

VÝSLEDKY TESTŮ MIKROFILTRACE PROVEDENÝCH NA TŘECH ÚPRAVNÁCH VODY V ČESKÉ REPUBLICE

Ing. Daniel Vilím, Milan Drda, Ing. Jiří Červenka, Ing. Jana Křivánková, Ph.D.

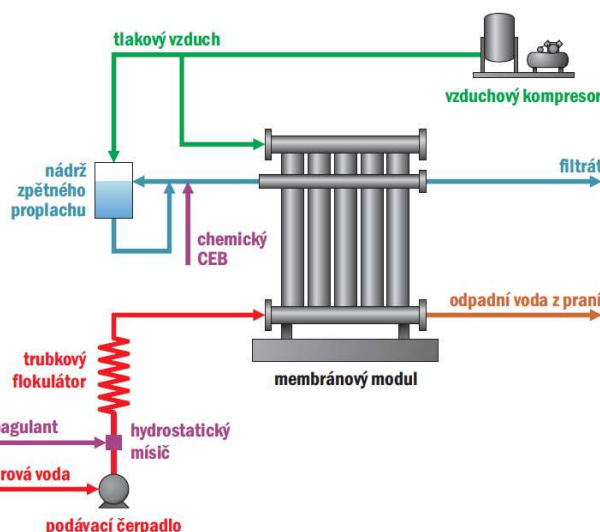
ENVI-PUR, s.r.o., Na Vlčovce 13/4, 160 00 Praha 6 – Dejvice
drda@envi-pur.cz, cervenka@envi-pur.cz, vilim@envi-pur.cz, krivankova@envi-pur.cz

ÚVOD

Sestavy nízkotlakých ultrafiltračních a mikrofiltračních membrán jsou v současnosti stále častěji zařazovány do procesu úpravy vod. Jejich původní funkce finální bariéry ve vícestupňovém separačním procesu se postupně rozšiřuje a nyní lze tyto systémy použít také jako jediný úpravárenský separační stupeň. V porovnání s konvenčními procesy poskytují nízkotlaké membránové procesy mnoho výhod. Jednou z nich je bezesporu stabilní kvalita produkované vody, která je fakticky nezávislá na výkyvech kvality surové vody. Membránové systémy poskytují účinnou bariéru pro mikroorganismy, částice větší než 0,1 μm a za určitých podmínek provozu i pro částice o řád menší, např. viry [1-3]. Další výhodou těchto systémů je možnost jejich plně automatického provozu, dále pak kompaktnost systému s velmi dobrým využitím prostoru a s možností jejich modulárního rozšíření. Významné zjednodušení technologické linky však klade zvýšené nároky na kvalitu membrány. V případech, kdy je membrána používána pro úpravu povrchových zdrojů, jsou pro stabilní provoz nezbytné chemicky odolné a mechanicky robustní sestavy. Výsledky, získané za těchto podmínek na keramických mikrofiltračních membránách jsou velice nadějně. V příspěvku jsou shrnuty výsledky měření na provozní mikrofiltrační jednotce AMAYA 5, která byla testována na třech různých lokalitách. Zdrojem surové vody byla vltavská voda v profilu Praha, vodárenská nádrž v severních Čechách a horní tok řeky Volyňky na Šumavě.

PROVOZNÍ MIKROFILTRAČNÍ JEDNOTKA AMAYA 5

Provozní testy byly provedeny na mikrofiltrační jednotce AMAYA 5 s výkonem 5 m^3/hod . Technologické schéma provozní jednotky je uvedeno na obr. 1.



Obrázek 1. Schéma membránové mikrofiltrace

V jednotce je umístěn jeden mikrofiltrační keramický element provozní velikosti s povrchem membrány 25 m² a nominální velikostí pórů 0,1 μm. Systém pracuje způsobem přímé filtrace (dead end filtration). Zpětný proplach (fyzikální praní) se provádí filtrovanou vodou o tlaku 5 bar v časovém intervalu 1- 4 hodiny. V delších časových intervalech je aplikováno chemické praní (CEB), kyselé nebo oxidační. Kyselé praní (ACID CEB) se provádí kyselinou sírovou nebo chlorovodíkovou. Oxidační praní (OXID CEB) se provádí chlornanem sodným.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Základní parametry provozu mikrofiltrační jednotky jsou shrnuty v tabulce 1.

Tabulka 1. Základní parametry provozu mikrofiltrační jednotky AMAYA 5

Zdroj surové vody	Vltava, Praha	Vod. n., sev. Čechy	Volyňka
průtok	4,2 m ³ /h	4,2 m ³ /h	4,2 m ³ /h
trubkový flokulátor (TRF)	50 m DN 32	75 m DN 40	75 m DN 40
gradient míchání	914 s-1	430 s-1	430 s-1
doba zdržení v TRF	31 s	81 s	81 s
filtrační cyklus	1 hodina	3 hodiny	1-4 hodiny
ACID CEB	3x/den (HCl) pH 2	2x/den (H ₂ SO ₄) pH 1,5-2	2x/den (H ₂ SO ₄) pH 1,5-2
OXID CEB	1x/den (NaClO) 10 mg/l akt. Cl ₂	1x/den (NaClO) 10-50 mg/l akt. Cl ₂	1x/den (NaClO) 30-50 mg/l akt. Cl ₂
použitý koagulant	PAX 18/síran hlinitý	síran hlinitý	PAX 18
dávka koagulantu	3,5 mg/l Al	0,8-1,2 mg/l Al	0,4-3,5 mg/l Al
úprava pH surové vody	NE	ANO	ANO

Při provozních zkouškách na vodárenské nádrži v severních Čechách a na řece Volyňce bylo upravováno pH surové vody tak, aby hodnota pH ve filtrátu byla 6,8-6,9.

Charakteristika surové vody

V tabulce 2 jsou uvedeny základní parametry surové vody pro všechny tři lokality.

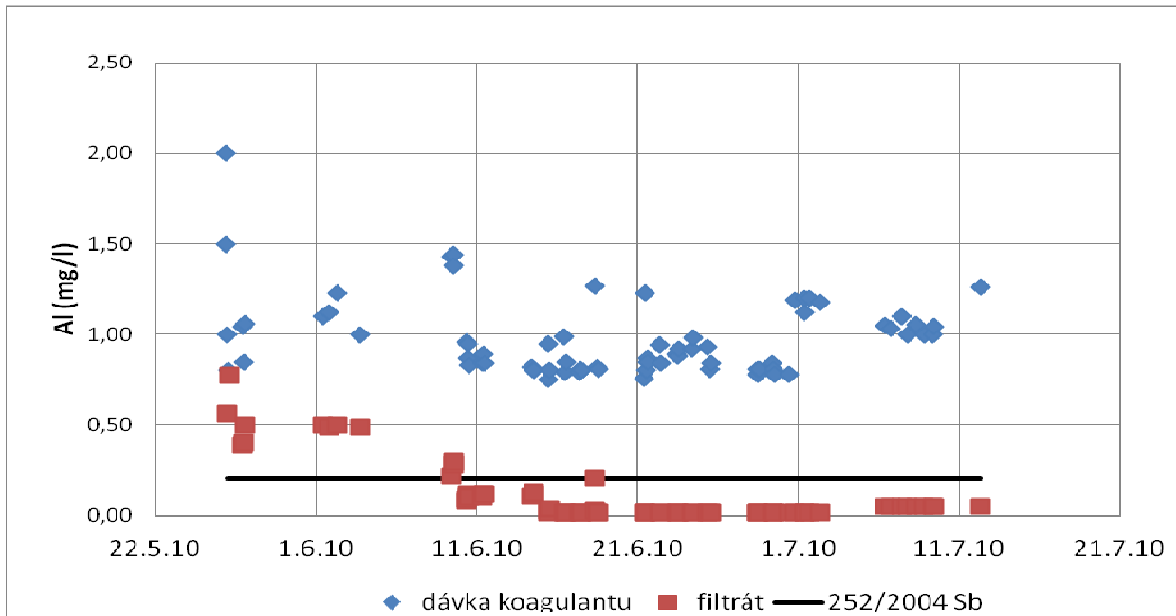
Tabulka 2. Charakteristika surové vody (průměrné hodnoty)

Parametr	Vltava, Praha	Vod. n., sev. Čechy	Volyňka
pH	7,9	6,5	7,4
KNK _{4,5} (mmol/l)	1,12	0,15	0,26
CHSK _{Mn} (mg/l)	5,8	3,2	6,2
absorbance (m ⁻¹)	17,7	11,1	12,2
barva (mg/l Pt)	15,8	20,0	-

Dávka koagulantu a zbytková koncentrace koagulantu

Při provozu mikrofiltrační jednotky AMAYA 5 se používal hlinitý koagulant. Pro vltavskou vodu se v prvním období používal PAX 18, ve druhém období byl dávkován síran hlinitý. Průměrná dávka koagulantu byla 3,5 mg/l Al pro obě období. Zbytkové koncentrace hliníku se jak při použití koagulantu PAX 18, tak i při dávkování síranu hlinitého pohybovaly kolem hodnoty 0,02 mg/l Al. Teplota surové vody byla v rozmezí od 5 °C do 11 °C.

Pro vodárenskou nádrž byly dávky koagulantu (síran hlinitý) nastaveny na hodnoty 0,8 mg/l Al a 1,2 mg/l Al. Po zavedení alkalizace surové vody hydroxidem sodným byl v rozmezí pH filtrátu od 6,6–7,0 obsah zbytkového koagulantu ve filtrátu trvale pod mezí stanovitelnosti (obr. 2.). V období provozních zkoušek se teplota surové vody postupně zvyšovala z hodnot 6°C na 9,5°C.



Obrázek 2. Dávka koagulantu a obsah Al ve filtrátu - vodárenská nádrž

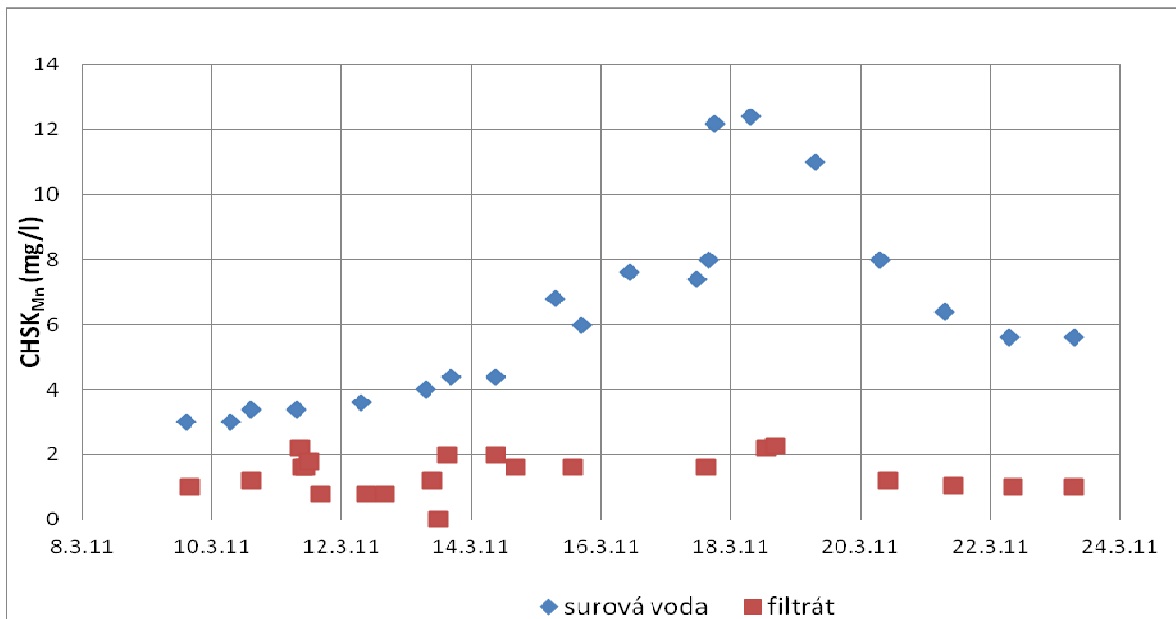
Pro úpravu vody z řeky Volyňky byl použit hlinitý koagulant PAX 18. Dávka koagulantu byla v rozmezí 0,4 mg/l Al až 3,5 mg/l Al. Zbytková koncentrace hlinitého koagulantu v upravené vodě byla trvale pod mezí stanovitelnosti. Teplota surové vody se pohybovala od 1°C do 4°C.

Chemická spotřeba kyslíku – CHSK_{Mn}

Průměrné hodnoty CHSK_{Mn} v surové vodě (Vltava) byly 6 mg/l. Hodnota CHSK_{Mn} ve filtrátu při dávce koagulantu 3,5 mg/l Al byla průměrně 2 mg/l.

Kvalita surové vody ve vodárenské nádrži se v průběhu zkoušek výrazně neměnila, průměrná hodnota CHSK_{Mn} v surové vodě byla 3,0 mg/l. Výjimku tvoří 21. červen 2010, kdy došlo ke skokovému zhoršení kvality surové vody, hodnota CHSK_{Mn} byla 5,33 mg/l. Nedošlo však ke zhoršení kvality filtrátu, průměrná hodnota CHSK_{Mn} byla 1,23 mg/l. Hodnota CHSK_{Mn} ve filtrátu byla ovlivněna koagulačním pH. V období od 7. července do 12. července 2010 bylo udržováno ve filtrátu pH 7,0. To mělo za následek zhoršení separace organických látek z průměrné hodnoty 1,23 mg/l na průměrnou hodnotu 1,79 mg/l. Po návratu pH ve filtrátu z pH 7,0 na pH 6,8, došlo opět ke zlepšení separace organických látek na hodnoty CHSK_{Mn} 1,1-1,2 mg/l.

S postupným táním sněhu docházelo na řece Volyňce ke zhoršování kvality surové vody (obrázek 3). Byla zvyšována dávka PAX 18 z dávky 0,4 mg/l na 3,5 mg/l a filtrační cyklus byl zkrácen z hodnot 4 h na 1 h. Hodnoty CHSK_{Mn} v surové vodě a ve filtrátu jsou uvedeny na obrázku 3. Za daných podmínek produkoval systém vodu ve velmi dobré kvalitě, s prakticky nestanovitelným zbytkovým hliníkem.

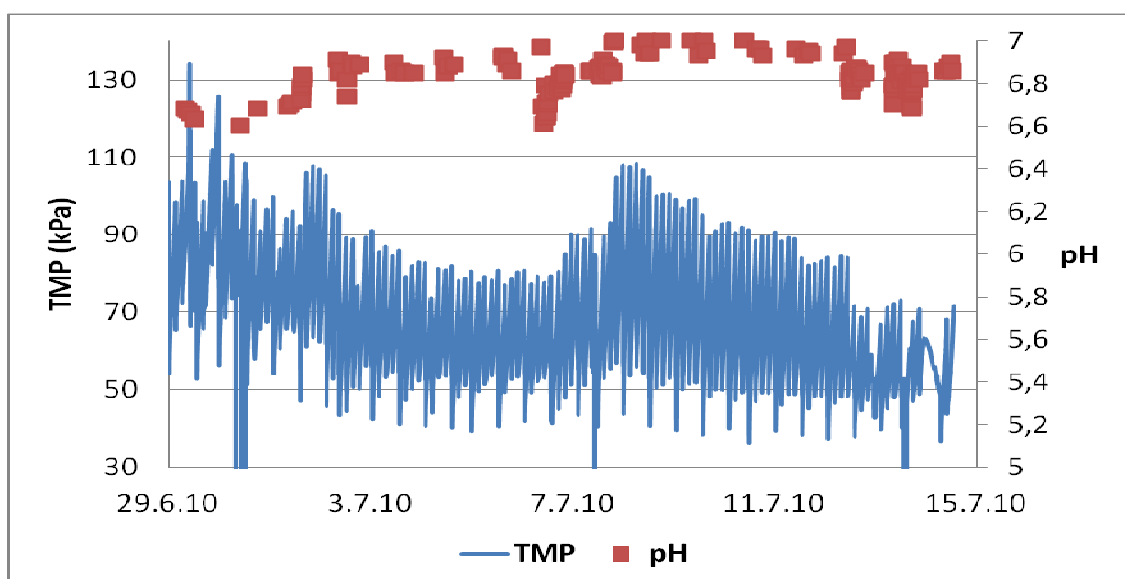


Obrázek 3. Koncentrace CHSKMn v surové vodě a ve filtrátu – řeka Volyňka

Transmembránový tlak – TMP

V průběhu filtračního cyklu dochází k separaci částic na membráně. To je spojeno s nárůstem transmembránového tlaku. Při procesu zpětného praní jsou nečistoty zachycené na membráně odstraněny a dojde k navrácení transmembránového tlaku na téměř původní hodnotu. V daných časových intervalech je pak prováděn tzv. chemický proplach – kyselý nebo oxidační (ACID CEB, OXID CEB). Během chemického proplachu dojde k razantnímu odstranění nečistot, neodstraněných normálním zpětným proplachem. Konečným cílem technologického uspořádání a chemizmu celé jednotky je pak takové nastavení, které povede k dlouhodobé stabilitě transmembránového tlaku za podmínky správné separační funkce membrány.

Na obrázku 4 je uveden příklad záznamu transmembránových tlaků a pH v upravené vodě v období od 29. 6. 2010 do 14. 7. 2010 při provozu mikrofiltrační jednotky AMAYA 5 na vodárenské nádrži v severních Čechách.



Obrázek 4. TMP a pH – vodárenská nádrž

Mikrobiologické a biologické ukazatele

V průběhu provozních zkoušek na řece Vltavě, Volyňce a vodárenské nádrži v severních Čechách byly provedeny vždy 3 bodové odběry surové vody a filtrátu (SV1-SV3, F1-F3) pro stanovení mikrobiologických a biologických ukazatelů. Ve všech případech filtrát z mikrofiltrační jednotky AMAYA 5 splňoval mikrobiologické a biologické ukazatele dané vyhláškou č.252/2004 Sb. Výsledky měření z lokalit vodárenské nádrže (VN) v severních Čechách a Volyňka jsou shrnuty v tabulce 3.

Tabulka 3. Mikrobiologické a biologické ukazatele v surové vodě (SV) vodárenské nádrže a v řece Volyňka a ve filtrátu (F)

Ukazatel	Jednotka	SV1	F1	SV2	F2	SV3	F3
Koliformní b.	KTJ/100 ml	2/42	0	7/11	0	30/14	0
E. coli	KTJ/100 ml	0/18	0	0/2	0	¼	0
Enterokoky	KTJ/100 ml	8/2	0	0/3	0	10/2	0
Kult. b. při 36°C	KTJ/ml	18/64	0	0/29	0	0/>300	0
Kult. b. při 22°C	KTJ/ml	80/280	0	10/120	0	55/>300	0
M.obr. - živé org.	jedinci/ml	10/12	0	48/44	0	42/62	0
M.obr. - počet org.	jedinci/ml	100/12	0	60/48	0	56/62	0
M.obr. - abioseston	%	1/3	<1	1/3	<1	1/3	<1

Množství a kvalita odpadních vod

Při procesu úpravy vody na provozní mikrofiltrační jednotce AMAYA 5 vznikají 3 druhy odpadních vod:

- odpadní vody z fyzikálního praní
- odpadní vody z kyselého praní (ACID CEB)
- odpadní vody z oxidačního praní (OXID CEB)

Součástí procesu praní (fyzikální nebo fyzikálně-chemické) je následné krátké vypláchnutí elementu (zafiltrování).

Množství odpadních vod a vlastní spotřeba vody pro všechny lokality je uvedena v tabulce 4.

Tabulka 4. Množství odpadních vod na 1 cyklus a vlastní spotřeba vody (VSV)

Odpadní voda	Množství OV (l/cyklus)	VSV Vltava (%)	VSV vod. N. (%)	VSV Volyňka (%)
fyzikální praní	125	2,9	1,0	0,8
ACID CEB	225	0,6	0,5	0,5
OXID CEB	225	0,2	0,2	0,2
celkem	-	3,7	1,7	1,5

Při provozu mikrofiltrační jednotky AMAYA 5 v severních Čechách (vodárenská nádrž) byla z odebraných vzorků odpadních vod vytvořena směs odpadních vod (poměrově podle množství vyprodukovaných odpadních vod za den). Charakteristika jednotlivých

odpadních vod a směsi je uvedena v tabulce 5. Odpadní vody z oxidačního praní (OXID CEB) obsahují 15 mg/l akt. Cl₂, pH odpadní vody bylo 6,5 (výsledky nejsou uvedeny v tabulce 5). Výsledné pH směsi odpadních vod bylo 4,2 a sušina v sedimentu byla 0,7 %. Kal z fyzikálního praní velice dobře sedimentuje, již po 15 minutové sedimentaci je kal zahuštěn na 100 ml (sedimentace probíhala v 1 000 ml válcí). Sušina kalu v sedimentu po 30 minutové sedimentaci je 1,1 %.

Tabulka 5. Charakteristika odpadních vod z mikrofiltrační jednotky AMAYA 5

Odpadní voda	CHSK_{Mn} (mg/l)	pH	NL (mg/l)	CHSK_{Cr} (mg/l)	RL (mg/l)	sušina (%)
fyzikální praní (odsazený vzorek)	10	6,8	48,0	21	x	x
kyselé praní (ACID CEB) (rozmíchaný vzorek)	14	2,0	x	25	1 380	x
směs (rozmíchaný vzorek)	20	4,2	284	220	x	x
směs (odsazený vzorek)	17	x	27,2	51	x	x
fyzikální praní (sušina v sedimentu)	x	x	x	x	x	1,1
směs (sušina v sedimentu)	x	x	x	x	x	0,7

ZÁVĚRY

Pilotní zkoušky mikrofiltrace proběhly na třech lokalitách, z nichž každá měla různou kvalitu surové vody. Zkoušky byly provedeny na mikrofiltrační automatické jednotce AMAYA 5, která je vybavena keramickým mikrofiltračním elementem s filtrační plochou 25 m². Systém pracoval způsobem přímé filtrace (dead end filtration) s přeřazenou in-line flokulací a hydraulickým zatížením membrány 168 l/m²xh.

Při dlouhodobém provozu mikrofiltrační jednotky byla produkována pitná voda vysoké kvality.

V závislosti na obsahu organických látek v surové vodě a dávce koagulantu (0,8-3,5 mg/l Al) byly průměrné účinnosti odstraňování CHSK_{Mn} v rozmezí 59-70 %.

Mikrobiální znečištění surové vody bylo sníženo na nulové hodnoty ve filtrátu na všech sledovaných lokalitách.

Průměrná vlastní spotřeba vody resp. produkce odpadních vod byla 3,7 % (Vltava), 1,7 % (vodárenská nádrž), resp. 1,5 % (řeka Volyňka). Odpadní vody lze podle jejich kvality, rozdělit do dvou kategorií na odpadní vody vznikající z fyzikálního praní a odpadní vody z chemických praní (ACID CEB a OXID CEB). Množství odpadních vod z fyzikálního praní je 2,9 % (Vltava), 1,0 % (vodárenská nádrž), resp. 0,8 % (řeka Volyňka) tj. 0,7 % z chemického praní na všech lokalitách.

Mikrofiltraci lze řadit k membránovým procesům s nízkými energetickými nároky. Průměrná specifická spotřeba elektrické energie je 0,23 kWh/m³ upravené vody.

LITERATURA

- [1] Lerch A., Panglish S. and Gimbel R. (2004): Proc. IWA Specialty Conference, Water Environment - Membrane Technology. Seoul National University and IWA, Seoul, pp. 103-112.
- [2] Jacangelo J.G. (2003): Leading Edge Conference on Drinking Water and Wastewater Treatment Technology. IWA, Amsterdam.
- [3] Lerch A., Panglish S., Buchta P., Tomita Y., Yonekawa H., Hattori K., Gimbel R. (2005): Desalination, 179, pp.41-50.