

# Ezüstözött textíliák vizsgálata az ezüst leválasztásának módszerével

Dr. Ásványi Balázs

NYME-MÉK Élelmiszer-  
tudományi Intézet  
asvanyib@mtk.nyme.hu

Dudás Tünde

SZTE JGYPK  
Technika Tanszék  
dudas@jgypk.u-szeged.hu

Dr. Stefan Ivanov Boyadjiev

MTA-BME Műszaki Analitikai Kémiai Kutató Csoport,  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék  
boiajiev@gmail.com

Dr. Szilágyi Imre Miklós

MTA-BME Műszaki Analitikai Kémiai Kutató Csoport,  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék  
imre.szilagy@mail.bme.hu

**Kulcsszavak/Keywords:** Ezüstözött textília, Mosás, Ezüst mennyiségének változása  
Textiles with silver content, Washing, Silver volume change

## Kivonat

Az ezüst, kedvező tulajdonságait napjainkban széleskörűen felhasználják szinte minden iparágban.

A XXI. században újra rátaláltak az ezüst előnyös tulajdonságaira és egyre több ezüst bevonatú textília jelenik meg a piacon. Az ezüst gátolhatja a gombák és baktériumok szaporodását, amik például a láb izzadása során termelődő veritékkel a testszagot okozzák, jó elektromos és hővezető, így gátolja a sztatikus feltöltődést, ideális környezetet biztosít az ízületeknek, és komfortérzetet ad.

Tanulmányunkban rövid nemzetközi irodalmi kitekintés után több vizsgálati módszert ötvöztünk. Az ezüstözött textíliák ezüst mennyiségét SEM-EDX<sup>1</sup> pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk, mosás előtt és 5–10 mosási ciklus után, teszteltük antimikrobiális hatásukat, a szakirodalomban eddig még nem ismert módszerrel eltávolítottuk az ezüstöt a textíliáról és vizsgáltuk az ezüst mennyiségének változását mosások után.

## Abstract

The advantageous effects of silver are widely used today in almost every field.

In the 21<sup>st</sup> century the beneficial effects of silver have been rediscovered and more and more new products made of silver coated brics are appearing on the market. Silver can prevent the spread of fungi and bacteria that are responsible for the unpleasant smell produced as feet are sweating. It has got good electrical and thermal conductivity reducing static charges, and it also provides an ideal environment for the joints and creates general comfort.

In the present study, after a short review of the international literature on the topic, various test methods are applied. The amount of silver on the silver coated fabrics before washing and after 5–10 washing cycles was detected using scanning electron microscope SEM-EDX<sup>1</sup>. The antibacterial effects were analysed, and silver was separated from the textiles using a method that has not been described previously. The changes of the amount of silver after washing steps were also investigated.

## 1. Előzmények

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.

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 százezer halálesetet okoznak évente. Ez az amerikai egészségügyi

rendszernek 6,5 milliárd dollár költséget jelent [1]. A statisztikák szerint a fertőzések által okozott halálozások nagy száma mellett 30 000-127 000 dollár többletköltséget jelenthet betegenként [2].

A kórházakban a munkaruhák, köpenyek, ágynevelők, függönyök, kötszerek mind potenciálisan fertőzőhordozó felületek lehetnek. Mikroorganizmusoktól való védelmük az orvosi segédeszközökhöz hasonlóan a Gram-pozitív<sup>2</sup> és a Gram-negatív baktériumok esetében 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 [3].

Az ezüstöt régóta, már az antibiotikumok felfedezése és elterjedése előtt is alkalmazták antibakteriális hatása miatt fertőző betegségek kezelésére, azonban az antibiotikumok használata óta az ezüst ilyen alkalmazása feledésbe merült.

Az ezüstrészecskékkel való kezelése az elmúlt évek során újra kiemelkedően jó eredményeket mutatnak és a textíliák antimikrobiális védelmében is helyet kaptak. A fém nanorészecskék (réz, cink, titán, magnézium, arany, ezüst) kitűnő antibakteriális hatással rendelkeznek [4]. Az antimikrobiális sebkezeléseknél azért preferálják az ezüstöt, mert képes csökkenteni a fertőzést, az antibiotikumok esetében előforduló rezisztencia nélkül.

## 2. Az ezüstözött textilipari termékek alkalmazása

Az ezüstözött textíliáknak számos előnyös tulajdonságuk van; az ezüst gátolja a gombák és baktériumok szaporodását, jó elektromos- és hővezető, így gátolja a sztatikus feltöltődést, ideális környezetet biztosít az ízületeknek, és javítja a komfortérzetet [5].

A Silver Institute (USA, Washington) kutatásai is azt támasztják alá, hogy az ezüst kolloid több mint 650 kórokozó ellen hatásos [6]. Az ezüst nanorészecskék ilyen felhasználása valójában visszalépést jelent az antimikrobiális alkalmazásuk felé.

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 pamutszá-

<sup>1</sup> SEM-EDX: Scanning Electron Microscopy (SEM) with Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX) – Pásztázó elektronmikroszkóp energiadiszperzív röntgen-analizátorral.

<sup>2</sup> Gyakorlati módszer a baktériumok megkülönböztetésére a Gram-festés. Gram-pozitív baktériumok azok, amelyek kékre/lilára színeződnek, a Gram-negatív baktériumok pedig azok, amelyek rózsaszín/piros színt kapnak.

I. táblázat. A kórházakban használt textíliákon megtapadó Gram-pozitív baktériumok túlélése [7]

Mikroorganizmusok	Vizsgált alapanyag (termék)				
	Pamut (öltözlet)	Pamut (törölköző)	Pamut-poliészter (orvosi köpeny)	Poliészter (paraván)	Polietilén (kötény)
	mikroorganizmusok átélt napjainak száma termékenként				
<i>Staphylo-coccus saprophyticus</i>	8-12	6-27	6-28	7-22	41-74
<i>Staphylococcus aureus</i>	4-21	2-24	1-21	1-56	11-90
<i>Enterococcus faecalis</i>	11-33	20-29	18-29	73-90	80
<i>Enterococcus faecium</i>	20-90	33-90	29-90	43-90	68-90
<i>Enterococcus gallinarium</i>	28	34	34	90	90
<i>Enterococcus casseliflavus</i>	15	28	15	90	90

lakban levő szénhidrátok megfelelő körülmények között jó táptalajként szolgálhatnak a mikroorganizmusoknak. A föld, a por, az izzadság, 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.

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

2004-ben megjelent cikkben kutatók vizsgálták milyen hosszú ideig élhetnek a Gram-pozitív baktériumok a textíliákon. Pamut alapanyagú frottírt, törölközőt és ágyneműt, továbbá pamut-poliészter keverékű kelmét, orvosi köpenyeket, elválasztó paravánokból származó poliésztert, valamint polietilén védőkötényeket vizsgáltak. Az I. táblázat a mikroorganizmusok túlélési idejét mutatja be ezeken az anyagokon [7].

A tanulmányban szereplő kelmék mindegyikét használat után néhány nappal kimosták. A tanulmány eredményeiből láthatjuk, hogy a kórházi személyzet a mikroorganizmusok kolóniáit át-viheti 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 is a paravánok az első tárgyak, amiket a személyzet megérint a betegekkel való kontaktus előtt és után is. Az egészségügyi textíliákat sterilizálni kell, kifőzéssel, gőzöléssel, UV fényvel fertőtleníteni. Ezek közül minden módszer fertőtleníti, azonban egyik sem jelent prevenciót az ismételt fertőzéssel szemben. Az egészségügyi textíliák esetében az antimikrobiális védelem, a mikroorganizmusok okozta fertőzésektől való védelem ezért kiemelten fontos.

### 3. Az ezüst hatásmechanizmusa

Az ezüst elemi formában, a sóiban (ezüst nitrát, ezüst szulfid, ezüst acetát) és ötvözeiteiben fordul elő.

Az ezüst ionok baktériumölő hatása közismert a mikroorganizmusokra nézve; ennek ellenére az antibakteriális hatásmechanizmusa csak részben ismeretes.

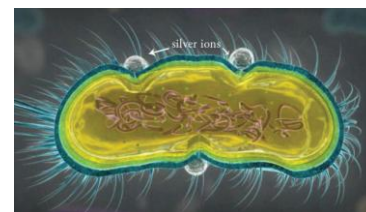
A baktérium és a néhány nanométer nagyságú ezüst részecske érintkezésekor a baktérium sejtfalát alkotó vegyületek reakcióba lépnek az ezüst részecskével, ennek következtében a részecske felületéről ezüst-ionok válnak le. Mivel a sejtfal építőelemei átalakulnak a kémiai reakció során, ezért sérül a baktérium 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. Sondi tanulmányában az ezüst nanorészecskék reagálnak a sejtmembrán transzportfehérjéivel<sup>3</sup>, a baktérium nem jut oxigénhez és ez pusztulásához vezet [9].

Az ezüst ionokról tehát bebizonyosodott, hogy hasznosak és hatásos baktériumölő képességük van, így a nanorészecskék kivételes tulajdonságainak köszönhetően a nanotechnológia új kapukat nyithat meg a baktericid anyagok kifejlesztésében.

Az ezüst antimikrobiális mechanizmusát tanulmányozva, Peggy tanulmánya 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 az 1. ábrán látható [10].

Vizsgálatok már igazolták, hogy a nanoezüst kicsiny mérete miatt könnyen bekerül az emberi szervezetbe, gátolja a hímivarsejtek növekedését, a magzatokba jutó nanoezüst pedig megzavarja az ivarsejtek kialakulását [11]. A legújabb eredményekből az is kiderül, hogy minél kisebb méretűek a részecskék, annál nagyobb lehet a károsodás mértéke [12].



1. ábra. Az ezüst ionok bemélyedéseket formálnak a sejtfalon [10]

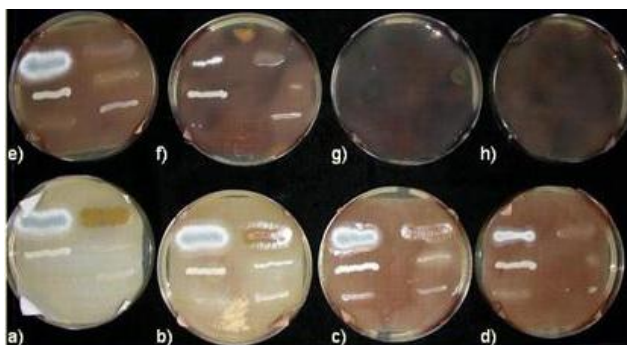
### 4. Az ezüst antibakteriális hatása a textíliákon

A hagyományos textilipari technológiák már nem tudnak kielégíteni minden piaci igényt. A nanorészecskék rétegződése nem befolyásolja a kelmék tapintását és kényelmi funkcióit.

A textíliák nanorészecskékkel való kezelése kedvezően befolyásolja a víz-, olaj-, szennytaszító képességet, gyűrődő képességet, mikrobiális hatást, antisztatikus-ságot, UV fényvédelmet, elektromágneses sugárvédelmet, lángállóságot, színezék felvételi tulajdonságot stb. Az ezüstrészecskék rétegződése nem befolyásolja a kelmék tapintását és kényelmi funkcióit.

A kevés ezüst tartalommal rendelkező kelmék bizonyítottan antibakteriális hatásúak (amint azt a 2. ábra mutatja, Kis-Csitári Judit, 2010), ami az egészségügyi és a vendéglátóiparban használt textíliáknál kimondottan előnyös, míg az ilyen kelméből készült öltözködési cikk (zokni, alsónemű, pulóver) viselete

<sup>3</sup> Transzportfehérjék: feladatuk az sejten belüli és kívüli tér közötti anyagszállítás.



2. ábra. Antimikrobiális teszt eredmények.

a) Tiszta, fehér textil, 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<sup>3</sup> [13]

frissebb érzést kelt, mindennapi életben mosása egyszerűbb, kevesebb vizet és mosószert kell felhasználni.

A textiliák mindennapi használata utáni tisztántartás, mosás kapcsán felmerült a kérdés, hogy az igénybevétel során vajon sérül, károsodik-e az ezüst, függetlenül attól, hogy milyen formában került a kelmére, vagy a fonalra. Erre vonatkozó tanulmányukban I. Geranio, M. Heuberger és B. Nowack 2009-ben különböző zoknigyártók termékeit hasonlították össze. Kísérletükben a mosóvízben visszamaradt ezüst mennyiségét vizsgálták (II. táblázat). A tanulmány szerint minden termékből mosódott ki ezüst. A kutatásban szerepelt egy kereskedelmi forgalomban kapható antibakteriális, ezüst bevonatú zokni (X-STATIC), egy kereskedelmi forgalomban kapható nanoezüst tartalmú zokni (Ag Kill Bact), míg a többi kelme a gyártótól közvetlenül beszerzett, valamint egy kutatási projektből származó minta (PLASMA-NP).

II. táblázat. Az ezüst kimosódása µg/g textiliára a különböző kereskedelemben kapható zoknikból 2 mosási ciklus és fehérítés után [14]

Termék	1. ciklus	2. ciklus	fehérítő ciklus
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

## 5. A kutatás tárgya és módszerei

Eddigi vizsgálati eredmények nem adnak választ, hogy a textiliákon levő ezüst mennyiség hogyan változik mosás után és az antibakteriális hatás mennyi ideig érvényesül, ezért a már ismert vizsgálatok mellett hány új vizsgálati módszert dolgoztunk ki és megvizsgáltuk a kereskedelemben kapható ezüst bevonatú fonalakból készült kelméket.

### 5.1 Az elektromos ellenállás vizsgálat

Az ezüsttel kezelt folyamatos bevonatok esetén a textiliák ellenállása mérhető. Használat, mosás, kopás során a bevonat megszakadhat, így a termék vezetőképességét elveszítheti.

Kutatásunk során először az ezüsttel bevont fonalakból készült kelmék ellenállását mértük, használat előtt és után. 0,1 mikron vastagságú ezüstreteggel bevont, 44 dtex f 12 poliamidfonalat tartalmazó kötött

kelmét vizsgáltunk és a használat és mosás utáni változásait regisztráltuk. A termék nyersanyag-összetétele: 77% pamut, 10% szokványos PA, 10% ezüstözött PA, 3% Lycra, területi sűrűsége 180 g/m<sup>2</sup>.

A mérést elvégeztük egy kereskedelemben elérhető nanoezüstözött kelmén is. Ennek nyersanyag-összetétele: 75% pamut, 10% poliamid és 15% elasztán, területi sűrűsége 200g/m<sup>2</sup>.

A mintadarabokat két csoportra osztottuk. Az első csoportban levő kelméket használat és mosás után, míg a másik csoportot használat nélkül, mosás után vizsgáltuk. A mosást Launderometerben végeztük, az ISO 105-C01:1989E szabvány szerint. A mosófürdő aránya: 1:50 volt, a mosást 5 g/l háztartási mosóporral, 40 °C-on, 30 percen át végeztük, az öblítés csapvízben, szárítás szobahőmérsékleten történt. Ellenállásukat 15 cm szakaszon ohm-mérővel mértük. A mérés adatai az III. táblázatban láthatók.

III. táblázat. Különböző kelmék ellenállása mosás előtt és után

Kelme (15 cm hosszú)	Mosások száma	Ellenállás a használat után (Ω)	Ellenállás használat nélkül (Ω)
Nanoezüsttel kezelt kelme	0	∞	∞
Ezüstözött fonalból készült kelme	0	16,5	16,5
Ezüstözött fonalból készült kelme	1	80	70
Ezüstözött fonalból készült kelme	5	350	300
Ezüstözött fonalból készült kelme	10	∞	∞

Megállapíthatjuk, hogy a folyamatos ezüst bevonattal rendelkező kelmék ellenállása addig mérhető, amíg a folyamatos bevonat meg nem szakad. Tíz mosási ciklus után az ellenállás műszerünk felső méréshatárán kívül esett.

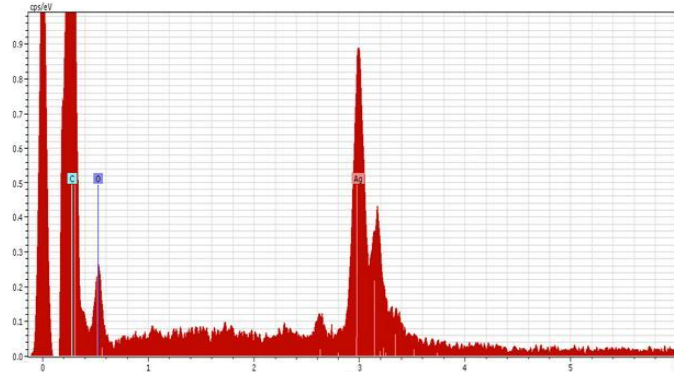
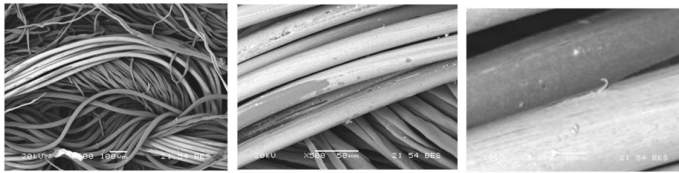
A nanoezüsttel kezelt kelme ellenállása nem mérhető, mivel nem képez folyamatos bevonatot, az elektromos áramot nem vezeti.

### 5.2 SEM-EDX vizsgálat

Az eddig tanulmányozott ezüstözött kelmét pásztázó elektronmikroszkóp segítségével (SEM-EDX JEOL JSM-5500LV) vizsgáltuk. A kelmét a mérések előtt Au/Pd vezető filmmel vontuk be, hogy elkerüljük a minták töltődését. A kelmét különböző (35-, 100-, 500-, 1000-szeres, esetenként 2000- és 10 000-szeres) nagyításokban néztük meg, ráközelítettünk a szálakra. Az EDX összetétel vizsgálatot minden minta esetében 5 ponton végeztük el néhány mm<sup>2</sup> méretű négyzeteken, amelyek néhány tíz vagy akár több száz fonalat tartalmaztak, majd az 5 mérés átlagával dolgoztunk tovább. Az összetételt az egyes különálló fonalak esetében is vizsgáltuk, erősebb nagyítást használva. Az EDX felvételeken Au és Pd jelenlétét is kimutattuk, de ezeket nem kell figyelembe venni, mivel a mintaelőkészítés során kerültek a kelmékre.

A 3. ábrán a vizsgált kelme SEM felvétele látható mosás előtt, alatta az EDX spektruma, majd a 4. ábrán a 10. mosási ciklus utáni SEM képe és EDX spektruma látható. Az EDX spektrumon az adott csücs keV értéke mutatja meg, milyen elemtől van szó, az elem mennyiségét pedig a csücs alatti terület adja meg. A SEM képen látható, hogy a 10. mosás során a szálak ezüst bevonata sérült, megkopott (4. ábra), és az ezüst mennyiségének

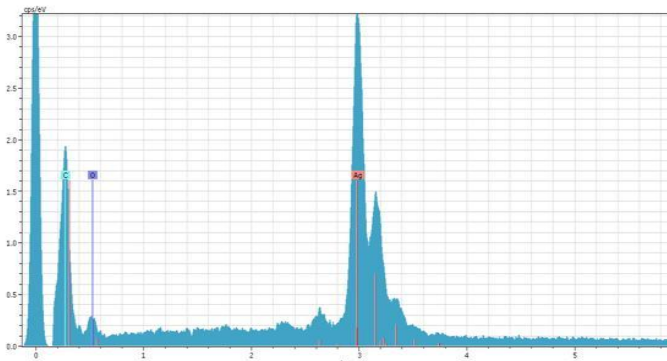
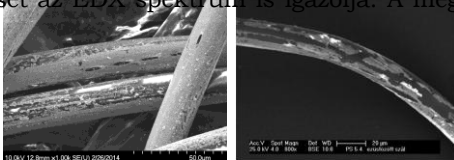




Elem	Intenzitás (c/s)	Atom Wt %	Tömeg	Mértékegység	
C	140,83	80,895	50,125	wt.%	
O	39,05	14,393	11,880	wt.%	
Pd	76,88	1,548	8,497	wt.%	
Ag	28,33	0,579	3,221	wt.%	
Au	29,95	2,586	26,277	wt.%	
		100,000	100,000	wt.%	Total

3. ábra. Pásztázó elektronmikroszkóppal készült képek az ezüst bevonatú PA filamenteket tartalmazó kelméről (100-, 500-, 2000-szeres nagyításban) és a róla készült EDX spektrum, ami az ezüst tartalmat mutatja. Az EDX mérés alapján számított elemi összetétel a táblázatban látható.

csökkenését az EDX spektrum is igazolja. A megszakadt



Elem	Intenzitás (c/s)	Atom Wt %	Tömeg	Mértékegység	
C	129,40	88,426	55,264	wt.%	
O	13,67	6,679	5,560	wt.%	
Pd	89,76	2,210	12,239	wt.%	
Ag	4,96	0,124	0,696	wt.%	
Au	24,19	2,560	26,240	wt.%	
		100,000	100,000	wt.%	Total

4. ábra. Pásztázó elektronmikroszkóppal készült képek az ezüst bevonatú PA filamenteket tartalmazó kelméről a 10. mosás után (500- és 800-szeres nagyításban) és a róla készült EDX spektrum, ami az ezüst tartalmat mutatja. Az EDX mérés alapján számított elemi összetétel a táblázatban látható.

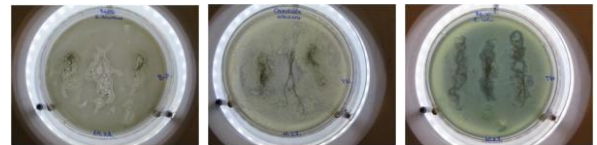
bevonat miatt a kelme ellenállása műszerünk felső méréshatárán kívül esett.

A SEM-EDX eredmények alapján felmerül a kérdés, hogy a kelmék antibakteriális hatásának eléréséhez elegendő mennyiségű ezüst marad-e a mosás után.

### 5.3 Az ezüstözött fonalak antimikrobás hatásának vizsgálata

A vizsgálandó mikroorganizmus előzetesen szelektív táptalajon elszaporított tiszta tenyészetéből  $10^8$  sejt/cm<sup>3</sup> töménységű szuszpenziókat állítottunk elő. A vizsgálandó ezüstfonalból steril eszközökkel kb. 5 cm hosszú kötegeket készítünk, majd szintén steril csipesszel a frissen leöntött táptalajba nyomtuk, szilárdulás után pedig egy köteget a táptalaj felületére is fektettünk.

A lemezeket 10 órára 10 °C-os hűtőszekrénybe helyeztük, majd 1-2 napos termosztátban végzett inkubációt követően vizsgáltuk a kötegek körül kialakuló gátló, vagy serkentő zónákat. Az 5. ábra az ezüstözött szál kötegek gátlási zónáját szemlélteti néhány vizsgált mikroorganizmus esetében.

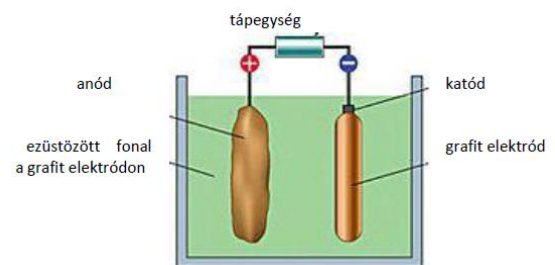


5. ábra. A vizsgált mikroorganizmusok közül a *Pseudomonas aeruginosa* és *Escherichia coli* esetében a gátlás a felületen és a táptalajban, míg *Candida albicans* esetében csak a felületen észlelhető. (A vizsgálatot a NYME-MÉK Élelmiszertudományi Intézetben végeztük.)

Az ezüstözött fonalak bevonatának sérülései nem befolyásolják a szálak antibakteriális hatását. Az elektronmikroszkóppal látható repedések, az ezüst mennyiségének csökkenése ellenére az antibakteriális hatás megmarad.

### 5.4 Az ezüst mennyiségének változása mosás után

A textíliákon levő ezüst mennyiségének meghatározására elektrolízist használtunk, kísérleti berendezésünk az elektrolizáló cella. Az elektrolizáló cella elektrolit oldatot tartalmaz (koncentrációja 270 ppm ami 0,5 mS/cm vezetőképességnek felel meg, mivel a szakirodalom [13] szerint 1 mS/cm vezetőképesség 500–600 mg/l ill. 0,5–0,6 g/l, vagy 500–600 ppm-nek felel meg), amelybe két elektród nyúlik, egymástól 2 cm-re. A két grafit elektród közé 4,5 V egyenfeszültségű áramforrást csatlakoztunk és az anódra ráhelyeztük az ezüst bevo-



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

tú kelmét. Az elektrolizáló cellában elhelyezett mintát 12 óra elteltével vízzel leöblítettük és száradás után vizsgáltuk, valamint megvizsgáltuk az elektrolit oldatot is.

Mosásonként 10 mérést végeztünk és a mérések átlageredményeit egész számra kerekítve mutatjuk be a IV. táblázatban.

A táblázatba rendezett eredmények alátámasztják az ellenállás mérésével kapott eredményeket, az 5. és a 10. mosás között csökken az elektrolízissal leválasztott ezüst mennyisége.

Az eredmények arra utalnak, hogy 12 óra után csökkent az oldat vezetőképessége, a fonalról leválasztott ezüst AgCl csapadék formájában az edény aljára ülepedett.

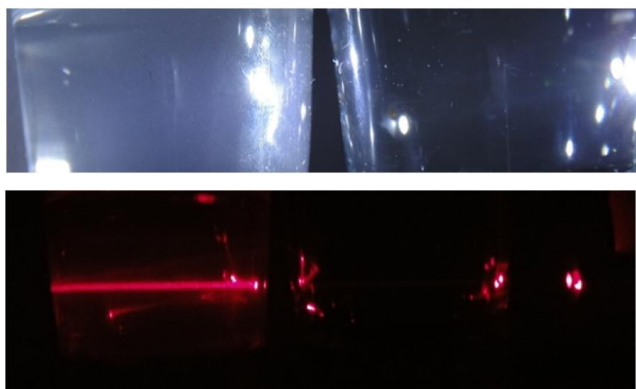
Az eredmények arra utaltak, hogy ezzel a módszerrel eredményesen eltávolítható a fonalakon levő ezüst. Az elektródok távolsága, a feszültség és az elektrolit oldat helyes beállításával mérhetővé válik a textiliákon levő ezüst mennyiségének és mennyiségének változása, a mosási ciklusok között.

Ilyen vizsgálatra, ami a textiliákon levő ezüst mennyiségének változására vonatkozik, a nemzetközi irodalomban nem találtunk utalást.

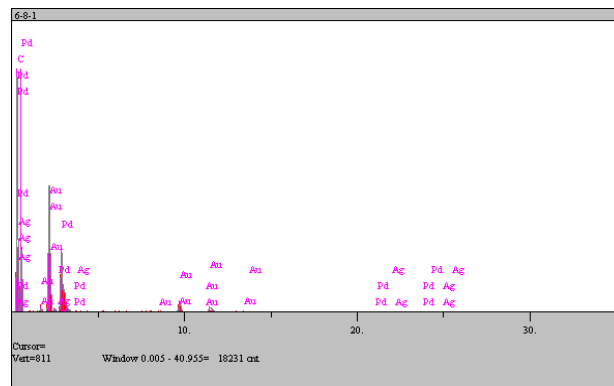
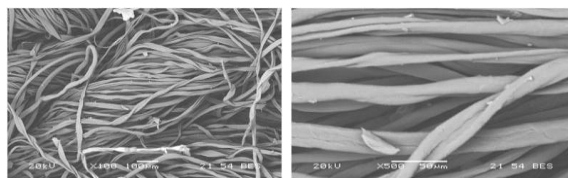
IV. táblázat. Az elektrolízisnek alávetett mosatlan és mosott ezüstözött fonalat tartalmazó kelme elektrolit oldat-koncentrációjának változása

Ezüstözött kelme	A kísérlet kezdetén (ppm)	3 óra elteltével (ppm)	6 óra elteltével (ppm)	9 óra elteltével (ppm)	12 óra elteltével (ppm)	15 óra elteltével (ppm)
Mosás után	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

A folyamat elkezdésekor az ezüstözött kelme körül tejes fehér köd képződik és az elektrolit a folyamat végére fehéres árnyalatot kap. Egy erős, koncentrált fényvel oldalról megvilágítottuk az oldatot, egy kúp alakú fénynyalábot láttunk. Ez a jelenség az úgynevezett Faraday-Tyndall-hatás, a kolloid oldatok oldalról megvilágítva fényszóródást, opalizálást mutatnak (7. ábra).



8. ábra Az elektrolit oldat megvilágítása lézerrésszel, balról elektrolízis után, jobbról elektrolízis előtt



Elem	Intenzitás (c/s)	Atom Wt %	Tömeg	Mértékegység	
C	455,77	79,052	60,399	wt.%	
O	121,76	18,843	19,178	wt.%	
Pd	149,94	1,033	6,992	wt.%	
Ag	0,00	0,000	0,000	wt.%	
Au	32,14	1,072	13,431	wt.%	
		100,000	100,00	wt.%	Total

9. ábra. Pásztázó elektronmikroszkóppal készült képek az ezüst bevonatú PA filament tartalmú kelméről elektrolízis után (100- és 500-szoros nagyítások) és a róla készült EDX spektrum, ami arra utal, hogy nincs ezüst a textilián.

Az elektrolit oldatban, elektrolízis után láthatóvá vált a lézerréss útja (8. ábra).

Az elektrolízis után megvizsgáltuk az ezüstözött fonalat tartalmazó kelméket ismételt SEM-EDX méréssel (9. ábra). A kísérlet után a kelméken nem volt kimutatható ezüst. A SEM képen nem különült el az ezüstözött PA, az EDX spektrumon ezüst nem észlelhető. Ez azt jelenti, hogy ezzel az új módszerrel kitűnően eltávolítható a mosás után a fonalon maradt ezüst, mérhető a víz vezetőképességének változása és a vízbe került ezüst mennyisége.

## Összefoglalás

Megállapítottuk, hogy a textiliákon levő ezüst mennyisége a mosások során változik. Az eddigi tanulmányok a mosóvízbe kerülő ezüst mennyiségét tanulmányozták, valamint az antibakteriális hatást bizonyították. Ezzel az új módszerrel kontrollálható a még kelmén levő ezüst mennyisége, ellenőrizhető a mosások közötti ezüst mennyiség változása. A módszer eredményeképpen a kelméről eltávolított ezüst mennyisége az elektrolit vezetőképességét az ezüst mennyiségének függvényében növeli. Elektrolízissal el tudjuk távolítani a kelmén levő ezüstöt, olyan mértékig, hogy a SEM-EDX mérés ezüstöt nem regisztrál a kelmén. Így meghatározható a kelmén levő ezüst mennyisége és mennyiségének változása.

## Felhasznált szakirodalom

- [1] Peggy Prinz Luebbert MS, MT(ASCP), CIC, CHSP: Soft Surface Bacterial Contamination: Considerations for a

- Complete Infection Prevention Program  
<http://www.infectionpreventiontextiles.com/blog/tag/soft-surface-fabrics/>
- [2] Cohen B, et al, Factors associated with variation in estimates of the cost of resistant infections, *Med.Care* 48 (2010) 9, 767-75
- [3] Grancaric A.M. et al. Antimicrobial Protection of of proceedings 6th Autex 2006 World Textile Conference (ed. Oxenham, W.), Raleigh, North Carolina university, College of Textiles, 2006.100-106
- [4] Gong P.et al: Tan Preparation and antibacterial activity of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and Ag nanoparticles, *Nanotechnology* 18 (2007) 604-611  
<http://www.rezangyal.hu/>
- [6] <https://www.silverinstitute.org/site/silver-in-technology/silver-in-nanotechnology/>
- [7] Michielsen S.: Approaches to Controlling Micro-Organisms in Hospital Textiles, Conference Proceedings Medical Textiles 2004 Pittsburgh, Pennsylvania USA oct.26-27.2004.
- [8] Castellano J.J.et al.: comparative evaluation of silver-containing antimicrobial dressing and drugs, *Int Wound J.* 4 (2007)2, 114-122
- [9] Sondi I. et al.: Preparation of highly concentrated stable dispersions of uniform silver nanoparticles, *J. Colloid and Interface Sci.* 260 (2003) 34-38
- [10] Peggy Prinz Luebbert MS, MT(ASCP), CIC, CHSP: Soft Surface Bacterial Contamination: Considerations for a Complete Infection Prevention Program  
<http://www.phil-e-slide-uk.com/admin/resources/noblex-staticwhitepaper.pdf>
- [11] Environmental Health News – Silver nanoparticles stop sperm stem cell growth.  
<http://www.environmentalhealthnews.org/ehs/news/science/silver-nanoparticles-impair-sperm-stem-cell-signals>
- [12] [http://levego.hu/hirlevelek/vegyi\\_anyag/2010/09/vegyi\\_anyag\\_hirlevel\\_2010\\_szeptember](http://levego.hu/hirlevelek/vegyi_anyag/2010/09/vegyi_anyag_hirlevel_2010_szeptember)
- [13] Kis-Csitári Judit: Antibakteriális textiliák előállítása ezüst nanorészecskék felhasználásával. *Magyar Textiltechnika* LXIII. évf. 2010/1/ 2-5. old.
- [14] Geranio, M. Heuberger, B. Nowack: The Behavior of Silver Nanotextiles during Washing *Environ. Sci. Technol.* 2009.43:8113-8118.)