

# Aplikace technologie MBR pro čištění průmyslových odpadních vod

*Ing. Simona Kubíčková, Ing. Daniel Vilím  
ENVI-PUR, s.r.o., Wilsonova 420, 392 01 Soběslav  
kubickova@envipur.cz, vilim@envipur.cz*

## Abstract

WWTPs with MBR technology are nowadays not a step to unknown. Growing number of realizations are the evidence. They have found their application both in applications for municipal waste water treatment plants as well as industrial waste water.

This solution is particularly suitable for expanding municipalities in suburban areas around large cities. Because main advantage of this system is the ability to increase the capacity of current waste water treatment plants without major structural modification.

Also the MBR technology is the only suitable solution in term of space, operational (effluent quality) or economic reasons.

As mentioned above, the technology has also found its application to industrial waste water.

In the spring of last year we realized treatment plant with MBR technology for BOSCH DIESEL Jihlava (2400 PE). In the autumn of some year we are implemented treatment plant of brewery in Sweden. The last WWTP with MBR technology, that we would like to introduce to you, is the treatment plant in Třebovle (870 PE)

## Úvod

Čistírny odpadních vod (ČOV) s membránovou technologií již dnes nejsou neznámým pojmem. Celá řada jejich realizací je toho řádným důkazem. Své uplatnění našly jak v aplikaci pro komunální čistírny odpadních vod, tak pro aplikaci pro průmyslové odpadní vody.

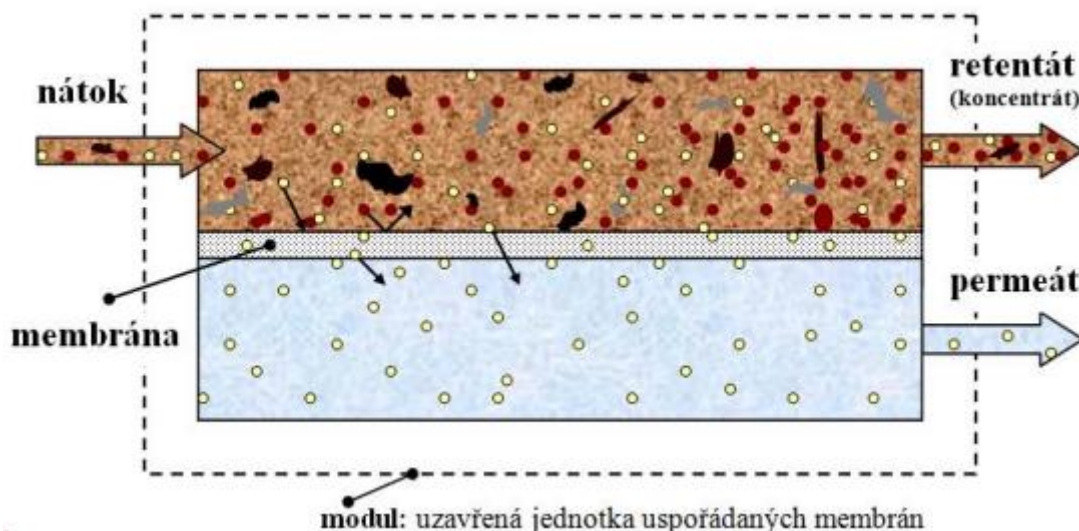
S ohledem na rozšiřující se infrastrukturu obcí, kdy dochází v jejich okolí k výstavbě tzv. satelitů, dosahuje technologie membránového bioreaktoru (MBR) nejlepšího řešení, jelikož jeho instalací dokážeme navýšit kapacitu ČOV bez zásadních stavebních úprav. Dále též z hlediska provozního (kvalita odtoku) či ekonomického se jeví tato technologie jako nejlepším řešením.

Jak již bylo zmíněno výše, MBR technologie našla své uplatnění také v realizaci čistíren pro průmyslové odpadní vody. Zde našla své zásadní postavení hlavně díky vysoké chemické odolnosti polymerních membrán a možnosti zpětného fyzikálního a chemického proplachu.

V našem příspěvku bychom vám rádi představili některé z našich realizovaných průmyslových čistíren odpadních vod. Na jaře loňského roku jsme realizovali čistírny s membránovou technologií pro společnost BOSCH DIESEL Jihlava 2400 EO<sub>60</sub> (čistírna s předřazenou flotační jednotkou). Na podzim téhož roku byla rozšířena ČOV pro pivovar ve Švédsku (realizace první linky proběhla v roce 2014). Poslední ČOV (avšak ne ve smyslu významu), kterou bychom vám rádi představili, je intenzifikovaná ČOV Třebovle s 870 EO.

## MBR-Technologie

Tato technologie představuje komplexní systém, který kombinuje biologický proces (aktivovaného kalu) spolu s filtrací přes přepážku (membránu). Polopropustná membrána představuje bariéru především pro nerozpuštěné látky (NL) a bakterie, což je z hlavních výhod oproti běžně používané dosazovací nádrže, která není schopna zachytit přítomné patogenní mikroorganismy.



**Obrázek 1: Filtrace přes membránový modul**

Hnací sílu propustnosti přes membránu představuje rozdíl tlaku před a za membránou, kde dochází k jeho snížení.

K hlavním výhodám technologie MBR patří menší potřebné objemy a tím menší požadavky na prostor, protože odpadají dosazovací nádrže, a také prostor pro membránovou separaci je nesrovnatelně menší. Další výhodou představuje možnost provozu dané technologie s vyšší provozní koncentrací aktivovaného kalu. Velkým benefitem je také možnost znovuvyužití vyčištěné vody pro užitkové účely (mytí, oplachy, zalévání atd.) Vyčištěná voda po membránové filtraci je zbavena nerozpuštěných látek a z velké části i virů, kdežto dosazovací nádrže nemohou separovat dispergované mikroorganismy.

Nejčastěji využívaná řešení u menších a středních čistíren:

- Směšovací aktivace s časovým střídáním fází nitrifikace a denitrifikace a oddělenou membránovou komorou
- D-N systém s oddělenou membránovou komorou
- D-N systém s umístěním membrán na konci nádrže nitrifikace

První stupeň předčištění odpadních vod je založen na mechanickém předčištění, které slouží jako ochrana membránových modulů a dalšího zařízení. U malých čistíren je pro tento účel využít septik, u větších čistíren jemné česle. Za tímto mechanickým předčištěním natéká odpadní voda do aktivací nádrže.

U systémů s oddělenou membránovou komorou natéká voda z aktivace do membránové komory, kde za pomoci podtlaku (zajištěný pomocí čerpadla) protéká skrz membránu. Vyčištěná voda natéká do nádrže permeátu, která slouží jako zásobárna pro zpětné proplachy. Recirkulovaný kal natéká poté zpět do aktivace.

V případě systémů s umístěním membrán na konci nádrže nitrifikace slouží pro oběh kalu interní recirkulace mezi nitrifikací a denitrifikací.

Způsoby čištění membránových modulů:

- Vzduchem vháněným pod moduly
- Zpětným proplachem
- Zpětným proplachem za současného dávkování chemikálií (CEB)
- Chemickou regenerací (namáčení membránových modulů přímo do roztoků chemikálií)

## BOSCH DIESEL JIHLAVA 2 400 EO<sub>60</sub>

ČOV v závodě Bosch Diesel Jihlava, která byla realizována počátkem roku 2017, vznikla rekonstrukcí části původní ČOV vybavené konvenční technologií. Původní ČOV měla dvě nestejně velké linky v uspořádání D-N s dortmundskými dosazovacími nádržemi. Původní čistírna bezpečně plnila odtokové limity, ale kvalita vody přesto omezovala její případně opětovné využívání. Čistírna navíc neposkytovala již žádnou kapacitní rezervu pro případné navýšení počtu zaměstnanců v závodě. Cílem investora je využívání většího podílu z vyčištěných odpadních vod pro doplňování chladicího okruhu a závodě.

### **Technické řešení**

Pro osazení MBR technologie byla využita větší z původních konvenčních linek, kdy zůstala zachována nádrž nitrifikace. Denitrifikace nové linky vznikla z bývalé dosazovací nádrže a dvojice membránových komor byla vytvořena z původní nádrže denitrifikace, která měla pro osazení membránových modulů příhodnější geometrii. Nově je tak čistírna tvořena denitrifikací, nitrifikací a dvojicí membránových komor. Zdvojení membránové separace přináší provozní výhodu v možnosti odstavit pouze polovinu filtrační kapacity v případě regenerace membrán.

Menší nádrže z původních linek byly po rekonstrukci částečně využity pro nově instalované fyzikálně-chemické předčištění průmyslových odpadních vod a byly kompletně zastropeny. Na stropě nádrží byla realizována nová provozní budova pro flotační jednotku. Kalová koncovka byla kompletně zachována z původní ČOV. Pro stroje obsluhující MBR technologii musela být vybudována nová strojovna na stropě nové denitrifikační nádrže.

Nová čistírna je navržena na kapacitu 2 400 EO<sub>60</sub>, při hydraulických návrhových parametrech  $Q_{24} = 307,2 \text{ m}^3/\text{d}$  a  $Q_d = 399,4 \text{ m}^3/\text{d}$ . Většinu zatížení látkového i hydraulického představují splašky z areálu závodu. Cca 10 % objemu přitékajících odpadních vod představují fyzikálně-chemicky předčištěné odpadní vody obsahující rezné emulze, oleje, čisticí prostředky a další. Tyto odpadní vody vykazují koncentrace  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  v jednotkách tisíc mg/l a zhoršený poměr  $\text{BSK}_5:\text{CHSK}_{\text{Cr}}$ . Vzhledem ke svému charakteru mohly negativně ovlivňovat kvalitu odtoku z konvenční čistírny, ale také mít negativní vliv na stav membránových modulů.

Díky aplikaci technologie MBR čistírna dosahuje průměrné účinnosti odstranění  $\text{CHSK}_{\text{Cr}} > 96 \%$  a  $\text{BSK}_5 > 99 \%$  i při zhoršeném poměru vstupních koncentrací téměř 4:1. Vysoká účinnost čištění není vykoupena zvýšením zanášením membrán ani zhoršováním provozních parametrů. Za půl roku provozu ČOV bylo provedeno celkem 6 CEBů oxidačních a 3 kyselá, přičemž permeabilita membrán se od uvedení do provozu prakticky nesnížila.

**Tabulka 1: Výsledky rozborů vzorků nátoků na ČOV (rok 2017)**

	$\text{CHSK}_{\text{Cr}}(\text{mg/l})$	$\text{BSK}_5(\text{mg/l})$	$\text{NL}(\text{mg/l})$	$\text{N-NH}_4(\text{mg/l})$	$\text{N}_{\text{celk}}(\text{mg/l})$	$\text{P}_{\text{celk}}(\text{mg/l})$
<b>počet vzorků</b>	11	11	11	11	11	11
<b>průměr</b>	1258	460	260	79	77	11
<b>minimum</b>	636	88	39	49	49	1
<b>maximum</b>	2080	1440	427	102	102	15

**Tabulka 2: Výsledky rozborů vzorků odtoku z ČOV (rok 2017)**

	CHSK <sub>Cr</sub> (mg/l)	BSK <sub>5</sub> (mg/l)	NL(mg/l)	N-NH <sub>4</sub> (mg/l)	N <sub>celk</sub> (mg/l)	P <sub>celk</sub> (mg/l)
<b>počet vzorků</b>	11	11	11	11	11	11
<b>průměr</b>	37	2,3	2	0,34	10	4
<b>minimum</b>	15	1,00	2	0,04	2,99	0,1
<b>maximum</b>	97	8,90	3,6	2,45	15,60	16

## Kontejnerová MBR ČOV pro pivovar ve Švédsku

### Technické řešení

ČOV je zástupcem řady modulárních kontejnerových ČOV s technologií MBR. Celková projektovaná látková kapacita ČOV pro pivovar, izolovaný zdroj průmyslové odpadní vody bez možnosti napojení na komunální ČOV, je 800 EO<sub>60</sub> pro čtyři biologické linky.

Mechanické předčištění, strojovna a prostor pro elektro a chemické hospodářství jsou umístěny v prefabrikované provozní budově, která je umístěna nad kontejnerem kalové nádrže. Dále se ČOV skládá z egalizační nádrže pro vyrovnání pH, kontejneru aktivace, kde se časově střídají fáze nitrifikace a denitrifikace, a kontejneru membránové separace. ČOV je osazena jedním membránovým modulem BC-UF 100 o filtrační ploše 100 m<sup>2</sup>. ČOV je dále doplněna srážením fosforu dávkováním síranu železitého. Kvůli nedostatku dusíku v natékající odpadní vodě je dávkovaná močovina ve formě komerčně dostupného AdBlue.

Švédská legislativa má v určitých oblastech extrémně přísné nároky na kvalitu odtoku i u menších zdrojů – zde konkrétně BSK<sub>7</sub> < 10 mg/l a celkový fosfor < 0,3 mg/l. Důvodem pro použití membránové technologie tak byla požadovaná kvalita odtoku.

### Provoz ČOV, permeabilita a regenerace membrán

První linka ČOV byla uvedena do provozu v prosinci 2014 (200 EO) s hydraulickým zatížením  $Q_{24} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $Q_{d,max} = 25 \text{ m}^3/\text{h}$ . 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 pivovarskou odpadní vodou.

Po prvotním prudkém snížení permeability, způsobeném zhoršenými vlastnostmi kalu, se pomocí pravidelných i mimořádně přidávaných CEBů permeabilita vrátila do běžných provozních hodnot. Obvyklé nastavení oxidačního CEBu je jednou za 2 týdny a kyselého jednou za měsíc.

I přes občas značně nestandardní provoz ČOV – opakovaný únik chladiva propylenglykolu z pivovaru do ČOV a z toho plynoucí extrémní organické zatížení, nebo extrémní koncentrace kalu až 30 g/l – byla za dva roky provozu regenerace membrán provedena dvakrát.

### Hydraulické a látkové zatížení

Švédská legislativa definuje pro ČOV této velikosti pouze dva limitované parametry, 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.

## Kvalita odtoku

Lze konstatovat, že odtokové parametry jsou i navzdory velkým rozdílům v nátokových koncentracích poměrně stabilní. Vzhledem k tomu, že deficitní dusík musí být do ČOV dávkován, nedochází prakticky k nitrifikaci a koncentrace oxidovaných forem dusíku jsou v odtoku blízké nule. Odtokovou koncentraci celkového dusíku tak tvoří především nadbytek dávkovaného dusíku nad množství potřebné k růstu nové biomasy

**Tabulka 3: Výsledky rozborů nátoků na ČOV pro minipivovar ve Švédsku v roce 2016**

	CHSK <sub>Cr</sub> mg/l	BSK <sub>7</sub> mg/l	NL mg/l	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	N <sub>celk</sub> mg/l	P <sub>celk</sub> mg/l
počet	15	15	15	15	15	15
průměr	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 rozborů odtoků z ČOV pro minipivovar ve Švédsku v roce 2016**

	CHSK <sub>Cr</sub> mg/l	BSK <sub>7</sub> mg/l	NL mg/l	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	N <sub>celk</sub> mg/l	P <sub>celk</sub> mg/l
počet	17	17	17	17	17	17
průměr	46	5,5	2,2	7,4	9,3	0,23
minimum	34	3,0	1,9	1	2,6	0,1
maximum	72	9,0	4,9	15	17	0,35

## Rozšíření čistírny v roce 2017

Hydraulická i látková kapacita této čistírny dosáhla v loňském roce 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 chemické zpětné proplachy). Druhý kontejner byl osázen 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.

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  $Q_{d,\text{max}} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$

Následující tabulky výsledků rozborů nátoků a odtoků ČOV pro již zmíněný pivovar představují látkové zatížení.

**Tabulka 5: Výsledky rozborů nátoků na ČOV pro pivovar ve Švédsku v roce 2017**

	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>7</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
<b>počet vzorků</b>	23	23	23	23	23	23
<b>průměr</b>	706,1	408,9	90	31,7	46,4	3,5
<b>minimum</b>	360	74	26	19	32	2
<b>maximum</b>	940	670	350	51	66	5,7

**Tabulka 6: Výsledky rozborů odtoků z ČOV pro pivovar ve Švédsku v roce 2017**

	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>7</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
<b>počet vzorků</b>	23	23	23	23	23	23
<b>průměr</b>	39	3,4	<2	8	11	0,22
<b>minimum</b>	15	1,5	<2	0,05	0,89	0,05
<b>maximum</b>	67	7	<2	20	22	0,63

Z výsledku rozborů nátoků a odtoků ČOV je patrné, že membránová technologie dosahuje vysoké účinnosti i po rozšíření této čistírny. Konkrétně pak účinnost odstranění z průměrných koncentrací CHSK<sub>Cr</sub> dosahovala více než 94% a u hodnoty BSK dosáhla 99%.

### **Třebovle - MBR ČOV 870 EO**

V Třebovli byla čistírna uvedena do provozu v říjnu roku 2014, přičemž její kolaudace byla provedena následující rok. Na čistírnu natékají jak komunální odpadní vody, tak předčištěné průmyslové odpadní vody z masného průmyslu. Z důvodu prostorového využití již stávajících nádrží byla využita membránová separace.

#### **Technické řešení**

ČOV je koncipována jako mechanicko-biologická s jednou aktivační nádrží s přerušovanou aerací. Membránovou filtraci pro separaci aktivovaného kalu zajišťují dvě membránové komory o rozměrech 1,65 x 1,35 m (8,91 m<sup>3</sup>).

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.

Nová čistírna je koncipována na kapacitu 870 EO při hydraulických návrhových parametrech  $Q_{24} = 80 \text{ m}^3/\text{d}$  a  $Q_d = 120 \text{ m}^3/\text{d}$ . Vlastní jednolinková nádrž aktivace zaujímá objem 120 m<sup>3</sup>. Samotná aerace je řízena řídicím systémem a přívod vzduchu je zajištěn chodem dmychadel, které jsou řízeny optickou oxysondou. Již zmíněné komory jsou navzájem propojeny (toto propojení lze přerušit pomocí deskového šoupěte). Za běžného provozu je toto šoupě otevřené. Oddělení membrán se využívá v případě chemické regenerace membránového modulu in-situ. Každá membránová komora je opatřena jedním deskovým mikrofiltračním membránovým modulem EPUF200. Celková filtrační plocha je 400 m<sup>2</sup>.

Od počátku provozu byly regenerace provedeny přibližně jedenkrát ročně. Jednalo se o mechanické předčištění s následnou chemickou regenerací in-situ, kdy byly čištěny obě membránové komory ve stejném čase. Z důvodu sekundárního znečištění nádrže permeátu nemohl být proveden zpětný proplach.

### **Kvalita odtoku**

Z laboratorních výsledků uvedených v tabulkách 6 a 7 je patrné, že membránová technologie dosahuje vysoké účinnosti i při zvýšeném látkovém zatížení. Konkrétně pak u parametru CHSK dosahovala účinnost > 98 % a u parametru BSK > 99 %.

**Tabulka 7: Výsledky rozborů přítoku na ČOV v Třebovli za rok 2017**

	CHSK <sub>Cr</sub> (mg/l)	BSK <sub>5</sub> (mg/l)	NL(mg/l)	N-NH <sub>4</sub> (mg/l)	N <sub>celk</sub> (mg/l)	P <sub>celk</sub> (mg/l)
<b>počet vzorků</b>	12	12	12	12	12	12
<b>průměr</b>	1563	361	398	96	131	17
<b>minimum</b>	377	144	150	65	75	7
<b>maximum</b>	3597	756	1180	120	196	35

**Tabulka 8: Výsledky rozborů odtoků z ČOV v Třebovli za rok 2017**

	CHSK <sub>Cr</sub> (mg/l)	BSK <sub>5</sub> (mg/l)	NL(mg/l)	N-NH <sub>4</sub> (mg/l)	N <sub>celk</sub> (mg/l)	P <sub>celk</sub> (mg/l)
<b>počet vzorků</b>	12	12	12	12	12	12
<b>průměr</b>	41	3,7	5	0,47	23	9
<b>minimum</b>	16	<3	2	0,03	4	2
<b>maximum</b>	62	5	14	4,32	34	16

Vysoké koncentrace látkového zatížení jsou s největší pravděpodobností následkem striktně oddílné kanalizace a přítékajícími vodami z jatek. Vysoké koncentrace fosforu zase pravděpodobně pocházejí z předčištěných průmyslových odpadních vod, ve kterých byly tak vysoké hodnoty fosforu naměřeny.

I přes veškerá tato „úskalí“ splňovaly koncentrace jednotlivých parametrů po celou dobu provozu požadavky platného rozhodnutí o vypouštění odpadních vod.

## Závěr

V našem příspěvku byly prezentovány tři různé aplikace membránových bioreaktorů pro různá odvětví průmyslu, které dokazují, že MBR technologie dosahuje vysoké účinnosti i u tohoto druhu odpadních vod. Obecně lze shrnout, že nejdůležitějším klíčem úspěchu je správný návrh technologie a její konstrukční řešení, samotná provedená realizace a v neposlední řadě kvalita membrány.

Společnost ENVI-PUR již působí na trhu několik desítek let a svými realizacemi dokazuje, že si technologie MBR našla své zasloužené postavení. Jak již z hlediska kvality odtoku, možnosti intenzifikace ČOV či v řešení nedostatku místa.

Naše společnost disponuje kvalifikovanými pracovníky, kteří se vždy snaží navrhnout nejlépe vhodná technologická a konstrukční řešení. Zpětnou vazbou je pro nás posléze kladný ohlas provozovatelů, kteří jsou schopni po zaškolení bez problému ovládat celý chod čistírny.

## Literatura

1. 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
2. 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
3. Pokorný O., Lánský M. (2016): Zkušenosti z provozu MBR ČOV 870 EO, materiál SčV, a.s.
4. Interní materiály ENVI-PUR, s.r.o.