

Membran bioreaktorer:

Nye muligheder i spildevandsbehandling med avanceret membranteknologi

Membranfiltrering gør det muligt at fjerne miljøfremmede stoffer og mikroplast i spildevand samt ændre rensningsanlæg til ressourceanlæg. En central udfordring er tilstopning af membranerne, som øger driftsomkostninger og giver ustabil drift.

Af Mads Koustrup Jørgensen og Morten Lykkegaard Christensen, Center for Membranteknologi, Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet

Membran bioreaktorer er en metode, hvor membraner integreres med den biologiske behandling af spildevand. Teknologien bliver mere og mere udbredt, både kommunalt og industrielt og har vundet indpas mange steder i Nordamerika, Europa og Asien. Der installeres løbende nye anlæg, senest med opførslen af verdens hidtil største membran bioreaktor-anlæg i Henriksdal i Stockholm. Membran bioreaktorer er kompakte og det er derfor lykkedes at placere anlægget inde i et fjeld til trods for en daglig kapacitet på 864.000 m³ spildevand.

Der er en række fordele ved membran bioreaktorer. Ved konventionel spildevandsbehandling efterfølges den biologiske rensning af en bundfældningstank, hvor slammet sedimenterer og overløbet

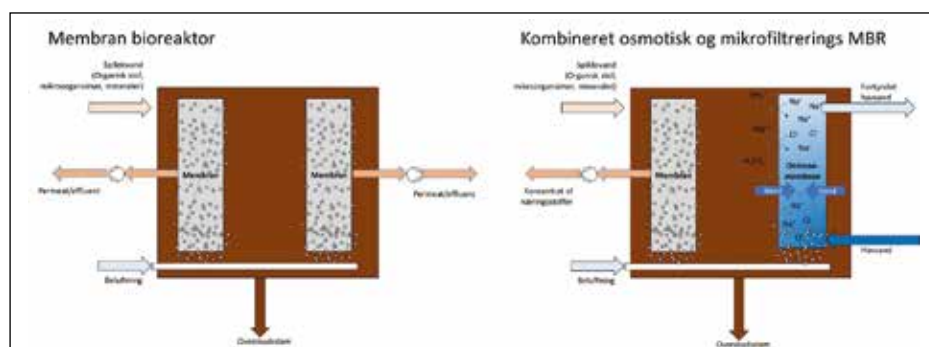
ledes ud som rensat spildevand. For membran bioreaktorer sker separationen mellem slam og vand ved hjælp af en membran, som filtrerer slammet fra og lader vandet passere (se figur 1). På grund af den finmaskede membran opnås der en langt højere kvalitet af det rensede spildevand (permeat) end ved brug af en bundfældningstank. Coliforme bakterier fjernes ofte fuldstændigt, og permeatet kan derfor bruges til markvanding, eller til produktion af drikkevand, hvis det efterpoleres med omvendt osmose og desinficeres med UV og brintoverilte, som det blandt andet gøres i Orange County, Californien.

Her produceres der dagligt 378.000 m³ drikkevand fra spildevand.

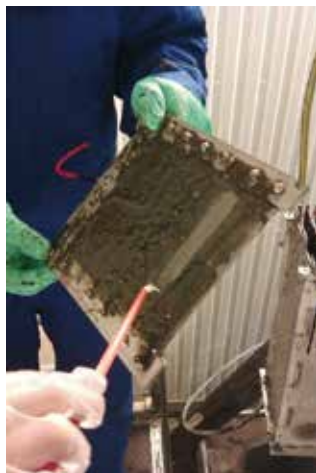
Membran bioreaktorer er pladsbesparende, da man undgår store sedimentationstanker, og der opnås en stor fleksibilitet i kapacitet, da man kan variere flowet gennem membranerne ved at justere trykforskellen hen over membranerne. Dette er især en fordel ved varierende

regnmængder, da man undgår at udlede ubehandlet spildevand under kraftig nedbør, hvilket nogle gange er nødvendigt ved konventionel spildevandsbehandling. Membran bioreaktorer gør det muligt at have en høj opholdstid af mikroorganismer (slamalder), typisk 20-100 dage i modsætning til en-to dage for konventionelle rensesanlæg, uden at vandgennemstrømningen gennem anlægget reduceres. Den høje slamalder gør, at man kan fremavle mikroorganismer, som mere effektivt nedbryder miljøfremmede stoffer [1]. Membranerne tilbageholder også mikroplastik, som ender i overskudsslammet og ikke i det rensede spildevand.

Membran bioreaktorer kan også anvendes til efterpolering af allerede rensat spildevand. Metoden er testet på Aalborg Vest og Avedøre Rensningsanlæg [2]. På trods af lave slamkoncentrationer (0,045 g/L mod 2,6 g/L til biologisk spildevandsbehandling) viser forsøg fra Avedøre, at slammets nedbrydning af 29 miljøfremmede stoffer er ti gange højere end ved konventionel spildevandsbehandling, hvor kun op mod 43 procent af de testede miljøfremmede stoffer fjernes. Man kan opnå endnu højere fjernelsesgrader af miljøfremmede stoffer ved at udskifte mikrofiltreringsmembranerne med nanofiltrerings- eller osmosemembraner. Disse membraner er tætte nok til at tilbageholde de fleste miljøfremmede stoffer. Ved nanofiltrering har man opnået tæt på fuldstændig fjernelse af miljøfremmede stoffer, men vandudbyttet begrænses typisk til 80 procent og ned til 32 procent, da opkoncentreringen af diverse salte resulterer i opbygning af osmotisk tryk [3,4], hvilket kræver høje hydrauliske tryk for at drive filtreringsprocessen.



Figur 1. Illustration af membran bioreaktor til behandling af spildevand (tv.) samt membran bioreaktor kombineret med osmose. Ved den første teknologi produceres et effluent frit for patogener ved, at vand suges gennem membranerne (typiske porestørrelser op til 200 nm). Ved den sidstnævnte hives hoveddelen af vandet fra slammet over membranen til havvand ved hjælp af osmose. Ved denne produceres der et koncentrat af næringsstoffer, der kan indvindes, for eksempel ved krystallisering.



Figur 2.
Membranmodul med mikrofiltreringsmembraner fra pilotanlæg på Aalborg Vest Renseanlæg (tv.). Billedet til højre viser en tilstoppet membran under dissekering.

Vi er i gang med at forske i nye metoder, hvor man kombinerer opkoncentrering af miljøfremmede stoffer ved kombineret af nanofiltrering med avancerede oxidationsprocesser, hvor de miljøfremmede stoffer i koncentration løbende nedbrydes. Opkoncentrering ved brug af nanofiltrering har den positive effekt, at den øger hastigheden for nedbrydningen af miljøfremmede stoffer under avanceret oxidation.

Nye membraner skal gøre rensningsanlæg til ressourceanlæg

Rensningsanlæg har vi traditionelt brugt til at behandle spildevand, så det ikke udgør en sundhedsrisiko og ikke forurener miljøet. De senere år har man arbejdet meget med at ændre denne tilgang, så vi fremover kan omstille rensningsanlæggene til ressourceanlæg, hvor man producerer energi, genindvinder næringsstoffer og mineraler og måske endda producerer plastik og flydende brændstof. Membraner spiller en afgørende rolle i denne omstilling, da de kan separere de enkelte komponenter i spildevandet: 1) direkte membranfiltrering kan bruges som et al-

ternativ til biologisk nedbrydning, hvorved mere organisk stof kan anvendes til energiproduktion, 2) membraner kan anvendes til at udvinde mineraler og næringsstoffer samt 3) sikre produktion af rent vand.

I konventionelle rensningsanlæg fjernes næringsstoffer biologisk under beluftning og omrøring. En stor andel af kvælstoffet omsættes til atmosfærisk kvælstof og genindvindes derfor ikke. Fosfor bindes enten kemisk ved tilsætning af jernsalte eller bindes til biomassen. Ved brug af membrantechnologi kan næringsstofferne udvindes. Et eksempel på dette er ved integration af en osmosemembran i membran bioreaktoren, så der både er en osmosemembran og en mikrofiltreringsmembran, som vist i figur 1. Havvands høje saltkoncentration resulterer i et osmotisk tryk højere end 30 bar. Ved at pumpe havvand hen over osmosemembranen, vil vand fra spildevandsslammet transporteres gennem membranen og over til havvandet. Dette sikrer, at man får udledt rent vand til havmiljøet, da osmosemembranen kun lader vand passere. På den måde koncentrerer næringsstoffer såsom nitrat,

ammonium og fosfat, og kan ekstraheres gennem mikrofiltreringsmembranen. Vi arbejder lige nu på at genindvinde næringsstofferne ved fældning, (membran) krystallisering og elektrodialyse.

Det evindelige problem - fouling

Tilstopning (fouling) af membraner er en stor udfordring for driften af membran bioreaktorer, se figur 2. Aflejring af partikler på overfladen af membranen kan ikke undgås, men flere teknikker kan bruges til at reducere den negative effekt af tilstopning. I membran bioreaktorer skal der tilføres luft til processen for at sikre ilttrige forhold for mikroorganismerne. Ved at lade beluftningen foregå ved membranerne, kan luftboblerne skabe turbulens ved membranoverfladen og derved fjerne uønskede partikler. Derudover kan man stoppe filtreringen med jævne mellemrum (relaxation) eller presse vand den modsatte vej gennem membranen (backflush) for derved at fjerne akkumulerede partikler.

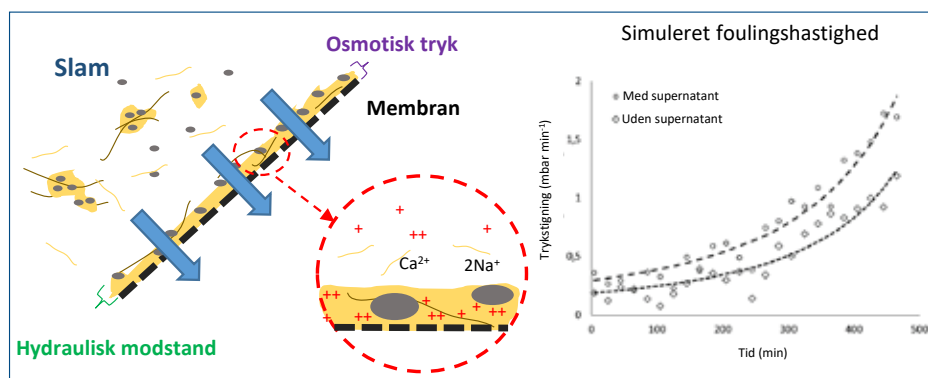
Dette har bevirket, at man kan reducere det nødvendige tryk for at opretholde processen, og reducere energibehovet. På grund af den effektive drift vi har i dag, er det typisk makromolekyler, der tilstopper membranen, da disse stoffer er meget svære at fjerne fra overfladen. Det kan for eksempel være proteiner, polysakkarider, DNA og lignende organiske molekyler. Forskningen inden for området viser, at det ikke kun er tilstopning, der er et problem, men også det osmotiske tryk, der opstår ved membranoverfladen på grund af ophobning af organiske molekyler, som illustreret i figur 3. Organiske molekyler er negativt ladede og ofte fleksible polymerer [5]. Det skaber et højt osmotisk tryk, der reducerer vandgennemstrømningen. Desuden viser data, at enkeltceller i slam kan have en stor negativ betydning for vandgennemstrømningen [6]. Denne viden bruges lige nu til at forbedre membranprocesserne og gøre metoden endnu mere attraktiv til spildevandsbehandling eller måske endnu bedre til spildevandsressourceanlæg.

E-mail:

Mads Koustrup Jørgensen:
mkj@bio.aau.dk

Referencer

1. Siegrist & Jost, Water Sci. Technol. (2012) 66 (6): 1369-1376.
2. Li et al., Chem. Eng. J. (2022) 427, 131458.
3. Xu et al., Sci. Total Environ. (2020) 744, 140954.
4. Hafiz et al., Membranes (2021) 11(1), 32.
5. Christensen et al., J. Membr. Sci. (2021) 627, 119213.
6. Hansen et al., Water Environ. Res. (2021) 93(2), 207-216.



Figur 3. De nyeste modeller for tilstopningen af membraner tager både højde for det ekstra hydrauliske tryk, der opstår på grund af tilstopningen og det osmotiske tryk, der opstår på grund af makromolekylerne. Makromolekyler og enkeltceller påvirker processen negativt, men problemet kan reduceres ved at sikre en bedre flokdannelse (mikroorganismer og makromolekyler klumper sammen til større partikler/flokke), ved at ændre driftsbetingelser, så koncentrationen af enkeltorganismer reduceres og færre makromolekyler udskilles.