

BAKTÉRIUMOK A BELTÉRI LEVEGŐBEN

Cikksorozatunk előző részeiben már megismerkedtünk a beltéri levegő két legfőbb biológiai eredetű szennyezőjével, a poratkákkal és a penészgombákkal. Az utóbbiak a szellőztető-berendezésekben is képesek megtelepedni, és – kihasználva az új környezeti adottságokat – szennyezik az áramoltatott levegőt, fertőzve, károsítva az épületet és a benne lakókat. Hasonlóan a gombákhoz, a baktériumok is képesek alkalmazkodni az épületgépészeti berendezésekben uralkodó körülményekhez.

A baktériumok az ősidőktől kezdve kísérőink. Nem csupán szervezetünk védekező rendszerével, hanem lakókörnyezetünkkel is együtt változtak, folyamatosan alkalmazkodva a körülményekhez, a barlanglakástól a fűtött otthonokon át a légkondicionált irodaházakig. Egyes baktériumok túlélési, szaporodási, terjedési stratégiájának egyre inkább a beltéri környezet kedvezett. A mikroorganizmusok természetes kiválasztódása az irodaépületekben is folytatódik. Kedvezőbb körülmények fogadják itt azokat a fajokat, melyek a közvetlen napsugárzástól védett, magasabb páratartalmú helyeken képesek fennmaradni, légi úton gyorsan terjednek – ez utóbbiak a szellőzőrendszerek nyújtotta kedvező lehetőségeket használják ki.

A baktériumfajok alkalmazkodása környezetünkhez minden bizonnyal tovább folytatódik: a jövő kupolavárosai, holdbázisai szintén kialakítják majd a maguk kórokozóit. (Erre utalnak a Nemzetközi Űrállomáson végzett aerobiológiai vizsgálatok is.) Számos szelekciós tényező alakítja ma is a beltér élővilágát – fertőtlenítőszeres, épületanyagok stb. –, e cikkben a beltéri levegőminőséget biztosító eljárásokat emeljük ki ilyen szempontból.

A légszűrők a legtöbb biológiai eredetű részecske számára áthatolhatatlan akadályt jelentenek. A HEPA szűrőkön csak a legkisebbek, vírusok vagy baktériumok juthatnak át, így a szelekció a kisméretű mikroorganizmusok javára dől el. Azok a fajok, amelyek képesek rövid ideig átvészelnél a fűtő-hűtő berendezések alacsony,

illetve magas hőmérsékletét, szintén előnybe kerülnek. Kedvezőtlen időszakot jelent az is egy kórokozó számára, ha a gazdaszervezete nincs jelen a környezetében. Ezt a helyzetet számos kórokozó át tudja vészelnél inaktív állapotban; e fajok az olyan épületekben szereznek előnyt versenytársaikkal szemben, melyek rendszeresen, hosszabb-rövidebb ideig üresen állnak (például a munkahelyek naponta 8-10 órán át, illetve hétvégén, 48 órán keresztül zárva vannak). A TBC kórokozója (*Mycobacterium tuberculosis*) ezt az időszakot képes túlélni a bútorfelületeken.

A levegőfertőtlenítési eljárások (például UV fény alkalmazása) esetén pontosan be kell tartani az alkalmazás előírásait, mert az elvártnál gyengébb hatások esetén a kórokozókat érő szelekciós nyomás gyengül, így – akár csak az antibiotikumok esetében – könnyebben kialakulnak a későbbi kezelésnek ellenálló (rezisztens) kórokozó-törzsek. Amennyiben a fertőtlenítést nem végzik megfelelően, később már nem lehet a módszert eredményesen használni. A jövőben egyre nagyobb problémát fog okozni, hogy súlyos fertőzéseket okozó antibiotikum-rezisztens baktériumtörzsek alakulnak ki a kórházakban (például a *Staphylococcus aureus* esetében), és onnan kiszabadulva megjelennek például a lakóépületek levegőjében is.

A légkondicionáló berendezések rendszeres ellenőrzése és tisztítása is fontos feladat. A nem megfelelően behelyezett vagy sérült szűrő már nem képes a kórokozókat kívül tartani. A szennyezett



szűrő használata pedig nemcsak gazdaságtalan, hanem egészségtelen is. A légkondicionáló berendezés számos fertőzést okozó mikroorganizmus számára biztosít kedvező életfeltételeket. Erre a legjobb hely a beltéri egységek hűtőbordáin és csepegtetőtálcáin megjelenő biofilmréteg.

A biofilm: a baktériumok erődítménye

A biofilm vízi környezetben lévő felületen alakul ki, szerves és szervetlen anyagokból. Számos fajból álló közösségüket az általuk kiválasztott extracelluláris po-



Az irodaépületekben kedvezőbb körülmények fogadják azokat a fajokot, melyek a közvetlen napsugárzástól védett, magasabb páratartalmú helyeken képesek fennmaradni.

limerekből (EPS) álló kocsonyás bevonat tartja össze. A mikroorganizmusok között bonyolult kölcsönhatások zajlanak. Az EPS komoly védettséget biztosít a környezet kedvezőtlen hatásaival szemben a beleágyazódott élőlények számára, biztosítja a sejtek közötti kommunikációt, valamint képes energiát tárolni a sejtek számára. Felületén a vízben lebegő szennyezőanyagokat megköti, melyek aztán beleépülnek.

Az itt található élőlények általában ellenállóbbak a környezeti hatások változásaival szemben, mint a szuszpendált szer-

vezetek. A biofilmben zárkózott mikroorganizmusok védettebbek a fertőtlenítő szerekkel szemben is. A hozzáadott klór jelentős része nem a fertőtlenítésre használódik el, hanem az EPS-sel reagál, illetve csak a biofilm felületén lévő élőlényeket pusztítja el, míg a mélyebb, védett rétegeiben élő baktériumokhoz nem jut el.

Az érett biofilm a felületről leválhat a vízáram hatására. A folyamatosan leszakadó, kórokozókat tartalmazó darabkák rontják a víz minőségét. A biofilm a hidraulikai kapacitást is csökkentheti, mikrobiológiai korróziót is okozhat. A kialakult

IRODALOM

Bognár Cs., Kádár M., Senoner Zs., Lukács J., Dr. Szántai E., Mag T., Tarján E. (2001): Legionellosis Magyarországon. *Focus Medicinæ* 3(2): 27-30.

Szánthó Z. (2005): Legionella, az épületgépész-kór. *HKL* 5.

Rada B. (2003): A legionáriusbetegség. *Természet Világa*, 134(10).

Rintala H., Pitkäranta M., Toivola M., Paulin L., Nevalainen A. (2008): Diversity and seasonal dynamics of bacterial community in indoor environment. *BMC Microbiology* 8:56

A LEGIONELLÁK SZÁMÁRA KEDVEZŐ KÖRÜLMÉNYEK:

- vízhőmérséklet 20-50 °C (optimum: 37-42 °C),
- pH 2.0-8.5,
- pangó, szennyezett víz,
- amőbák jelenléte a vízben.

ÁLTALÁNOS TERVEZÉSI TANÁCSOK:

1. Magas (>60 °C) vízhőmérséklet.
2. A lehetséges aeroszolképződés felderítése, megszüntetése.
3. Hosszabb idejű víztározás, vízpangás kiküszöbölése.
4. Rendszeres ellenőrzés.
5. A beltéri relatív páratartalmat tartsuk 70% alatt.
Ahol hideg felületek alakultak ki, ott ezt az értéket csökkentsük 50% alá.

biofilm eltávolításához mechanikai tisztítás szükséges, és csak ezt követően jöhet a fertőtlenítés. A víz és a belső felületek rendszeres tisztítása jelentősen csökkenti a biofilm kialakulásának kockázatát.

A biofilmben élő és elpusztult mikroorganizmusok tömege található, benne többféle káros gomba (Aspergillus, Cephalosporium, Cladosporium, Fusarium, Mucor, Penicillium, Rhodotorula, Trichoderma), protozoa (Acanthamoeba, Vorticella) és baktérium (Legionella, Actinomyces,

Legionella pneumophila



Blastobacter, Flavobacterium, Pseudomonas) fordul elő. A vízben élő baktériumok egy része poliszacharid-tartalmú váladékot termel, mely váladék elősegíti a baktériumok megtapadását a felületeken. A baktériumokat körülvevő kocsonyás mátrix a biofilm kialakulásának alapja.

Az aggregációt megkönnyíti a speciális tulajdonságokkal rendelkező Pseudomonas baktériumok jelenléte. E szervezetek felszíni vizekben, szennyvízben és szennyezett ivóvízben közönségesen megtalálhatók. A Pseudomonas aeruginosa baktérium nedves környezetben, minimális szerves anyag jelenlétében is képes szaporodni, optimálisan növekszik 35-37 °C-on. A kórházban ápolott betegekben, különösen, ha ez az intenzív osztályon történik, a Pseudomonas súlyos tüdőgyulladást és más fertőzéseket is képes okozni. A klímaberendezésekben élő baktériumok közül azonban a leghírhedtebbek legionellák. E nemzetségbe jelenleg csaknem 50 faj tartozik; itt a leggyakoribb kórokozó faj a Legionella pneumophila.

A legionellák és amőbák harca a klímaberendezésekben

A legionellák természetes élőhelyei a patak, tavak, talaj- és szennyvizek; de mindenhol a langyosabb, melegebb vizes környezetet részesítik előnyben (például a Yellowstone Nemzeti Park hőforrásaiban is kimutathatók). E vizekben a szintén ott élő, „gyanútlan” amőbákkal bekebelezte magukat, azonban az emésztést nemcsak túlélnek, hanem az amőba sejten belüli élősködőjévé is válnak, benne kis kamrák képeznek, s ott szaporodnak, majd gazdájuk testét szétszakítva kirajzanak.

Az amőbák olyan tulajdonsággal rendelkeznek, hogy kedvezőtlen körülmények közé kerülve betokozódnak, úgynevezett cisztát képeznek. Amennyiben ezek az amőbák legionellával fertőzöttek, akkor azokat „saját testükkel” védik a káros kémiai és hőhatásoktól. A legionellákra ezért a víz minősége és összetétele alig van hatással. Ellenálló a vízművekben alkalmazott klóros és ózonos fertőtlenítési eljárásokkal szemben is.

A legionellák elleni védekezés legeredményesebb módja, ha a vizet 60 °C-ra vagy afeletti hőmérsékletre melegítjük. A hőkezelés, az UV-sugaras és vegyszeres kezelés hatékonyságát csökkentik a vízben lévő szennyeződések. Legkedvezőbb számukra a 37-42 °C-os hőmérséklet.

A légúti fertőzés legvalószínűbb módja a legionellákat vagy a fertőzött amőbákat tartalmazó aeroszol méretű vízcseppek

belélegzése, ezeket a cseppátca felett áramló levegő ragadhatja fel a vízből, vagy ha rossz a kondenzvíz-elvezetés, akkor a beltéri egység ventilátora porlaszthatja a levegőbe.

A Legionella baktériumok okozta tünetegyüttest legionellózisnak hívják, ennek kétféle klinikai formája a Pontiac-láz és a légionáriusbetegség. A Pontiac-láz nevét az első, 1968-ban lezajlott járvány után kapta, mely egy Pontiac nevű városban (Michigan) ütötte fel a fejét. Kevésbé súlyos lefolyású, mivel tüdőgyulladás nem alakul ki: a tünetek néhány órától 2-3 napig tartó lappangási idő után jelennek meg, csupán enyhébb légúti panaszok, fejfájás, láz, rossz közérzet, izomfájdalom, esetleg köhögés, nátha formájában, majd néhány nap után a beteg általában magától gyógyul.

A légionáriusbetegség a fertőzés súlyosabb, tüdőgyulladással (pneumonia) járó változata. E betegség az amerikai háborús veterán légiósok 1976. évi közgyűlésén, egy philadelphiai szállodában sújtott le először (innen a Legionella elnevezés). A baktérium ekkor mintegy 200 megbetegedést és 29 halálesetet okozott. Kezdetben a hatóságok terrorcselekményre gyanakodtak, míg az új kórokozót fel nem fedezték. A fertőzés forrása az a víztartály volt, mely a szálloda légkondicionáló berendezését látta el. A betegség kezdeti tünetei az influenzához hasonlítanak: magas láz, hidegrázás, fejfájás, levertség, fáradékonyság, izomfájdalom, hányás, száraz köhögés, nehéz légzés, mellkas- és hasfájdalom, emellett felléphet depresszió, aluszékonyság, tudatzavar. Amennyiben a baktériumok a keringésbe is bejutnak, más szervek működését is megzavarják, ekkor szívizom- és szívbírtá-, vagy hashártá-, vese-, hasnyálmirigy-gyulladás, illetve májkárosodás léphet fel, mint szövődmény. A lappangási idő hosszabb, mint a Pontiac-láz esetében (2-10 nap), kimenetele pedig végzetes is lehet (a halálozási arány 5-30%).

Az emberi szervezetbe került Legionella baktériumok hasonló módon viselkednek, mint a vizekben, de itt az amőbák helyett a tüdő „biztonsági őreit”, a falósejteket csapják be. Ekkor pontosan úgy tesznek, mint a vízben az amőbákkal: a falósejtet arra készítetik, hogy bekebelezze őket, benne elszaporodnak, majd a gazdasejtet kilyuggatva kirajzanak újabb áldozatok után kutatva. A tüdőben így egyre növekszik a számuk, és ez tüdőgyulladáshoz vezet. A legionellát mint „épületgépész-kórt” is emlegetik. Felfe-

dezése óta jelentős technológiai módosításokat kellett bevezetni. A védekezés módszereiről további hasznos információkat található e lap korábbi számában (Szánthó 2005).

A legionellák gazdaszervezetei, az amőbák sem ártalmatlan jószágok: az Acanthamoeba nemzetségben például számos kórokozót találhatunk (jellegzetes betegséget, keratitiszt okoznak a kontaktlencsét viselők körében), de ritkán életveszélyes megbetegedéseket is okoznak. Gyakorik a talajban, folyókban, tengervízben, hévforrásokban – és a párásító berendezéseket is kedvelik.

Baktériumok a háziporban

Baktériumok nem csupán a beporlasztott vízzel kerülhetnek a beltéri levegőbe, nagy mennyiségben található a háziporban is. Önmagukban rövid ideig életképesek, de gyakran nagyobb részecskékre tapadva szállnak a légkörben. A házipor a baktériumok sejtfalából származó mérgező hatású anyagokat, úgynevezett endotoxinokat is tartalmaz; ezek a baktérium sérülésével szabadulnak ki. Egy iowai vizsgálatban több mint 2500 házipormintát elemezve kimutatták, hogy az endotoxin-koncentráció és az asztma között szoros összefüggés mutatható ki. Az endotoxin-koncentráció a konyhában és a nappali szobában volt a legmagasabb, a hálószobapadlóról és az ágyról gyűjtött pormintákban pedig a legalacsonyabb, mégis ez utóbbiak mutattak összefüggést a betegséggel. Akik tehát kevesebb endotoxint tartalmazó port lélegeztek be, hajlamosabbak voltak az asztma kialakulására, azok pedig, akik több endotoxinhoz jutottak, bizonyos fokú védettségre tettek szert. Egyes nézetek szerint ezek az anyagok megakadályozhatják a betegség kifejlődését.

A beltéri környezet mikrobiális közösségeinek összetételéről, főként a baktériumokról ma még igen keveset tudunk. Ismereink nagyrészt olyan tenyésztési módszerek eredményein alapulnak, amelyekkel csak a jelenlévő fajok körülbelül 1%-a mutatható ki. Újszerű DNS alapú vizsgálatokkal azonban számos baktériumfajt sikerült azonosítani házipormintákban, bebizonyítva, hogy az épületek belső tereiben felhalmozódó por baktériumflórája igen gazdag. Feltételezhetően e fajok többsége az épületekben rendszeresen ott tartózkodó személyektől származik. A porban jelenlévő baktériumfajok egészségügyi hatásai azonban még további kutatásokat igényelnek.

Dr. Magyar Donát