

Mikrobiel vækst på overflader

Der fokuseres ofte på kemiske og mikrobiologiske vandanalyser, når vandkvaliteten overvåges i industrielle systemer. Men giver disse et fuldstændigt billede af den faktiske situation, når tilstedeværelsen af biofilm kan ændre både de mekaniske, kemiske og biologiske forhold betydeligt?

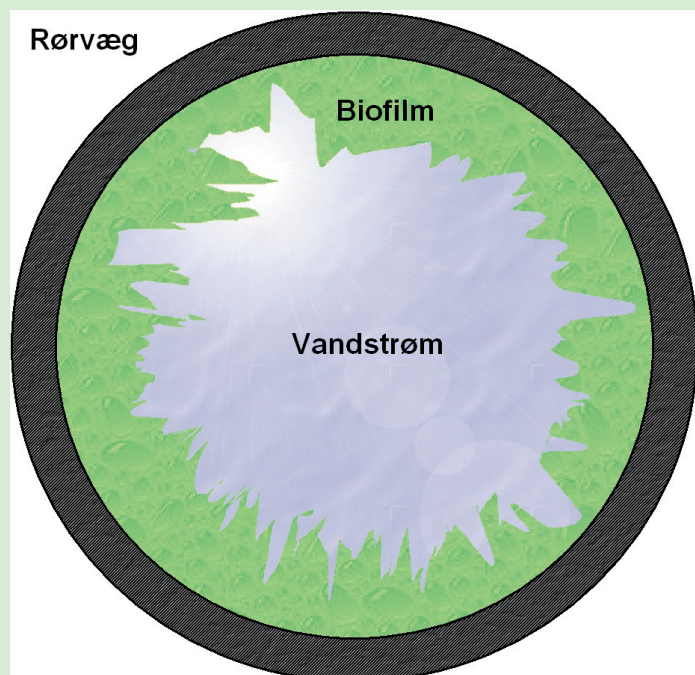
Af Uffe Thomsen, uffe.thomsen@teknologisk.dk, Birthe Veno Kjellerup, Bo Højris Olesen, Bo Frølund, Jan Lorenzen og Mikkel Agerbæk - Teknologisk Institut Center for Miljø- og Vandteknik

Sidst i 1970'erne blev mikrobiologer opmærksomme på, at bakterier i vandige miljøer ikke kun levede fritsvævende. Man opdagede, at størstedelen af alle bakterier i forbindelse med vand levede på overflader i såkaldte biofilm [1]. Der har siden foregået en intensiv forskning på området, og det er nu klart, at mikrobiologien i biofilm er meget forskellig fra mikrobiologien i vand.

I industrielle systemer, hvor man ofte ønsker bakterievækst minimeret, er det derfor vigtigt at være opmærksom på tilstedeværelsen af biofilm, såvel under dimensionering og projektering som ved drift og vedligehold. I Center for Vand- og Miljøteknik

Hvad er biofilm?

Biofilm (figur 1) består hovedsageligt af vand (95-99%) og kan i nogen henseende betragtes som et lag af stillestående vand på overfladen. Grunden, til at biofilm kan indeholde så meget vand, er, at cellerne, når de har hæftet sig til overfladen, producerer en kompleks matrice af organiske molekyler kaldet EPS (extracellulære polymere substanser). EPS er med til at holde sammen på de forskellige dele af biofilmen. Kombinationen af stillestående vand og bakteriernes aktivitet betyder, at der kan opstå store koncentrationsgradienter i biofilmen, fordi transporten af opløste stoffer hovedsageligt sker ved diffusion. Derfor vil kemien inde i en biofilm og i vandet, der ligger uden for filmen, være



Figur 1. Tegningen illustrerer et tværsnit af vandførende rør med en tyk belægning af biofilm. Biologisk aktivitet i biofilmen bevirker, at de kemiske og mikrobiologiske forhold er markant forskellige fra vandfasen. Samtidig er tryktabet i røret væsentligt forøget.

på Teknologisk Institut arbejdes der med biofilm i tekniske systemer, og instituttet har efterhånden opnået bred erfaring med indretning og drift af disse under hensyntagen til biofilm-problematikken. Der kan spares betydelige summer i relation til bl.a. vedligeholdelse, energiforbrug og produktionsstabilitet ved at udvide styringsparametrene for vandkvalitet til at omfatte overvågning af overflader og dermed biofilm.



Termisk Hydrolyse en fremtidssikret Slambehandlingsmetode



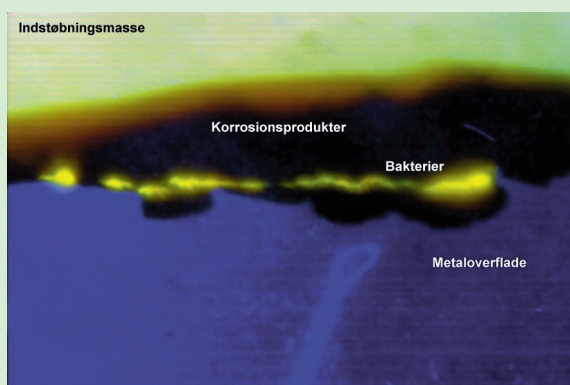
Fredericia Centralrenseanlæg indviet oktober 2001

Kapacitet	40.000 t. slam/år
Slamtype	Bioslam
Biogas	3 mill. m ³ /år
Metan	65%
Slam efter hydrolyse	15.000 t. slam/år

Cambi A/S
 Lyngbyvej 237 • 2900 Hellerup • Tel.: 39 45 88 00 • www.cambi.dk

Leverandør af nøglefærdige slambehandlingsanlæg med termisk hydrolyse

Process technology for
sludge and organic waste



Figur 2. Tværsnit af sort stål angrebet af mikrobiel betinget korrosion. Bakterierne lyser stærkt gult efter farvning af deres cellekerner.

forskellig.

Biofilm er det foretrukne levested for de fleste mikroorganismer, da det giver dem en række fordele; f.eks. opkoncentreres substrater og enzymer, der gavner væksten, i EPS-matricen. Biofilmen kan desuden beskytte bakterier mod pludselige ændringer i vandkemi som f.eks. ændret pH-værdi eller tilsætning af desinfektionsmidler.

Hvor giver biofilm problemer?

I de fleste industrier, der håndterer vand, f.eks. fødevarer-, papir-, fjernvarme- og olieindustrien, findes biofilm som belægninger på stort set alle overflader, der er i jævnlig kontakt med vand. Vækst af biofilm i et teknisk system kan have mange forskellige konsekvenser, som hver især kan være mere eller mindre systemspecifikke. Til de mere generelle problemstillinger hører bl.a.:

Biokorrosion

Biofilm kan spille en afgørende rolle i forhold til korrosion, idet filmen ændrer de kemiske forhold på overfladen og dermed også forudsætningerne for korrosion. Fænomenet kaldes mikrobielt betinget korrosion (MBK) eller blot biokorrosion. Selv i miljøer med tilsyneladende veldefineret og optimal vandkvalitet, som køle- og fjernvarmesystemer, kan biokorrosion nedsætte systemernes levetid betydeligt. Biokorrosion (figur 2) foregår som oftest lokalt og kan i værste fald resultere i gennemtæring.

Processerne bag biokorrosion kan være forskellige, men er hyppigst relateret til bakteriernes aktivitet. Aktiviteten af syreproducerende bakterier kan f.eks. være årsagen til en betydelig sænkning af pH i og under en biofilm. En anden gruppe af bakterier, der ofte nævnes sammen med biokorrosion, er de sulfatreducerende bakterier, som er karakteriseret ved at reducere sulfat til sulfid under anaerobe forhold.

Indvirkning på drift og energiforbrug

De fysiske egenskaber af biofilm har ligeledes betydning for drift og effektivitet af industrielle anlæg. I rørsystemer til transport af vand bevirker biofilm øget friktion og dermed øget energiforbrug. Desuden kan biofilmvækst bevirke hyppigere tilstopning af filtre samt påvirke øvrige komponenter som f.eks. flowmålere og andre sensorer i negativ retning. I varmevekslere har tilstedeværelse af biofilm direkte indvirkning på varmeoverførslen. Selv tynde biofilmbelægninger forringer varmeoverførslen væsentligt mere end en tilsvarende kalkbelægning (figur 3).

Hygiejne

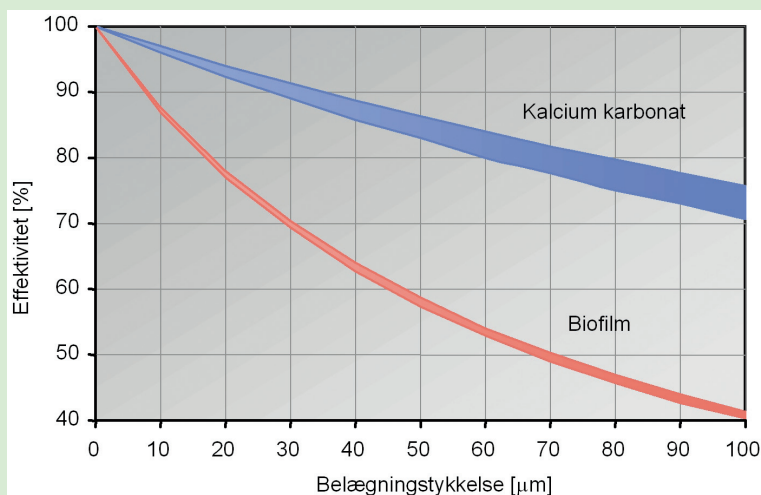
Biofilm kan udgøre en potentiel sundhedsrisiko i en række systemer. Sygdomsfremkaldende bakterier kan leve i biofilmen blandt de øvrige bakterier og dukker ikke nødvendigvis op i en analyse af vandets hygiejniske tilstand. *Legionella*, som et eksempel på en af de sygdomsfremkaldende bakterier der jævnligt giver problemer i tekniske systemer, har bl.a. vist sig at forekomme i airconditionanlæg og varmtvandsinstallationer. Den typiske smittevej er indånding af aerosoler. *Legionella* kan leve i temperaturintervallet 20-50°C, men bedst ved 35-46°C. Væksten fremmes især af organisk stof, der akkumuleres i bunden af vandbeholdere og i døde ender i ledningsnettet eller afgives fra slanger af plastmaterialer.

For at modvirke vækst af biologiske belægninger anvendes anseelige mængder af desinfektions- og rengøringsmidler med både miljømæssige og økonomiske omkostninger til følge. I England er de samlede følgeomkostninger af biofilm i tekniske systemer estimeret til at udgøre op mod 0,5% af bruttonationalproduktet [4].

Overvågning af biofilm

Første skridt mod at forebygge og bekæmpe uønsket forekomst af biofilm er at identificere problemet og dets omfang. De hyppigste indikationer på biofilm er dårlig lugt, tilstopning af filtre eller øget friktion i rør. I alvorlige tilfælde kan biofilm ses med det blotte øje eller mærkes som fedtede eller slimede overflader. Imidlertid er det ofte nødvendigt at udtage og analysere prøver af belægningen for at dokumentere tilstedeværelse af biofilm.

Det er imidlertid et problem, at de indre overflader i tekniske systemer ofte ikke er tilgængelige uden fysiske ændringer. Det kan være nødvendigt at ændre på systemets opbygning for at få mulighed for at udtage prøver. En mulig løsning på dette monitoringsproblem er at opsætte en overvågningsunit eller biofilmreaktor (figur 4), som enheden også kaldes, på en sidestrøm



Figur 3. Figuren viser beregnet effektivitetsnedsættelse i en pladevarmeveksler som en funktion af kalk- (calciumcarbonat) og biofilmbelægninger.

til systemet. I denne unit indsættes en række testkupper med materialer og overflader svarende til det aktuelle system. Fordelen ved at anvende denne overvågningsmetode er at testkupperne udsættes for samme forhold som i selve systemet, men de kan udtages til analyse uden indvirkning på systemets drift. Det giver mulighed for at overvåge vækst af biofilm på kupper med forskellige materialeoverflader, undersøge tilstedeværelsen af specifikke bakterier (f.eks. sygdomsfremkaldende), måle korrosionsrater af metaller samt at teste en række kontrolstrategier inden

afprøvning i fuld skala.

Forebyggelse og bekæmpelse af biofilm

I tekniske vandsystemer vil det i praksis være en uoverkommelig opgave helt at undgå biofilmvækst. I stedet bør der for de pågældende systemer udformes en kontrolstrategi, der baserer sig på forebyggelse og bekæmpelse af biofilmvækst og deraf følgende konsekvenser. Strategien indeholder som oftest følgende:

1. Eliminering af kilder til vækst (også kaldet »god husholdning«)
2. Periodisk rengøring
3. Bekæmpelse

Eliminering af kilder til vækst er en forudsætning for at få kontrol over biofilmvæksten og undgå genvækst. Ofte viser det sig, at både rengøring og egentlig bekæmpelse må tages i brug for at opnå den ønskede effekt. Til rengøring kan f.eks. anvendes mekanisk rensning af indre overflader med børster eller højtryksspuling eventuelt i kombination med rengøringsmidler. Bekæmpelsesstrategier kan omfatte fysiske, termiske og kemiske principper samt kombinationer heraf. Dette afhænger af den konkrete situation, og kravene der stilles til systemet. Eksempelvis kan nævnes: Varmebehandling, pH-regulering, øget friktion eller tilsætning af kemiske bekæmpelsesmidler.

I visse tilfælde kan det komme på tale at anvende biocider til begrænsning af biofilmvækst. Effekten af biocider kan med fordel undersøges på testkupper eksponeret i en biofilmreaktor.

En sådan forundersøgelse af et biocid i et fjernvarmesystem har vist en reduktion af bakterieantallet i biofilm på 1000 gange samt en halvering af korrosionsraten.

Case: Kontrol af biologisk vækst i vandhydrauliske systemer

Nessie er et vandhydraulisk system, der er udviklet af Danfoss. Det anvendes i produktionssystemer, f.eks. i fødevarer- og farmaceutindustrien. Tager man ikke de rette forholdsregler, giver et sådant vandbaseret system imidlertid mulighed for vækst af biofilm. Undersøgelser har vist at »god husholdning«, dvs. eliminering af kilder til biofilmvækst samt grundig rengøring, kunne reducere bakterietallet til et acceptabelt niveau [2]. Denne strategi bør være udgangspunktet, men ved strengere hygiejniske krav kan den suppleres med yderligere vækstbegrænsende tiltag.

Case: Forebyggelse og bekæmpelse af biokorrosion i et fjernvarmesystem

Fjernvarmesystemer er i sagens natur temmelig store og svære at rengøre. Men også her gælder det, at »god husholdning« kan reducere indholdet af organisk stof og dermed kilder til biofilmvækst. Kilderne til organisk stof kan stamme fra vandet (som påfyldes fra start eller fra spædevand) eller fra reparations- og anlægsarbejder. Desuden kan selve systemet udgøre mulige kilder i form af f.eks. hanefedt og migration fra plast- og gummi materialer. Erfaringer viser, at eliminering af disse kilder kan resultere i en nedsættelse af korrosionsraten.

Det følgende illustrerer, hvilken effekt manglende rengøring af et nyopført fjernvarmesystem har haft på biofilmvækst og forekomst af biokorrosion [3]:

Før opstart af det pågældende anlæg blev hele vandvoluminet på 300 m³ udskiftet med demineraliseret vand, som opfyldte de opstillede krav (mht. f.eks. pH, ilt, ledningsevne, chlorid og fluorid) for systemet (af hensyn til korrosion). De følgende tre år viste vandkemiske analyser ingen tegn på overskridelser af disse grænseværdier. Dog var indholdet af organisk stof højt i begyndelsen. Herefter faldt det eksponentielt, men steg hver

gang man på grund af lugtproblemer udskiftede vandet. Efter tre års drift kunne der konstateres gennemtæring af varmevekslerplader (0,8 mm AISI 316 rustfrit stål) og betydelige angreb på anlæggets øvrige indre overflader af sort jern. Yderligere undersøgelser viste udbredt forekomst af biofilm og forekomst af sulfatreducerende bakterier. Man konkluderede, at årsagen til den observerede biofilmvækst og biokorrosion var manglende rengøring og fjernelse af organisk stof, inden systemet blev påfyldt med rent vand.

Fremtiden

Vi arbejder til stadighed med at optimere strategierne til målrettet løsning af problemer med biofilm i en række brancher. Dette vil bl.a. også involvere et nyligt oprettet »Center for Biofilm i Tekniske Systemer« (BioTekS), der er et samarbejde mellem Teknologisk Institut, en række universiteter og forskningsinstitutioner samt større danske virksomheder. Forsknings- og udviklingsarbejdet er fokuseret omkring monitorering af biofilmvækst med henblik på overvågning og kontrol.

Desuden arbejdes der på udvikling af metoder til samtidig bestemmelse af bakteriers identitet og aktivitet i biofilm. Til dette benyttes nye molekylærbiologiske metoder som Fluorescence In Situ Hybridisation (FISH) og PCR (Polymerase Chain Reaction) kombineret med isotopteknikker som Microautoradiography (MAR). En stor fordel ved disse metoder

er, at de ikke som tidligere er baseret på dyrkning, hvilket giver et væsentlig hurtigere og mere præcist svar. Udviklingsarbejdet udføres bl.a. sammen med Afdelingen for Miljøteknik på Aalborg Universitet.



Figur 4. Biofilmreaktor til overvågning af belægningsdannelse (herunder biofilm) og korrosion på forskellige overflader (f.eks. sort stål, kobber eller rustfrit stål). Reaktoren tilsluttes en delstrøm af produktionssystemet.

Referencer

1. Costerton, J. W., G. G. Geesey, and K.-J. Cheng. 1978. How bacteria stick. *Sci. Am.* **238**:86.
2. Frølund, B. and Nielsen, P. H. 1999. Challenging the microbiology in closed tap water hydraulic systems. 6th Scan. Int. Conf. Fluid Power. May 26-28, Tampere, Finland.
3. Olesen, B. H., Frølund, B., Kjellerup, B. V., Ødum, S., og Nielsen, P. H. 1999. Bio-korrosion i et spidsbelastningsanlæg til fjernvarme. *Fjernvarmen* 2: 22-26
4. Pritchard, A. M. 1981. Fouling – Science of art? An investigation of fouling and antifouling measures in the British Isles. In: Somerscales, E.F.C. and Knudsen, J.G. (eds) *Fouling of heat transfer equipment*. Hemisphere Publ. Corp. Washington, DC. 513-523.