

A jelen és a jövő arcmaszkjai Ha már viselni kell, legyen okos!

A járvány legelején a távolságtartás mellett a gyakori kézmosás és az arcmaszk kötelező viselete vált mindenütt a védekezés fő stratégiájává. Ez utóbbiak mostanra olyannyira a mindennapi életünk részévé váltak, mint a lakáskulcs, vagy a telefon, amelyek nélkül már ki sem lépünk a kapun. A maszk a megfelelő átoltottság és nyájimmunitás eléréséig egy áthidaló megoldást jelent, de sajnos egy jó ideig még biztosan nem szabadulunk tőle.

A világjárvány egy korábban nem tapasztalt stresszhelyzetet jelent mindenki számára. Az a magatehetetlenség, hogy ezt a stresszort nem tudjuk megszüntetni, sokakból irracionális megküzdési stratégiákat vált ki. Sokan szabálykövetők, de mások az orruk alá húzzák (innenről persze az nem is ér semmit), vannak, akik tüntetnek ellene és ott vannak azok is, akik összeesküvés-elméleteket terjesztenek. Ilyen, hogy a maszkokból mikroférgek jönnek elő a mosás során, vagy hogy széndioxid-mérgezést kapunk tőlük, amelyekből természetesen semmi sem igaz. A valóság sokkal rémisztőbb ezeknél a konteóknál: a maszk valamelyik oldalán ott lehet a potenciálisan halálos kórokozó. Éppen ezért foglalkozni kell azzal, hogy az arcmaszkok mennyire védenek meg bennünket és másokat, illetve hogy melyek az aktuális trendek. Ha a jövő maszkjaiba 5G-t és nanorobotokat nem is ígérünk, de kutatócsapatunk nanoszálás szűrőrétegeket, könnyen átlélegezhető, kényelmes viseletet, környezetbarát anyagokat, részben átlátszó kivitelű, diagnosztikai funkciókat és vezeték nélküli kapcsolatot egyaránt kínálhat.

Hogyan védenek?

A szabványokat és minősítési módszereket még a „régiben világban” (amikor még rendezvényekre jártunk, kezet fogtunk egymással), egy más szemlélet szerint állították össze. A respirátor maszkok (pl. FFP-típusok) eredeti funkciója a szálló por elleni védelem, míg az egészségügyi (sebészeti) maszkoké a betegek védelme, pl. műtétek során. A járvány elején így csak tapogatóztak, hogy a koronavírus esetében melyik típusú maszk pontosan mire is képes.

A SARS-CoV-2 egy RNS-vírus, alakját tekintve egy kb. 80-200 nm átmérőjű, kifelé tüskés gömb. A vírus akkor fertőz, ha egy bizonyos koncentrációban (mértéke jelenleg is vita tárgyát képezi) bejut a szervezetbe: a szembe, szájba, tüdőbe. Egyrészt cseppfertőzéssel terjed, vagyis $\geq 5 \mu\text{m}$ méretű nyálcseppcseppben van maga a vírus, és köhögéssel, tüsszentéssel, beszéd során stb. adjuk tovább. Másrészt a levegőben tartósan lebegni képes aeroszolok ($< 5 \mu\text{m}$ -es részecskék) útján is fertőzni képes. Zárt térben különösen nagy vironkoncentráció tud kialakulni az aeroszolok révén, ezért fontos gyakran szellőztetni.

Az elsődleges védelmi feladatot az arcmaszk szűrőrétegei látják el, melyet kívülről és belülről egy-egy lazább szerkezetű, nem bolyhosodó réteggel óvnak. A jól szűrő arcmaszkokban nemszőtt textíliákat használnak. A szálak ezekben a kelmékben rendezetlenül helyezkednek el, a közöttük lévő apró pórusokon tud keresztáramlani a levegő. Az $5\text{-}10 \mu\text{m}$ átmérőjű szálak közötti pórusok mérete változatos, de legfeljebb pár μm . Több szűrőréteg alkalmazása esetén ráadásul ezek a pórusok fedésbe is kerülnek. A szöveteknek és kötött kelméknek ezzel szemben az a hátránya, hogy a fonalak keresztesződéseinek nagyon nagy lyukak vannak, amelyeken akár $10\text{-}50 \mu\text{m}$ -es cseppek is átférnek. Ha otthon varrunk maszkot, éppen ezért célszerű ezekbe is egy réteg ilyen nemszőtt textíliát (szálpaplant, szálbundát)

teni. Alapanyagként jellemzően polipropilént használnak, amely kőolajalapú, olcsó, könnyű belőle nemszőtt textíliákat gyártani, pl. ömledékfúvással. Évente kb. 70 millió tonna mennyiségben használják fel zsinegekhez, flakonokhoz, dobozokhoz és egyéb fröccsöntött termékekhez stb. Magyarországon szelektíven gyűjtjük. Jó víztaszító anyag, vagyis kevésbé jelent gondot a lélegzetünkéből kicsapódó pára, mint mondjuk egy jó nedvszívó anyag, pl. pamut esetén.

A maszkok a levegőt különféle hatásmechanizmusokkal szűrik meg. A nagyobb részecskék tehetetlenségüknél fogva nem tudják a levegő áramvonalait követni a pórusok közé, így gyakran nekiütköznek a szálaknak. A kisebb részecskék viszont a légárammal együtt jutnak a pórusokba, és ott, mint egy szitán akadhatnak fenn. A kisebb szálátmérők, kisebb pórusok kedveznek ennek a folyamatnak. A nagyon kis (0,1 μm alatti) részecskék véletlenszerű, Brown-mozgást is végeznek, vagyis nem igazán az áramvonalak mentén mozognak. Ezek egy része előbb-utóbb szintén fennakad a szálakon, amelyekhez aztán van der Waals erővel kötődik. Az úgynevezett electret szűrőkben a szálakat előre feltöltik elektrosztatikusan, ami vonzza az apró részecskéket (gondoljuk a porosodó televíziókra). Ez különösen az 1 μm -nél kisebb szemcsék esetén kedvező. A sztatikus töltődés időbeni csökkenésével az electret szűrők hatékonysága is csökken (nem véletlenül egyszerűen használatos a legtöbb ilyen maszk is).

A szűrési hatékonyság szabványos vizsgálata során egy porlasztófej segítségével szilárd sószemcséket (NaCl), vagy olajcseppeket állítanak elő és levegővel keverik. Az így kapott aeroszol szemcsék átlagos mérete csupán 300 nm (0,3 μm). Általában a normál légzésnél intenzívebb, de állandó és egyirányú légáram mellett (pl. 80 liter/perc) mérnek. A maszknak ki kell tudnia szűrni a részecskék legalább 80%-át az FFP1 minősítéshez, míg FFP2-hez 94%-ot, N95 és KN95-höz 95%-ot, FFP3-hoz pedig 99%-ot. Az egészségügyi maszkoknál kevésbé szigorú a szabvány (pl. 55%). Persze, ha nem szabványos, hanem nagyobb szemcsékkel vizsgálódunk, akkor azokat könnyebb kiszűrni. Ezért például egy sebészeti maszk az 1,25 μm -es baktériumoknak már kb. 97%-át képes megfogni, míg egy pamutszövet is 70% körül teljesít.

Az ember több ezer aeroszol szemcsét szív be minden egyes lélegzetvétellel. A városi levegő szemcséinek mérete változatos, a medián érték körülbelül 500 nm (0,5 μm), a szabványosnál eleve nagyobb. A vírus az aeroszol szemcsékben lehet benne, vagy hozzátapadhat azokhoz. Általában azonban a vírus a nagyobb, néhány mikrométeres szemcsékkel hajlamosabb terjedni, vagyis alapvetően ezeket kell megfelelően kiszűrni. Ezért a maszkok szűrési hatékonysága egy nagyságrenddel jobb lehet a százalékban megadott értéknél, ha a koronavírusra vonatkoztatjuk azt.

A minősítés során vizsgálják a nyomásesést is, vagyis a bevizsgált maszk egészséges embereknél nem okoz semmilyen légzési problémát. A respirátor maszk megfelelően illeszkedik az arcra. A szabvány szerint az FFP1-nél 22%; FFP2, N95 és KN95 maszkoknál 8%, míg FFP3 maszkoknál 2% a maszk és az arc közt bejutó, szűretlen levegő maximális mértéke. Ez persze csak akkor ennyi, ha az arcformánk nem tér el túlságosan a vizsgálati próbababáétól, nem viselünk arcszűrőzetet és az orrdrótot is alaposan lesimítettük (az utóbbi kettő rajtunk múlik). A sebészeti, illetve otthon varrt maszkoknak ez az Achilles-sarka: ott a jó illeszkedés nem kritérium, így sok nem szűrte levegő is bejut. A szelepes maszkok esetében pedig a saját bioaeroszolunk jut ki könnyen a levegőbe a szelepen át kilégzésnél, és tovább fertőzhet másokat (a szerző éppen ezért nem tartja etikusnak ezek viselését).

Pillekönnyű fátyol

A szűrési hatékonyság és könnyű átlélegezhetőség nagyban múlik a pórusok és a szálak méretén. Éppen ezért az utóbbi időben több helyen is elkezdtek aktívan foglalkozni azzal, hogy az ömledékfúvással előállított szűrőrétegek helyett nanoszálmas maszkokat állítsanak elő. A szálakat jellemzően elektro-szálképzéssel állítják elő, polimerek oldatából. A technológia során a polimeroldatot elektrosztatikusan feltöltik (több tízezer kV feszültséggel), az egymást taszító töltések a folyadékot vékony szálakká vetik szét és nyújtják meg. Az eredmény egy olyan, pillékönnyű, fátyolszerű, összefüggő anyag, ami könnyen átlélegezhető. A textília folytonos, egymással összehegedt szálakból áll, így biztonságosnak tekinthető. A nanopórusok a sokkal kisebb aeroszol szemcséket is megfogják, a nanoszálak pedig nagy felületükön több szemcsét képesek megkötni. A technológia módosításán keresztül, amivel már egy évtizede foglalkozunk, nagy termelékenységgé érhető el. Nanoszálmas maszkokat többek között Csehországban, Japánban, Kínában és Koreában is állítottak elő, és van, ahol már kereskedelmi forgalomba is került. A BME Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszékén a nanoszálmas szövetek és egyéb nemszőtt textíliák területén nagy tapasztalattal rendelkezünk. Már 2020. januárjában elkezdtünk azzal foglalkozni, hogy ezt a tudást maszkokban hasznosítsuk. Első körben a nanoszálmas maszk prototípusáig jutottunk, amikor is egyre újabb és újabb ötleteink támadtak.

Mivel a nanoszálak sérülékenyek, ezért jelenleg a nano- és mikroszálak szimultán előállításán dolgozunk. Ennek a szerkezetnek az az előnye, hogy a mikroszálak megvédik a sokkal vékonyabb nanoszálakat, miközben a nanoszálak a mikroszálak közötti pórusokat további, kisebb pórusokra tagolják szét. Mivel a pórusméret jelentősen csökken, a fajlagos felület (ahol az aeroszol részecskéket megköjtjük) pedig nő, ezért várhatóan a szűrési hatékonyság is lényegesen nő, miközben nem lesz nehezebb átlélegezni. Sokszor látni a hírekben olyan képeket, hogy a használt maszkok az élővizekben végzik. A szintetikus-alapú maszkok ártalmatlanítása és újrahasznosítása elsősorban az infrastruktúra és az igények hiánya miatt jelent problémát a fejlődő országokban. Az eldobott maszkok fertőzésveszélyét nem tudjuk kiküszöbölni, de szükséges egy olyan alternatívát kínálni, amely legalább lebomlik. A nano- és mikroszálak alapanyagként éppen ezért politejsavat és polibutilén-szukcinátot használunk. Mindkettő előállítható megújuló forrásból és lebontható biológiai úton.

A tanszéken 3D nyomtatás és nanoszálak kombinációjával egy különleges szűrőanyagot is előállítottunk. Az ún. FDM-rendszerű 3D nyomtató kb. 0,1 mm átmérőjű ömledékszálakból építi fel a térbeli modellt, a nyomtatás során ezek hamar lehűlnek és megszilárdulnak. Egy nanoszálrétegre egy finom rácsot nyomtattunk rá ilyen módon. A rács és a nanoszálak anyaga ugyanaz a politejsav volt, így azok szépen összehegedtek. A finom rács megvédi a közötte kifeszülő nanoszálakat, hajlékony, és elvben tetszőleges alakban készíthető. Körülbelül úgy szűr, mint egy egészségügyi maszk, miközben könnyű átlélegezni és a részben átlátszó struktúrájának köszönhetően (ha kicsit homályosan is, de) akár egymás arcát is láthatjuk.

Beépített légzésfigyelő

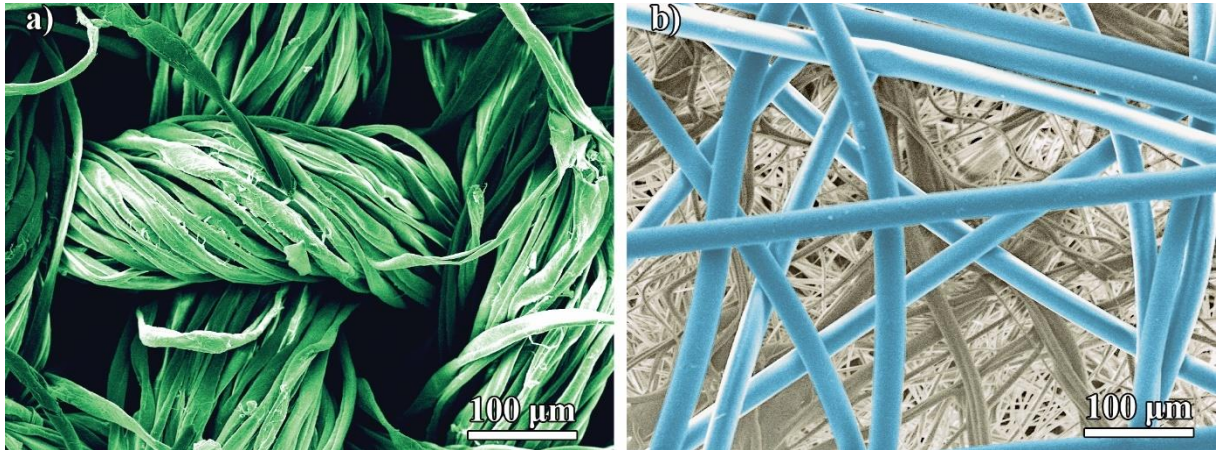
Találmányi bejelentést tettünk egy légzésfigyelő szenzorra is, amely triboelektromos elven működik. Ezt a szenzort maszkokba tudjuk beépíteni, például a kerek szelep helyére. A szenzor sajátossága, hogy két nanoszálmembránt tartalmaz, amelyek a kilégzés és belégzés során egymáson súrlódnak, miközben elektromos jelet generálnak. A szenzor maga nem igényel külső tápellátást és további érdekessége, hogy a szenzort felépítő nanoszálak mindkét irányban szűrnek a levegőt, az FFP2/KN95 maszkokénál is jobb hatékonysággal. A könnyű átlélegezhetőség mellett ez lehetővé teszi a légzési paraméterek monitorozását (kilégzés/belégzés ideje, intenzitása), így a viselőjének az állapota nyomon követhető. A maszkba épített szenzor működését egyrészt a BME saját fejlesztésű lélegeztetőgépén (ahol

a ki- és belégzés reprodukálhatóan szimulálható), másrészt pedig egy futópadon, egy tesztalanyon is elemeztük. Az eredmények azt mutatják, hogy a szenzor megfelelően mér, tartósan és megbízhatóan működik. He Haijun és Guo Jian doktorandusz kollégáim egy formálódó startup keretében azon dolgoznak éppen, hogy a szenzor vezeték nélkül (pl. Bluetooth-on keresztül) továbbítsa az adatokat, majd egy applikáció elemezze ezeket. Erre az elemzési feladatra, akár mesterséges intelligencia is használható, amely az embereknél hatékonyabban ismer fel bizonyos mintázatokat az adatokban. Azt várjuk, hogy ebből idejekorán következteni lehet különböző akut megbetegedésekre és krónikus folyamatokra.

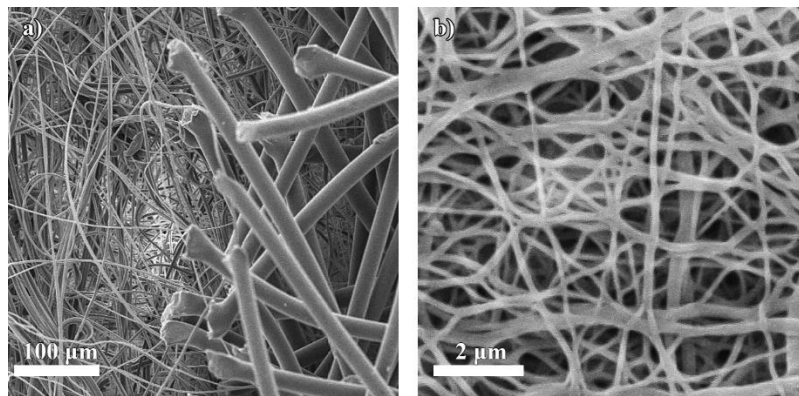
Ha a maszk légzési rendellenességre utaló jeleket tapasztal, akkor telefonos értesítést tud küldeni a viselőjének, vagy akár a kezelőorvosának is. Ha már úgylis kötelező maszkot hordani, akkor a nanoszálalagos okosmaszk használata egyben praktikus is, hiszen számos betegség megelőzésében és korai felismerésében lehet szerepe a jövőben.

Molnár Kolos,
adjunktus, BME Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék

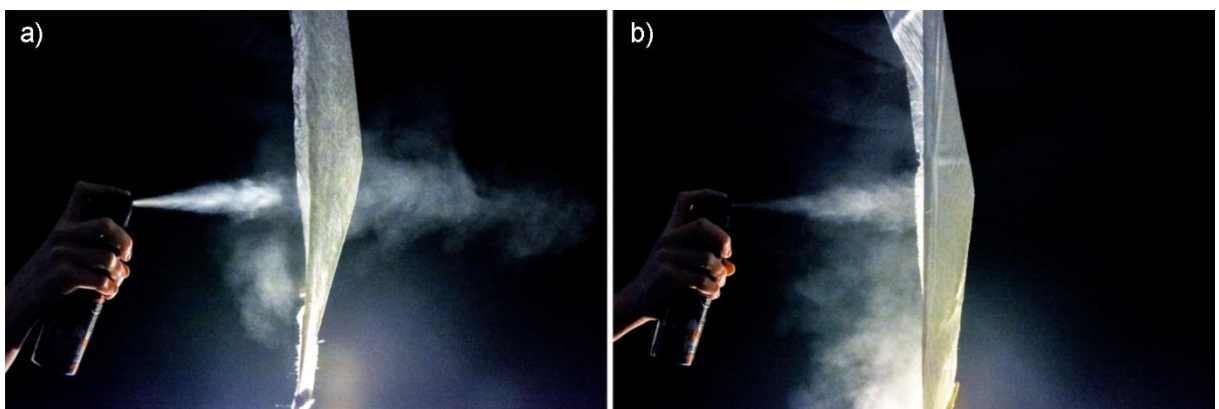
A kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-05 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs alapról finanszírozott szakmai támogatásával készült.



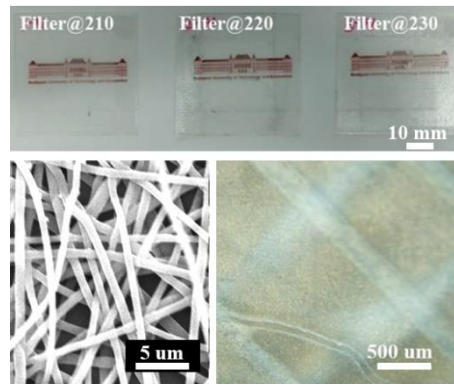
1. ábra: Egy szövet és egy egészségügyi maszk színezett elektronmikroszkópi képei



2. ábra: Egy FFP3-as maszk, amelynek a külső rétegét részben lefejtettük (a) valamint egy sokkal finomabb, nanoszálak szűrő (b) képe.



3. ábra: Ennyire szűri meg az aeroszolos dezodort egy vékony nemszőtt kelme (a) és ugyanaz nanoszálakkal bevonva (b)



4. ábra: Az átlátszó maszk szűrőanyag