

Membránové technologie pro úpravu pitných vod - příklad ÚV Méry sur Oise (Francie)

Dr. Ing. Pavel Chudoba, Ing. Michal Čížík
Veolia Water ČR

Pařížská 11, 110 00 Praha 1, pavel.chudoba@veoliawater.cz, michal.cizik@veoliawater.cz



ÚVOD

Vstup České republiky do Evropské Unie je doprovázen postupným vývojem české legislativy v souladu s legislativou EU. S tím jsou spojeny vyšší nároky nejen na kvalitu povrchových vod, které slouží jako zdroj pro úpravu vod pitných, ale také na způsob úpravy pitných vod tak, aby byly respektovány přísnější kvalitativní požadavky a kritéria. Požadovaný stupeň odstranění některých nově zařazených parametrů (pesticidy, THM,...) klasickými metodami je buď nemožný, nebo investičně a provozně náročný a komplikovaný. Proto se postupně na trhu objevují nové, tzv. alternativní technologie. V mnohem komplexnější oblasti čištění odpadních vod je paleta těchto nově nabízených alternativních metod širší, nicméně i v oblasti úpravy pitných vod lze narazit na novinky. Jednou z nich jsou bezesporu membránové separační technologie.

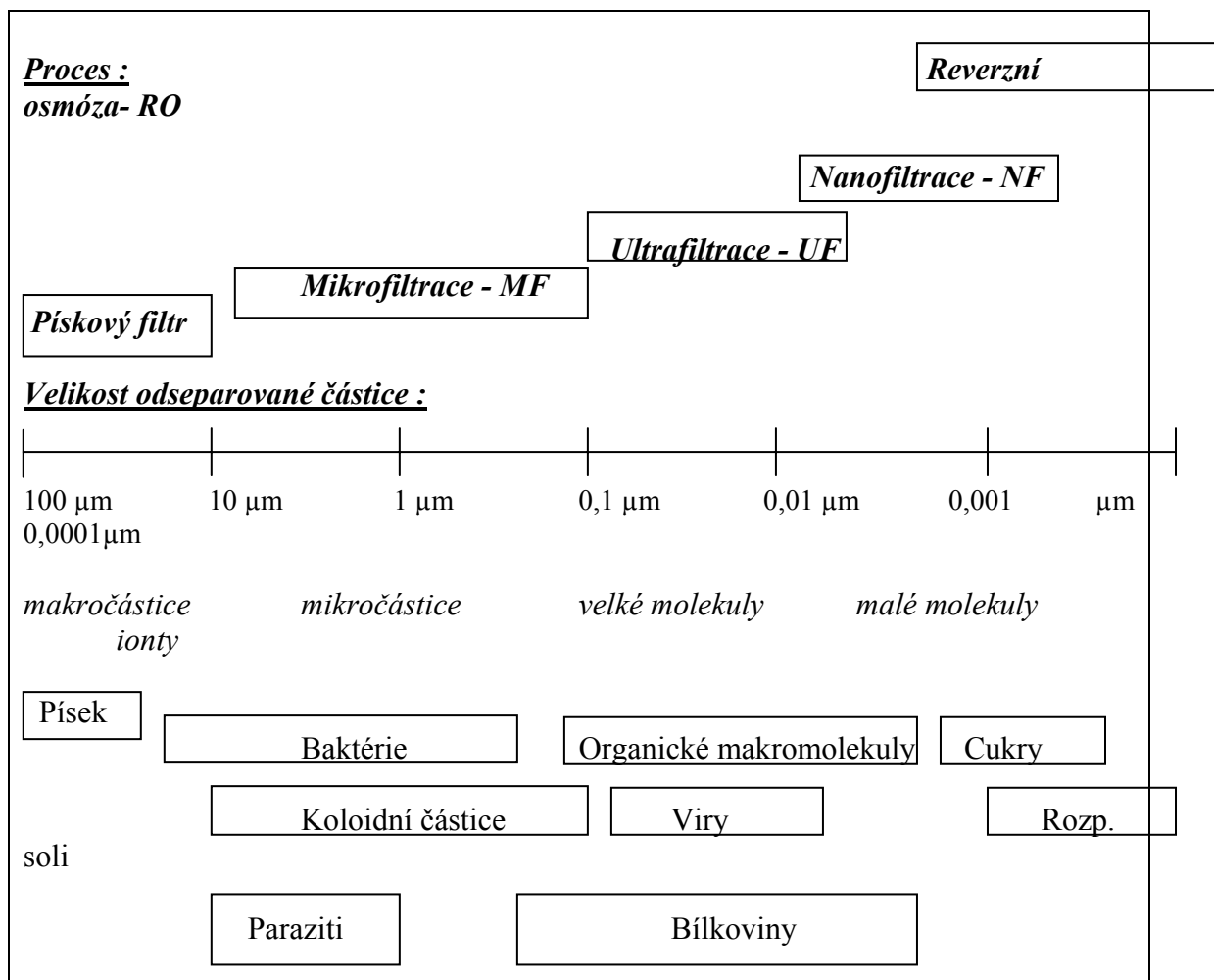
PROBLEMATIKA ÚPRAVY PITNÝCH VOD

Jednou z hlavních etap při úpravě pitných vod je separace nerozpuštěných a jemně koagulovaných látek ze surové vody. K separaci nerozpuštěných látek se v současné době využívá řada technologií : usazování – čiření, filtrace, flotace, popř. odstředění. Všechny tyto technologie jsou v praxi běžně používány, nicméně jejich účinnost výrazně kolísá, a je ovlivněna různými faktory (kvalita surové vody, koncentrace a původ nerozpuštěných látek, návrhové parametry dané technologie, provozní podmínky apod.). Právě nedostatečná účinnost této etapy ve svém důsledku většinou zásadně ovlivní celkovou účinnost úpravárenského (pitná voda) nebo čistícího (odpadní voda) procesu. Navíc výše uvedenými technologiemi lze odstranit pouze část nerozpuštěných látek, jemné částice s malou velikostí zrna se většinou tímto způsobem z vody odstranit nedají.

PRINCIP MEMBRÁNOVÉ SEPARACE

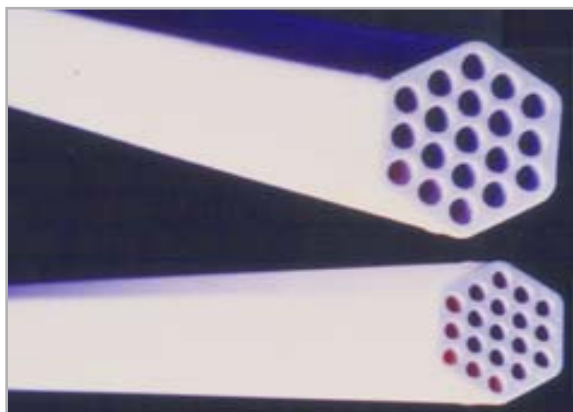
Z těchto důvodů došlo v minulém desetiletí k výraznému vývoji tzv. membránových separačních technologií, jejichž principem je filtrace kapalného média (surové vody, odpadní vody, aktivovaného kalu, atd.) přes membránový modul. Podstatou této technologie jsou polopropustné membrány, propouštějící molekuly vody a podle typu membrány pak jen další částice určité velikosti. Polopropustné membrány jsou charakterizovány především velikostí pórů, které určují i velikost částic jimi procházejících. Vzhledem k tomu, že filtrací přes membrány dochází k odseparování veškerých tuhých částic, takto filtrovaná surová voda je hygienicky zabezpečena.

Obrázek č. 1 uvádí přehled membránových separačních technologií, dělených podle velikosti pórů membrány. Z obrázku je patrné pro jaký typ zachycených částic se hodí jednotlivé membránové technologie. Dále je vidět, že pomocí nanofiltrace a reverzní osmózy lze zachytit i některé rozpuštěné molekuly a ionty.

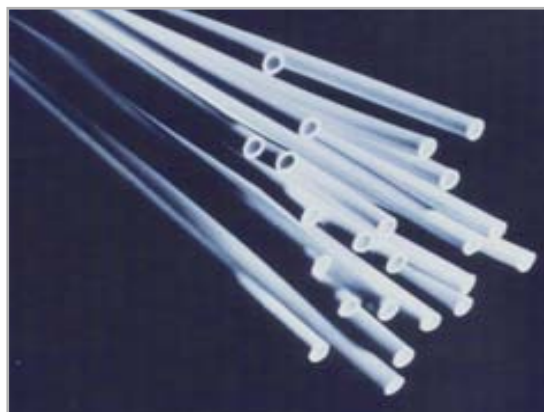


Obr. 1. Přehled procesů membránové separace v závislosti na velikosti částic.

Membrány jsou dle potřeby vyrobeny z keramických, plastických nebo organických materiálů, a mohou být uspořádány v různých tvarových vyhotoveních (desky, trubky, vlákna,...). Na obrázcích č. 2 a 3 jsou znázorněny dva druhy běžně používaných membrán (keramické a vlákna z polyamidu nebo polypropylenu).



Obr. 2. Keramické membrány

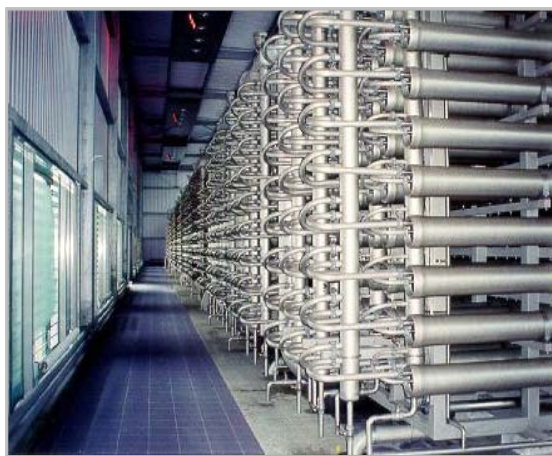
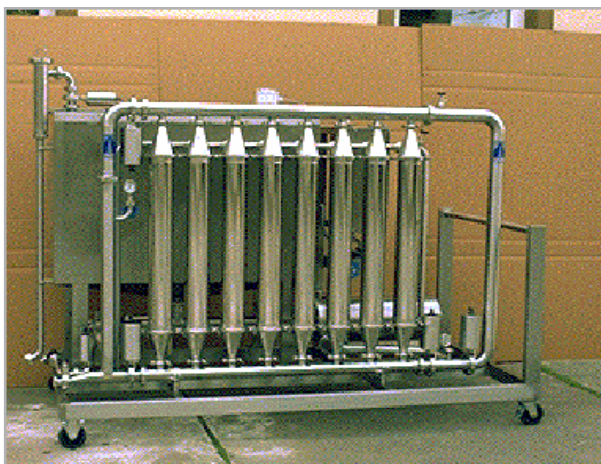


Obr. 3. Membrány z PP vláken

Membránové moduly jsou umístěny většinou ve speciálním odděleném systému, přes který je filtrované medium čerpáno (obr. 4.). Čím jsou póry použité membrány menší, tím je zapotřebí většího provozního tlaku. Přehled provozních podmínek jednotlivých membránových technologií je uveden v tabulce 1., a obrázek 5. ukazuje tlakový membránový modul NF.

Tab. 1. Přehled provozních podmínek různých membránových separačních technologií

	Klasické řešení	Mikrofiltrace MF	Ultrafiltrace UF	Nanofiltrace NF	Reverzní osmóza - RO
	Pískový filtr	1 – 0.1 μm	0.1 – 0.01 μm	0.01 – 0.001 μm	0.001 – 0.0001 μm
Provozní tlak (bar)	0.1 – 0.4	0.2 - 1	0.3 - 2	5 - 15	15 - 80
Typický průtok (l/m ² .h)	2 000 – 20 000	50 - 300	30 - 200	15 - 30	15 - 30
Aplikace	Filtrace	Filtrace Desinfekce Odstr. pesticidů	Filtrace Desinfekce Odstr. pesticidů	Změkčování Filtrace Desinfekce Odstr. OL a pesticidů	Odsolování



Obr. 4. Oddělený membránový separační modul **Obr. 5.** Tlakový membránový modul

Membrány jsou ale náchylné k ucpávání, a proto je důležité zajistit vhodný stupeň předčištění, většinou fyzikálně-chemické srážení či zátěžovou koagulaci-flokulaci (technologie Actiflo). V případě použití membránových technologií s menší velikostí pórů (NF, RO) lze jako stupeň předčištění použít mikrofiltraci (kombinace MF – NF). Membrány jsou filtrační bariérou, zachycené odseparované částice se musí průběžně odstraňovat praním (stejně, jako v případě pískových filtrů). Protokoly praní jsou různé, podle způsobu aplikace, kvality surové vody apod. (praní vodou, chemické praní,...). MF membrány lze promývat pouze vzduchem, u UF a NF membrán se musí používat praní vodou. UF membrány na ÚV Clay Lane ve Velké Británii se např. promývají jednou za hodinu po dobu 2 min. vodou, a jednou denně navíc chemicky kyselinou chlorovodíkovou a louhem sodným.

Vývoj membránových separačních technologií doznal rozhodující etapu v posledním desetiletí 20. století, kdy byly postupně výsledky modelových pokusů přeneseny do provozních podmínek. V zemích EU je v současné době několik ÚV vybavených touto technologií, ty největší jsou ve Francii, nanofiltrační linka na ÚV Méry sur Oise (140 000 m³/d) a ÚV Clay Lane ve Velké Británii, která je svou kapacitou 160 000 m³/d největší referencí ultrafiltrační technologie na světě. ÚV Méry sur Oise zásobuje pitnou vodou severo-západní část Pařížské aglomerace, ÚV Clay Lane zase část populace na severním okraji Londýna.

ÚPRAVNA VODY MÉRY SUR OISE (FRANCIE)

Zásobování pitnou vodou širší pařížské aglomerace má na starosti sdružení obcí a měst SEDIF, které sdružuje přes 144 obcí a měst. Je to co do počtu zásobovaných obyvatel (přes 4 miliony) největší sdružení svého druhu ve Francii. SEDIF je vlastníkem vodárenské infrastruktury na území členských obcí a měst, smluvním provozovatelem je společnost Veolia Water. Roční rozpočet sdružení SEDIF přesahuje 500 milionů €, z toho více než třetina představuje nové investice do vodárenského majetku. V úpravách vody společnosti SEDIF je upraven denně 1 milion m³ pitné vody. Jednou ze tří kapacitně největších ÚV vlastněných sdružením SEDIF je ÚV Méry sur Oise, která zásobuje 39 členských obcí a měst, což představuje 800 000 zásobovaných obyvatel.

ÚV Méry sur Oise byla postavena na začátku 20. století, a dále byla postupně dostavována a modernizována. Surová voda pro úpravu je čerpána z řeky Oise, v níž je kvalita vody velice proměnlivá. V roce 1980 byl dostavěn nový velkokapacitní vodojem, a v roce 1993, po odborných diskuzích s provozovatelem, byla modelově odzkoušena technologie nanofiltrace. Úspěšné testy, vedené provozovatelem Veolia Water vedly nakonec k rozhodnutí vlastníka použít pro intenzifikaci ÚV Méry sur Oise právě nanofiltrační membránovou technologii.

Původní biologická linka ÚV Méry sur Oise upravující surovou vodu z řek Marne a Seine byla v roce 1999 doplněna paralelní nanofiltrační technologií úpravy vody z řeky Oise, což umožnilo zvýšit počet zásobovaných obcí a měst z původních 27 na současných 39. Denní maximální kapacita ÚV byla zvýšena ze 140 000 m³/d na maximální kapacitu 340 000 m³/d, 140 000 m³/d z toho je upraveno nanofiltrací, a 30 000 m³/d biologickou linkou (možnost zvýšit až na 200 000 m³/d). SEDIF do této intenzifikace investoval 150 milionů €.

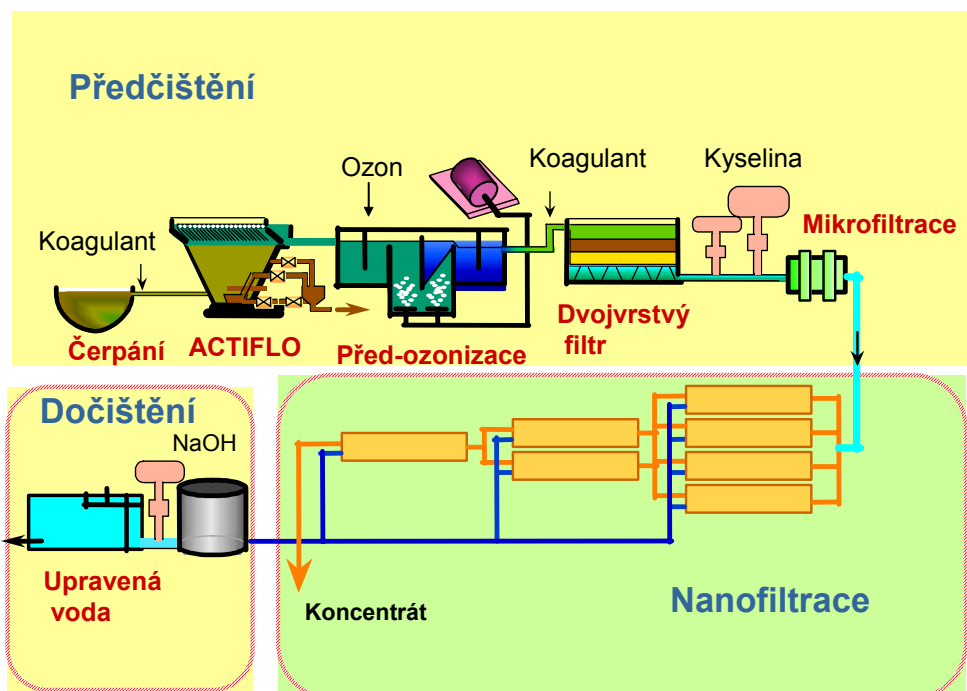
Nová nanofiltrační úpravárenská linka zabírá plochu cca. 34 hektarů, a je umístěna v budově o ploše 3 600 m² (Obr. 6.). Technologická linka, včetně předčištění se skládá z následujících etap (viz. schéma na obr. 7) :

- **Čerpací stanice**
- **Zátěžová koagulace – flokulace**, technologie Actiflo (2 x 700 m³, 10 000 m² lamelové usazovací plochy, povrchové zatížení 40 m/h) - zadržení 95 % částic 1 mm – 100 µm.
- **Před-ozonizace** (3 ozonizátory, produkce 22 kg/h) - odstranění mikrořas
- **Dvojvrstvý filtr** (písek a antracit, 10 x 117 m², výška filtrační vrstvy 1,5 m, rychlost filtrace 6 – 7 m/h) – odstranění 100 % amonných iontů, zadržení 100 % částic 1 mm – 100 µm.

- **Mikrofiltrace** – (8 uzavřených mikrofiltrů, 410 filtračních náplní, celková filtrační kapacita 7 000 m³/h, filtrační rychlost 0.88 m/h), zachycení 100 % částic 10 – 100 µm a 95 % částic 1 – 10 µm.
- **Nanofiltrace** – 1 520 membránových modulů, celkem 9 120 membrán, 340 000 m² filtrační plochy, zachycení 100 % virů a bakterií, 95 % rozpuštěných organických látek a pesticidů, 50 % rozpuštěných minerálních látek, a 100 % částic 1 – 0,001 µm.
- **Odplynění** – vypuzení CO₂
- **Dezinfekce** – UV záření
- **Smíchání** s biologicky upravenou a chlorovanou pitnou vodou z původní linky (před vypouštěním do sítě)



Obr. 6. Celkový pohled na NF linku ÚV Méry sur Oise.



Obr. 7. Schema nanofiltrační linky ÚV Méry sur Oise.

Výše uvedená linka nanofiltrace je schopna ze surové vody odstranit veškeré organické látky, nerozpuštěné látky, bakterie, viry, většinu pesticidů a část minerálních rozpuštěných solí. Upravená voda z nanofiltrací a biologické linky je na výstupu z ÚV smíchána v poměru 80 % ku 20 % .

VÝSLEDKY

Následující tabulky 2 a 3 představují některé provozní výsledky, dosažené s technologií NF membránové separace.

	Surová vody	Upravená voda
Průměrný zákal (NTU)	18	0.1
Maximální zákal (NTU)	82	0.26
Průměrná konc. NO ₃ ⁻ (mg/l)	37	12
Maximální konc. NO ₃ ⁻ (mg/l)	52	18

Tab. 2. Příklad provozních výsledků technologie NF– NL a dusičnany.

	Surová vody	Upravená voda
Vodivost (μS/cm)	3580	131
Alkalinita (°F)	50	1.1
Tvrdost (°F)	150	1.1
Síraný (mg SO ₄ ²⁻ /l)	1754	28
Sodík (mg Na ⁺ /l)	460	24

Tab. 3. Příklad provozních výsledků technologie NF – rozpuštěné látky.

Tabulka 4. nabízí porovnání účinnosti odstranění dusičnanů a některých pesticidů různými typy nanofiltracních membrán a reverzní osmózou. Jedná se o výsledky dlouhodobé studie účinností různých membrán ve výzkumném centru společnosti Veolia Water.

	NF membrány	NF membrány	NF membrány	RO membrány	RO membrány
Typ	NF70	NF200	NF90	ULP	ESPA
Dusičnany	65 %	20 %	80 %	85 %	90 %
Pesticidy					
Atrazin	85 %	90 %	95 %	95 %	> 98 %
Simazin	70 %	80 %	95 %	95 %	> 98 %
Isoproturon	60 %	80 %	95 %	95 %	> 98 %

Tab. 4. Porovnání účinností odstranění dusičnanů a některých pesticidů různými membránami.

Z údajů uvedených v tabulce 4 vyplývá, že ne každá NF membrána zajistí stejný výsledek. Proto je volba vhodné membrány (typu) pro daný parametr klíčová. Z tabulky také logicky vyplývá vyšší účinnost odstranění prakticky všech parametrů membránami RO.

V následující tabulce 5. jsou představeny účinnosti odstranění některých bakteriologických ukazatelů, tentokrát technologií MF membránové separace.

Vzorek	č. 1	č. 1	č. 2	č. 2
typ vody	surová	upravená	surová	upravená
Koliformní 37°C (počet/100 ml)	360	< 1	50	< 1
Termotolerantní coli 44°C (počet/100 ml)	360	< 1	50	< 1
Fekální streptokokové (počet/100 ml)	168	< 1	40	< 1
Síru-redukující bakterie (počet/20 ml)	49	< 1	15	< 1

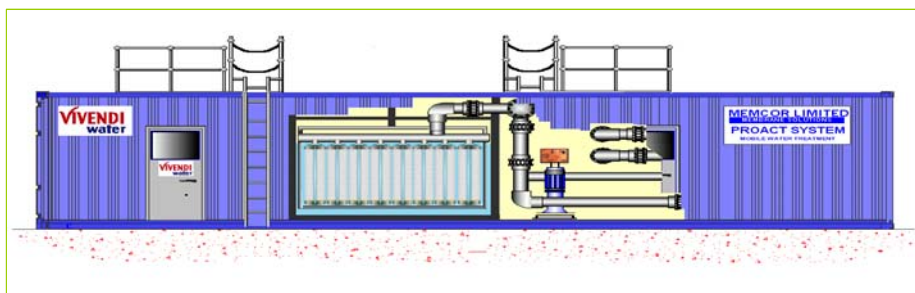
Tab. 5. Příklady účinnosti odstranění bakteriologických ukazatelů mikrofiltrací.

KOMPAKTNÍ MOBILNÍ JEDNOTKY

Pro případy humanitární pomoci nebo pro rychlou aplikaci v případě povodněmi zasažených oblastí byly vyvinuty speciální mobilní jednotky, založené na principu úpravy surové vody membránovou filtrací. Schéma a foto na obrázku 8 znázorňují příklad takovéto MF jednotky.

Standardní kontejnerová MF membránová jednotka

- Produkce pitné vody mikrofiltrací od 500 do 5,000 m³/den



Membránové moduly



Mikrofiltrační jednotka

Obr. 8. Mobilní mikrofiltrační jednotka v kontejnerovém provedení.

ZÁVĚR A PERSPEKTIVY

Technologie membránové filtrace našly své uplatnění v procesu úpravy pitných vod, zejména pak povrchových vod se sníženou nebo proměnlivou kvalitou. Nabídka technologií od mikrofiltrace přes ultrafiltraci a nanofiltraci dává municipálním a průmyslovým zákazníkům celou škálu možností, jak sestavit moderní úpravářenskou linku. Každý typ membránové separační technologie má své použití v daném konkrétním případě.

Zejména různé kombinace s MF jako etapou předčištění před NF nebo kombinace UF – RO, MF – RO umožňují zdvojit bariéru nejen vůči nerozpuštěným látkám, ale také vůči organickým rozpuštěným látkám (velké molekuly) a části minerálních rozpuštěných látek (malé molekuly).

- Ultrafiltrace + aktivní uhlí je možná kombinace, ale je stále méně účinná vůči odstranění rozpuštěných organických látek a prakticky nemá žádný efekt na odstranění rozpuštěných minerálních látek (tvrdost, alkalita, sírany, dusičnany).
- Nanofiltrace je vhodná technologie pro snížení tvrdosti, snížení koncentrace síranů a dalších rozpuštěných látek. Navíc tato technologie zachytí veškeré viry (0.1 – 0.01 μm). NF je také vhodnou technologií na snížení koncentrace složitějších organických látek, jako pesticidů nebo THM).
- Actiflo + mikrofiltrace + nanofiltrace ukázala v případě Méry sur Oise své výhody a vysoký stupeň odstranění nerozpuštěných látek, organických látek a částečně pesticidů a minerálních rozpuštěných látek.
- Provozní zkušenosti ukázaly, že praní vzduchem (u MF) je účinnější, než praní vodou (u NF).

Membránové separační technologie dosahují vysoké účinnosti odstraňování nerozpuštěných a rozpuštěných látek v kompaktním provedení. Bariéra vůči bakteriím a virům umožňuje produkci zdravotně zabezpečené pitné vody, nutnost dodatečné dezinfekce na síti je snížena na minimum. Současné investiční a provozní náklady, i když zaznamenaly v posledních letech klesající trend, ale limitují aplikaci těchto technologií jen na specifické případy.