását.

2018.október 12.

Üdvözlettel: Dudás Tünde

A dolgozatban használt rövidítések, kifejezések

[1] SEM-EDX: Scanning Electron Microscopy (SEM) with Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX) -Pásztázó elektronmikroszkóp energiadiszperzív röntgen-analizátorral.

[2] ICP-MS: Inductively coupled plasma mass spectrometry-induktív csatolású plazma tömegspektrometria

[3] PA6: poliamid, mesterséges polimerek molekulái lineáris polimerláncban (−CO−NH−) karboxi-amidcsoportokat tartalmaznak, amelyek szabályos távolságban ismétlődnek. Többféle változata ismert, a nitrogénatomok között elhelyezkedő szénatomok számától függően csoportosíthatjuk őket. A poliamid 6 monomeregysége 6 db szénatomot tartalmaz, a poliamid 6.6-ot alkotó két monomer 6-6 szénatomot tartalmaz.

[4] oligodinamikus hatás: (görögül oligos = kevés, görögül dynamis = erő) a svájci Karl Wilhelm von Nägeli 1893-ban fedezte fel, fémionok a különböző élő sejtekre gyakorolt toxikus hatását (algákra, penészre, spórákra, gombákra, vírusokra, prokarióta és eukarióta mikroorganizmusokra) még relatív kis mennyiségben is. Ilyen antimikrobás hatással bírnak a higany-, ezüst-, réz-, vas-, cink-, ólom-, bizmut-, arany-, alumínium- és más fémionok.

[5] Kollargol, Protargol: ezüst készítmények kereskedelmi elnevezései

[6] a kémiai antimikrobás anyagok hatása lehet szaporodásgátló (sztatikus) vagy pusztító (cid).

[7] affinitás: két anyagnak (elemnek, vegyületnek) az a tulajdonsága, hogy egymással képesek reagálni

[8] elektroszmog: az elektromos berendezések által kibocsátott elektromágneses sugárzás elnevezése, amelyet rendszerint azok használnak, akik az ilyen sugárzásnak egészségkárosító hatást tulajdonítanak, és így azt – a szmoghoz hasonlóan – egy olyan szennyezési formának tartják, ami ellen védekezni kell.

[9] prekurzor: olyan vegyület, mely egy másik vegyületet előállító reakcióban vesz részt.

[10] szonokémia: kémia speciális területe a szonokémia, melyben speciális reakciókat, új reakció utakat és reakciótermékeket nyerhetünk ultrahang hatására, és az eljárásokat pedig szonokémiai reaktorokban folytatjuk.

[11] kavitáció: egy fizikai jelenség, mely akkor következik be, ha egy anyag folyadék fázisból hirtelen gáz fázisba megy át a nyomás esése következtében.

[12] EMPA: cég neve, The Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology St. Gallen Svájc, Überland Str. 129, 8600 Dübendorf, Svájc

[13] multirezisztens baktériumok: csupán néhány antibiotikumra érzékenyek

[14] nosocomiális fertőzések: a betegségek egy olyan csoportját jelölik, melyek a kórházi vagy egészségügyi intézményben való tartózkodás alatt vagy az abból való távozás után jelentkezik olyan betegnél, akik nem a fertőzés miatt kerültek kórházba. A kritériumok alapján legalább 48 órának, de legfeljebb 30 napnak kell eltelnie a fertőzés jelentkezése után, hogy azt kórházinak lehessen nevezni.

[15] biokompatibilitás: a biológiai rendszerbe (élő szervezetbe) helyezett technikai rendszer zavartalan összeférhetőségét (fizikai, kémiai és biokémiai) értjük.

[16] SMART- Intelligens textíliáknak azokat az anyagokat nevezzük, amelyek a környezet változásaira reagálnak és annak megfelelően változtatják bizonyos tulajdonságaikat, vagy amelyek „emlékeznek” egy korábbi állapotukra és az attól eltérő állapotot létrehozó változások megszűntével visszatérnek oda. A ma intelligensnek mondott textilanyagok olyan tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyeket valamilyen speciális cél érdekében mesterségesen hoznak létre a szálszerkezet vagy a kelme kémiai vagy fizikai módosításával, pontosan körülhatárolva, hogy bizonyos változásokra hogyan reagálnak.[180]

[17] Gram-festés egy sejtfestési eljárás; empirikus (gyakorlati) módszer baktériumok csoportosítására. Gram-pozitív baktériumok azok, amelyek kékre/lilára színeződnek és Gram-negatív baktériumok azok, amelyek rózsaszín/piros színt kapnak.

[18] biokompatibilitás: idegen anyagok és testnedvek kölcsönhatásai

[19] fibroblasztok: felelősek a kötőszövet kialakításáért, ők hozzák létre a sejtek közötti tér anyagait

[20] homeosztázis: belső környezet (milieu intérieur) dinamikus állandóságát jelenti, az élő szervezetek egyik legfontosabb jellemzője

[21] apoptózis:programozott sejthalál

[22] citotoxikus:sejtmérgező

[23] transzportfehérjék: feladatuk az sejten belüli és kívüli tér közötti anyagszállítás.
[24] tiolok: kéntartalmú szerves vegyületek

[25] ROS: (reactive oxygen species) az oxigén eredetű szabadgyökök, reaktív oxigén fajtákat jelöli

[26] fenotípus: a genotípus által meghatározott külső tulajdonságokat nevezzük. Genotípusnak nevezik az egyed által hordozott géneket.

[27] genomika: vagy genomtan a genomot és a gének kölcsönhatásait vizsgáló multidiszciplináris tudomány. Az élőlények genomjában rejlő információkat elsősorban számítógépes biológia alkalmazásával dolgozza fel, és érvényesül a biológia, orvostudomány és az ipar egyre több területén. A genomika új diagnosztizálási és gyógyítási módszereket kínálhat némely betegségek kezelésében ill. megelőzéseben.[181]

[28] expozíció:szervezet kitevése valamely káros külső hatásnak (egészségügyben)

[29] fragmentáció. széttördelés, széttöredezettség

[30] pg- pikogramm (10^{-12}) egész rész milliárdod része (ppb)

[31] XRF roncsolásmentes energiadiszperzív röntgenfluoreszcenciás (XRF-X-ray fluerescence)- a vizsgálandó mintát röntgensugárzással gerjesztve az anyag által kibocsátott ún. karakterisztikus röntgensugárzás spektrumának mérésén alapuló módszer.
[32] szélesztés: agarlemezre rápipettázunk 1 ml előzőleg elkészített baktérium szuszpenziót és szélesztőbottal egyenletesen szétkenjük az agar felületén

[33] diffundál: diffúzió során eloszlik, összekeveredik, összevegyül, elrendeződik, szétterjed

[34] inokulum: Steril, mesterséges táptalajon fenntartott tenyészet indításához használt sejt, szövet vagy szerv.

[35] denzitométer: sűrűségmérő/ fényérzékeny lemezek feketedésének mérésére szolgáló műszer

[36] permeabilitás: a mágneses térben ható erő nagysága (azaz a mágneses indukció értéke) függ a teret kitöltő anyag minőségétől. Ezt jellemző mennyiség a mágneses permeabilitás, ami a mágneses indukció és a térerősség között létesít kapcsolatot.

[37] abszorpció: a fizikai értelemben vett abszorpció elektromágneses sugárzás elnyelődése anyagi közegben, például gázokban, folyadékokban, vagy szilárd anyagokban

[38] atom %: A kémiai összetétel kifejezése az anyagot alkotó atomok százalékos arányával. Atomszázalék = 100 * egy komponens atomjainak száma / a minta összes atomjának száma.

[39] m/m%: A tömegszázalék megmutatja, hogy az oldott anyag tömege hány százaléka az egész oldat tömegének vagyis, a tömegszázalék azt fejezi ki, hogy 100 gramm oldat hány gramm oldott anyagot tartalmaz. A tömegszázalék jele: m/m% vagy tömeg%

10.13147/SOE.2019.013

Köszönet

Munkám során, a téma összetettsége miatt, a munka interdiszciplinárissá nőtte ki magát. A kutatás több, egymástól távolálló területen folyt. Témavezetőm, Dr. Szücs Iván támogatásának köszönhetően, munkámat sokan segítették. A kutatásban több intézet, laboratórium, tanszék, munkatárs közreműködött, akik különböző területeken szakmai segítséget nyújtottak. Külön köszönöm az általam begyűjtött minták vizsgálatához és azok kiértékeléséhez, elemzéséhez nyújtott segítséget.

Köszönettel tartozom:

-az ATESTOR Anyagvizsgálat-Méréstechnika Kft.-nek akik az X-Strata készülék használatát biztosították számomra.

-a Bűnügyi Szakértői és Kutatóintézet, Fizikai-Kémiai Szakértői Osztályán végzett SEM-vizsgálatokért.

-a NYME-MÉK Élelmiszertudományi Intézetben Dr. Ásványi Balázsnak és Nagy Tamásnak az antimikrobás vizsgálatokban nyújtott segítségért (módszer 1).

-a textilek mosásos/leoldásos kísérletével, fémkoncentrációik meghatározásával összefüggő eredményekkel kapcsolatban köszönöm SZTE Természettudományi és Informatikai Kar Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszékén Prof. Dr. Galbács Gábor tanszékvezető egyetemi tanár, Kéri Albert doktorandusz, Fuderer Dalma hallgató munkáját, valamint a mikrobiológiai vizsgálatokkal kapcsolatosan (módszer 3 és 4) SZTE Természettudományi Kar Mikrobiológiai Tanszékén Dr. Pffeifer Ilona egyetemi docens munkáját.

-a SEM-EDS vizsgálatokban nyújtott segítségért a BME Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem laboratóriumaiban Dr. Szilágyi Imre Miklós egyetemi docensnek, Nagyné Kovács Teodóra doktoránsnak.