



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Fouling a biofouling membrán při provozu MBR, metody potlačení

Mgr. Ing. Bc. **Lukáš Dvořák**, Ph.D.

lukas.dvorak@tul.cz



Obsah

- fouling
- biofouling
- rozdělení foulingu
- negativní vlivy (bio)foulingu při provozu MBR
- faktory ovlivňující (bio)fouling
- možnosti eliminace
- závěry

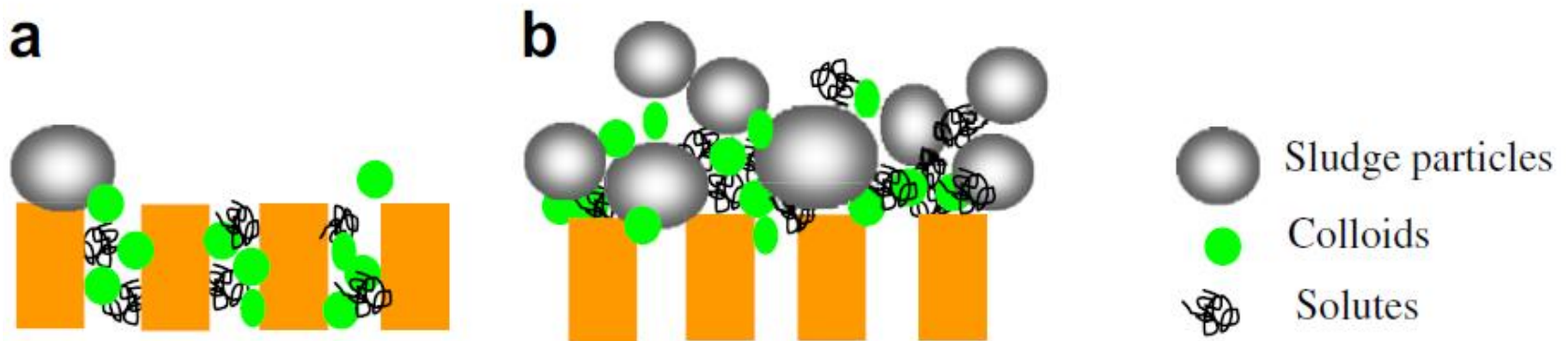
Fouling

- anglické slovo = „zanášení“ či „blokování“
- komplex nejrůznějších procesů $\Rightarrow$ ↓ užité plochy membrány
- adsorpce makromolekul a/nebo koloidních látek na membráně (nejvýznamnější proces)
- adheze a tvorba biofilmového nárostu na membráně
- srážení rozpuštěných l. a vznik inkrustů na vnějším i vnitřním povrchu
- stárnutí materiálu membrány $\Rightarrow$ změna vlastností

Fouling

a) blokace pórů membrány

b) tvorba filtračního „koláče“



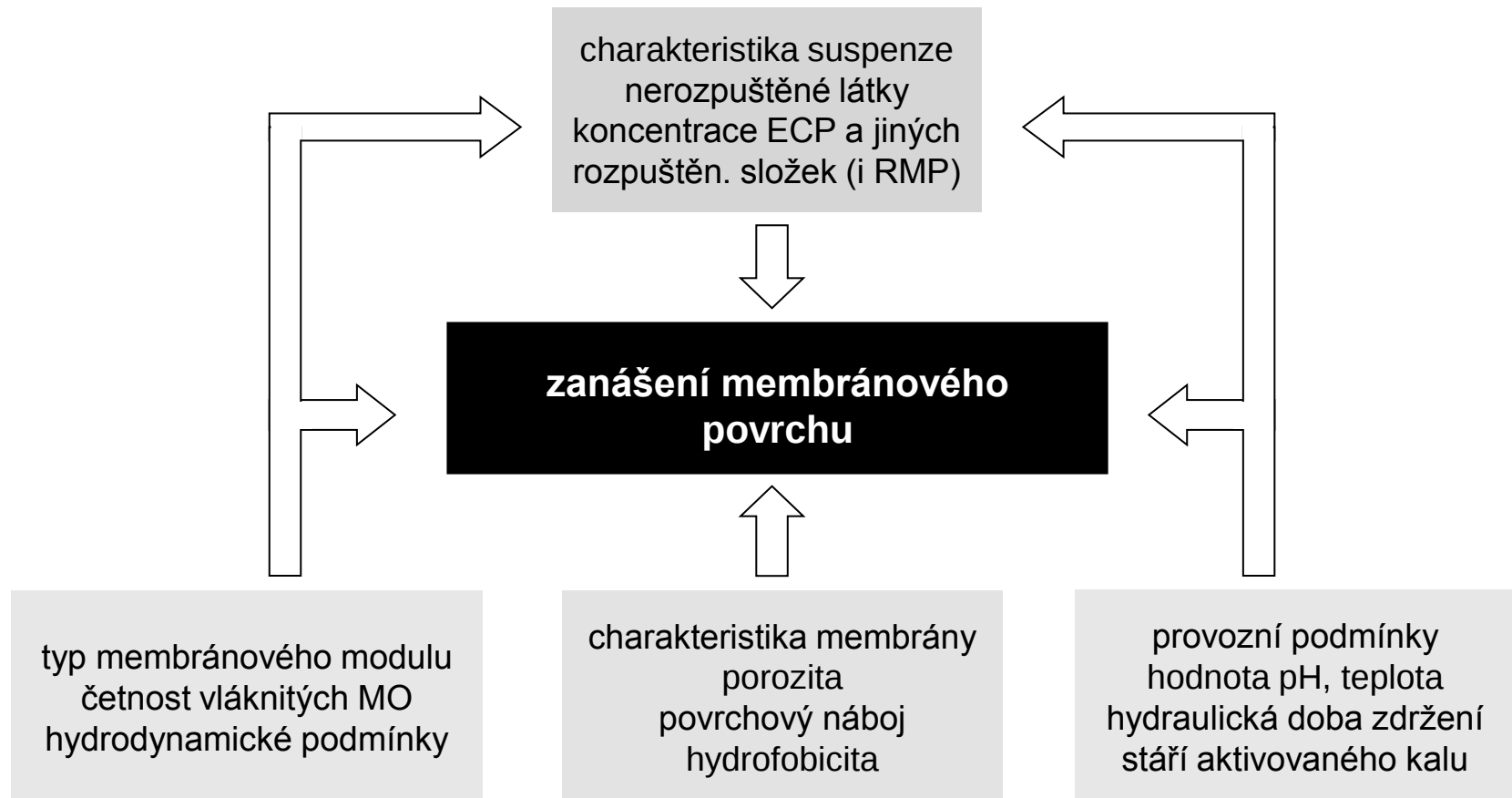
Zdroj: Meng F. et al. (2009): Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material. *Water Res.*, **43**, 1489-1512.

Biofouling

= zanášení způsobené biologickými složkami/faktory, tj. mikroorganismy a jejich produkty

- fixace buněk MO, adheze a tvorba biofilmového nárostu na membráně
 - zejména produkty MO – ECP, RMP
 - charakter kalu – vlákna vs. vločky
- } provozní parametry
-
- „anorganické“ zanášení přispívá k „organickému“ zanášení

Fouling – faktory



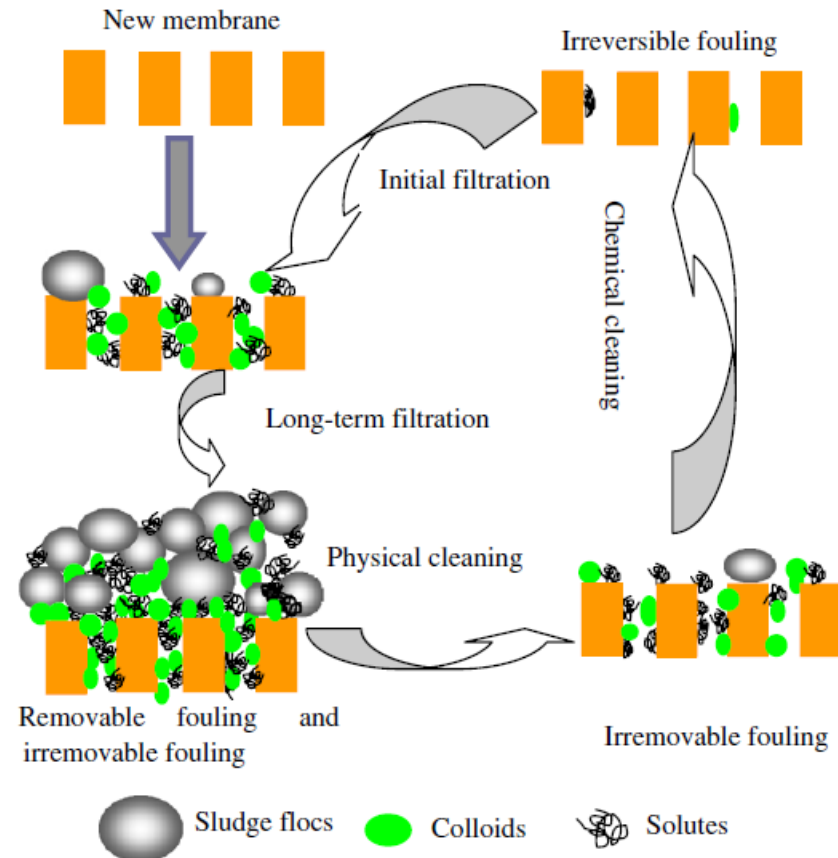
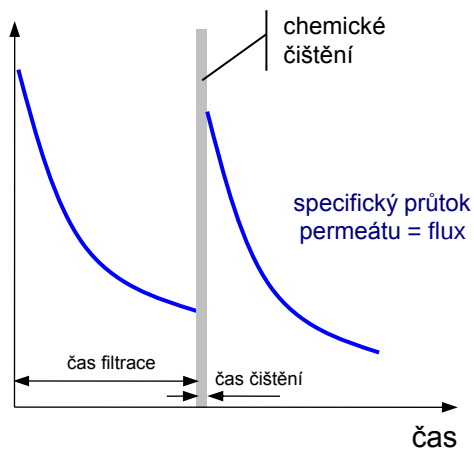
Dělení foulingu

- často jako reverzibilní x nereverzibilní
- **reverzibilní** = lze odstranit vhodnou fyzikální metodou či mechanicky, např. zpětným proplachem
- **nereverzibilní** = definice se liší!
 - nelze odstranit fyzikální či mechanickou metodou, ale lze je odstranit chemickou metodou
 - nelze odstranit žádnou metodou či procesem

Přerozdělení foulingu

- odstranitelné (*removable*)
- neodstranitelné (*irremovable*)
- nevratné (*irreversible*)

jednoznačné!



Zdroj: Meng F. et al. (2009): Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material. *Water Res.*, **43**, 1489-1512.

Negativa způsobené zanášením

- zvyšování provozních nákladů
- pokles hydraulického výkonu systému – permeability ($L_p = \frac{J_p}{\Delta p_{TM}}$)
- nárůst transmembránového tlaku či pokles fluxu
- změna vlastností membrány či až její poškození
- limitace masovějšího rozšíření technologie $\Rightarrow$ limitace dalšího snižování ceny

Faktory ovlivňující (bio)fouling

■ extracelulární polymery (ECP)

- hlavní biologický faktor ovlivňující zanášení
- organ. makromolek. látky – polysacharidy, proteiny, nukleové kyseliny, (fosfo)lipidy a huminové látky
- dělení na vázané (*struktura filtr. koláče*) vs. rozpuštěné (*póry membrány*)
- zvyšují bioflokulaci vloček kalu a viskozitu kalu $\Rightarrow$ $\downarrow$ hydraulického výkonu systému

■ ovlivnění koncentrací ECP

- $\uparrow$ stáří AK $\Rightarrow$ $\downarrow$ koncentrací ECP (optimum: 20-50 dní)
- rychlý $\downarrow$ teploty $\Rightarrow$ ochrana buněk $\uparrow$ sekrece ECP
- $\uparrow$ látkové zatížení AK $\Rightarrow$ $\uparrow$ ECP
- $\downarrow$ konc. rozpuštěného kyslíku $\Rightarrow$ $\uparrow$ koncentrací ECP
- dlouhodobě vyšší stříhové síly $\Rightarrow$ $\downarrow$ koncentrací ECP



Faktory ovlivňující (bio)fouling

■ rozpustné mikrobiální produkty

- odlišné definice
- „složky mikrobiálního původu, které jsou uvolněné do roztoku během metabolického zpracovávání substrátu (růstem) a během rozkladu biomasy“
- podobná funkce jako rozpuštěné ECP

■ ovlivnění koncentrací RMP

- $\uparrow$ stáří aktivovaného kalu $\Rightarrow \downarrow$ koncentrace RMP
- $\downarrow$ teploty $\Rightarrow \uparrow$ koncentrace RMP
- dávkování PAC a koagulantů (optimální dávka), jinak $\downarrow$ metabolické aktivity či zhoršení hydraulického výkonu

Faktory ovlivňující (bio)fouling

■ charakteristiky membrán

- **materiál:** PE membrány se zanášejí obvykle rychleji než z PVDF; PE vyšší tendence k neodstranitelnému zanášení vs. PVDF k odstranitelnému
- **typ membránového modulu:** deskové moduly rychleji než moduly z dutých vláken
- **geometrie pórů a porozita:** větší velikost pórů – větší tendence k neodstranitelnému zanášení než u menší velikosti pórů; vyšší permeabilita rychleji, než při nižší
- **hydrofobicita/hydrofilita:** hydrofobní membrány jsou zanášeny rychleji než hydrofilní

Faktory ovlivňující (bio)fouling

■ koncentrace organických látek

- přímo i nepřímo
- ↑ konc. organických l. se zároveň zvyšuje tendence k zanášení – vzrůst viskozity, ↓ přestupu kyslíku a velikost stříhových sil $\Rightarrow$ ↓ samočistící efekt membrány

■ charakter aktivovaného kalu

- fyzikálně-chemické, fyziologické i morfologické vlastnosti
- vláknité mikroorganismy – zvýšené uvolňování složek ECP, vzrůst viskozity a hydrofobicity aktivací směsi; vliv na strukturu a charakter aktivovaného kalu i filtračního nánosů

Faktory ovlivňující (bio)fouling

■ provozní parametry

- ↓ hydraulické doby zdržení $\Rightarrow$ ↑ tendence k zanášení (odstranitelnému i neodstranitelnému)
- ↑ koncentrace nerozpuštěných látek $\Rightarrow$ ↓ propustnosti filtračního nánosů
- ↓ teploty $\Rightarrow$ ↑ tendence k zanášení, vliv ale i přes viskozitu suspenze ($\downarrow T \Rightarrow \uparrow \eta$) a metabolickou aktivitu či přes rychlost zpětného transportu difuzí
- ↑ látkové zatížení aktivovaného kalu $\Rightarrow$ ↑ tendence k zanášení a vyšší produkce ECP
- ↓ konc. rozpuštěného kyslíku $\Rightarrow$ podpořen výskyt některých typů vláknitých MO a ↓ turbulencí $\Rightarrow$ ↑ tendence k zanášení
- pokles hodnoty pH $\Rightarrow$ podpořen výskyt některých typů vláknitých MO

Faktory ovlivňující (bio)fouling

■ stupeň předčištění OV

- $\uparrow$ předčištění OV $\Rightarrow$ $\downarrow$ tendence k zanášení
- nutné odstranit vláknitý, abrazivní a ostrý materiál
- mechanicky (sedimentace, síta) či fyzikálně-chemicky (koagulace) $\Rightarrow$ eliminace složek ECP i RMP
- dutá vlákna vykazují vyšší senzitivitu vůči předčištění OV než moduly deskové

■ iontová síla

- vliv na bioflokulaci vloček – změna charakteristik suspenze
- $\uparrow$ konc. kationtů (zejména vícemocných) $\uparrow$ potenciálu k zanášení
- $\uparrow$ iontová síla může vést k formaci málo porézních gelů či k tvorbě inkrustů na membráně



Možnosti eliminace

- vycházejí z dříve uvedených faktorů
- stejné optimální podmínky neexistují
- nutno hledat kompromis s ohledem na danou situaci/systém
- 3 strategie: hydraulická, chemická a biologická úprava podmínek

Hydraulická strategie

- periodický proplach či zpětný puls
- provoz při subkritickém (nízkém) fluxu
- skladba provozního cyklu, tj. doba filtrace a flux, doba zpětného proplachu a/nebo relaxace
- dostatek kyslíku $\Rightarrow$ vznik stříhových sil, pohyb vláken, méně vláknitých mikroorganismů



Možnosti eliminace

Chemická strategie

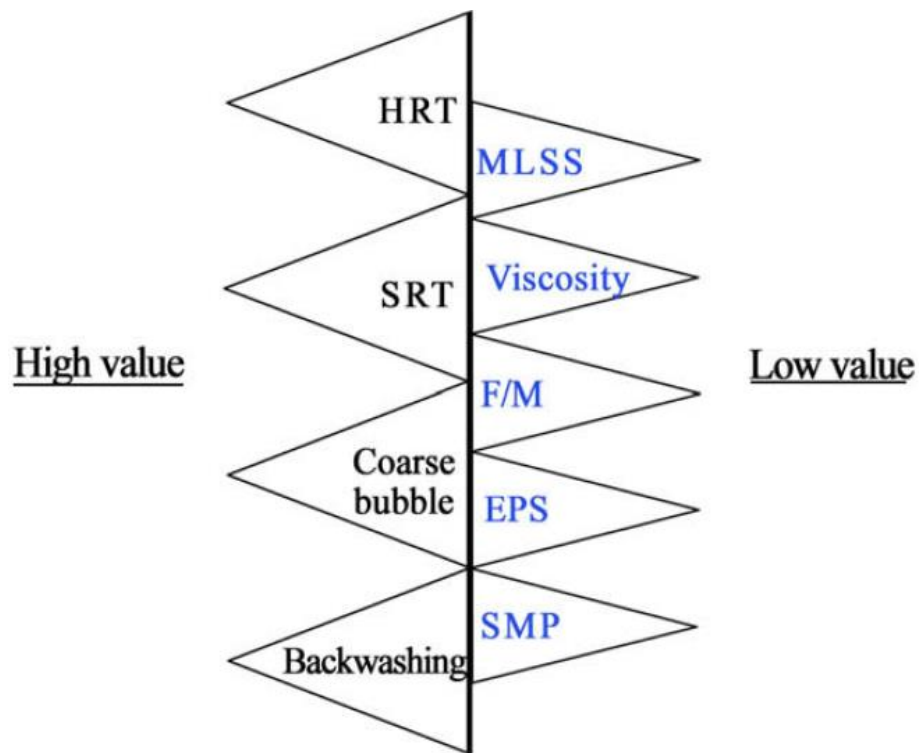
- dávkování různých aditiv
- práškové aktivní uhlí a koagulanty $\Rightarrow$ $\downarrow$ ECP, $\downarrow$ tendence k neodstranitelnému zanášení, $\uparrow$ vloček kalu a $\uparrow$ porozity filtračního nánosu
- „zlepšovače“ fluxu
- modifikace membr. povrchu, např. stříbrem, plazmatické úpravy aj.

Biologické strategie

- úprava provozních podmínek
- $\downarrow$ stáří kalu $\Rightarrow$ $\uparrow$ tendence k zanášení
 $\uparrow$ látkové zatížení $\Rightarrow$ $\uparrow$ tendence k zanášení
- $\uparrow$ konc. kalu $\Rightarrow$ $\downarrow$ permeability
- vliv na koncentrace ECP a RMP
- méně kyslíku – více vláknitých MO, $\uparrow$ viskozity a $\uparrow$ tendence k zanášení

Možnosti eliminace

- hrubá sumarizace



Vysvětlivky:

HRT – hydraulická doba zdržení

SRT – stáří kalu

MLSS – koncentrace kalu

F/M – látkové zatížení kalu

EPS – ECP

SMP – RMP

Zdroj: Meng F. et al. (2009): Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material. *Water Res.*, **43**, 1489-1512.

Závěr

- zanášení = velmi složitý komplex nejrůznějších procesů
- limitující faktor membránové technologie nejen v oblasti čistírenství – stěžejní důraz na jeho eliminaci
- vliv především provozních podmínek – charakter kalu – synergické efekty
- jeden faktor ovlivňuje přímo či nepřímo další faktor atd.
- obtížné nalezení optimálních podmínek – individuální přístup
- s ohledem na aktuální stav ŽP a kvalitu vody – slibné perspektivy membránové technologie do budoucna

Děkuji za pozornost.

Prostor pro Vaše otázky.