

Poloprovozní experimenty s membránovou mikrofiltrací v reálných podmínkách provozu úpravní vody

doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.^{1,2}, Pavel Dobiáš^{1,2}, Ing. Nataša Kalousková, CSc.¹

¹⁾ W&ET Team, Box 27, Písecká 2, 370 11 České Budějovice

²⁾ Fakulta chemická VUT, Purkyňova 118, 612 00 Brno

e-mail: petr.dolejs@cmail.cz

1. Úvod

V roce 2002 jsme se v našem příspěvku na této konferenci věnovali úvodu do problematiky možností využití membránových procesů při úpravě pitné vody [1]. Dnes můžeme prezentovat první výsledky experimentální práce, které jsme získali přímo v provozu úpravní vody.

Pracovali jsme se surovou vodou ze zdroje využívaného pro úpravu na vodu pitnou (ÚN Souš v Jizerských horách) a experimenty byly prováděny s vodou, která prošla agregačním reaktorem úpravní vody a bylo proto pracováno jednak s reálnou suspenzí, která jde na provozní filtry, jednak to také umožnilo srovnání membránového separačního procesu s provozem dobře vyladěné technologické linky úpravy vody (ÚV Souš).

Studovali jsme možnosti využití mikrofiltračních membrán pro úpravu vody po agregaci síranem hlinitým. Tento postup je možnou alternativou pro budoucí inovace separačních stupňů našich úpraven a souhlasí s trendem ve vodárensky vyspělých zemích. Práce dále pokračují a v nastávajícím období se budeme věnovat jednak prohlubování procesního (tj. chemicko-technologického) pohledu na využití membránové mikrofiltrace a po nalezení vhodných provozních podmínek připojíme také hledisko ekonomického zhodnocení. Již z výsledků, které jsme získali a také z rozsáhlých údajů v literatuře se však ukazuje, že membránová mikrofiltrace je konkurenceschopná ve srovnání s „klasickými“ separačními postupy a bude záležet na specifických podmínkách v jednotlivých lokalitách, bude-li v budoucnosti právě tou nejvhodnější separační metodou.

2. Mikrofiltrace

Tvrzení předchozího odstavce dokazují například výsledky výzkumů, které intenzivně probíhají ve všech vodárensky vyspělých zemích. Jak uvádí např. Hagemeyer a kol. [2], ve výsledcích poloprovozu s kapacitou 150 m³/h v sestavě flokulace + membránová filtrace byla po tři roky za stabilních provozních podmínek upravována voda z vodárenské nádrže na vodu pitnou. Bylo dokonce zjištěno, že použití nižší dávky koagulantu (síranu hlinitého) než při klasické úpravě vody mělo na jednu stranu za následek snížení propustnosti membrány, ale na druhou stranu to kvalitu upravené vody příliš neovlivnilo. Je však třeba konstatovat, že v tomto období došlo i ke změně kvality surové vody (zvýšila se koncentrace Mn, Fe a chlorofylu). Účinnost odstraňování TOC se při použití nižší dávky koagulantu (1mg/l) mírně snížila, při koagulaci vyšší dávkou (4mg/l) se řádově pohybovala v hodnotách obdobných klasické úpravě vody (koagulace/písková filtrace). Výběr pH vhodného pro koagulaci vedl i ke snížení

koncentrace Al ve filtrátu. Celkově autoři hodnotí proces jako stabilní s podstatně méně častou potřebou změny dávky koagulantu než při klasické úpravě vody. Při mikrofiltraci (MF) kvalita filtrátu na tomto parametru tak výrazně nezávisí.

Membránová mikrofiltrace je proces již několik let využívaný k úpravě povrchových vod na vodu pitnou. Tímto procesem je možné úplně nebo alespoň s významnou účinností odstranit suspendované částice většinou o velikosti 0,2 – 2 μm (bakterie, řasy a protozoa – *Giardia* a *Cryptosporidium*), jak uvádí např. Carrol a kol. [3]. Odstranění závisí na velikosti pórů mikrofiltrační membrány a také na jejich tvaru.

S menší účinností je možno odstraňovat rozpuštěné látky, jako například huminové látky – NOM (Natural Organic Matter). NOM způsobují zbarvení vody a vedou ke vzniku skupiny vedlejších produktů při použití chemických postupů při desinfekci vody (chlorace, ale i ozonizace). Tyto látky mohou způsobovat zdravotní problémy (karcinogeny, mutageny). Proto je pro odstranění rozpuštěných a koloidních látek mikrofiltrací nezbytné zařadit stupeň předúpravy surové vody.

Nejčastějším procesem je v tomto případě koagulace. Ta umožňuje odstranění velké části NOM, ale má pochopitelně za následek zanášení membránových modulů a tím snižování výkonu MF. Zanášení (tzv. *fouling*) je způsobeno ukládáním částic na povrchu membrány a také sorpcí rozpuštěných látek na povrchu a v pórech membrány. Rychlost zanášení závisí také na vlastnostech surové vody, na vlastnostech předupravené vody (pH, koncentrace různých látek atd.), na vlastnostech materiálu, ze kterého jsou membrány vyrobeny, jak uvádějí třeba Carrol a kol. [3] a Schäfer [4].

Dále závisí zanášení membrán také na použití postupů, kterými jsme jednak schopni ovlivnit rychlost zanášení membrán a také dosáhnout jejich ideální funkčnosti (konstrukce filtračního modulu, využití prostředků k jejich regeneraci – chemické procesy, fyzikální procesy a jejich kombinace).

3. Metodika poloprovozních experimentů

Experimenty probíhaly přímo v provozu úpravní pitné vody Souš v Jizerských horách. Zdrojem surové vody je nádrž Souš na Černé Desné. Surová voda obsahuje vyšší koncentrace hliníku a zejména huminových látek, které způsobují její charakteristické žluto-hnědé zbarvení. Hodnota ChSK je velmi proměnlivá a pohybuje se v rozmezí 5 – 12 mg/l.

Úprava vody na ÚV Souš je jednostupňová, agregace probíhá v komorové reakční nádrži s nenastavitelnými děrovanými stěnami. Tento typ agregačního reaktoru se velice osvědčil již na několika úpravách a produkuje suspenzi vynikajících separačních vlastností. Jako koagulant se používá síran hlinitý. Hodnota pH v reakční nádrži je řízena tak, že se po většinu roku pohybuje v rozmezí 5.6 – 6.3. Hodnota pH je v surové vodě před vstupem do reakční nádrže a dávkováním koagulantu upravována přidávkou vápna. V provozu vápenného hospodářství však může někdy dojít i k poruchám, z nichž jednu jsme zachytili při našem měření. Došlo ke krátkému výpadku dávkování vápna pro předalkalizaci a výraznému poklesu hodnoty pH v reakční nádrži a odezva je vidět i na našich grafech. Voda je po průchodu reakční nádrží filtrována přes pískové filtry (6 filtrů) s náplní pískem FP2. Filtrační rychlost se pohybuje okolo 3 m/h.

Pro řešení úkolu bylo postaveno modelové experimentální zařízení osazené MF membránovými svazky vyráběnými firmou Eidos s.r.o. V modelovém zařízení bylo umístěno deset membránových modulů. Model pracoval v podtlakovém režimu. Filtrát byl čerpán z membránových svazků při elektronicky řízené hodnotě podtlaku. Tato hodnota je jednou z testovaných proměnných. Modelové zařízení bylo umístěno před posledními dvěma děrovanými stěnami reakční nádrže (čili zhruba ve dvou třetinách reakční nádrže) před odtokem na filtry.

Tabulka 1. Vlastnosti membránových modulů použitých v modelovém poloprovozním zařízení

TYP	MATE- RIÁL	VNĚJŠÍ PRŮMĚR VLÁKNA	TL. STĚNY VLÁKNA	PRŮMĚR PÓRŮ	POROSI- TA	SWAZEK
M6, hollow fibre, MF	Poly- propylen	295 μm	35 μm	0,1 μm	55%	Délka – 750 mm 1400 vláken 0,86 m ² membránové vnější plochy vláken

4. Výsledky

Na obr. 1 je znázornění objemového průtoku Q (l/hod) v závislosti na čase. Tento objem charakterizuje výkon modelu v závislosti na zanášení filtračních membrán. Otáčky čerpadla byly automaticky regulovány řídicí elektronickou jednotkou, aby byl udržen konstantní podtlak na membránách. V našem případě to bylo po většinu experimentů 0,25 atm. Na začátku provozu mikrofiltračního modelu byl dosahovaný průtok 480 l/h a vidíme, že postupně klesal na hodnoty kolem 150 l/h.

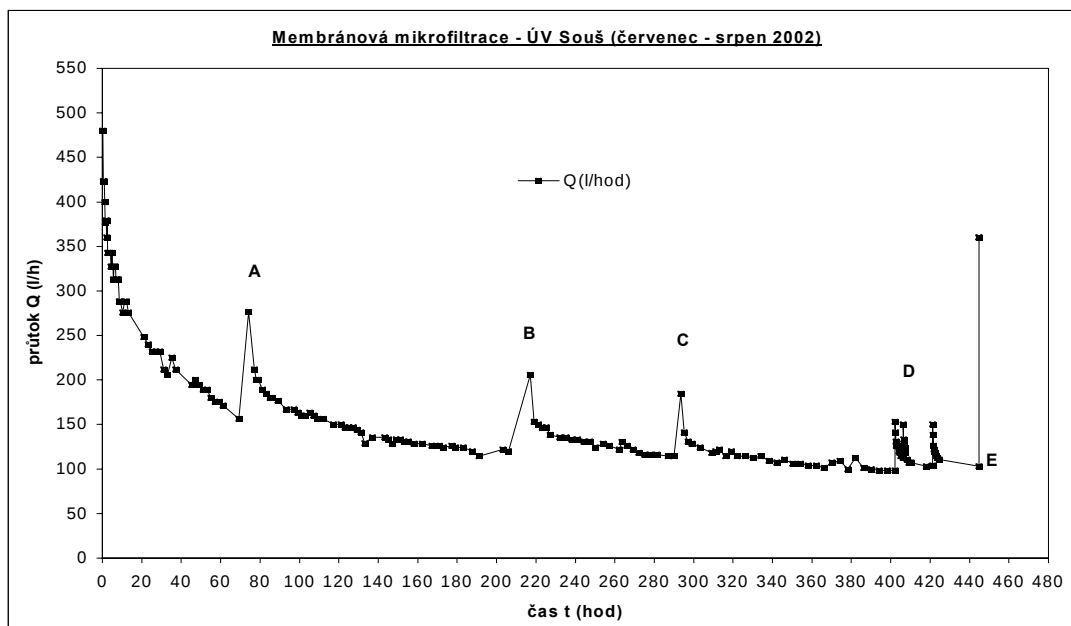
V bodě **A** došlo k úpravě přívodních hadic a přeprogramování čerpadla z 0,5 atm na 0,25 atm. Vidíme prudký vzestup hodnoty průtoku daný krátkodobým odstavením průtoku modelem a to i přes to, že byl hnací potenciál mikrofiltrace (podtlak) snížen na 50% původní hodnoty.

V bodě **B** došlo k přerušení dodávky elektrické energie do úpravní a model byl vypnut asi 4 hodiny, po zapnutí opět vzrostl výkon.

V bodě **C** byl průtok modelem opět zastaven (tentokrát záměrně jako součást experimentu). Doba přerušení průtoku byla zvolena jen na dvě hodiny. Jak je vidět, byl pozorován jen menší vzrůst výkonu než v bodě **B**.

V oblasti označené **D** byla prováděna zkouška řízeného přerušování provozu modelu. Bylo při ní vypnuto čerpadlo a ponechán zapnutý jen kompresor přivádějící vzduch do prostoru membrán (mechanické praní bublinami vzduchu).

V bodě **E** byl model odstaven a byl proveden experiment s chemickým praním membrán. Vidíme, že výkon membránového modelu se prakticky vrátil do původního stavu čisté membrány.



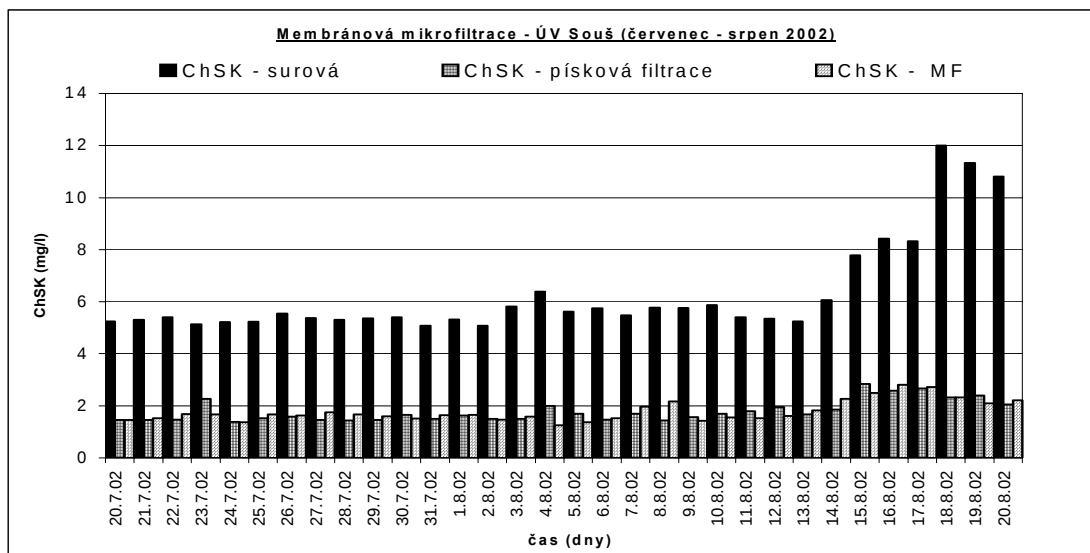
OBR. 1: ZNÁZORNĚNÍ ZÁVISLOSTI $Q = F(T)$ S VYZNAČENÝMI OBLASTMI VLIVU ZÁSAHŮ DO PROVOZU MEMBRÁNOVÉHO MODELU

Obr. 2 zobrazuje průběh hodnot ChSK(Mn) pro celý interval experimentálního sledování provozu modelového zařízení. Opět bylo dosahováno, stejně jako na pískových filtrech, výrazně nižších hodnot než je požadováno vyhláškou. Zajímavá je stabilita výsledků kvality upravené vody. Naším experimentům svým způsobem pozitivně pomohly výrazné srážky v době povodní, které zasáhly i sever Čech a projevíly se na kvalitě surové vody. V období od 14.8. 2002 do 20.8. 2002 došlo po přívalových deštích v povodí ÚV Souš k výraznému a velmi rychlému zhoršení kvality surové vody.

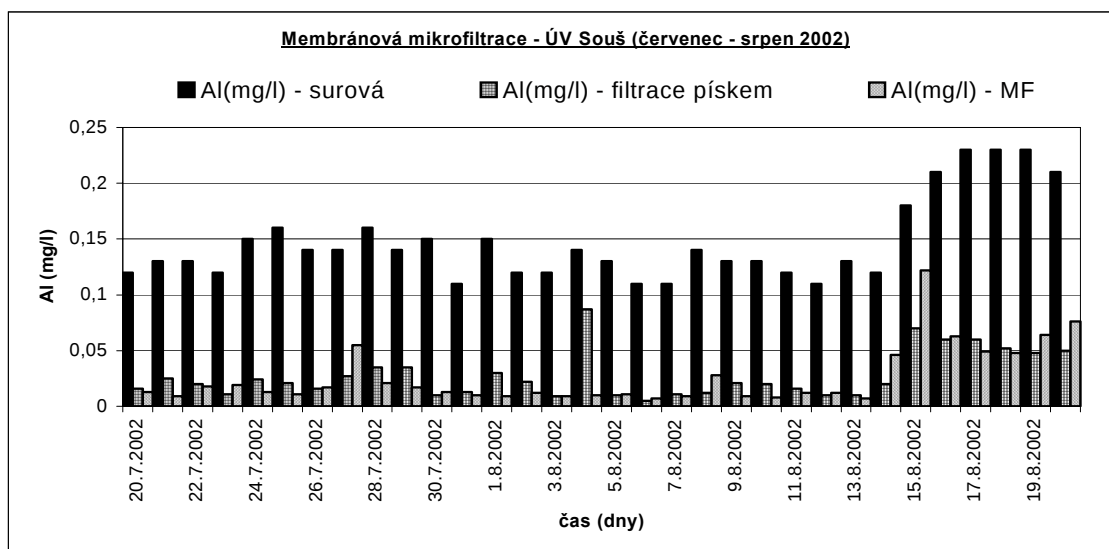
Jak je z prezentovaných výsledků vidět, jak jednostupňová úpravná, tak membránový model si vynikajícím způsobem poradily s extrémní kvalitou surové vody dané například hodnotou CHSK(Mn) kolem 12 mg/l. Upravená voda byla bezpečně v normě a pohybovala se jen těsně nad hodnotou 2 mg/l a separační účinnost v parametru CHSK(Mn) tak dosahovala téměř 85 %. To je jednak výsledkem předchozí výzkumné práce nad koncepcí a realizací dobře vyladěné technologické linky úpravy, ale také dobrým řízením chodu úpravný ze strany provozovatele.

Obr. 3 ukazuje průběh hodnot koncentrací hliníku tak, jak se měnily v průběhu měření. Z obrázku je vidět, že MF bylo dosahováno velmi nízkých zbytkových hodnot koncentrace Al ve filtrátu.

Je nutné brát na zřetel také to, že při porovnávání provozních dat a dat pro MF model. MF data jsou průměrné hodnoty ze souborů naměřených dat, protože vzorkování modelu bylo prováděno velmi intenzivně (v řadě případů s intervalem 15 minut, později 1-2 hodiny). V provozu se prováděla analýza většinou zahrnující 3 - 4 vzorky denně.



OBR. 2: SROVNÁNÍ CHSK PRO VODU SUROVOU, UPRAVENOU PÍSKOVOU FILTRACÍ A UPRAVENOU MEMBRÁNOVOU MIKROFILTRACÍ



OBR. 3: SROVNÁNÍ ZBYTKOVÝCH KONCENTRACÍ HLINÍKU PRO VODU SUROVOU, UPRAVENOU PÍSKOVOU FILTRACÍ A UPRAVENOU MIKROFILTRACÍ

5. Závěry

Bylo prokázáno, že mikrofiltrace (navíc osazená membránami domácí produkce) je velmi slibnou separační alternativou při úpravě povrchových vod. Po předúpravě koagulací je minimálně možné dosáhnout srovnatelných a po většinu času i lepších výsledků kvality upravené vody. Díky srovnáním s provozem existující velmi dobře fungující jednostupňové úpravně vody a experimenty prováděnými se suspenzí, která byla vytvořena přímo na úpravně vody byly získány výsledky, které mají vysokou vypovídací schopnost, protože je zcela minimalizován vliv většiny experimentálních omezení, které se uplatňují při práci v laboratorních podmínkách.

Studiem jednoduchého fyzikálního čištění mikrofiltračních membrán probubláváním vzduchem bylo zjištěno, že tento způsob je účinný a dává velkou naději na aplikaci v provozních podmínkách. Podobně bylo ověřeno i chemické čištění membrán.

Poděkování: Tato publikace byla vytvořena s finanční podporou grantů udělených MZe ČR - Národní agenturou pro zemědělský výzkum pod čísly NAZV-QC0255 a NAZV-QD1004 a za významného přispění a podpory firem SVS a.s., Teplice, SčVK a.s., Teplice a Envi-Pur s.r.o., Tábor.

6. Literatura

1. Dolejš P., Kalousková N., Nogová Z.: Využití membránových procesů při úpravě pitné vody. Sborník VI. mezinárodní konference Voda Zlín 2002, s. 109-114. VaK Zlín, Zlín 2001.
2. Hagmeyer G., Gimbel R., Dautzenberg W.: Large scale pilot plant for treating flocculated reservoir water and membrane integrity monitoring. Water Sci.Technol.-Water Supply, 2 (2), 289-296, (2002).
3. Carroll T., King S., Gray S.R., Bolto B.A., Booker N.A.: The fouling of microfiltration membranes by NOM after coagulant treatment. Water Res., 34(11), 2861-2868, (2000).
4. Schäfer A. I.: Natural Organics Removal Using Membranes. Technomic, Lancaster, 2001.