

# Zkušenosti s provozováním membránového bioreaktoru v oblasti čištění odpadních vod

Eva Ničová, Daniel Vilím, Simona Kubičková

## 1 Abstrakt

---

Membránové technologie jsou v dnešní době již poměrně známým pojmem. Nacházejí uplatnění v řadě oblastí, mimo jiné i při úpravě vody a při čištění odpadních vod. Tento příspěvek se zabývá membránovými čistírnami odpadních vod, realizovanými firmou ENVI-PUR, s. r. o. Firma ENVI-PUR, s. r. o. má za sebou řadu zajímavých realizací čistíren komunálních i průmyslových odpadních vod a dokazuje tak, že i tento způsob čištění odpadních vod si našel na trhu své místo. Hlavní výhodou MBR – membránového bioreaktoru – je úspora místa, čehož se často využívá při navýšení kapacity stávajících čistíren. Z celkového počtu realizací je varianta intenzifikace stávající ČOV nejrozšířenější. Toto řešení je tak vhodné například pro rozšiřující se obce s výstavbou tzv. satelitů, v místech s nedostatkem prostoru pro stavbu či s vysokou výkupní cenou pozemků. Membránové moduly v čistírnách nahrazují konvenční dosazovací nádrže, které zaujímají mnohonásobně větší prostor. Samozřejmostí je vysoká kvalita odtoku z čistírny díky malým pórům membrány.

V tomto příspěvku jsou představeny některé zajímavé realizace MBR ČOV. ČOV Benecko je specifická nepravidelným sezónním nátokem a také tím, že se nachází ve 3. ochranném pásmu Krkonošského národního parku. Čistírny v areálu firmy Bosch Jihlava, v pivovaru ve Švédsku a v obci Třebovle zpracovávají kromě splaškových také průmyslové odpadní vody. ČOV v Tuchoměřicích je s kapacitou 6000 EO druhou největší membránovou čistírnou v České republice.

Membrane technology is not an unknown term nowadays. Membranes are utilized in many areas, water and wastewater treatment among others. This article speaks about wastewater treatment plants (WWTPs) with membrane bioreactors (MBR), implemented by the company ENVI-PUR, Ltd. The company has dealt with many interesting MBR projects, containing wastewater treatment plants treating both municipal and industrial wastewater, and has proved that this technology has found its position on the market. The main advantage of the MBR technology is space reduction, thus it is often used when increasing the WWTP capacity. Intensification of an existing conventional WWTP is the most common case among the projects. This solution is suitable for example for extending municipalities, building so-called satellite towns, for places lacking enough space for a settling tank or places with high price of land. Membrane modules replace conventional settling tanks, which are much more space-demanding. High quality is a matter of course thanks to small membrane pores.

This article presents some of the interesting MBR projects. Benecko WWTP is specific due to irregularities in inlet quantity and location in the third protective zone of the Giant Mountains National Park. WWTPs in Trebovle, Bosch Jihlava and a Swedish brewery treat industrial wastewater together with municipal wastewater. Tuchomerice WWTP with capacity of 6000 EO is the second biggest MBR WWTP in the Czech Republic.

**Klíčová slova:** ČOV, MBR, čištění odpadních vod, membránový bioreaktor, ultrafiltrace, rekonstrukce, intenzifikace

**Key words:** WWTP, MBR, wastewater treatment, membrane bioreactor, ultrafiltration, reconstruction, intensification

## 2 Technologie MBR

### Membránové procesy

Membránové procesy jsou moderní separační techniky. Jádrem procesu je tenká porézní membrána, vyrobená obvykle z polymeru či keramiky, která je tzv. semipermeabilní. To znamená, že přes ní projdou pouze některé látky a některé se na membráně zachytí. Hnací silou propustnosti přes membránu představuje rozdíl tlaku před a za membránou, kde dochází k jeho snížení.

### MBR a jeho výhody

Technologie membránového bioreaktoru – MBR (membrane bioreactor) kombinuje konvenční proces aktivace a membránovou technologii. Odpadní voda je čištěna biologicky pomocí aktivovaného kalu, který je následně spolu s dalšími nerozpuštěnými látkami od vody separován filtrací přes přepážku – membránu. Membránová technologie zde nahrazuje dosazovací nádrž. Největší výhodou oproti dosazovací nádrži je značná úspora místa. Prostor pro membránovou separaci je nesrovnatelně menší. Další snížení objemu, tentokrát na straně aktivačních nádrží, přichází s možností provozovat MBR s vysokou koncentrací aktivovaného kalu (8-10 kg/m<sup>3</sup>). Aplikujeme-li zmíněnou potřebu menších objemů na intenzifikace stávajících ČOV, získáme většinou dvojnásobné zvýšení kapacity bez nutnosti zásadních stavebních úprav.

Další výhodou je účinná separace všech nerozpuštěných látek, které nemají šanci proniknout do odtoku. Problémem u běžných dosazovacích nádrží je, že kvalita vyčištěné odpadní vody je snížena díky přítomnosti nerozpuštěných látek na odtoku, produktů biochemického rozkladu a biochemicky neodbouratelných látek. Dosazovací nádrž také není schopná zachytit hygienicky závadné mikroorganismy. Voda po membránové filtraci je zbavena nerozpuštěných látek, bakterií a z velké části i virů. Díky tomu je možné vodu znovu využít pro užitkové účely, jako například zavlažování či mytí.

Z technologického hlediska je výhodou hlavně to, že kvalita aktivovaného kalu (především poměr mezi vláknitými a vločkovatelnými mikroorganismy) nemá vliv na účinnost separace.

Odpadní vody vstupující do čistírny s technologií MBR jsou, stejně jako v konvenčních čistírnách, mechanicky předčištěny od hrubých nečistot, které by mohly poškodit membrány či další zařízení. U menších čistíren předčištění zajišťuje většinou předřazený septik, u větších čistíren pak jemné česle. Po hrubém předčištění voda natéká do aktivace.

Nejčastěji využívaná řešení u menších a středních čistíren jsou:

- Směšovací aktivace s časovým střídáním fází nitrifikace (N) a denitrifikace (D) a oddělenou membránovou komorou
- D-N systém s oddělenou membránovou komorou
- D-N systém s umístěním membrán uvnitř nádrže nitrifikace

Voda po průchodu aktivačním procesem protéká skrz membránu za pomoci podtlaku (zajištěný pomocí čerpadla). Vyčištěná voda natéká do nádrže permeátu, která slouží jako zásobárna vody pro zpětné proplachy. Oddělený kal natéká poté zpět do aktivace.

### Čištění membrán

Membránové moduly je pro správné fungování nutné čistit. To se provádí následujícími způsoby:

- Vháněním vzduchu pod moduly – zajišťuje oklepávání membrán
- Zpětným proplachem permeátem
- Zpětným proplachem permeátem za současného dávkování chemikálií (CEB – chemical enhanced backwash)
- Chemickou regenerací (máčení membránových modulů přímo v roztocích chemikálií)

### Permeabilita membrán

Během procesu filtrace dochází k zanášení membrány (z angličtiny tzv. fouling – organické úsady a scaling – anorganické úsady). Měřítkem úrovně zanesení membrány je filtrační odpor membrány, tzv. transmembránový tlak. Z něj je možno spočítat permeabilitu (propustnost) membrány. Jedná se o měrný průtok přepočítaný na standardní tlak a teplotu. Permeabilita se vyjadřuje v jednotkách  $l \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot bar^{-1}$  – zkráceně LMH/bar. Permeabilita je ovlivňována mnoha různými faktory (aktuální flux, koncentrace kalu, látkové a hydraulické zatížení, složení odpadní vody, teplota...), za přibližně konstantních podmínek by ale neměla vykazovat žádné výrazné poklesy. V rámci jednoho filtračního cyklu lze pozorovat malý postupný pokles permeability a po relaxaci a zpětném proplachu její obnovení. Permeabilita také postupně klesá trvale v horizontu dnů a týdnů. Tento pokles permeability je možné zvrátit či zpomalit dávkováním chemikálií do proudu zpětného proplachu při tzv. CEBu. Tímto způsobem je udržována permeabilita v žádoucím intervalu hodnot a to buďto automatickým časovým nebo ručním spouštěním CEBu.



Obrázek 1: Membránové moduly

## 3 Příklady realizací MBR ČOV

### Benecko

Čistírna v Benecku je naší nejdéle sloužící realizovanou obecní membránovou čistírnou. Rekonstrukce byla provedena ve dvou etapách na přelomu let 2011 a 2012. Tato čistírna dokazuje, jak udržitelná a stabilní tato technologie pro čištění odpadních vod je.

Obec Benecko je významným rekreačním střediskem, ležícím ve 3. zóně Krkonošského národního parku. V této oblasti se značně liší počet obyvatel a hostů v zimním a letním období (1000 – 1900) a v mezisezoně, kdy je na čistírnu napojeno pouze 350 stálých obyvatel. Dříve byly odpadní vody v lokalitě Benecko čištěny ve dvou čistírnách – Benecko a Štěpánická Lhota, které ale byly v období zimních rekreačních sezón přetěžovány. Bylo rozhodnuto, že pro čištění odpadních vod bude do budoucna použita centrální ČOV Benecko a že bude navýšena její kapacita bez přístavby nových nádrží z důvodu nedostatku místa a vysoké ceny případných stavebních prací. Původní kapacita čistírny byla 900 EO, požadovaná po rozšíření 1 950 EO, a to bez zvětšování objemů nádrží. To byl hlavní důvod pro aplikaci technologie MBR.

ČOV je umístěna ve zděné zastřešené provozní budově a je koncipována jako mechanicko-biologická s aktivací s časovým střídáním denitrifikace a nitrifikace a s membránovou filtrací pro separaci aktivovaného kalu. Bylo instalováno nové mechanické předčištění s velikostí průřezu 2 mm a byla

provedena rekonstrukce lapáku písku. V původní dvojlince aktivačních nádrží byl instalován jemnobublinný aerační systém a byly vestavěny membránové komory. Ty jsou od zbytku objemu nádrže odděleny příčkami, což umožňuje regeneraci membránových modulů bez nutnosti manipulovat s nimi. V každé z membránových komor jsou umístěny dva membránové moduly BC-UF 400, což představuje celkovou filtrační plochu 1600 m<sup>2</sup>. ČOV je doplněna o srážení fosforu síranem železitým.

Projektované hydraulické zatížení je  $Q_{24} = 332,5$  m<sup>3</sup>/den (průměrný denní přítok), respektive  $Q_{d,max} = 427,5$  m<sup>3</sup>/d (maximální denní přítok). Reálné průměrné hydraulické zatížení v letech 2012-2016 se pohybovalo kolem 205 m<sup>3</sup>/den, s extrémami přes 400 m<sup>3</sup>/den během zimních turistických špiček.

V Tabulkách 1 a 2 jsou uvedeny látkové parametry na přítoku a odtoku v letech 2012 až 2016.

Tabulka 1: Výsledky laboratorních rozborů na nátoku (2012 – 2016)

Nátok	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>5</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>anorg</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	mg/l							
Počet vzorků	55	55	55	55	55	55	55	55
Průměrná hodnota	482	179	251	34,8	0,26	36,3	60,8	7,63
Minimum	57	15	35	4,3	0,055	5,04	11,2	1,43
Maximum	1270	470	908	107	1,7	107	181	19

Tabulka 2: Výsledky laboratorních rozborů na odtoku (2012 – 2016)

Odtok	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>5</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>anorg</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	mg/l							
Počet vzorků	55	55	55	55	55	55	55	55
Průměrná hodnota	10,1	0,9	0,27	4,22	7,89	12,3	13,9	1,9
Minimum	<10,0	<3,0	<5,0	<0,25	0,5	0,5	<3,0	0,4
Maximum	52	16	<5,0	37,1	25	38,8	44,2	6,3

ČOV Benecko dokazuje, že tato poměrně nová technologie dosahuje i po několika letech provozu stabilních výsledků. Jelikož mimo zimní sezónu dochází ke konzervaci jedné linky, je vždy prostor k detailní prohlídce membránového modulu. Na základě informací od provozovatelů čistírny nic nenasvědčuje tomu, že by byl membránový modul jakkoli mechanicky porušen.

### BOSCH Diesel Jihlava

ČOV v závodě Bosch Diesel Jihlava byla realizována počátkem roku 2017. Vznikla rekonstrukcí části původní ČOV. Před ČOV je zařazena flotační jednotka. Původní ČOV měla dvě nestejně velké linky v uspořádání D-N s dortmundskými dosazovacími nádržemi. Původní čistírna splňovala odtokové limity, ale kvalita vody přesto nedostačovala pro opětovné využívání. Čistírna navíc neměla žádnou kapacitní rezervu pro případné navýšení počtu zaměstnanců v závodě. Cílem investora bylo využívat podíl vyčištěné vody v chladicím okruhu závodu.

Pro osazení MBR technologie byla využita větší z původních linek. Denitrifikace nové linky vznikla z bývalé dosazovací nádrže. Nitrifikace byla zachována z původní linky. Z původní denitrifikace byla z důvodu příhodné geometrie vytvořena dvojice membránových komor. Zdvojení membránové separace je provozně výhodné z důvodu možnosti odstavení pouhé poloviny zařízení při regeneraci membrán.

Nádrže původní menší linky byly částečně využity pro nové fyzikálně chemické předčištění průmyslových odpadních vod. Nádrže byly dále zastropeny a nad nimi byla postavena nová provozní budova pro flotaci. Kalová koncovka byla kompletně zachována z původní čistírny. Pro zařízení zajišťující chod MBR musela být vybudována nová strojovna, která byla umístěna na strop nové denitrifikační nádrže.

Nová čistírna byla navržena na kapacitu 2 400 EO<sub>60</sub>, při hydraulických návrhových parametrech Q<sub>24</sub> = 307,2 m<sup>3</sup>/d a Q<sub>d,max</sub> = 399,4 m<sup>3</sup>/d. Většinu látkového i hydraulického zatížení představují splašky z areálu závodu. Asi 10 % objemu odpadních vod představují odpadní vody obsahující řezné emulze, oleje, čisticí prostředky apod. Tyto odpadní vody vykazují koncentrace CHSK<sub>Cr</sub> v jednotkách tisíc mg/l a zhoršený poměr CHSK<sub>Cr</sub>:BSK<sub>5</sub>. Vzhledem ke svému charakteru by mohly negativně ovlivňovat kvalitu odtoku z konvenční čistírny a také mít negativní vliv na stav membránových modulů. Kvůli tomu je nutné odpadní vody mechanicky předčistit ve flotační jednotce.

Díky aplikaci technologie MBR čistírna dosahuje průměrné účinnosti odstranění CHSK<sub>Cr</sub> > 96 % a BSK<sub>5</sub> > 99 % i při zhoršeném poměru vstupních koncentrací CHSK<sub>Cr</sub>:BSK<sub>5</sub> téměř 4:1. Vysoká účinnost čištění není dosažena na úkor zvýšeného zanášení membrán ani zhoršování provozních parametrů. Parametry nátoků a odtoků jsou uvedeny v Tabulkách 3 a 4. Za první půlrok provozu ČOV bylo provedeno celkem 6 oxidačních a 3 kyselé CEBy, přičemž permeabilita membrán se od uvedení do provozu prakticky nesnížila.

Tabulka 1: Výsledky laboratorních rozborů na nátoků (2017)

Nátok	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>5</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	(mg/l)					
Počet vzorků	11	11	11	11	11	11
Průměrná hodnota	1258	460	260	79	77	11
Minimum	636	88	39	49	49	1
Maximum	2080	1440	427	102	102	15

Tabulka 2: Výsledky laboratorních rozborů na odtoků (2017)

Odtok	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>5</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	(mg/l)					
Počet vzorků	11	11	11	11	11	11
Průměrná hodnota	37	2,3	2	0,34	10	4
Minimum	15	1	2	0,04	2,99	0,1
Maximum	97	8,9	3,6	2,45	15,6	16

### Pivovar ve Švédsku

Tento pivovar představuje izolovaný zdroj průmyslové odpadní vody, nemá možnost připojit se na komunální čistírnu. Realizovaná čistírna je zástupcem typové řady modulárních kontejnerových čistíren s integrovanou technologií MBR. Projektovaná kapacita čistírny je 800 EO<sub>60</sub> a bude složena ze 4 linek. Mechanické předčištění, strojovna a prostor pro elektro a chemické hospodářství jsou umístěny v prefabrikované provozní budově, která je umístěna nad kontejnerem kalové nádrže. Součástí ČOV je egalizační nádrž, sloužící k vyrovnání hodnoty pH. Následuje aktivační nádrž, kde se časově střídají fáze denitrifikace a nitrifikace, a konečně membránová komora, ve které se nachází membránový modul BC-UF 100 (filtrační plocha 100 m<sup>2</sup>). Čistírna je doplněna zařízením pro srážení fosforu síranem železitým a dále dávkováním močoviny ve formě komerčně dostupného prostředku AdBlue – v natékající odpadní vodě je nízké množství dusíku.



Obrázek 2: ČOV, Švédsko

Důvodem pro instalaci membránové technologie byly přísné nároky na kvalitu odtoku dané Švédskou legislativou, která je v určitých oblastech velmi přísná. V tomto případě je maximální povolená hodnota BSK<sub>7</sub> na odtoku 10 mg/l a maximální povolená hodnota celkového fosforu 0,3 mg/l.

První linka byla uvedena do provozu v prosinci 2014 (200 EO) s hydraulickým zatížením  $Q_{24} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $Q_{d,\text{max}} = 25 \text{ m}^3/\text{h}$ . Čistírna byla nejprve po několik týdnů provozována v SBR režimu bez využití membránové separace. Důvodem byl „rozpad“ kalu dovezeného z komunální ČOV při kontaktu s odpadní vodou z pivovaru.

Po prvotním prudkém snížení permeability, způsobeném zhoršenými vlastnostmi kalu, se díky pravidelným i mimořádně přidávaným CEBům permeabilita vrátila do běžných provozních hodnot. Standardní nastavení oxidačního CEBu je jednou za 2 týdny a kyselého jednou za měsíc.

Regenerace membrán byla za provozu čistírny provedena pouze dvakrát, a to i přes občasné nestandardní provoz – např. opakovaný únik propylenglykolu (chladiva) z pivovaru do odpadních vod a tím jejich extrémní organické zatížení, nebo extrémně vysoká koncentrace kalu až 30 g/l.

Švédská legislativa definuje pro ČOV této velikosti limity pouze pro dva parametry na odtoku, a to BSK<sub>7</sub> a celkový fosfor. Z tohoto důvodu byla v prvním roce provozu většina analytických rozborů nátoku i odtoku provedena pouze v rozsahu právě těchto dvou parametrů. Až od začátku roku 2016 jsou po dohodě s provozovatelem prováděny kompletní rozborů.

Lze konstatovat, že odtokové parametry jsou i navzdory kolísavé kvalitě nátoku poměrně stabilní. Vzhledem k tomu, že dusík musí být do ČOV dávkován, nedochází prakticky k nitrifikaci a koncentrace oxidovaných forem dusíku jsou tak v odtoku blízké nule. Odtokovou koncentrací celkového dusíku tím pádem tvoří především nadbytek dávkovaného dusíku oproti množství potřebného k růstu nové biomasy. Naměřené hodnoty parametrů nátoku a odtoku v roce 2016 jsou uvedeny v Tabulkách 5 a 6.

Tabulka 3: Výsledky laboratorních rozborů na nátoku (2016)

Nátok	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>7</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	(mg/l)					
Počet vzorků	15	15	15	15	15	15
Průměrná hodnota	1011	605	110	35	53	4
Minimum	610	340	33	18	42	2,6
Maximum	1700	1000	260	67	81	4,4

Tabulka 4: Výsledky laboratorních rozborů na odtoku (2016)

Odtok	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>7</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	(mg/l)					
Počet vzorků	17	17	17	17	17	17
Průměrná hodnota	46	5,5	2,2	7,4	9,3	0,23
Minimum	34	3	1,9	1	2,6	0,1
Maximum	72	9	260	4,9	17	0,35

Hydraulická i látková kapacita této čistírny dosáhla v loňském roce (2017) svého vrcholu, a proto se investor začal zamýšlet nad možností rozšíření čistírny (přístavba druhé linky). Vzhledem k výborným výsledkům čistírny se investor rozhodl pokračovat ve spolupráci s naší firmou.

Stávající čistírna byla rozšířena o jednu linku (nádrž aktivace a membránové komory). Nově byly instalovány v místě čistírny dva nadzemní kontejnery. Do prvního kontejneru bylo přesunuto veškeré chemické hospodářství (dávkování nutrientů, PIX, chemikálie pro neutralizaci a zpětné proplachy s dávkováním chemikálií). Druhý kontejner byl osazen šnekovým zahušťovačem pro strojní odvodnění kalu. Jedná se o pomalu se otáčející kónický šnek ve válci, který je tvořen děrovaným plechem s malými otvory. Odvodněný kal je transportován do přistaveného kontejneru. Realizace proběhla v listopadu 2017.

Hydraulické zatížení je pro linku č. 2 totožné s 1. linkou. Z toho vyplývá celkové hydraulické zatížení pro obě linky  $Q_{24} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$  a  $Q_{d,\max} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Naměřené hodnoty parametrů nátoky a odtoku v roce 2017 jsou uvedeny v Tabulkách 7 a 8. Z výsledku rozborů je zjevné, že membránová technologie dosahuje vysoké účinnosti i po rozšíření. Konkrétně pak účinnost odstranění z průměrných koncentrací CHSK<sub>Cr</sub> dosahovala více než 94 % a u hodnoty BSK<sub>7</sub> dosáhla 99 %.

Tabulka 5: Výsledky laboratorních rozborů na nátoku (2017)

Nátok	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>7</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	(mg/l)					
Počet vzorků	23	23	23	23	23	23
Průměrná hodnota	706,1	408,9	90	31,7	46,4	3,5
Minimum	360	74	26	19	32	2
Maximum	940	670	350	51	66	5,7

Tabulka 6: Výsledky laboratorních rozborů na odtoku (2017)

Odtok	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>7</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	(mg/l)					
Počet vzorků	23	23	23	23	23	23
Průměrná hodnota	39	3,4	<2	8	11	0,22
Minimum	15	1,5	<2	0,05	0,89	0,05
Maximum	67	7	<2	20	22	0,63

### Třebovle

Čistírna v Třebovli byla uvedena do provozu v říjnu 2014, kolaudace pak proběhla v roce 2015. Čistírna je koncipována na kapacitu 870 EO při hydraulických návrhových parametrech  $Q_{24} = 80 \text{ m}^3/\text{d}$  a  $Q_{d,\text{max}} = 120 \text{ m}^3/\text{d}$ . Nátok na čistírnu tvoří směs komunálních a předčištěných průmyslových odpadních vod z masného průmyslu. ČOV je koncipována jako mechanicko-biologická s jednou aktivační nádrží s časovým střídáním denitrifikace a nitrifikace. Membránové komory vznikly z již existujících nádrží.

Odpadní vody jsou na ČOV přiváděny tlakovou kanalizací do nerezové nádrže, kde jsou umístěny nerezové šroubové česle s odvodněním shrabků. V případě poruchy se pro odstranění hrubých nečistot užívají ručně stírané česle s průlinami 6 mm. Vlastní jednolinková nádrž aktivace zaujímá objem  $120 \text{ m}^3$ . Samotná aerace je automaticky ovládána řídicím systémem a přívod vzduchu je zajištěn chodem dmychadel, které jsou řízeny optickou oxysondou. Separace aktivovaného kalu na membráně probíhá ve dvojici membránových komor. Komory jsou navzájem propojeny, toto propojení lze přerušit pomocí deskového šoupěte. Za běžného provozu je šoupě otevřené. Oddělení membrán se využívá v případě chemické regenerace membránového modulu in-situ. Každá membránová komora je opatřena jedním deskovým mikrofiltračním membránovým modulem EP-UF 200. Celková filtrační plocha je tedy  $400 \text{ m}^2$ .

Od počátku provozu byly regenerace prováděny zhruba jedenkrát ročně. Jednalo se o mechanické předčištění s následnou chemickou regenerací in-situ, kdy byly čištěny obě membránové komory ve stejném čase.

Z laboratorních výsledků uvedených v Tabulkách 9 a 10 je patrné, že membránová technologie dosahuje vysoké účinnosti i při zvýšeném látkovém zatížení. Konkrétně pak u parametru CHSK<sub>Cr</sub> dosahovala účinnost více než 98 % a u parametru BSK<sub>5</sub> více než 99 %.



Tabulka 7: Výsledky laboratorních rozborů na nátoku (2017)

Nátok	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>5</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	(mg/l)					
Počet vzorků	12	12	12	12	12	12
Průměrná hodnota	1563	361	398	96	131	17
Minimum	377	144	150	65	75	7
Maximum	3597	756	1180	120	196	35

Tabulka 8: Výsledky laboratorních rozborů na odtoku (2017)

Odtok	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>5</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	(mg/l)					
Počet vzorků	12	12	12	12	12	12
Průměrná hodnota	41	3,7	5	0,47	23	9
Minimum	16	<3	2	0,03	4	2
Maximum	62	5	14	4,32	34	16

Vysoké koncentrace látkového zatížení (CHSK) a fosforu jsou pravděpodobně způsobené přítékajícími odpadními vodami z jatek a oddílnou tlakovou kanalizací, ve které nedochází k naředění balastními vodami. Navzdory tomu byly splněny odtokové limity dané platným rozhodnutím.

### Tuchoměřice

Původní ČOV v Tuchoměřicích o kapacitě 2930 EO<sub>60</sub> byla v roce 2016 rekonstruovaná a její kapacita byla navýšena na 6000 EO<sub>60</sub>. Čistírna je koncipována jako dvoulinková mechanicko-biologická s aktivací v uspořádání D-N a membránovou separací aktivovaného kalu. Součástí technologie je čerpací jímka s možností odvětvění části nátoku do dešťové zdrže a jímka svážených vod. Mechanické předčištění tvoří hrubý česlicový koš v čerpací jínce a integrovaná jednotka jemných česlí, lapáku písku a tuků. Období zkušebního provozu trvalo 18 měsíců od července 2016 do konce roku 2017.

Předčištěné odpadní vody z rozdělovacího objektu natékají na jednotlivé linky do denitrifikační části, kde je udržován kal ve vznosu pomocí míchadla. Denitrifikace je ale vybavena i aeračním systémem a v případě potřeby může být celý aktivační objem provozován v oxickém režimu. Na konci aktivačních nádrží jsou umístěny membránové moduly. V každé lince jsou čtyři moduly BC-UF 416, což představuje celkovou filtrační plochu 3328 m<sup>2</sup>. Ke každému modulu je přiveden vlastní vzduchový svod s uzavírací armaturou a zároveň je pružnou hadicí s rychlospojkou napojen na nerezové potrubí permeátu a u každého modulu lze uzavřít odtok ruční armaturou. To je důležité kvůli případné regeneraci membránových modulů, která bude prováděna jednotlivě v oddělené regenerační jínce. Permeát je čerpán do nádrže permeátu, která vznikla využitím jedné ze stávajících dosazovacích nádrží. Z nádrže permeátu gravitačně odtéká vyčištěná voda přes měrný objekt a odtud do recipientu. Je instalována ATS pro rozvod provozní vody na ostřík česlí, plnění regenerační komory a plnění nádrže pro přípravu flokulantu. Kalovou koncovku za dvěma kalojemy tvoří odvodňovací centrifuga.

Projektované hydraulické zatížení je 852 m<sup>3</sup>/d (průměrný denní přítok), respektive 1150 m<sup>3</sup>/d (maximální denní přítok). Reálné hydraulické zatížení od začátku rekonstrukce (prosinec 2015) do ledna 2017 se pohybovalo kolem 450 m<sup>3</sup>/den.



*Obrázek 3: Hrubé předčištění*



*Obrázek 4: ČOV Tuchoměřice*

Tabulky 11 a 12 shrnují výsledky provozovatelem odebraných 24-hodinových slévaných vzorků přítoku a odtoku po uvedení do zkušební provozu v červnu 2016.

Tabulka 9: Výsledky laboratorních rozborů na nátoku (2016)

Nátok	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>5</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>anorg</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	mg/l								
Počet vzorků	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Průměrná hodnota	645	301	398	47	~ 0	~ 0	47	78	8,9
Minimum	390	150	240	39	~ 0	~ 0	39	63	6,4
Maximum	990	420	830	52	~ 0	~ 0	52	97	14

Tabulka 10: Výsledky laboratorních rozborů na odtoku (2016)

Odtok	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>5</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>anorg</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	mg/l								
Počet vzorků	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Průměrná hodnota	27,2	3,9	<2,0	0,81	0,042	5,1	6	10,2	1
Minimum	19	<2,5	<2,0	0,14	0,017	3	3,3	8,4	0,4
Maximum	39	8,1	<2,0	2,5	0,075	7,2	9,8	13	1,7

## 4 Závěr

Společnost ENVI-PUR, s.r.o. již realizovala desítky čistíren s membránovým bioreaktorem (více než 50) a významně se podílela na celkovém počtu realizovaných membránových čistíren na našem trhu. Zkušenosti z realizací membránových čistíren ukazují, že nezáleží, zda se jedná o menší či větší zdroj znečištění. Vždy záleží na dobrém technologickém návrhu, dobře provedené realizaci a v neposlední řadě na kvalitní membráně. Zpětnou vazbou jsou pro nás kladné ohlasy provozovatelů čistíren, kteří po zaškolení bez větších problémů zvládají provoz i této technologie.

V článku byly prezentovány různé praktické aplikace membránového bioreaktoru. Jednotlivé případové studie ukazují možnosti použití nejčastěji z důvodů potřeby špičkové kvality odtoku, rozšiřování kapacity stávající ČOV nebo nedostatku místa. Prodlužující se doba využívání jednotlivých systémů potvrzuje dlouhodobou udržitelnost provozování technologie MBR.

Technologie membránové separace i technologie MBR se nadále vyvíjí a nové konstrukce membránových modulů či nové materiály samotných membrán vytváří prostor pro další přibližování provozních nákladů ke konvenční technologii a prodlužování životnosti, která je jedním z největších důvodů k obavám na straně provozovatelů vodohospodářské infrastruktury.

## 5 Literatura

Crittenden, J. C.; et al. *MWH's Water Treatment: Principles and Design*; Wiley, 2012.

Kubičková S., Vilím D., 2018: *Aplikace technologie MBR pro čištění průmyslových odpadních vod*, Sborník přednášek konference Týden vědy a inovací pro praxi a životní prostředí, Hustopeče, 6. – 8. března 2018

Vojtěchovský R., Vilím D., Maršík M., 2017: *MBR – dostupná a praxí prověřená technologie*, Sborník přednášek z XXI. odborné konference Nové trendy v čistírenství a vodárenství, Soběslav, 14. listopadu 2017

Vojtěchovský R., Vilím D., Maršík M., 2017: *Technologie MBR – realizace a provozní zkušenosti*, Sborník přednášek konference Městské vody 2017, Velké Bílovice, 5. – 6. října 2017

Vojtěchovský R., Vilím D., 2018: *Zkušební provoz ČOV Tuchoměřice – čistírny s technologií MBR pro 6000 EO*, Sborník přednášek konference Odpadové vody 2018, Štrbské Pleso, 17. – 19. října 2018

Interní materiály ENVI-PUR, s. r. o.

## **6 Anotace**

---

Příspěvek se zabývá membránovými čistírnami odpadních vod, realizovanými firmou ENVI PUR, s. r. o. Jsou v něm představeny některé zajímavé realizace MBR ČOV. ČOV Benecko je specifická nepravidelným sezónním nátokem a také tím, že se nachází ve 3. ochranném pásmu Krkonošského národního parku. Čistírny v areálu firmy Bosch Diesel Jihlava, v pivovaru ve Švédsku a v obci Třebovle zpracovávají kromě splaškových také průmyslové odpadní vody. ČOV v Tuchoměřicích je s kapacitou 6000 EO druhou největší membránovou čistírnou v České republice.

Article presents membrane wastewater treatment plants implemented by the company ENVI-PUR, Ltd. Some interesting MBR WWTP projects are introduced. Benecko WWTP is specific due to irregularities in inlet quantity and location in the third protective zone of the Giant Mountains National Park. WWTPs in Trebovle, Bosch Jihlava and a Swedish brewery treat industrial wastewater together with municipal wastewater. Tuchomerice WWTP with capacity of 6000 EO is the second biggest MBR WWTP in the Czech Republic.