

# Aplikace moderních technologií pro čištění a znovuvyžití odpadních vod

Ing. Simona Kubíčková, Ing. Daniel Vilím, Ing. Miroslav Maršík  
ENVI-PUR, s.r.o., Wilsonova 420, 392 03 Soběslav  
[kubickova@envi-pur.cz](mailto:kubickova@envi-pur.cz), [vilim@envi-pur.cz](mailto:vilim@envi-pur.cz), [marsik@envi-pur.cz](mailto:marsik@envi-pur.cz)

## Úvod

Společnost ENVI-PUR, s.r.o. disponuje celou řadou realizací ČOV s technologií MBR. Tato technologie se dostala do popředí zájmu především díky její flexibilitě, kdy jsou provozovatelé sami schopni danou čistírnu ovládat. Její účinnost čištění, menší prostorové nároky a její možnost znovuvyžití vyčištěné vody pro užitkové účely ji staví mezi stabilní technologie pro čištění odpadních vod. Našla své uplatnění jak v aplikaci pro komunální odpadní vody, tak také pro vody průmyslové. Konkrétní aplikace pro druhý zmiňovaný typ odpadních vod bychom Vám rádi představili v dnešním příspěvku. Jedná se o ČOV pro pivovar ve Švédsku a intenzifikovanou ČOV v Třebovli s 870 EO.

Naše společnost se také podílí na řešení projektu zabývajícím se vývojem pokročilé variabilní membránové technologie pro čištění různých druhů obtížně biologicky čistitelných průmyslových odpadních vod (Projekt TH02030527) a projektu zabývajícím se odstraňováním léčiv a přípravků osobní péče (PPCPs) z již vyčištěné odpadní vody pomocí granulovaného aktivního uhlí (Projekt TH02030227). I o těchto projektech bychom se rádi v našem příspěvku zmínili.

## Kontejnerová MBR ČOV pro pivovar ve Švédsku

### Technické řešení

ČOV je zástupcem řady modulárních kontejnerových ČOV s technologií MBR. Celková projektová 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. V současné době jsou zrealizovány dvě biologické linky se stejným hydraulickým zatížením a to  $Q_{24} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$  a  $Q_{d,\text{max}} = 25 \text{ m}^3/\text{h}$ .

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 čistírna 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 je do natékající odpadní vody dávkována 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.

První linka byla uvedena do provozu v roce 2014. Čistírna byla nejprve provozována v SBR režimu bez využití membránové separace. Důvodem byl „rozpad“ kalu, ke kterému došlo po styku kalu z komunální čistírny s pivovarskou odpadní vodou.

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 dosavadní dobu provozu regenerace membrán provedena dvakrát.

Provozní koncentrace kalu se pohybuje v rozmezí 8 – 9 g/l, kdy se koncentrace rozpuštěného O<sub>2</sub> pohybuje kolem 2 mg/l.

Během nestandardního provozu ČOV (únik chladiva) se koncentrace O<sub>2</sub> pohybovala pod 0,3 mg/l v období 2 dnů. Okamžité výsledky z tohoto období nejsou k dispozici, jelikož se vždy odebírají směsné vzorky za delší časové období. Laboratorní výsledky směsných vzorků v tomto období neprokázaly

žádné odchylky, které by byly následkem výše zmíněného nestandardního stavu. Extrémní látkové zatížení bylo řešeno razantním odkalením (přibližně 8 m<sup>3</sup>). Po odkalení byla ČOV uvedena do běžného provozu.

V roce 2017 došlo k rozšíření čistírny o druhou linku (nádrž aktivace a membránové komory). Nově byly instalovány v místě čistírny dva nadzemní kontejnery. Do prvního bylo přesunuto veškeré chemické hospodářství (dávkování nutrientů, PIX, chemikálie pro neutralizaci a chemické zpětné proplachy). Druhý kontejner byl osazen šnekovým zahušťovačem pro strojní odvodnění kalu. Jedná se o otáčející kónický šnek ve válci, který je tvořen děrovaným plechem s malými otvory. Odvodněný kal je transportován do přistaveného kontejneru.

**Tabulka 1: Výsledky rozborů nátoky na ČOV pro pivovar ve Švédsku v roce 2018**

	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>7</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk.</sub>	P <sub>celk.</sub>
Počet vzorků	22	22	22	22	22	22
Průměr	390	85	260	40	65	4
Minimum	290	52	43	6,1	15	2,5
Maximum	1500	650	500	54	110	9,4

**Tabulka 2: Výsledky rozborů odtoku z ČOV pro pivovar ve Švédsku za rok 2018 (L1)**

	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>7</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk.</sub>	P <sub>celk.</sub>
Počet vzorků	19	19	19	6	19	19
Průměr	11	1	1,5	0,3	6,7	0,23
Minimum	<30	<3	<2	0,04	0,49	0,08
Maximum	43	8	23	0,46	29	0,57

**Tabulka 3: Výsledky rozborů odtoku z ČOV pro pivovar ve Švédsku za rok 2018 (L2)**

	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>7</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk.</sub>	P <sub>celk.</sub>
Počet vzorků	20	20	20	4	20	20
Průměr	20,6	4,7	4,8	4,3	7,3	0,12
Minimum	<30	<3	<2	0,64	0,74	0,06
Maximum	91	65	48	10	39	0,26

Z tabulek 1, 2 a 3 je patrná vysoká účinnost separace membránové technologie. Konkrétně pak průměrné účinnosti odstranění CHSK > 95 % a BSK > 94%. Z tabulek také vyplývá, že se i po rozšíření čistírny zachovala vysoká účinnost separace.

## **MBR ČOV Třebovle (870 EO)**

### **Technické řešení**

V Třebovli je čistírna 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>). Na čistírnu natékají jak komunální odpadní vody, tak předčištěné průmyslové odpadní vody z masného průmyslu.

Odpadní vody jsou vedeny do nerezové nádrže tlakovou kanalizací, kde jsou umístěny nerezové česle o velikosti průřezu 2 mm.

Samotná aktivace je vedená jako jednoblinková s přerušovanou aerací. Pravidelný přísun vzduchu je zajištěn pomocí dmychadel a řízen oxysondou. Pravidelně dochází k provzdušování jak samotné aerace

tak také kalojemu. Hladina v aktivační nádrži je měřena snímačem hydrostatického tlaku. Do samotných membránových komor je kal vedený pomocí čerpadel usazených na konci aktivace. Každá membrána má vlastní recirkulační čerpadlo. Přebytečný kal do kalojemu je čerpán přímo z aktivace.

Každá z komor obsahuje jeden filtrační modul EPUF200 o celkové ploše 200 m<sup>2</sup>. Komory jsou vzájemně propojené díky deskovému šoupěti. Toto propojení se přerušuje především v době regenerace in-situ, kdy jsme danou čistírnu schopni provozovat s poloviční filtrační plochou. Membránové moduly mají integrovaný jemnobublinný aerační systém. Správný přívod vzduchu je zajištěn pomocí dmychadel s frekvenčním měničem. Během aerace dochází k otřepávání ploch membrán a je zajištěno provzdušňování aerační směsi.

Sání permeátu přes membrány je zajištěno pomocí vřetenového čerpadla, která pracuje ve dvou fázích – sání a zpětný proplach, kdy dochází k reverzaci otáček čerpadla.

### **Kvalita odtoku**

Tabulky 4 a 5 shrnují výsledky účinnosti odstranění znečišťujících látek membránové technologie.

**Tabulka 4: Výsledky rozborů přítoku na ČOV v Třebovli za rok 2018**

	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>5</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk.</sub>	P <sub>celk.</sub>
Počet vzorků	12	12	12	12	12	12
Průměr	2859	511	430	101	179	22
Minimum	636	314	220	11	45	8
Maximum	3997	753	905	141	289	32

**Tabulka 5: Výsledky rozborů odtoku z ČOV v Třebovli za rok 2018**

	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>5</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk.</sub>	P <sub>celk.</sub>
Počet vzorků	12	12	12	12	12	12
Průměr	62	7,4	< 5	1,05	29	9
Minimum	31	1,5	3	0,01	10	5,4
Maximum	110	12	23	3,9	62	14

Z tabulek 4 a 5 je patrná vysoká účinnost odstranění CHSK > 97% a BSK 98%. Vysoké koncentrace látkového zatížení jsou s největší pravděpodobností následkem striktně oddělené kanalizace s přítékajícími vodami z jatek. Vysoké koncentrace fosforu pravděpodobně pochází z mechanického předčištění průmyslových odpadních vod, ve kterých byly tak vysoké koncentrace detekovány.

I přes toto všechno plnily hodnoty u všech parametrů patřičné limity.

### **Vývojové projekty**

Společnost ENVI-PUR, s.r.o. v současné době též realizuje řešení projektů zabývajících se vývojem pokročilé variabilní membránové technologie pro čištění různých druhů obtížně biologicky čistitelných průmyslových odpadních vod (Projekt TH02030527) a řešením projektu zabývajícím se odstraněním léčiv a přípravků osobní péče (PPCPs) z již vyčištěné odpadní vody pomocí granulovaného aktivního uhlí (Projekt TH02030227). Tyto projekty jsou podpořeny agenturou TA ČR.

## Vývoj pokročilé variabilní membránové technologie pro čištění různých druhů obtížně biologicky čistitelných průmyslových OV

Hlavním cílem tohoto projektu je vývoj efektivní membránové technologie, která umožní čištění různých druhů obtížně biologicky čistitelných průmyslových odpadních vod. Pro tyto pilotní testy byly použity odpadní vody z textilního průmyslu, jejichž charakterem je jejich různorodost, různá molekulová hmotnost znečišťujících látek i různá struktura jednotlivých molekul.

Charakter vody z námi sledovaného textilního průmyslu se liší dle právě probíhajících procesů (praní, barvení, kaširování atd), což dokazuje i tabulka č. 6.

**Tab. 6: Parametry surové vody**

datum	čas	pH	teplota °C	konduktivita µS/cm	CHSK <sub>Cr</sub> mg/l	vizuální barva
19.09.2018	9:40	6,9	32,5	675	469	černá
	13:40	6,88	27,1	406		černá
20.09.2018	9:30	7,02	28,8	448		světle fialová
	14:00	7,05	25,3	365		modrofialová
21.09.2018	7:00	6,59	28,1	725		růžovofialová
25.09.2018	8:00	7,88	24,5	837		černá
01.10.2018	10:00	8,5	23,5	1078	470	tmavě fialová
	16:05	7,19	19	489	306	šedá
03.10.2018	7:15	7,78		651	405	černá
09.10.2018	9:00	9,08	23,9	673	469	světle hnědá
11.10.2018	7:45	6,3	23,8	551	586	světle modrá
12.10.2018	8:15	9,25	21,1	607		
16.10.2018	7:45	5,82	18,9	468		modrošedá
23.10.2018	8:00	9,18	14,3	483	600	šedá
25.10.2018	7:15	7,7		694	640	červenohnědá
07.11.2018	10:40	6,59		642	588	mléčně šedá
09.11.2018	10:20	7,92	33,1	3007	787	červená
12.11.2018	9:25	8,24	13,1	2029	594	oranžová
13.11.2018		6,56	19,3	1052	932	tmavě hnědá
14.11.2018	6:30	7,98	17,8	1081	572	tmavě hnědá
15.11.2018	6:45	7,35	15,4	754	451	hnědošedá

### Popis membránové poloprovozní jednotky

Pro čerpání odpadní vody na samotnou poloprovozní jednotku byla zrekonstruována průtočná nádrž, jelikož odpadní vody z textilního průmyslu natékají na lokální ČOV do egalizačních nádrží. V průtočné nádrži je umístěno ponorné čerpadlo, které čerpá vodu do nádrže surové vody. Tato nádrž je opatřena mechanickým předčištěním, které je umístěno uvnitř nádrže. Jedná se o strojní česle s velikostí průlin 2 mm. Shrabky přepadávají do dřevěného kbelíku umístěného pod česlemi a jsou manuálně likvidovány.



**Obr. 1: Umístění poloprovozní jednotky na testovací lokalitě**

Samotná nádrž má objem  $2,5 \text{ m}^3$  a je osazena čtyřmi aeračními elementy, které slouží k promíchání nádrže. Jako zdroj vzduchu zde slouží dmychadlo. Nádrž je dále opatřena pH sondou a hladinovým čidlem, které zajišťuje potřebné množství vody. Na opačné straně nádrže než je pH sonda je nainstalováno dávkování hydroxidu sodného a kyseliny sírové pro správné nastavení hodnoty pH pro následnou koagulaci. V případě dosažení správného rozmezí, které lze libovolně nastavit a které řídí řídicí jednotka, je voda čerpána k dalšímu zpracování.

Připravená suspenze odpadní vody a vhodného koagulantu/flokulantu může být čerpána na membránovou filtraci dvěma způsoby:

- Odpadní voda s nadávkovaným koagulantem natéká do flokulační komory 1 (rychlé míchání), do flokulační komory 2 (pomalé míchání) a následně do lamelového separátoru, kde dojde k sedimentaci vloček kalu. Následně voda natéká do nádrže ponorného membránového modulu.
- Odpadní voda s koagulantem natéká do trubkového flokulátoru, kde dojde k rychlému promíchání směsi. Z trubkového flokulátoru je voda vedena buď před lamelový separátor, nebo za lamelový separátor.

V následné nádrži je umístěn ponorný podtlakový membránový modul. Nádrž má průměr 1,2 m a výška hladiny je udržována 0,5 – 0,8 m nad ponorným modulem. Pod ním jsou osazeny tři diskové aerační elementy, kde je přívod vzduchu zajištěn dmychadlem. Ponorný membránový modul má celkovou plochu  $1,812 \text{ m}^3$  a je složeno z 12 desek o velikosti pórů  $0,1 \text{ }\mu\text{m}$ .

V případě, že je používán tlakový membránový modul, slouží nádrž ponorného modulu jako akumulární nádrž. Tlakový modul lze provozovat v režimu *dead-end* nebo *cross-flow*. V případě režimu *cross-flow* je retentát veden buď před lamelový separátor, nebo je odveden ze systému jako odpad. Tlakový modul je tvořen spirálně vinutou membránou z PVDF. Celková filtrační plocha je  $27,5 \text{ m}^2$  a velikost pórů  $0,03 \text{ }\mu\text{m}$ . Vyčištěná odpadní voda (permeát) je čerpána do nádrže permeátu, kdy je jak pro ponorný podtlakový modul, tak tlakový modul použito jedno permeátové čerpadlo. Do potrubí je umístěna pH sonda, měření vodivosti a průtokoměr. Na potrubí permeátu je též umístěn vzorkovací kulový kohout.

Nádrž je opatřena hladinovým čidlem a ve spodní části má výstupní kohout. Permeát je do nádrže čerpán spodem, permeátové čerpadlo má oboustranný chod pro zajištění zpětného proplachu membrán. Při zpětném proplachu nebo při chemickém je z nádrže permeátu část permeátu odčerpávána pro potřebný proplach. Přebytný permeát odtéká přepadem ze systému.

## Technická a ekonomická optimalizace terciárních technologií pro odstraňování PPCPs z odpadní vody

V poslední době se do popředí zájmu, ovšem ne v pozitivním slova smyslu, staví humánní farmaka, neboli léčiva. Jejich zvýšená spotřeba a následná nesprávná likvidace a odstraňování je staví do pozice nežádoucího zdroje znečištění. Svým charakterem mohou mít nežádoucí účinky na vodní organismy a na kvalitu vody, která je upravována na vodu pitnou.

Nejen z tohoto důvodu se do popředí zájmu dostává jejich odstranění z těchto vod.

Jako jedno z možných řešení pro odstranění farmak z odpadní vody je použití granulovaného aktivního uhlí. Touto problematikou se také zabývá níže uvedený projekt.

Před zahájením vlastní realizace projektu byl firmou ENVI-PUR, s.r.o. zrekonstruován provozní model (obr. 2), který zajistil otestování granulovaného aktivního uhlí pro odstranění organických mikropolutantů z odpadní vody na reálné čistírně odpadních vod.

Před zahájením vlastní experimentální části projektu byl proveden monitorovací výběr vhodné lokality ze tří čistíren. Pro umístění vlastní filtrační jednotky byla zvolena) ČOV Tuchoměřice, kde je využívána membránová separační technologie, u které lze předpokládat eliminaci nerozpuštěných látek, které by posléze mohly snižovat účinnost sorpce.



**Obr.2: Poloprovozní zařízení pro testování adsorpce na GAU (ČOV Tuchoměřice)**

Samotné filtrační zařízení bylo sestaveno tak, aby se dalo provozovat jak v paralelním uspořádání, tak sériovém. Zařízení sestává ze tří kolon, které jsou naplněny třemi různými typy granulovaného uhlí. (viz. tab. 7)

Pro aktuálně probíhající experimenty byly vybrány tři typy GAU (Tab. 7). GAU WG12 se vyznačuje tím, že se jedná o extrudované aktivní uhlí vyrobené z černého uhlí. Aktivní uhlí Norit 830 W je uhlí vyrobené

jako aglomerované z černého uhlí a jedná se o levnější variantu aktivního uhlí použitelného pro úpravu a čištění vody. V případě aktivního uhlí NRS GA 0,5 – 2,5 se jedná o experimentální využití již reaktivovaného GAU.

**Tab. 7: Základní charakteristika použitých typů GAU**

GAU	Gryfskand WG12	Norit 830W	NRS GA 0,5 – 2,5
Jodové číslo	1000	975	850
Zrnitost ( $D_{10}$ ) [mm]	0,7 – 1,7	0,9	–
Koeficient stejnozrnosti	1,2	1,7	–
Plocha povrchu (B.E.T) [ $m^2 g^{-1}$ ]	1100	1100	975
Hustota [ $kg m^{-3}$ ]	450	445	430

Každý filtr je naplněn stejnou vrstvou uhlí 0,8 m. Při ploše experimentálního filtru  $0,09 m^2$  je možno provozně nastavovat filtrační rychlost (resp. dobu kontaktu).

Voda je na filtry čerpána z akumulace vyčištěné vody, kam se dostává z nádrže permeátu. Z toho vyplývá, že tato voda již není před vstupem do zařízení nikterak čištěna či upravována. Posléze je vedena čerpadlem na samostatné filtry, kde dochází k vlastní sorpci na jednotlivá uhlí. Filtry lze prát jak vzduchem, tak také vodou. Pro naše účely praní byla použita voda pitná, aby se zamezilo možnému zanesení uhlí při praní filtrátem.

Sledování účinnosti sorpce na jednotlivé typy uhlí je zaměřeno na léčiva z těchto skupin:

- Antibiotika
- Antihypertenziva
- Antiepileptika
- Antidepresiva
- Analgetika
- Ostatní farmaka – do této byly zařazeny buď metabolity jiných účinných látek, nebo je jejich využití specifické (specializované léky apod.) a nespádají do výše uvedených skupin

**Tab. 8: Přehled sledovaných ukazatelů**

Sledované ukazatele	Jednotky
pH	–
teplota	$^{\circ}C$
UV absorbance při 254 nm	–
barva	$mg \cdot l^{-1}$ Pt
$CHSK_{Cr}$	$mg \cdot l^{-1}$
Koncentrace kyslíku (nátok – odtok)	$mg \cdot l^{-1}$

V průběhu experimentu byly také sledovány další ukazatelé, které jsou uvedeny v tab. 8. Tyto ukazatele umožní komplexní hodnocení celého procesu sorpce léčiv na GAU.

V současné době byly provedeny první poloprovozní zkoušky s třemi typy aktivního uhlí, u kterých byla sledována sorpční účinnost GAU u léčiv. Ze zkušeností z poloprovozního testování terciárního filtru založeného na adsorpci organických mikropolutantů na GAU vyplynulo, že velký význam má kvalitní separace nerozpuštěných látek z vody přitékající na sorpční filtr.

Problematika mikropolutantů (PPCPs) v komunální odpadní vodě a jejich odstranění je tak komplikovaná, že vývoj terciárního filtru bude vyžadovat další podrobné studium a další technické změny na uvažovaném zařízení.

## Závěr

V našem příspěvku byly prezentovány dvě konkrétní aplikace membránového bioreaktoru v konkrétním průmyslovém odvětví. Jednotlivé případové studie ukazují, že důvody využití MBR jsou především kvalita odtoku, rozšíření kapacity stávající ČOV nebo nedostatek místa.

Dále byla představena jedna aplikace membránové separace pro biologicky obtížně čistitelné odpadní vody s měnícím se charakterem surové vody a byla předvedena možnost znovuvyužití vod za pomoci aplikace aktivního uhlí za samotnou čistírnou. Tyto dvě studie jsou momentálně ve fázi zkoumání a provádění experimentů, ale i přesto z již získaných poznatků určité závěry vyvodit můžeme. Řešení aplikace membránové technologie představuje variabilitu a robustnost vyvíjené technologie a studie týkající se znovuvyužití vod může pomoci ke změně názoru, kdy se na odpadní vody hledí „pouze“ jako na odpad, a dokázat, že existují možnosti jejího znovuvyužití.

## Literatura

1. Křivánková J., Dobiáš P.: Znovuvyužití odpadních vod – vývoj pokročilých technologií, sborník konference Nové trendy v čistírenství a vodárenství, Soběslav, 13. 11. 2018
2. Pokorný, O., Lánský M.: Zkušenosti z provozu ČOV 870 EO, materiál SčV, a.s.
3. Verma A.K., Dash R.R., Bhunia P.: A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters, Journal of Environmental Management 93 (2012), 154-168
4. SCHARF, Roger G., et al. Comparison of batch sorption tests, pilot studies, and modeling for estimating GAC bed life. Water research, 2010, 44.3: 769-780.
5. Interní materiál ENVI-PUR, s.r.o.

## Poděkování

Projekt TH02030527 *Vývoj pokročilé variabilní membránové technologie pro čištění různých druhů obtížně biologicky čistitelných průmyslových OV* a projekt TH02030227 *Technická a ekonomická optimalizace terciárních technologií pro odstraňování PPCPs z odpadních vod* jsou řešeny s finanční podporou TA ČR.