

BIOFILMEK JELENLÉTE AZ IVÓVÍZELOSZTÓ HÁLÓZATOKBAN

**BÍRÓ ILDIKÓ, GERENCSÉRNÉ BERTA RENÁTA, BARABÁS ENIKŐ,
GALAMBOS ILDIKÓ**

PANNON EGYETEM, MÉRNÖKI KAR,
SOÓS ERNŐ VÍZTECHNOLÓGIAI KUTATÓ-FEJLESZTŐ KÖZPONT

Kulcsszavak: biofilm, ivóvíz, biofouling

1. BEVEZETÉS

A vízzel érintkező felületek számos mikroorganizmusnak és magasabb rendű élőlénynek biztosítanak életteret. Ezen szervezetek által létrejött életközösség – az ún. biofilm – minden olyan felületen kialakulhat, amely vízzel érintkezik: szilárd és folyékony felszínen is létrejöhét, amennyiben tápanyagok és kellő nedvesség rendelkezésre áll. A csővezetékek belső felületén képződő biofilm szerepe alapvető jelentőségű a vízelosztó rendszerben a vízminőség romlás, a másodlagos szennyezések tekintetében.

Mi is az a biofilm?

A biofilm olyan mikroorganizmusokból, és gél-szerű anyagból létrejövő többrétegű nyálkás lerakódás, mely a felületen megtelepedő élőlények közreműködésével jön létre, melybe szerves és szervetlen anyagok rakódnak. A réteg fokozatosan növekszik, miközben tápanyagok

és egyéb anyagok halmozódnak fel benne. Ezt a több fajból álló közösséget az általuk kiválasztott saját anyagcsere-termékeikből, az úgynevezett extracelluláris polimerekből (EPS) és vízből kialakuló kocsonyás bevonat tartja össze, és védi a külső hatásoktól (Flemming et al. 1994). Emiatt sokkal nehezebb a biofilmben jelenlevő élőlények elpusztítása, mint a szabadon úszó, lebegő mikroorganizmusoké, mert a fertőtlenítő szerek ezen a kocsonyás rétegen keresztül sokkal nehezebben hatolnak be a biofilm belsejébe, így csak átmenetileg és csak a legfelső rétegre nézve hatásosak.

A biofilm tápanyagbőség esetén gyorsan makroszkopikus méretekre nőhet. A benne élő több különböző fajta mikroorganizmus specializált anyagcsere-funkciót lát el a biofilmben. Egyes mikroorganizmusok speciális körülmények között egyetlen fajból álló biofilmet is képesek alkotni.

2. BIOFILMEK KIALAKULÁSA, SZERKEZETE

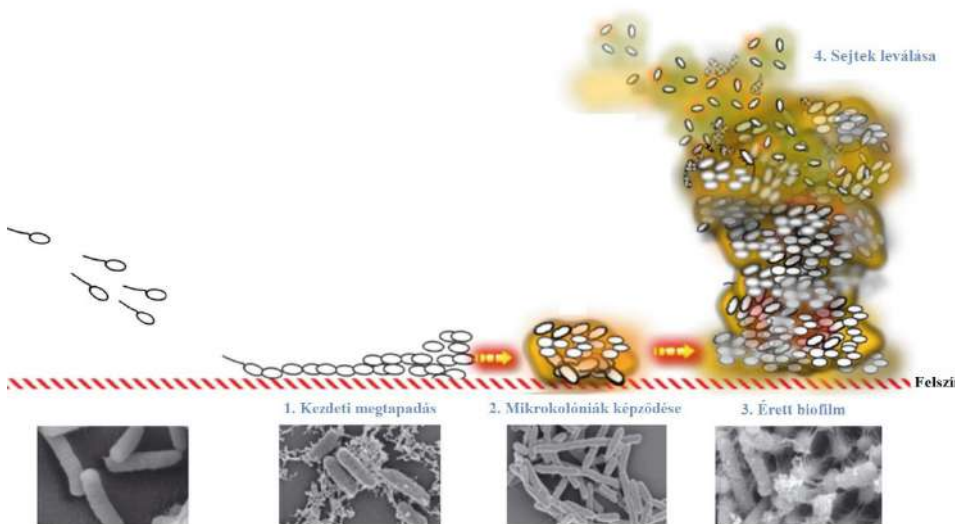
2.1. A biofilm kialakulása

A biofilmben élő baktériumok jelentősen különbözhetnek ugyanazon faj szabadon úszó példányaitól, mivel a zsúfoltabb, védettebb környezetben megnyílik az interakció és kooperáció lehetősége köztük. A környezet egyik előnye a tisztítószerrel és antibiotikumokkal szembeni védelem, mivel a sűrű extracelluláris mátrix és a külső sejtréteg megvédi a közösség belső sejtjeit.

A bevonatban élő baktériumok sejtjei és a sejten kívüli komponensek bonyolult módon rendeződnek el, másodlagos struktúrákat, mikrokolóniákat hoznak létre, melyeken keresztül csatornák rendszere biztosítja, hogy a tápanyagok megfelelő módon jussanak el az egyes sejtekhez.

A biofilm felépítésében általában baktériumok, gombák, algák és egysejtű állati szervezetek (protozoonok) vesznek részt. A sejtek a felszínhez kezdetben gyenge kémiai kötésekkel rögzülnek, majd ez a kezdeti laza kapcsolódás erős adhézióvá alakul a bakteriális sejtek által termelt tok, illetve a sejtek felületén lévő sejtalkotók (fimbriák, pilusok) által (Palmer et White, 1997). Az elsődleges kolonizálók révén kialakított mikrokolóniák lehetővé teszik másodlagos kolonizálók megtelepedését (Rickard et al. 2003). A biofilm kialakulása és érése dinamizmust mutat. Megfelelő körülmények és tápanyag ellátottság mellett a sejtek szaporodni kezdenek. Ezután a versengés miatt a biofilm kezdeti faji sokfélesége (diverzitása) csökken, majd ahogy lehetővé válik újabb szervezetek betelepülése az érő biofilmbe, a fajok száma újból növekszik (Rochex et al. 2008).

A biofilmek nem stabil szerkezetek: állandóan átépülnek, változnak. A biofilmekről folyamatosan válnak le részek: távozhatnak önálló sejtek, leszakadhatnak sejtcsoportok, de van, hogy az egész bevonat távozik a felszínről (lásd **1. ábra**) (Battin et al. 2007; Hall-Stoodley et al. 2004).



1. ábra: A biofilm kialakulása (forrás: Rendueles és Ghigo, 2012)

A biofilmek kialakulásának az irodalom szerint négy fő oka van (Jefferson, 2004).

- **Védekezés:** A biofilmben élő szervezetek kevésbé érzékenyek környezetük változásaira (időszakos tápanyaghiány, pH-változások, antimikrobiális ágensek).
- **Kedvező körülmények kihasználása:** A biofilmek révén a mikrobák le tudnak horgonyozni a számukra kedvező mikro-élőhelyeken.
- **A közösségi lét:** Olyan előnyöket jelent a mikroorganizmusok számára, mint a metabolikus terhek megosztása, vagy a horizontális génátvitel lehetősége. A biofilmben élő mikrobiális közösség ökológiai potenciálja túlszárnyalja a közösséget alkotó egyes fajok képességeinek összegét.
- **Elsődleges életforma:** Számos mikrobának a biofilm a primer életformája, a planktonikus lét csupán a kedvezőtlen körülmények során figyelhető meg.

2.2. A BIOFILMEK SZERKEZETE

A természetes biofilmek mikroorganizmusok vegyes közösségeit tartalmazzák, amelyben a mikrobák szoros egymásra utaltságban, egy-egy konzorciumot alkotva élnek. A mikroorganizmusok és az aktivitásukkal létrehozott mikrokörnyezetek a biofilmben strukturális és időszakos különbözőségeket mutatnak. Bennük a baktériumok anyagcseréjükkel összekapcsolt funkcionális egységet képeznek; így

pl. vaskorrózió során a felületi aerob szervezetek és egyéb mikrobák megteremtik a fémkorrodáló szulfátredukáló baktériumok növekedéséhez nélkülözhetetlen tápanyagokat, ill. fiziko-kémiai paramétereket (Costerton et al. 1995). Mindebből adódóan egy adott közegben szabadon élő és a felületekhez rögzült mikrobióta faji összetétele jelentősen különbözhet (Makk, 2002).

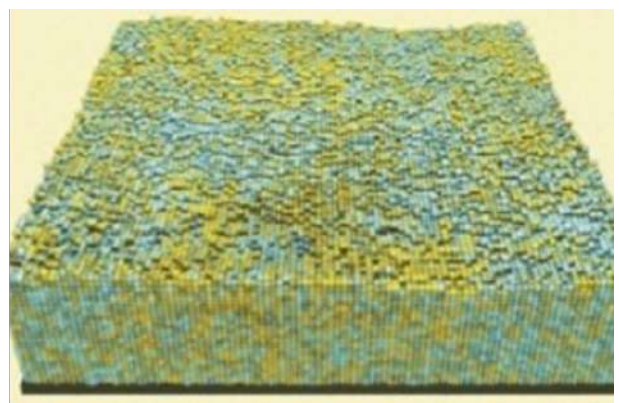
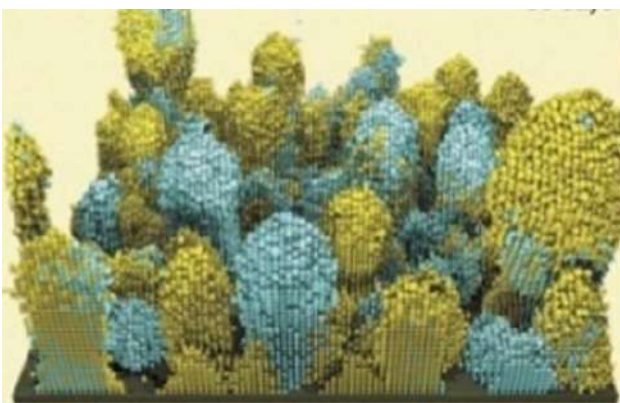
A biofilmek vastagsága igen különböző: az egyetlen sejtrétegből álló, 1-2 μm vastagságtól egészen a több száz μm -es bevonat vastagságig előfordul. A biofilm nem egységes, homogén szerkezetű, hanem heterogén, mikrokolóniák által létrehozott gombaszerű struktúrákból álló képződmény, melyek között pórusok és folyadékcsatornák szövedéke húzódik (Wimpenny et al. 2000; Palmer et al. 1997). Ez a szerkezet a különböző környezetekben kialakuló biofilmekben általánosnak tekinthető. A csatornák, pórusok szövedékén keresztül alakul ki a kapcsolat a környezet és a mikrokolóniák között, ezeken keresztül válik lehetővé a tápanyagok áramlása is.

A biofilmek más szempontból is nagyfokú heterogenitással jellemezhetők, így például a pH érték helyi változása akár három egység is lehet. A biofilmekben az oxigén koncentrációja is változik mind horizontálisan, mind vertikálisan. A horizontális heterogenitás kialakulásának az az oka, hogy a felületen – mindenekelőtt áramló

közegekben – különböző oxigénkoncentrációk alakulnak ki, aminek eredményeképp a mikrobák koloniális növekedést mutatnak. Jellemzőbb ennél az ún. vertikális heterogenitás: a felületet elsőként benépesítő szervezetek vastag mátrixot képeznek, megteremtve ezzel a további mikroorganizmusok megtelepedésének lehetőségét. Ahogy a biofilm folyamatosan vastagszik, a mélyebben levő rétegek anaerobbá válnak, míg a felszíni réteg aerob marad. Az aerob-anaerob réteg határfelületén a mikrobiális tevékenység csökkenti az oxigén szintjét, ezzel az anaerob folyamatokat elősegíti az alsóbb rétegekben. Az élőbevonat szerkezetének rendezettségét befolyásolja, hogy egy vagy több faj alkotja az adott biofilmet. Az egy faj alkotta biofilmekben többnyire szabályos rendben helyezkednek el a folyadékcsatornák (Costerton et al. 1995), míg a természetes,

sokféle faj által kolonizáltakban rendezetlenebb rendszer figyelhető meg. A kialakuló szerkezetet a hasznosítható szubsztrátok mennyisége, minősége, valamint a környezet hidrodinamikai jellemzői is befolyásolják: ha a biofilmben jó a tápanyag-ellátottság, a fajok különálló kolóniákat hoznak létre. A lassú folyadékáramlásnak kitett, kis mennyiségű, vagy nehezen bontható energia- és szénforrás mellett azonban több faj alkotta mikrokolóniák szerveződnek (Palmer et White, 1999).

A környezeti feltételektől függően más-más szerkezetű biofilmek alakulhatnak ki. Sima felszín, gyors áramlás és kevés tápanyag esetén ujszerű szerkezetű **(2. ábra, A)**, míg érdes felszín, lassú áramlás és elegendő tápanyag esetén jellemzően kompakt szerkezetű **(2. ábra, B)** biofilm kialakulásával számolhatunk.



2. ábra (A) Ujszerű szerkezetű biofilm, (B) kompakt szerkezetű biofilm

(forrás: <https://www.slideshare.net/nishatmbm/biofilm-42903274>)

2.3. A mikroorganizmusok védelme a biofilmekben – EPS mátrix

A természetes biofilmek a mikroorganizmusok részére számos szempontból előnyös szerveződést jelentenek. A biofilm mátrixba beágyazódva élő kórokozók az antibiotikumokkal és fertőtlenítő szerekkel szemben akár ezerszer ellenállóbbak lehetnek, a planktonikus társaikkal összehasonlítva (de Carvalho, 2007; Makk, 2002).

A biofilm kialakulásának már korai szakaszában a szilárd felületen megtapadt sejtek egy vékony szálát kezdenek el kiválasztani. Ez a vékony, de idővel egyre vastagodó poliszacharid szál az „extracellular polymeric substance”, azaz EPS, melynek nagy szerepe van a biofilm mátrix aktív részeként annak összetartásában. Szerepet játszik továbbá a szerves és szervetlen molekulák, tápanyagok megkötésében, más mikroba fajok rögzítésében a biofilmben (Madigan et Martinko, 2006). Az EPS a planktonikus sejtek megtapadásán kívül a biofilmet alkotó sejtek osztódása során keletkezett friss sejteket is rögzíti a biofilm felszínén, így biztosítva annak folytonos megújulását és vastagodását.

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. A kommunikáció hatására planktonikus formában egyébként nem termelődő fehérjéket kezdenek szintetizálni, többek között olyanokat, amik a védekezést szolgálják (Li et Tian, 2012).

A biofilm felületén a vízben lebegő szennyezőanyagokat megköti, melyek aztán beépülhetnek a mélyebb rétegekbe. Az EPS mátrix diffúziós gátat képez a környezetben jelen lévő oxigén, tápanyagok, ásványi anyagok, illetve a sejtek által termelt anyagcsere termékek, biocidek, antibiotikumok, toxikus anyagok számára. Védelmet nyújt a beágyazódó mikroorganizmusok számára, melyek így a szabadon élőknél kevésbé érzékenyek a környezeti stresszhatásokra, mint például az UV-sugárzásra, hőmérsékleti- és pH változásokra, ozmotikus sokkra. A biofilmben található mikroorganizmusok stressztűrő képességének fő okai a biofilm poliszacharid mátrixába való diffúzió korlátozottsága, a mikroorganizmusok lassabb szaporodási üteme és a különböző anyagcsere jellegek kifejeződése, megjelenése (Bassler, 1999).

3. BIOFILMEK ELŐFORDULÁSA

A biofilmek mindenütt jelen vannak, ahol található elegendő víz. Nem csak a baktériumok, hanem az egyéb mikroorganizmusok szinte minden faja képes valamilyen módon rögzülni a szilárd felületekhez vagy egy másik egyedhez. Megfelelő körülmények között szinte minden szilárd felületen képződhet biofilm. A természetben és a mesterséges környezetünkben számos helyeken találkozhatunk biofilmekkel, mint például az alábbiakban.

- Állóvizeink és folyóvizeink medrében a kavicsokon és köveken, sőt gyakran a posványok felszínén is. Itt a biofilmek a tápláléklánc fontos alkotóelemei, mivel sok hal táplálékkául szolgáló vízi gerinctelen állatok táplálékforrásai.
- Emberi lakókörnyezetben biofilmek leginkább a zuhanyzóban képződnek, a kedvező nedves és meleg klíma miatt. Megtalálhatók a vízvezetékek és a csatorna csöveiben, ahol a szállított folyadék szennyezését, és korróziót okozhatnak.
- A fűtő, illetve klímaberendezésekben is képződhet biofilm, ami jelentősen csökkentheti a hőtranszfer hatékonyságát (Characklis et al. 1981).

4. BIOFILMEK JELENTŐSÉGE A CSŐVEZETÉKEBEN, VÍZTISZTÍTÁSBAN

Az ivóvízellátás során a csővezetékekben kialakuló biofilmek komoly gondokat okozhatnak. Egyrészt a biofilmben kórokozók is megtelepedhetnek, és a leszakadó darabok állandó szennyezési, fertőzési forrást képeznek (Mahapatra et al. 2015). Másrészt a csővezetékek korrózióját nagymértékben gyorsíthatja a felületen kialakult bevonat. A biofilmek kialakulása napokig, hetekig tart, és a rendszeres tisztítás, fertőtlenítés ellenére is létrejönnek a rejtett, nehezen hozzáférhető szögletekben, hajlatokban. eltávolításuk csak erőteljes fertőtlenítő szerekkel és mechanikai úton lehetséges.

A csővezeték falán kialakuló biofilm réteg jelenléte okozza az ivóvíz hálózatok másodlagos szennyeződésének (vízminőség-romlás) jelentős részét, mivel a mikrobiológiai folyamatokhoz kedvező feltételek állnak fenn a hálózatban (Walch, 1992).

A kialakult biofilm, valamint a benne lejátszódó folyamatok növelhetik a közegészségügyi kockázatot annak ellenére, hogy a vízelosztó rendszerben a fertőtlenítőszer oxidációs hatása biztosított. A hálózatba vezetett kezelt vízben található mikroorganizmusok fajtáit és mennyiségét több paraméter befolyásolja: a nyersvíz típusa és minősége, a tisztítás valamint a fertőtlenítés hatékonysága, a fizikokémiai paraméterek (hőmérséklet, pH, korrózió mértéke, stb.), illetve a megtelepedésre alkalmas felületek tulajdonságai. A réz felületeken például a biofilm kevésbé alakul ki, mivel a réz

toxikus hatással van a legtöbb mikroorganizmusra, ezen felül hősokkszerű termikus kezelés hatására a biofilm csökkenése figyelhető meg ezeken a felületeken.

A biofilm az egészségügyi kockázaton túl számos egyéb problémát is okozhat mind a hálózatban, mind a technológiában:

- kellemetlen szagot okozó baktériumok, illetve a Legionella, a Pseudomonas baktériumok megtelepedését segítheti elő (Mahapatra et al. 2015),
- a műanyag vízellátó csövekből szerves vagy szervetlen segédanyagok oldódhatnak ki a biofilm biológiai korróziójának

hatására. Fémcsöveknél a kioldódás veszélye szintén fennáll. (Gonzalez és mtsai, 2013)

A baktériumok anyagcsere termékeikkel befolyásolhatják a biofilmmel érintkező víz minőségét. Képesek bizonyos anyagok eltávolítására a vízből, illetve termelt anyagcsere termékeikkel a víz kémiai összetételét megváltoztatni. A táplálkozási vagy légzési szubsztrátok alapján a baktériumokat különböző csoportokba tudjuk osztani, ezeket illetve az egyes csoportok anyagcsere termékeit, melyekkel képesek a víz összetételét módosítani, az **1. táblázat** mutatja be (Farkas et al., 2012).

1. táblázat: Biofilmben előforduló baktériumcsoportok és azok anyagcseretermékei

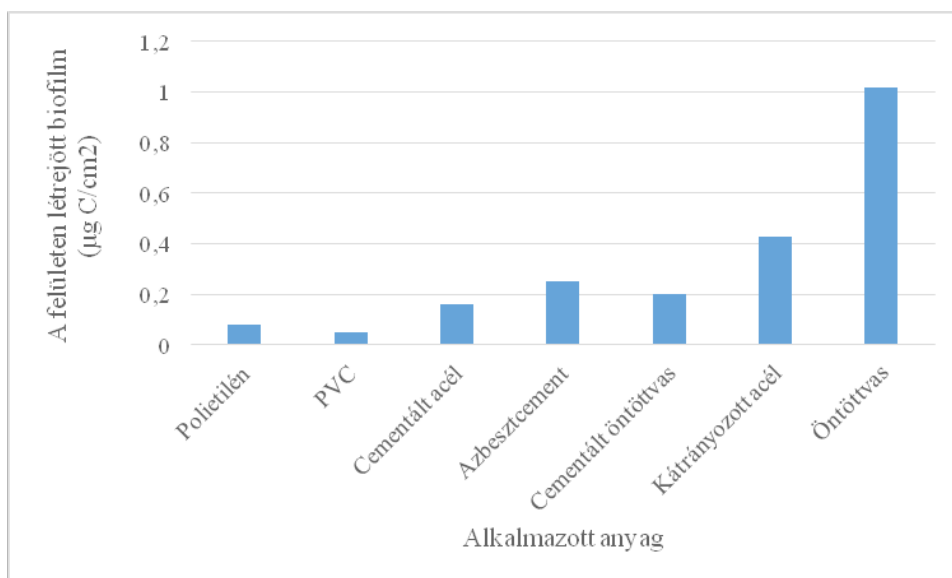
(forrás: Farkas et al. 2012)

Baktériumcsoport	Képviselői	Termelt metabolit
Ammonifikáló baktériumok	<i>Bacillus spp.</i>	Ammónium ion Ammónia
	<i>Clostridium spp.</i>	
	<i>Pseudomonas spp.</i>	
	<i>Burkholderia spp.</i>	
Ammónia oxidáló baktériumok	<i>Nitrosomonas spp.</i>	Nitrit ion
	<i>Nitrocystis spp.</i>	
	<i>Nitrospira spp.</i>	
	<i>Nitrosolobus spp.</i>	
	<i>Nitrosovibrio spp.</i>	
Nitrifikáló baktériumok	<i>Nitrobacter spp.</i>	Nitrát ion
	<i>Nitrococcus spp.</i>	
	<i>Nitrospira spp.</i>	
	<i>Nitrospina spp.</i>	

Baktériumcsoport	Képviselői	Termelt metabolit
Denitrifikáló baktériumok	<i>Paracoccus denitrificans</i> <i>Pseudomonas stutzeri</i> <i>Thiobacillus denitrificans</i> <i>Alcaligenes spp.</i> <i>Bacillus spp.</i>	Nitrogén Nitrogén-oxidok
Kén redukáló baktériumok	<i>Desulfuromonas spp.</i> <i>Proteus spp.</i>	Kénhidrogén
Szulfát redukáló baktériumok	<i>Desulfovibrio desulfuricans</i> <i>Desulfovibrio sulfodismutans</i> <i>Desulfotomaculum spp.</i> <i>Desulfonema spp.</i> <i>Desulfosarcina spp.</i> <i>Desulfobacter spp.</i> <i>Desulfococcus spp.</i> <i>Desulfomicrobium spp.</i>	Kénhidrogén
Kén oxidáló baktériumok	<i>Thiobacillus spp.</i> <i>Sulfolobus spp.</i> <i>Beggiatoa spp.</i> <i>Thiothrix spp.</i>	Kénsav Szulfátok Kén
Vas redukáló baktériumok	<i>Sphaerotilus natans</i> <i>Leptothrix ochracea</i> <i>Crenothrix polyspora</i>	Vas (Fe^{2+}) oxidok
Vas oxidáló baktériumok	<i>Galionella feruginea</i> <i>Ferrobacillus ferrooxidans</i> <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	Vas (Fe^{3+}) oxidok
Mangán oxidáló/redukáló baktériumok	<i>Sphaerotilus discophorus</i> <i>Pseudomonas spp.</i> <i>Metallogenium spp.</i> <i>Pedomicrobium spp.</i> <i>Bacillus spp.</i> <i>Micrococcus spp.</i> <i>Vibrio spp.</i>	Mangán oxidok

Amellett, hogy ezek az anyagok károsíthatják a felületeket, belekerülnek a vízbe, ahol fertőtlenítő-szerekkel, esetenként toxikus fertőtlenítési melléktermékeket képezve (mint például a trihalometánok) (Farkas et al. 2012).

A csővezeték felülete nagy hatással lehet a kialakuló biofilmek összetételére és aktivitására. Könnyebben alakul ki biofilm réteg fém vezetékek belső felületén, mint például a műanyag (PVC) vezetékekben, még megfelelő karbantartás és vegyszeres fertőtlenítés mellett is. Ezt jól szemlélteti a **3. ábra**, mely egy kevert (felszín alatti + felszíni víz) vízzel működő vízmű vízelosztó rendszerén a különböző anyagú csöveknél mért biofilm akkumulációt mutatja (Niquette et al. 2000):



3. ábra: A cső anyagának hatása a biofilm akkumulációra egy ivóvíz elosztó hálózatban (forrás: Niquette et al. 2000)

A felszíni vízkivétellel működő vízműveknél gyakori a biofilmben illetve a biofilm felszínén a kovaalgák megjelenése. Emellett a biofilm felszínt általában fonalas baktériumok jellemzik, míg a mélyebb rétegekben rendkívül

sokszínű baktériumpopuláció élhet, amennyiben a csővezetékben nem elég gyors az áramlás és nincs elegendő fertőtlenítő szer a vízben.

A biofilmek egészségügyi kockázatot is jelentenek, mivel opportunistáknak tekinthetnek meg bennük. Ezek az opportunistáknak a gyengébb immunrendszerrel rendelkező emberekre (idősek, gyermekek, transzplantáltak, egyéb betegségben szenvedők) jelenthetnek veszélyt. Leggyakrabban biofilmben előforduló csoportjaik, fajaik a következők: *Mycobacterium spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella spp.*, *Serratia spp.*, *Legionella spp.*, *Flavobacterium spp.*

A csővezetékeken kívül a különböző technológiai részek is ki vannak téve a biofilm bevonat képződésének. A különböző média szűrők (pl. szűrő-

homok), aktív szén adszorbensek, ioncserélő gyanták, membránok felülete egyaránt alkalmas felület a mikroorganizmusok megtelepedésére megfelelő fertőtlenítő szer hiányában, szakaszos üzemeltetés mellett.

5. NÉHÁNY PÉLDA AZ IVÓVÍZHÁLÓZATOK BIOFILM PROBLÉMÁIRA – HAZAI ÉS NEMZETKÖZI ESETEK

Szeged, 2017: Szín, szag, íz problémák jelentkeztek a hálózati ivóvíznél.

Új ivóvíztisztítási technológia kezdett el üzemelni a Szegedi Vízmű Zrt. öt ivóvíztisztító telepén, amelyeknek a megvalósítására az Európai Unió által előírt szigorú vízminőségi követelmények miatt volt szükség. A technológia a víz arzéntartalmát koagulációval és szűréssel, az ammóniumion eltávolítását pedig törésponti klórozásos technológiával csökkenti az EU előírásoknak megfelelő szintre. Az új technológiával megtisztított víz összetétele megváltozott a megszokotthoz képest, és ez a megváltozott összetételű víz a városi és a házi vízvezetékrendszerek faláról lemosta a biofilmet és az egyéb lerakódásokat, így az ivóvíz sárgás színű, zavaros, és kellemetlen szagú lett. A tisztítási technológia indításakor – az ivóvíz telepek ki-és belépésével – az ivóvízhálózatban az áramlási irányok is többször változtak, ami szintén „megmozgatta” a vezetékhálózat falán lévő lerakódásokat. A víz intenzív folyatás, öblítés és ülepítés után fogyasztásra alkalmas volt [www1].

Georgia, 2015: Egy fogorvosi rendelő 20 páciensénél diagnosztizáltak *Mycobacterium abscessus* fertőzést

A *Mycobacterium abscessus* egy gyorsan szaporodó nem- tuberkulózisos mikobaktérium, mely a vízben, a talajban található meg. Általában bőr- és légútrészfertőzést okoz, de több szervben is okozhat betegséget. Toleranciát mutat az általánosan használt fertőtlenítőszerrel szemben, és gyakran megtalálhatók az egészségügyi létesítmények és a vízelosztó rendszerek vízvezetékében. A nem megfelelően karbantartott fogászati egységek vízvezetékai lehetővé tehetik a mikroorganizmusok, köztük a *Mycobacterium* fajok megtelepedését és szaporodását, amelyek így biofilmeket képezhetnek.

Az 1386 fogászati kezelésen átesett páciens közül 20 esetben igazolták a *Mycobacterium abscessus* fertőzést, amely lázzal, nyaki és arcterületi duzzanattal, fájdalommal, esetenként csontvelőgyulladással járt.

A fertőzést a laboratóriumi vizsgálatok szerint a vízhálózatban jelen levő, biofilmben élő *Mycobacterium abscessus* okozta. Az ilyen, vízelosztó rendszer biofilmjéből eredeztethető fertőzések megelőzése érdekében a fogorvosi gyakorlatoknak követniük kell a gyártók útmutatásait a vízcsövek fertőtlenítésére, a vízminőség ellenőrzésére, a felhasználási célú vízszűrők használatára és a vízvezetékek vízszintes szakaszainak eltávolítására, ahol a stagnáló víz lehetővé teszi a biofilm képződését (Peralta et al. 2016).

Flint (Michigan, USA), 2014-2015: 87 esetben diagnosztizáltak legionárius betegséget, ebből 10 eset halálos kimenetelű volt

Idővel a korróziós inhibitorok, mint például foszfátsók, a vízvezetékek belső felületén olyan ásványi bevonatot hoznak létre, amelyet passzivációs réteggént ismerünk. Ez a réteg segít megvédeni a csöveket, miközben a fertőtlenítőszerként adagolt klór szintje is viszonylag stabil. 2014. áprilisától kezdődően a Flint-folyó korrozív vize folyamatosan távolította el ezen védőréteget, majd kioldotta a vasat a vezetékek belsejéből valamint az ólmot. Ennek eredményeként a fémek, beleértve az ólmot és a vasat is, a vízbe kerültek. A szabad klór, amelyet a kórokozók elpusztítására a vízkezelés során adtak a vízhez, nem tudta fertőtlenítő hatását kifejteni, mivel elreagált a vízben oldott vassal.

A Legionella baktériumok elszaporodtak a város vízelosztó rendszerében, ez eredményezte a fertőzéseket. Két olyan tényező is jelen volt a vízvezetékekben, amelyek potenciálisan segítik a Legionella növekedését: magas oldott vastartalom a vízben (a Legionella nagy vas igényű) és alacsony klórtartalom (www2).

Észak-Írország, 2011: négy újszülött halt meg *Pseudomonas aeruginosa* okozta fertőzésben

A kórház csaptelepei termosztatikus keverő szelepekkel voltak ellátva, amelyek kedvező hőmérsékletet biztosítottak a *Pseudomonas aeruginosa* szaporodásához. Emellett a csap azon részei, melyek a levegővel és a vízzel is érintkeztek, a kedvező oxigénellátás révén segítették az aerob (oxigén jelenlétében szaporodó) *Pseudomonas* baktériumok versengését a fakultatív anaerob (melyek megélik mind oxigénhiányos, mint oxigéndús környezetben) baktériumokkal szemben a biofilmben. A csaptelep mélyebb belső részein az alacsonyabb oxigénkoncentráció már a fakultatív anaerob baktériumoknak kedvezett, így ott nehezebb volt a *Pseudomonas* baktériumok nagymértékű elszaporodása.

Az újszülötteket az említett csaptelepekből származó vízben fürdették, így kaphatták el a fertőzést.

Az eset rávilágított arra, hogy már a csapok tervezésénél figyelembe kell venni a csaptelepekben kialakulni képes biofilm komoly egészségügyi kockázatát. Ezért minél inkább törekedni kell arra már a tervezésénél, hogy a csaptelepek belsejében ne jöhessen létre kedvező környezet a biofilm kialakulásához (Walker et al. 2014).

6. BIOFILMEK ELLENI VÉDEKEZÉS

Mivel a kialakult biofilm teljes mértékű eltávolítása nagyon nehéz feladat, ezért elsősorban a biofilm kialakulás megelőzésére érdemes fektetni a hangsúlyt. Több lehetőség is adódik, ha a kialakulást szeretnénk megelőzni, bár ezek nem minden esetben képesek a biofilm kialakulását megakadályozni, gyakran csak lassítják a folyamatot. Törekednünk kell az alábbiak betartására.

- Védeni kell a szennyeződésre érzékeny vízbázisokat.
- Korszerűbb víztisztítási technológiát kell alkalmazni (cél: minél kevesebb tápanyag jusson ki a hálózatba).
- Fertőtlenítési folyamatok optimalizálására van szükség (pl. hálózati pontokon történő fertőtlenítés), a fertőtlenítő szer/szerek kiválasztására megkülönböztetett figyelmet kell fordítani.
- Megfelelő csőanyag alkalmazása szükséges (biofilm megtapadásának nem kedvező csőanyag)
- A hálózaton végzett vízminőség-ellenőrzések átgondolása és hatékony végrehajtása, szükség esetén sűrítése elengedhetetlen.

Amennyiben már létrejött a felületen a biofilm, az alábbi lehetőségek merülhetnek fel az eltávolításra.

- A hálózatok szakaszainak intenzív mosatása:
 - A mosatás gyakoriságát sűríteni kell, a pangó vizek, lassú áramlási szakaszok kialakulása ellen intézkedni kell.

- A mosatásokat szabályszerűen kell elvégezni (betáplálási helyről kezdve).
- Az öblítés intenzitása rendkívül fontos, erre nagy hangsúlyt kell fektetni. Nagyobb sebesség (időegység alatt több átréselt víz) jobb eredményre vezet.

Hálózatok mechanikai tisztítása:

- A biofilm eltávolítása szempontjából ez az egyik leghatékonyabb módszer, bár a kialakult biofilmet nem tudjuk 100%-ban eltávolítani, mindig marad annyi sejt, amelyek kedvező körülmények között újabb biofilm képzésére képesek. A mechanikai tisztítás a csövek belső felületén esetleg kialakuló vízkő illetve rozsdá réteg egy részét is eltávolítja, így a mikroorganizmusok számára könnyű megtapadást és kedvező élőhelyet biztosító réteg eltávolításával lassítható a későbbiekben a biofilm újbóli kialakulása.

Fertőtlenítés:

- A hálózaton állandó jelleggel biztosítani kell a fertőtlenítő szer jelenlétét, ez rendkívül fontos a biofilm elleni védekezés szempontjából.
- Bizonyos esetekben csak integrált fertőtlenítés nyújthat megoldást, mivel a biofilm rendkívül sokszínű mikroba közösségének tagjai más-más módon reagálnak a különböző fertőtlenítő szerekre.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Biofilmek szinte minden vizes környezetben előfordulnak. Az ivóvízellátás során a hálózatban és a vízkezelő rendszerekben kialakult biofilmek nem csak egészségügyi kockázatot jelentenek, hanem az üzemeltetési költségek növekedését, a velük érintkező felületek károsodását is okozhatják.

Mivel a mikroorganizmusok felületen történő megtapadása ritkán kerülhető el, rendkívül nagy jelentőségűek a különböző biofilm monitorozási, illetve az ellenőrzési technikák. A biofilmek kontrolján kívül megkülönböztetett figyelmet kell fordítani a kialakulás megelőzésére, illetve a növekedés lassítására is. Azok a rendszerek, melyekben megfelelő mennyiségű maradék fertőtlenítő szer található, jó állapotú a csővezeték, valamint rendszerek az öblítések, sokkal kisebb veszélynek vannak kitéve a biofilmek okozta problémák megjelenésével szemben..

Köszönet az **EFOP-3.6.1-16-2016-00015** projekt anyagi támogatásáért.

IRODALOM

Abd El Aleem, F. A.; Al-Sugair, K. A.; Alamad, M. I. (1998) Biofouling problems in membrane processes for water desalination and reuse in Saudi Arabia. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 41, 19–23.

Bassler B. L. (1999) How bacteria talk to each other: regulation of gene expression by quorum sensing. *Current Opinion in Microbiology*, 2, 582-587.

Battin, T. J.; Sloan, W. T.; Kjelleberg, S.; Daims, H.; Head, I. M; Curtis, T. P.; and Eberl, L. (2007) Microbial landscapes: new paths to biofilm research. *Nature*, 5, 76-81.

Brouwer, H.; Meesters, K.; van Groenestijn, J. (2006) Biofouling control in reverse osmosis membranes using rapid biofiltration technology. *Desalination*, 199, 15–17.

Characklis W. G.; Nevimons M. J.; Picologlou B. F. (1981) Influence of Fouling Biofilms on Heat Transfer. *Heat Transfer Engineering*, 3, 23-37.

Costerton, J. W.; Lewandowski, Z.; Caldwell, D. E.; Korber, D. R.; Lappin-Scott, H. M. (1995) Microbial biofilms. *Annual Review of Microbiology*, 49, 711-745.

de Carvalho, C. C. C. R. (2007) Biofilms: recent developments on an old battle. *Recent Patents on Biotechnology*, 1, 49-57.

- Farkas A.; Ciataras D.; Bocos B. (2012) Biofilms Impact on Drinking Water Quality. Ecological Water Quality - Water Treatment and Reuse, Dr. Voudouris (Ed.), ISBN: 978-953-51-0508-4
- Flemming, H. C. Membrane Technology; Amjad, Z., Ed.; Van Nostrand Reinhold: New York, NY, USA, 1992; pp. 163–209.
- Flemming, H. C.; Griebe, T.; Schaule, G.; Schmitt, J.; Tamachkarowa, A. (1997) Biofouling - The Achille's heel of membrane processes. *Desalination*, 113, 215–225.
- Flemming, H. C.; Schaule, G.; McDonogh R.; Ridgway, H. F. (1994) Mechanism and Extent of Membrane Biofouling. *Biofouling and Bio-corrosion in Industrial Water Systems*, 63–89.
- Flemming, H.-C.; Schaule, G. (1988) Biofouling on membranes - A microbiological approach. *Desalination*, 70, 95–119.
- Gonzalez S.; Lopez-Roldan R.; Cortina J. L. (2013) Presence of metals in drinking water distribution networks due to pipe material leaching: a review. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 95, 870–889.
- Hall-Stoodley, L.; Costerton, J. W. P.; Stoodley (2004) Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases. *Nature*, 2, 95–108.
- Ho, B.P.; Wu, M.W.; Zeiher, E.H.K.; Chatteraj, M. (2004) Method of monitoring Biofouling in Membrane Separation Systems. U.S. Patent 6,699,684, 2 March 2004.
- Hobbie, J.E.; Daley, R.J.; Jasper, S. (1977) Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33, 1225–1228.
- Holm-Hansen, O.; Booth, C.R. (1966) Measurement of adenosine triphosphate in the ocean and its ecological significance. *Limnol. Oceanogr.*, 11, 510–519.
- Jefferson, K. K. (2004). „What drives bacteria to produce a biofilm?” *FEMS Microbiology Letters* 236(2), 163–173.
- Kerr C. J.; Osborn K. S.; Robson G. D.; Handley P.S. (1999) The relationship between pipe material and biofilm formation in a laboratory model system. *Journal of Applied Microbiology Symposium Supplement*, 85, 29–38
- Komlenic, R. (2010) Rethinking the causes of membrane biofouling. *Filtr. Sep.*, 47, 26–28.
- Kramer, J.F.; Tracey, D.A. (1995) The solution to reverse osmosis biofouling. In *Proceedings of IDA World Congress on Desalination and Water Use, Abu Dhabi, Saudi Arabia, November 1995; Volume 4*, 33–44.

- Lee, J.; Kim, I.S. (2011) Microbial community in seawater reverse osmosis and rapid diagnosis of membrane biofouling. *Desalination*, 273, 118–128.
- Li Y. H., Tian X. (2012) Quorum Sensing and Bacterial Social Interactions in Biofilms. *Sensors*, 12, 2519–2538
- Madigan, M. T.; Martinko J. M (2006) Brock's biology of microorganisms. Prentice Hall, 617–619.
- Mahapatra, A.; Padhi, N.; Mahapatra, D.; Bhatt, M.; Sahoo, D.; Jena, S.; Chayani, N. (2015) Study of Biofilm in Bacteria from Water Pipelines. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 9(3), 09–11.
- Makk, J. (2002) Kovaalgákhoz asszociált baktériumközösségek vizsgálata dunai biofilmekben. Ph.D. értekezés, ELTE, Budapest.
- Murphy, A. P.; Moody, C. D.; Riley, R. L.; Lin, S. W.; Murugaverl, B.; Rusin, P. (2001) Microbiological damage of cellulose acetate RO membranes. *J. Membr Sci*, 193, 111–121.
- Niquette P.; Servais P.; Savoir R. (2000) Impacts of pipe materials on densities of fixed bacterial biomass in a drinking water distribution system. *Water Research*, 34 (6), 1952–1956
- Nguyen, T.; Roddick, F. A.; Fan, L (2012) Biofouling of Water Treatment Membranes: A Review of the Underlying Causes, Monitoring Techniques and Control Measures. *Membranes*, 2, 804–840.
- Palmer, R. J. Jr. and White, D. C. (1997) Developmental biology of biofilms: implication for treatment and control. *Trends in Microbiology*, 5 (11), 435–440.
- Peralta G.; Tobin-D'Angelo M.; Parham A. et al. (2016) Notes from the Field. Mycobacterium abscessus Infections Among Patients of a Pediatric Dentistry Practice — Georgia, 2015. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 65, 355–356.
- Rendueles O.; Ghigo J. M. (2012) Multi-species biofilms: how to avoid unfriendly neighbors. *FEMS Microbiology Reviews*, 36 (5), 972–989
- Rickard, A. H.; Gilbert, P.; High, N. J.; Kolenbrander, P. E.; Handley, P. S (2003) Bacterial coaggregation: an integral process in the development of multi-species biofilms. *Trends in Microbiology*, 11 (2), 94–100.
- Ridgway, H.F. Microbial adhesion and biofouling of reverse osmosis membranes. (1988) In *Reverse Osmosis Technology: Application for High Pure Water Production*; Parekh, B.S., Ed.; Marcel Dekker: New York, NY, USA, 1988; 429–481

- Ridgway, H.F.; Safarik, J. (1991) Biofouling of reverse osmosis membranes. In *Biofouling and Biocorrosion in Industrial Water System*; Flemming, H.-C., Geesey, G.G., Eds.; Springer Verlag: Heidelberg, Germany, 1991; 81–111.
- Rochex, A.; Godon, J.; Bernet, N.; Escudié, R. (2008) Role of shear stress on composition, diversity and dynamics of biofilm bacterial communities. *Water Research*, 42, 4915–4922.
- Sung, J.H.; Chun M.-S.; Choi H.J. (2003) On the behaviour of electrokinetic streaming potential during protein filtration with fully and partially retentive nanopores. *J. Colloid Interface Sci*, 264, 195–202.
- Vrouwenwelder, J.S.; Kappelhof, J.W.N.M.; Heijman, S.G.J.; Schippers, J.C.; van der Kooij, D. (2003) Tools for fouling diagnosis of NF and RO membranes and assessment of the fouling potential of feed water. *Desalination*, 157, 361–365.
- Vrouwenwelder, J.S.; van der Kooij, D. (2002) Diagnosis of fouling problems of NF and RO membrane installations by a quick scan. *Desalination*, 153, 121–124.
- Walch M. *Encyclopedia of Microbiology* (ed. Lederberg, J.) Vol. 1. New York: Academic Press; 1992. Microbial Corrosion; pp. 585–91.
- Walker J. T.; Jhutti A.; Parks S.; Willis C.; Copley V.; Turton J.F.; Hoffman P.N.; Bennett A.M. (2014) Investigation of healthcare-acquired infections associated with *Pseudomonas aeruginosa* biofilms in taps in neonatal units in Northern Ireland. *Journal of Hospital Infection*, 86(1), 16–23.
- Wimpenny, J.; Manz, W.; Szewzyk U. (2000) Heterogeneity in biofilms. *FEMS Microbiology Reviews*, 24, 661–671.

Internetes hivatkozások:

<https://www.slideshare.net/nishatmbm/biofilm-42903274>
 www1: <http://www.szegedvizmu.hu/>
 www2: <http://www.waterandhealth.org/newsletter/LegionellainFlintDrinkingWater.pdf>