Technologická cestovní mapa

Membránové technologie v ČR

CZEMP

Membránové technologie v ČR – technologická cestovní mapa

Kolektiv autorů:

Ing. Jakub Peter, PhD. – hlavní editor
Ing. Jan Bartoň, CSc.
Ing. Libuše Brožová, CSc.
Ing. Jaromír Fiala, Ph.D.
Ing. Pavel Izák, Ph.D., DSc.
Ing. Petr Křižánek, Ph.D.
prof. Ing. Petr Mikulášek, CSc.
doc. Ing. Martin Paidar, Ph.D.
Mgr. Tomáš Remiš, Ph.D.
Ing. Miroslav Strnad

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

Tvorba cestovní mapy byla podpořena z prostředků projektu Membrány pro život – MEM4LIFE, reg. č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/17_105/0018786

© 2022 Česká membránová platforma, z.s.

OBSAH

1 PŘEDMLUVA 5

2 ÚVOD 6

3 ČESKÁ MEMBRÁNOVÁ PLATFORMA 7

3.1 VZNIK ČESKÉ MEMBRÁNOVÉ PLATFORMY 7
3.2 AKTIVITY CZEMP 7
3.3 PŘÍNOSY CZEMP 7
3.4 NAPOJENÍ NA EVROPSKÉ TECHNOLOGICKÉ PLATFORMY 8
3.5 VIZE A PLÁN AKTIVIT CZEMP DO ROKU 2030 8
3.6 WORKSHOPY A SEMINÁŘE 9
3.7 KONFERENCE 9
3.8 MEM4LIFE 10

4 STAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ V ČR 11

4.1 KLASIFIKACE VOD 11
4.2 VODA A KLIMATICKÉ ZMĚNY 12
4.3 VODA A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ 13
4.4 VODA V ZEMĚDĚLSTVÍ 14
4.5 VODA V PRŮMYSLU 15
4.6 VODA VE VÝROBĚ ENERGIE 16
4.7 PITNÁ VODA A KOMUNÁLNÍ ODPADNÍ VODY 17
4.8 ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ 18

5 TLAKOVÉ A OSMOTICKÉ PROCESY 19

5.1 KONVENČNÍ TLAKOVÉ MEMBRÁNOVÉ PROCESY 19
5.2 OSMOTICKÉ PROCESY (PŘÍMÁ OSMÓZA A TLAKOVĚ ZPOMALENÁ OSMÓZA) 21
5.3 APLIKACE TLAKOVÝCH A OSMOTICKÝCH PROCESŮ V ČR 21

6 PROCESY VYUŽÍVAJÍCÍ IONTOVÝMĚNNÉ MEMBRÁNY 26

6.1 IONTOVÝMĚNNÉ MEMBRÁNY 26
6.2 MEMBRÁNOVÉ PROCESY VYUŽÍVAJÍCÍ IONTOVÝMĚNNÉ MEMBRÁNY 28
6.3 SITUACE ELEKTROMEBRÁNOVÝCH PROCESŮ V ČR 32

7 NAŠE VIZE BUDOUCNOSTI 36

8 ZPRACOVÁNÍ ODPADNÍCH VOD PRO ZISK SUROVIN 38

8.1 KDE BUDEME V ROCE 2030 38
8.2 PŘÍLEŽITOSTI MEMBRÁNOVÝCH TECHNOLOGIÍ PŘI ZÍSKÁVÁNÍ SUROVIN Z ODPADNÍCH VOD 40

9 VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ V ENERGETICE 43
9.1 KDE BUDEME V ROCE 2030 43
9.2 PŘÍLEŽITOSTI PRO ENERGETIKU 44

10 RECYKLACE ODPADNÍCH VOD 46
10.1 KDE BUDEME V ROCE 2030 46
10.2 PŘÍLEŽITOSTI MEMBRÁNOVÝCH TECHNOLOGIÍ PŘI RECYKLACI ODPADNÍCH VOD 48

11 BARIÉRY V APLIKACÍCH MEMBRÁNOVÝCH TECHNOLOGIÍ 51
11.1 TLAKOVÉ A OSMOTICKÉ MEMBRÁNOVÉ PROCESY ÚPRAVY VODY 51
11.2 ANALÝZA TRHU S ELEKTROMEMBRÁNOVÝMI PROCESY PRO ÚPRAVU VOD 67

12 PERSPEKTIVA VYUŽITÍ MEMBRÁNOVÝCH TECHNOLOGIÍ V ČR 73
12.1 POTENCIÁLNÍ APLIKACE TLAKOVÝCH A OSMOTICKÝCH PROCESŮ V ČR 73
12.2 POTENCIÁL PROCESŮ VYUŽÍVAJÍCÍ IONTOVÝMĚNNÉ MEMBRÁNY 74

13 VLIV TZV. „EMERGING TECHNOLOGIES“ NA MEMBRÁNOVÉ TECHNOLOGIE A VZNIK NOVÝCH PŘÍLEŽITOSTÍ 77

14 ZÁVĚR 81

15 LITERATURA 82

16 PŘÍLOHY – PŘÍPADOVÉ STUDIE 84

SEZNAM ZKRATEK:

AEM	aniontově výměnná membrána
AFC	z angl. „alkaline fuel cell – alkalické palivové články
AI	z angl. „artificial intelligence“ – umělá inteligence
ARED	asistovaná reverzní elektrodialýza
BMED	elektrodialýza s bipolárními membránami
BPM	bipolární membrána
CDI	kapacitní deionizace
CEB	z angl. „chemical enhanced backwashing“ – chemické zpětné proplachy
CEM	kationtově výměnná membrána
CZEMP	z angl. „Czech membrane platform“ – Česká membránová platforma, z.s.
ČOV	čistírna odpadních vod
DD	difuzní dialýza
ED	elektrodialýza
EDI	elektrodeionizace
EDM	elektrodialýza metateze, metatezní elektrodialýza
EED	elekro-elektrodialýza
EFC	z angl. „enzymatic fuel cell“ – enzymatický palivový článek
EMS	European Membrane Society
ETL	elektroforéza
FO	z angl. „forward osmosis“ – přímá osmóza
GS	z angl. „gas separation“ – (membránová) separace plynů
IAP	Implementační akční plán (dokument vydaný CZEMP)
IEM	z angl. „ion exchange membrane“ – iontovýměnná membrána
MBR	membránový bioreaktor
MCDI	membránová kapacitní deionizace
MCFC	z angl. „molten carbonate fuel cell“ – palivový článek s roztaveným uhličitanem
ME	membránová elektrolýza
MF	mikrofiltrace
MMMs	z angl. „mixed matrix membranes” – membrána se směsnou matricí
MOFs	z angl. „metal-organic frameworks“ – struktura kov-organická látka
MS ČSCHI	Membránové sekce České společnosti chemického inženýrství
NF	nanofiltrace
OV	odpadní vody
PEM	z angl. „proton exchange membrane“ – protonvýměnná membrána
PRO	z angl. „pressure retarded osmosis“ – tlakově zpomalená osmóza
RED	reverzní elektrodialýza
RO	reverzní osmóza
SED	selektivní elektrodialýza
SVA	Strategická výzkumná agenda (dokument vydaný CZEMP)
UF	ultrafiltrace
WA-MS	World Association of Membrane Societies

I PŘEDMLUVA

Jaká bude situace v oblasti nakládání s vodními zdroji a odpadními vodami (včetně splaškových) v roce 2030? Jaké způsoby řešení recyklace a čištění vod budou využitelné? Odpovědi na tyto otázky lze nalézt v tomto unikátním a možná i trochu vizionářském dokumentu, který představuje strategický plán nového vývoje v oblasti využití membránových technologií při záchytu, transportu, úpravě a čištění vodních zdrojů v České republice v následujících letech.

Zásadní změna

Sdružení českých akademických a průmyslových pracovišť se v tomto dokumentu snaží přinést jednotnou vizi v oblasti nakládání s vodními zdroji a odpadními vodami. Považujeme proto tento dokument za velmi důležitý nástroj, který poukazuje na možnosti, kterých je možné v následujících letech dosáhnout. V roce 2030 budou partneři v oblasti nakládání s odpadními vodami významně přispívat k udržitelnosti naší společnosti. Regionální vodohospodářské organizace a samosprávy budou schopny přeměňovat odpad na čisté suroviny, čistou energii a čistou vodu. Předkládaná vize je v souladu se závazky Národního strategického inovačního plánu v oblasti nakládání s vodními zdroji a odpadními vodami a odráží společné cíle samospráv a regionálních vodohospodářských autorit, tj. zvyšování efektivity, kvality a spolehlivosti.

Příležitosti

Výsledek procesu tvorby uvedeného plánu, resp. cestovní mapy, překračuje v mnohém předkládaný inspirativní dokument, jelikož zde existuje obrovský potenciál pro spojení udržitelnosti a efektivity. Je zřejmé, že partneři v oblasti nakládání s odpadními vodami již mnohé z těchto konceptů uplatňují v praxi, jiní experimentují např. v oblasti těžby surovin, příp. obce zakládají místní energetické společnosti. Současně s těmito změnami postupují i regionální vodohospodářské úřady, jenž se snaží využívat poznatky z celého trhu všude tam, kde je to jen možné.

Strategická seskupení

Změny v oblasti nakládání s odpadními vodami samozřejmě neprobíhají samostatně, ale úzce souvisejí se změnami mimo tento segment. Proto jsou hledány různá „smart“ seskupení v dalších oblastech potenciálního využití, jako jsou např. seskupení pro stavebnictví, průmysl, zemědělství, energetiku a mnohé další.

Koordinace a spolupráce

Předkládaná dlouhodobá vize nevznikla spontánně, ale je výsledkem procesu, který byl zahájen v roce 2019 společně s našimi partnery v rámci České membránové platformy (CZEMP).
V roce 2019 byla ustavena skupina specializovaných odborníků, kteří se začali zabývat vizí hospodaření s vodou za využití membránových procesů po roce 2030. Při své činnosti úzce spolupracuje s týmy výzkumníků jak z vodohospodářské, průmyslové, energetické, zemědělské sféry, tak také s týmy z akademického prostředí.

2 ÚVOD

Čistá voda je zásadní pro zajištění dobrého zdraví, silné společnosti, živých ekosystémů a funkčního hospodářství pro výrobu, zemědělství, cestovní ruch, rekreaci, výrobu energie a potřeby dalších odvětví. V posledních letech je čím dál tím obtížnější vodu získávat z tradičních vodních zdrojů. Výzkum v oblasti membránových technologií může z netradičních zdrojů vody (voda z těžby nerostných surovin, energetiky, průmyslu, komunálních, a zemědělských odpadních vod apod.) přinést nákladově efektivní alternativu k tradičním vodním zdrojům. Tyto netradiční zdroje pak mohou být aplikovány na celou řadu prospěšných koncových využití, jako jsou např. zdroje pitné vody, průmyslové technologické vody a zavlažování, rozšíření oběhového vodního hospodářství opětovným využitím zásob vody a valorizací složek, které jsou v současné době považovány za odpad. Dodatečným přínosem je, že tyto zásoby vody mohou obsahovat cenné prvky, které by mohly být znovu získány k podpoře již uváděného oběhového hospodářství.

Jádro vize

Zásadní změna

V roce 2030 bude hlavním faktorem udržitelnost naší společnosti a s tím související zásadní změny v uzavírání výrobních/odpadových řetězců a cyklů. Regionální vodohospodáři, města a obce budou přeměňovat odpad na čisté suroviny, čistou energii a čistou vodu. Samozřejmě, že jsou také hledány způsoby, jak snížit náklady, a proto je kladen velký důraz na chytřejší investice do flexibilních systémů.
Velkým motivátorem výše uvedených aktivit bude také soubor politických iniciativ Evropské komise o uhlíkové neutralitě – tzv. European Green Deal.

Integrovaný přístup

Ve všem, co je v oblasti nových vodních zdrojů (včetně čištění a úpravy odpadních vod) konáno, lze vidět širší souvislosti. Jedná se především o specifické návrhy možných technologií, které odpovídají jak místu využití, tak i danému segmentu. Případní uživatelé jsou obeznámeni s tím, že se mohou spolehnout na řešení tzv. „šitá na míru“, neboť je uživatelům poskytována široká škála služeb.

Důvod vize

Výchozí bod

Předkládaná vize je vnímána jako výchozí bod pro konverzaci uvnitř i vně managementu s odpadními vodami za účelem uzavření řetězců a cyklů a učinit je tak udržitelnějšími. K tomuto účelu slouží úzká spolupráce s partnery z oblasti zemědělství, chemického průmyslu, výroby potravin a energetiky, s bytovými družstvy a realizátory projektů. S uvedenými subjekty jsou vedeny rozsáhlé diskuse a jsou zpracovávány jejich podnětné náměty. Z uvedeného plyne, že předkládaná vize není v žádném případě pevně daná.

Zdroj inspirace

Předkládaná vize tedy slouží jako inspirace našim partnerům, zákazníkům a dodavatelům v oblasti nakládání s odpadními vodami. Společně jsou určovány oblasti, kde je spolupráce možná a žádoucí. Regionální vodohospodářské orgány a obce mohou tedy využívat uvedenou vizi jako zdroj inspirace pro své dlouhodobé strategie a pro hledání slibných inovací.

Místní specifické činnosti

Jaké inovace v oblasti nakládání s odpadními vodami jsou nejslibnější, závisí do značné míry na konkrétních místních podmínkách. To se týká fyzického prostředí, správní struktury a priorit územního plánování. Důležitá je také místní potřeba a dostupnost surovin, energie a vody. Byl předložen soubor perspektivních možností, které mají pomoci místním samosprávám při výběru správných inovací pro svou oblast. Tyto podněty představují potenciální budoucí vizi udržitelného řešení, kterou lze aplikovat na konkrétní řešení problémů s vodou na lokální úrovni. Uvedená vize může být nápomocna identifikovat příležitosti a ambice pro membránové technologie i za hranicí vodního managementu.

3 ČESKÁ MEMBRÁNOVÁ PLATFORMA

3.1 Vznik české membránové platformy

Česká membránová platforma vznikla v roce 2008 původně jako občanské sdružení na základě potřeby vhodného institucionálního nástroje pro podporu aktivit souvisejících s výzkumem, vývojem a zaváděním technologií do průmyslové praxe využitelných pro udržitelný rozvoj výroby a zvýšení konkurenceschopnosti českých podniků. Hlavním důvodem bylo seskupit podnikatelské, výzkumné a vzdělávací instituce a umožnit jim lepší vzájemnou komunikaci a spolupráci při řešení projektů vývoje a výzkumu. Zároveň se ukázala potřeba informovanějšího a efektivnějšího zapojení do plánů a projektů státní politiky a mezinárodních rámcových programů.

Česká membránová platforma sdružuje nejvýznamnější subjekty v ČR aktivní v oblasti membránových procesů, tj. odborníky a významné instituce zaměřené na výzkum, vývoj, realizaci a využití membránových operací v technologických procesech širokého spektra výrobních odvětví. Členské subjekty prokázaly svůj zájem o rozvoj oboru a v důsledku dosavadní činnosti platformy byly identifikovány jejich silné stránky a oblasti, ve kterých se jejich odbornost a zaměření vhodně doplňují.

3.2 Aktivity CZEMP

Současné aktivity platformy navazují na činnost Membránové sekce České společnosti chemického inženýrství (MS ČSCHI), která od poloviny 90. let minulého století vyvíjela iniciativu v oblasti popularizace membránového oboru v tuzemsku. Membránová sekce se stala profesním sdružením specializovaných odborníků, slučující osobnosti vědy, výzkumu i praxe, jejichž spolupráce byla podložena značnou odborností a zaručovala vysokou úroveň řešených problematik. Činnost MS ČSCHI byla zaměřena jak na zmapování úrovně výuky membránové problematiky na vysokých školách, stavu aplikované praxe, tak na organizování odborných seminářů, symposií a mikrosymposií v rámci tematicky zaměřených konferencí.

Česká membránová platforma mapuje celou oblast výzkumu a vývoje membrán a membránových technologií. Materiálový výzkum partnerů je věnován jak anorganickým (např. keramickým membránám), tak i polymerním systémům a jejich propojeným hybridním formám. Vlastní membránové operace využívající několika fyzikálních a inženýrských principů, jsou rozvíjeny zejména na univerzitní úrovni, ale elektrochemické membránové separace jsou dovedeny do vysokého stupně realizační dokonalosti. Činnost platformy umožňuje propojení stávajících aktivit jednotlivých členů, vzájemné předávání zkušeností z provozu membránových stanic i aktivizaci dosažených výsledků na evropské úrovni s partnerskou organizací EMS – Euro-pean Membrane Society. Členové České membránové platformy ověřují možnosti využití membránových technologií i jejich možné modifikace ve vzájemné kooperaci s cílem jejich využití ve vlastních aktivitách a podpořit další rozšíření v hospodářských aktivitách České republiky.

3.3 Přínosy CZEMP

Základním přínosem všech aktivit platformy je propojování výzkumných a vzdělávacích subjektů s výrobní sférou a dalšími institucemi, zabývajícími se technologiemi pro trvale udržitelný rozvoj společnosti. Velká pozornost je stále věnována rozšiřování členské základny, zejména ze strany průmyslových subjektů, což má celou řadu pozitivních dopadů. Jedná se zejména o zpětnou vazbu v oblasti zacílení vzdělávacích aktivit v daném oboru, umožnění širokého spektra odborných pracovních pobytů studentům, participujících vzdělávacích a výzkumných institucí a poskytnutí podnětů pro další výzkum s inovačním efektem. Navázání úzké spolupráce mezi zapojenými subjekty je nezbytným předpokladem pro udržitelnost tohoto projektu po ukončení jeho financování z veřejných zdrojů prostřednictvím spolupráce na společných výzkumných a inovačních projektech, financovaných jak ze zdrojů veřejných, tak zdrojů neveřejných. Dále je pozornost soustředěna na zavedení mechanismu rychlé a efektivní výměny informací a propojování s obdobně zaměřenými subjekty na národní i evropské úrovni. Toto propojování vede ke vzniku společné informační struktury, která umožňuje připravit stabilní základ širší mezioborové sítě.

Na webových stránkách je prezentován ucelený souhrn informací nejen o platformě, ale obecně o membránové problematice, jsou zde informace o možnostech přistoupení do platformy, podmínky jeho členství, aktuality, strategické dokumenty atd. Dále bylo vybudováno i zázemí platformy, tj. plně funkční kancelář.

Výchozím bodem, v procesu hledání společných cílů, bylo dokonalé zmapování stávajícího stavu oboru membránových procesů. Prvním krokem pro začlenění membránových procesů do mnoha směrů výrobních i jinak užitečných aktivit v ČR bylo zpracování stávajícího stavu poznání a aplikace ve formě odborné studie „Membrány a membránové procesy, výzkum, vývoj, výroba a využití". Studie je členěna do několika základních oblastí: věda, výzkum, vzdělávání, vývoj a inovace, výroba a distribuce (výrobci a dodavatelé), transfer, aplikace (uživatelé membránových technologií) a posloužila jako základ pro další činnost platformy. Dále byly ve spolupráci s firmami MEGA a.s. a MemBrain s.r.o. zpracovány dvě odborné zprávy „Membránové technologie v segmentu technologií úpravy vody na trhu České republiky" (MEGA a.s.) a „Stav tlakových membránových procesů na tuzemském trhu" (MemBrain s.r.o.).

V návaznosti na zpracované studie a rovněž i na inovované webové stránky byla vytvořena databáze subjektů, jejichž činnost je spojena s membránovou problematikou a kterým bylo nabídnuto členství v CZEMP.

3.4 Napojení na Evropské technologické platformy

Česká membránová platforma je aktivním členem Evropské membránové společnosti (EMS), která pokrývá svými aktivitami propagaci membránových technologií v celoevropském měřítku a není omezena pouze na státy EU. Předseda představenstva České membránové platformy Ing. Luboš Novák, CSc. byl členem výboru EMS. Spolupráci s EMS bude Česká membránová platforma, z.s. v rámci projektu **Membrány pro život** dále posilovat. V roce 2017 byla v rámci kongresu ICOM založena světová membránová organizace World Association of Membrane Societies (WA-MS). Její činnost zatím není přesně vymezena, ale CZEMP s ní spolupracuje zejména při propagaci svých akcí prostřednictvím webových stránek WA-MS.

Česká membránová platforma navázala kontakty s Russian Technology Transfer Network a s Nederlands Membranengenootschap. Spolupráce probíhá rovněž v rámci zemí Visegrádské čtyřky (Česko, Polsko, Slovensko, Maďarsko) např. při organizaci mezinárodních akcí. Příkladem je mezinárodní konference PERMEA (Membrane Science and Technology Conference of Visegrad Countries), kterou v roce 2009 hostila Česká republika a CZEMP byla jedním ze dvou pořadatelů. V roce 2016 se organizace opět ujala Česká republika a Česká membránová platforma byla hlavním pořadatelem.

Další a neméně důležité jsou i mezinárodní kontakty jednotlivých členských subjektů, které mají dlouhodobou vazbu s odbornými zahraničními pracovišti v oblasti výzkumu a vývoje a rovněž s průmyslovými subjekty. Všichni současní členové CZEMP mají rozvinuté mezinárodní kontakty na úrovni svých hlavních činností či profesních zájmů. Je proto zřejmé, že rozvoj aktivit membránové technologické platformy bude vycházet z posledních poznatků vědy i aplikačních zkušeností a v evropském i světovém kontextu bude sledovat pokrok v oboru.

3.5 Vize a plán aktivit CZEMP do roku 2030

Plán aktivit České membránové platformy na další období s horizontem kolem roku 2030 vychází z aktivit, kterými se CZEMP zabývá dlouhodobě. V podstatě jde o pokračování pořádání workshopů a seminářů, konferencí a projektů s podporou EU. Nové období programu Horizont Evropa platí do roku 2027 a i v tomto období se CZEMP bude účastnit projektů MPO, tentokrát v programu OP TAK. Předpokládáme, že se opět zapojíme do projektů pro technologické platformy tak, jak tomu bylo v minulém období OP PIK v programu Spolupráce.

Další významnou aktivitou CZEMP bude věnovat se svým členům a podporovat jejich vzájemnou spolupráci – zejména ve vztahu výzkumných a vývojových organizací a privátních firem. Členská základna CZEMP je již stabilizovaná zejména v oblasti výzkumných a vývojových pracovišť – zejména vysokých škol a ústavů AV ČR. Právě prostřednictvím workshopů a seminářů je možné navázat další spolupráce a případně získávat nové členy platformy. Výměna poznatků v oboru membránových technik a technologií stojí často na počátku další odborné spolupráce mezi výzkumnými týmy i mezi privátními firmami.

3.6 Workshopy a semináře

CZEMP plánuje pokračovat ve dvou typech workshopů, které se osvědčily v minulosti. Jedná se o Workshop studentských prací (WSP) pro studenty a doktorandy a o workshop Membránové procesy v potravinářství (MEMPROPO)

Workshop studentských prací (WSP)

Workshop studentských prací je programem, který pomáhá studentům a doktorandům v jejich profesním růstu. V rámci programu musí účastníci workshopu připravit abstrakt svého příspěvku (přednášky či posteru) v anglickém jazyce a byl rovněž realizován i workshop s účastí zahraničních studentů, na kterém prezentace probíhala pouze v angličtině. Účastníci workshopů tak mají možnost vyzkoušet si vystoupení před publikem a získat zkušenosti s přednášením a s prezentací své práce.

Membránové procesy v potravinářství (MEMPROPO)

Workshop MEMPROPO je pořádán již od roku 2015 a vznikl na základě projektu KUSmem – využití membránových technologií v potravinářském průmyslu. V rámci workshopu MEMPROPO, který se koná každoročně i po skončení projektu KUSmem, se daří propagovat využití membránových technologií v potravinářství. CZEMP bude workshop pořádat i v dalších letech, jednak ve spolupráci s Českou technologickou platformou pro potraviny ČTPP, tak s vysokými školami, které jsou členy CZEMP.

Workshopy v projektech

V projektech OP PIK v oblasti „Spolupráce“, do které CZEMP podával žádosti o projekt MEMPRO i pro projekt MEM4LIFE, jsou pořádány semináře a workshopy v rámci přípravy výstupů projektu. V projektu MEMPRO byly workshopy pořádány při přípravě aktualizace dokumentů „Strategická výzkumná agenda“ a „Implementační akční plán“. V současném projektu MEM4LIFE jsou tématy workshopů zejména způsoby vypracování cestovní mapy pro CZEMP a obecně membránové technologie.

Seminář „Jak prezentovat odborné výsledky“

Tento seminář byl zaměřen na způsob prezentace odborných výsledků, zejména v odborných časopisech. Byl hojně navštěvován zejména studenty a doktorandy, protože jim pomáhal orientovat se v problematice prezentace vědecko-výzkumných výsledků. Uspět s publikací v časopisech s vyššími hodnotami impaktního faktoru pak není snadné ani u vědeckých pracovníků s delšími publikačními zkušenostmi. Tento typ kurzů se rozhodně vyplatí pořádat a po přestávce způsobené pandemií se opět rozběhne.

3.7 Konference

Pořádání konferencí má v České membránové platformě dlouhou tradici. Konference jsou zřejmě tím nejlepším místem pro setkávání odborníků v oboru membránových technologií nejen z Česka, ale i ze zahraničí.

MELPRO

Mezinárodní konference „Membránové a elektromembránové procesy“ je již zavedenou konferencí. Předsedou vědecké rady konference je dlouhodobě uznávaný membránový odborník profesor Enrico Drioli z Itálie z Univerzity Kalábrie. Poslední konference MELPRO 2020 se z důvodu pandemie konala v on-line režimu, ale i tak se jí zúčastnilo přes sto účastníků z celého světa. Konference se pořádá v sudých letech, další se bude konat v září 2022.

MEMPUR

Od roku 2017 Česká membránová platforma pořádá národní konferenci „Membrány pro udržitelný rozvoj – MEMPUR“. Tato konference se zatím vždy pořádala na Univerzitě Pardubice v prostorách Fakulty chemicko-technologické. Její poslední ročník se konal ve dnech 6. – 7. 9. 2021. Konference je jednou z možností, jak zapojit do této aktivity studenty a doktorandy z českých vysokých škol a na konferenci je vypsána soutěž o nejlepší studentskou práci prezentovanou formou přednášky a formou posteru. Národní konference MEMPUR se pořádá v letech s lichou číslovkou na konci a střídá se tak přibližně v ročním intervalu s konferencí MELPRO.

PERMEA

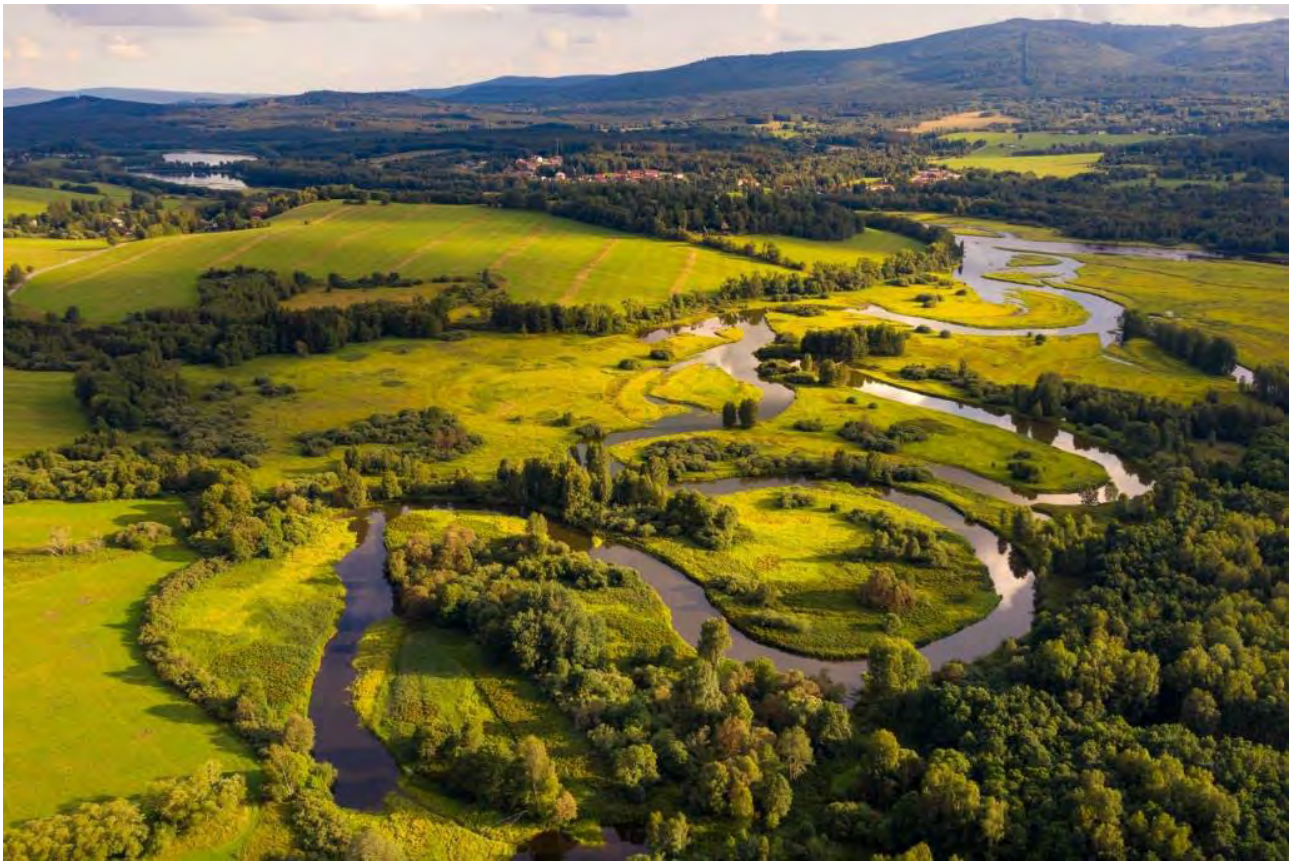
Konference PERMEA je membránovou konferencí pořádanou ve spolupráci v rámci Visegrádské čtyřky. V Česku se Česká membránová platforma podílela na její organizaci v roce 2016 společně s konferencí MELPRO 2016. Další ročník PERMEA bude v roce 2022 na Slovensku.

EUROMEMBRANE

EUROMEMBRANE je konference zaměřená na membránové technologie, jejíž organizace probíhá pod hlavičkou Evropské membránové společnosti EMS. V roce 2021 se koná koncem listopadu a počátkem prosince v Kodani-Dánsku. Další ročník proběhne v roce 2024. Z hlediska zkušeností, které CZEMP získala při pořádání konferencí MELPRO, MEMPUR i PERMEA, se platforma přihlásí o pořádání konference EUROMEMBRANE 2024 v Praze. Přihlášku je nutné podat do konce června 2022. EUROMEMBRANE je bezesporu špičková membránová konference světového měřítka a pokud by byla organizace svěřena právě CZEMP, byla by tato konference poprvé pořádána na území bývalé východní Evropy.

3.8 MEM4LIFE

Jako součást projektu MEM4LIFE byla vypracována předkládaná cestovní mapa za účelem identifikace příležitostí výzkumu a vývoje (R&D), které by mohly řešit konkrétní výzvy vodního hospodářství ČR pomocí membránových technologií. Podrobně je popsáno pět vodních sektorů (energetika, těžba nerostných zdrojů, průmysl, komunální vodohospodářství a zemědělství) z hlediska možností aplikací uvedených progresivních technologií.



Obr. 3.1 Vltava, Národní park Šumava (zdroj: Shutterstock: Thomas Dekiere)

4 STAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ V ČR

Voda je přírodní složka prostředí, jež je nutná k zdravému vývoji celé biosféry, nelze jí vlastnit, ani nelze kohokoliv vyloučit z jejího užívání. Voda plní mnoho významných funkcí, jako je biologická (bez ní by nebyl život na Zemi), zdravotní (hygiena, potraviny, léčivé prameny), hospodářská (zemědělství, průmysl, služby, chov ryb a vodní drůbeže), energetická (vodní elektrárny, chladicí věže), transportní (vodní plavba), rekreační (odpočinek, vodní sporty), kulturně-estetická (tvorba krajiny, architektura) a také politicko-strategická (vodní toky neznají hranice, přístup ke zdrojům vody a jejich přeshraniční využívání). V posledních několika letech se stále dostává do popření otázka odpovědného hospodaření s vodou a s vodními zdroji. Již delší dobu upozorňují vědci a odborníci na zhoršující se klimatické podmínky, které se projevují zejména zvýšením průměrné teploty jak vod, tak především vzduchu.

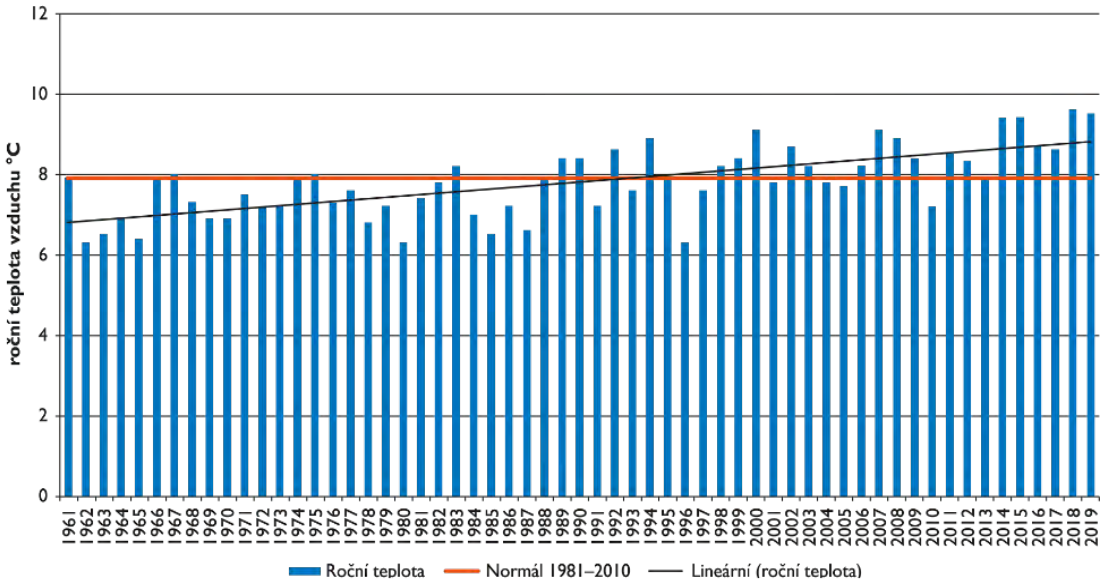
4.1 Klasifikace vod

V odborné literatuře zabývající se vodohospodářstvím, zemědělstvím, potravinářstvím, průmyslovou výrobou je možné se často setkat s určitou kategorizací vod, které nesou rozličné názvy. Vzhledem k tomu, že i v tomto dokumentu jsou některé typy vod uváděny, je předložen jejich následující přehled:

- **Černá voda** – představuje veškerou odpadní vodu z domácností (včetně vody z WC obsahující moč a výkaly).
- **Hnědá voda** – část černé odpadní vody, která obsahuje fekálie, ve kterých je zastoupen především uhlík, částečně dusík, fosfor a draslík, ale také větší množství vápníku, hořčíku a železa.
- **Žlutá voda** – část černé odpadní vody obsahující moč. Skládá se hlavně z močoviny, rozpuštěných solí a dalších organických látek. Obsahuje zejména dusík (N), fosfor (P), draslík (K) a další důležité prvky. Moč lze využívat jako hnojivo s podobným poměrem hlavních živin jako průmyslově vyráběné hnojivo NPK.
- **Šedá voda** – část černé odpadní vody pocházející z koupelen, praček a kuchyní. Nejvýznamnější znečištění šedých vod způsobují detergenty z pracích prášků, šamponů, mýdel, zubních past a podobně.
- **Světle šedá voda** – odpadní voda z umyvadel, sprch, van a praček, jež je vhodná pro recyklaci.
- **Tmavě šedá voda** – odpadní voda z kuchyňských dřezů a myček nádobí, která není vhodná pro recyklaci.
- **Bílá voda** – vzniká z šedé vody po přečištění. Za tímto účelem se používá několikastupňová filtrace a biologické aerobní procesy k odbourávání nečistot. Bílá voda je využitelná pro provozní účely v domácnosti (mytí podlah, automobilů, splachování záchodů). Bílou vodu lze využít i na zalévání zahrad; toto však podléhá povolení vodoprávním úřadem, protože voda musí splňovat přísná kritéria pro vypouštění odpadních vod do podzemních vod.
- **Dešťová voda** – jedná se o vodu shromážděnou z odvodňovaných střešních ploch. Jedná se o měkkou vodu, která neobsahuje soli vápníku a hořčíku, jež způsobují přechodnou nebo trvalou tvrdost vody. Lze ji používat jako provozní vodu v domácnosti na splachování záchodů a na zalévání zahrad.
- **Zelená voda** – je srážková voda, která se dostává zpět do atmosféry evaporací z půdní vláhy, příp. voda, která se vypaří z půdy neporostlé vegetací nebo transpirací, což je voda odpařená a vydýchaná listy rostlin.
- **Modrá voda** – jedná se o povrchovou a podzemí vodu, která se spotřebuje v průběhu výrobního cyklu produktu nebo služby. V případě rostlinné produkce je to tedy voda použitá na zavlažování ze zavlažovacích kanálů, nádrží, rybníků nebo podzemních zásobníků.
- **Virtuální voda** – jedná se o objem vody potřebný k produkci výrobku nebo služby, tj. představuje veškerou vodu použitou v různých fázích výrobního cyklu. Většina z celkového objemu použité vody není v samotném výrobku obsažena, naopak skutečný obsah vody ve výrobku je většinou v porovnání s virtuální vodou zcela zanedbatelný.

4.2 Voda a klimatické změny

V České republice se zvláště v posledních několika dekádách vyskytují téměř každoročně vlny veder, které mají delší dobu trvání a zároveň je během nich dosahována stále vyšší hodnota maximální teploty. S tím souvisí zvýšený odpar vody do ovzduší. I když množství spadlých srážek na našem území je hodnoceno v ročním souhrnu jako normální, klimatické změny výrazně ovlivňují charakter a srážkové úhrny na lokální i celorepublikové úrovni. Jsou to často se opakující sucha, vichřice, přívalové deště či povodně. Je nutné si uvědomit, že Česká republika se geologicky nachází na evropském rozvodí a voda je z našeho území odváděna přes povodí Labe do Severního moře, přes povodí Dunaje do Černého moře a přes povodí Odry do Baltského moře. Naše republika je závislá pouze na vodě, která spadne na naše území ve formě srážek. Proto je snahou veškeré přirozené srážky (dešťové či sněhové) co nejvíce a nejdéle zadržet v krajině.



Pramen: ČHMÚ

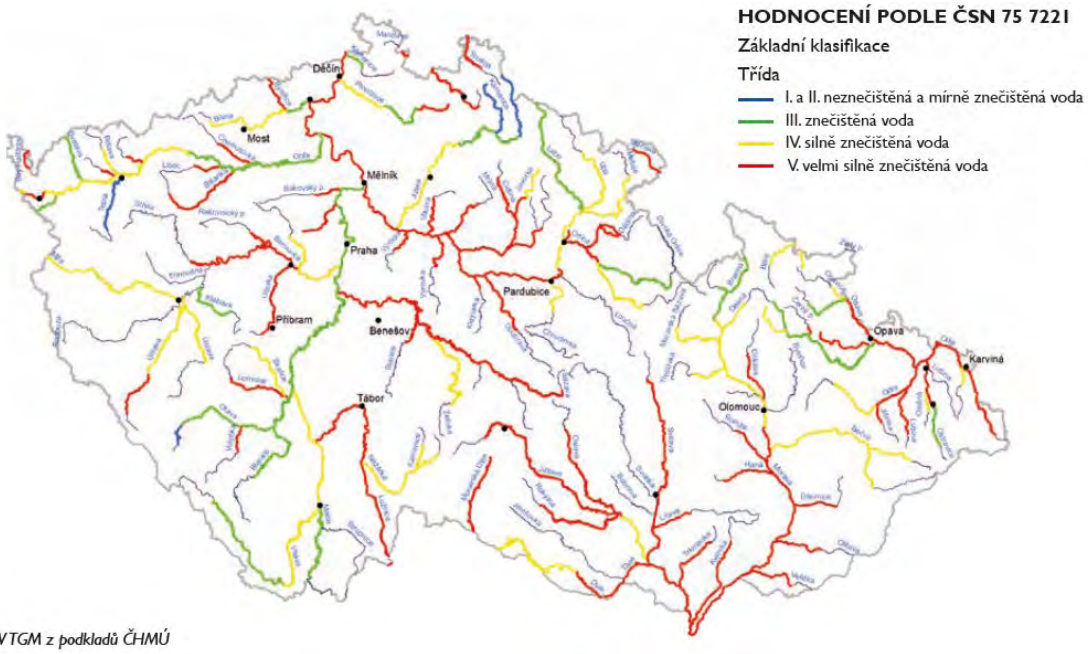
Obr. 4.1 Roční průměrné teploty v České republice v letech 1961-2019

Pramen: ČHMÚ

Obr. 4.2 Vývoj srážkového deficitu na území České republiky v letech 2011-2020

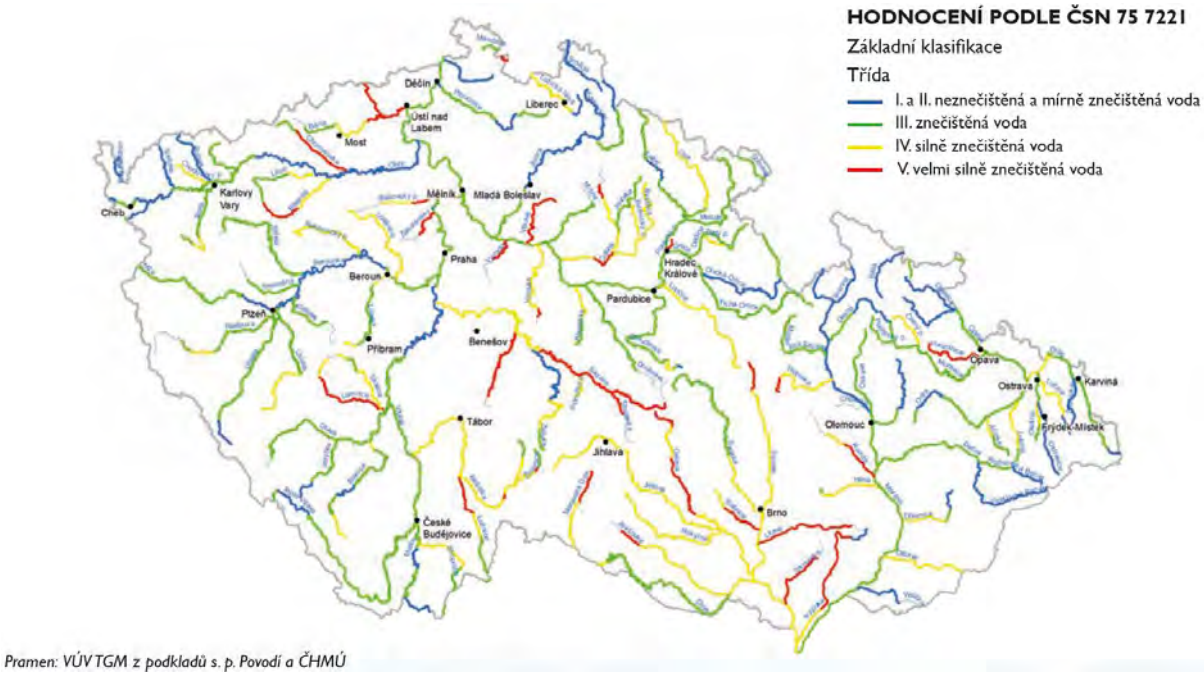
4.3 Voda a životní prostředí

Vodní bohatství České republiky je tvořeno zásobami povrchových a podzemních zdrojů vody a ostatními vodami, jako jsou mokřady, tůně, močály a další. Povrchové vody jsou soustředěny převážně ve vodních tocích, jezerech a přirozených i umělých nádržích a prohlubních. Podzemní vody se nachází v hydrogeologických oblastech, které vznikají infiltrací povrchových vod přes půdní obal Země (pedosférou) a litosférou. Voda se tak přirozeně soustřeďuje v podzemí v tzv. kolektorech. Kolísání hladiny podzemních vod je závislé na srážkových podmínkách v dané oblasti. Podzemní vody se vyznačují mnohem větší čistotou, proto se převážně využívají jako zdroje pitné vody pro obyvatelstvo. Je nutné poznamenat, že zdroje sladké vody činí asi jen 0,3 % z celkového objemu vody na Zemi.



Pramen: VÚV TGM z podkladů ČHMÚ

Obr. 4.3 Kvalita povrchových vod v České republice 2018–2020



Pramen: VÚV TGM z podkladů s. p. Povodí a ČHMÚ

Obr. 4.3 Jakost vody v tocích České republiky 1991–1992

Bilance vody v krajině je výrazně ovlivněna chováním člověka. Dříve docházelo k odvodňování velkých ploch melioracemi, čímž byla voda, která se mohla pomalu vsáknout hlouběji do půdy a posílit tak prameny, velice rychle odvedena do vodních toků. Toky, které dříve tvořily meandry a zvyšovaly vsakování vody do okolní krajiny a odpar vody (a způsobovat i ochlazování ovzduší), byly napřimovány a prohlubovány, čímž se opět zvýšil rychlý odvod vody z krajiny. V poslední době díky politice ochrany životního prostředí se začala prosazovat opatření pro zvýšení zádrže vody na našem území. Obnovují se mokřady, meandry a slepá ramena toků, přerušují se drenážní odtoky, vytvářejí se vsakovací prohlubně. Také důlní, průmyslová, stavební a zemědělská činnost výrazně ovlivňuje vodní bilanci v České republice. Nemalý vliv na hospodaření s vodou má i její spotřeba v domácnostech. Poptávka po vodě se stále zvyšuje, zatímco kvalita a množství vodních zdrojů se snižuje. Poslední dobou si lidé na celém světě uvědomují, že je nutné si zdroje vody chránit a pečovat o ně.

4.3.1 Současná kvalita povrchových vod dle ČSN 75 7221 ve srovnání s dvouletím 1991–1992

Mapa jakosti povrchových vod na vybraných tocích České republiky byla poprvé zpracována k časové úrovni dvouletí 1991–1992 podle ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod. Od tohoto dvouletí se každoročně zpracovávaly stejné mapy tak, aby bylo možné je vždy porovnat s aktuálním stavem jakosti vod. Vzhledem k rozsahu sledovaných ukazatelů v 90. letech se zpracovává pouze porovnání podle základní klasifikace. Od 1. 12. 2017 začala platit novelizovaná norma ČSN 75 7221 Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod, která nahrazuje předchozí 19 let platnou normu (ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod).

Situace v ČR je oproti devadesátým létům výrazně lepší, stále však lze na většině toků pozorovat poměrně silné znečištění. Do budoucna lze očekávat, že při řešení některých ekologických zátěží, mohou být úspěšně aplikovány i membránové technologie.

4.4 Voda v zemědělství

Jeden z největších vlivů na hospodaření s vodou v krajině má zemědělství. Přibližně jedna třetina spotřeby vody v Evropě připadá právě na zemědělství. Zároveň zemědělství je jedním z největších znečišťovatelů povrchových i podzemních vod. S rostoucí populací ve světě se zvyšují nároky na její výživu a zároveň i na spotřebu pitné vody. Pokrytí nároků na výživu rostoucí populace zvyšuje tlak na zemědělskou výrobu potravin, ale také na účinnější využívání vody v zemědělství, protože zdroje sladké vody nejsou nevyčerpatelné.

4.4.1 Zadržování vody terénními úpravami a hospodaření s půdou

Zemědělci mohou svým hospodařením výrazně ovlivnit spotřebu a kvalitu jak povrchových, tak i podzemních vod. Dříve v rámci racionalizace zemědělství docházelo ke sdružování pozemků, rozorávání mezí, remízků, polních cest a rozptýlené zeleně. Tím se výrazně snížila retenční schopnost krajiny. Dnes je průměrná velikost polí 100x větší, než tomu bylo po druhé světové válce. Díky intenzifikaci zemědělství docházelo rovněž k nadměrnému používání herbicidů, pesticidů a průmyslových hnojiv, což se výrazně projevilo v kvalitě povrchových i podzemních vod.

V dnešní době je snahou zadržet vodu v krajině, racionálně ji využívat a přitom nezhoršovat její kvalitu. K tomu vedou různé pozemkové úpravy, jako je obnova mezí a polních cest, zmenšení ploch obhospodařovaných celků, tvorba rozlivových území v záplavových oblastech, tvorba zatravňovacích pásů k zachycení splavené ornice, zalesňování pozemků s vyšším sklonem apod. Další možností, jak zadržet vodu v krajině je správné hospodaření s půdou, což znamená omezení pěstování širokořádkových plodin (kukuřice, okopaniny a další) na svažitých pozemcích, omezení zhutňování půdy těžkou zemědělskou technikou, zapravování organické hmoty do půdy a omezení používání pesticidů a průmyslových hnojiv.

4.4.2 Zavlažování

Jednou z výrazných položek ve spotřebě vody v zemědělství je zavlažování zemědělských plodin pro výživu lidí, ale i hospodářských zvířat. Nové postupy mohou významně ovlivnit účinnost využívání vody v oblasti zavlažování tak, aby nebylo nutné spotřebovávat přebytečné množství vody vzhledem k nárokům jednotlivých plodin. Legislativa již umožňuje využívat pro zavlažování recyklovanou odpadní vodu, která ovšem musí

splňovat minimální požadavky na bezpečné zavlažování jak z hlediska ochrany složek životního prostředí, tak z hlediska lidského zdraví. V ČR je zatím recyklovaná odpadní voda v zemědělství velice málo využívána. Lze však předpokládat, že pokud budou narůstat projevy sucha, zvlášť v některých oblastech ČR, jako je Polabí a jižní Morava, bude nutné k využívání recyklovaných odpadních vod přikročit. To bude představovat významnou příležitost pro uplatnění membránových technologií.

4.4.3 Živočišná výroba

Velkým znečišťovatelem povrchových i spodních vod je v zemědělství i živočišná výroba. Hospodářským zvířatům jsou preventivně podávána antibiotika, jsou vakcinována proti různým chorobám, či jsou jim podávány růstové hormony. Všechny tyto látky jsou pak vylučovány jako biologický odpad, který je skladován ve speciálních odpadních jamách, nebo je využíván jako organické hnojivo na polích. Přirozené vodní srážky pak napomáhají tomu, že tyto látky jsou vyplavovány do vodních toků nebo pronikají vsakováním do spodních vod. Nejenom zbytky veterinárních léčiv jsou kontaminanty povrchových a podzemních vod. Zejména v kuřecím hnoji je obsaženo velké množství dusíku a fosforu, který způsobuje nadměrný růst řas v povrchových vodách a tím snížení obsahu kyslíku ve vodních tocích a nádržích, což může vést až k úhynu ryb. Jak bude uvedeno kap. 8 lze velkou část problémů se znečištěním efektivně řešit a pomocí moderních technologií přeměnit odpad v hodnotné suroviny k dalšímu využití.

Obr. 4.4 Přehrada Orlík na Vltavě je největší vodní elektrárnou v ČR (zdroj: Shutterstock: Ondřej Novotný)

4.5 Voda v průmyslu

Nejenom zemědělství, ale také průmyslová činnost výrazně ovlivňuje vodní bilanci v krajině. Průmyslové využití vody má významný vliv na vodní zdroje nejen v ČR, ale napříč celou Evropou. Spotřeba vody v průmyslu má rovněž svoje specifika. Obecně je voda v průmyslu využívána pro mytí a čištění, ale každé z odvětví průmyslu vodu využívá jinak a má i jiné nároky na její čistotu a spotřebu.

4.5.1 Potravinářství

Velice náročný na spotřebu a čistotu vody je potravinářský průmysl, kde voda představuje jednak základní surovinu ve výrobě, ale je také nutná k proplachu a čištění zařízení. Voda zde musí odpovídat přísným hygienickým normám a být zdravotně nezávadná, protože nesmí ovlivnit zdravotní nezávadnost potravin. Odpadní vody z potravinářského průmyslu často obsahují mikrobiologické a organické složky, tuky, čisticí prostředky, ale i nerozpuštěné látky. Legislativní požadavky na kvalitu vypouštěných odpadních vod v potravinářském průmyslu kladou vysoké nároky na použité čistící technologie (mnohé z nich právě na bázi membránových separací) tak, aby odpadní vody splňovaly požadované výstupní parametry.

4.5.2 Papírenský průmysl

V papírenském průmyslu je voda převážně používána jako transportní médium, ale rovněž i k praní, filtraci, bělení a tvarování. Dříve bývala voda z papírenského průmyslu vypouštěna do vodoteče, čímž značně znečišťovala životní prostředí. V dnešní době je v tomto odvětví převážná část vody recyklována. Do roku 2030 se očekává ještě významnější navýšení podílu recyklované vody.

4.5.3 Chemický a farmaceutický průmysl

Chemický a farmaceutický průmysl má svá specifika. Jedná se na příklad o velkoobjemovou výrobu organický a anorganických chemických látek, polymerů nebo o maloobjemovou výrobu speciálních chemikálií (organických i anorganických). Voda je v chemickém a farmaceutickém průmyslu převážně surovinou (reakční látka, rozpouštědlo). Dle typu chemického či farmaceutického průmyslu jsou kladeny různé požadavky na množství a kvalitu vstupní vody. Podle typu výroby se rovněž mění objem a znečištění odpadních vod a nároky na její čištění. Odpadní vody z chemického a farmaceutického průmyslu jsou charakteristické různým obsahem organických látek a výrazně proměnlivými hodnotami pH.

4.5.4 Kožedělný a textilní průmysl

Zdrojem intenzivního znečištění vody bývá kožedělný průmysl (moření, tříslení, barvení, praní). Náklady na čištění odpadních vod tvoří nemalou součást konečné ceny kožedělných výrobků. V textilním průmyslu je voda převážně používána jako reakční činidlo k barvení a finální úpravě textilií a k jejich praní. Právě v kožedělném a textilním průmyslu lze k čištění odpadních vod využít membránové technologie a recyklovat až 90 % odpadních vod.

4.5.5 Metalurgický průmysl

Také povrchová úprava kovů zahrnuje mnoho tzv. „mokrých“ procesů, jako je odmašťování, galvanizace, fosfátování, moření a oplachování, které využívají značné množství vody. Odpadní vody pak obsahují vysoké koncentrace kovů, velké množství znečišťujících látek, jako jsou tuky, oleje, pigmenty, barviva, kyanidy a další. V posledních letech lze pozorovat výraznou snahu výrobců investovat do čištění těchto kontaminovaných vod a co nejvíce snižovat jejich objem, protože likvidace těchto kontaminovaných vod je velice finančně nákladná. V České republice již existují funkční membránové jednotky na principu difuzní dialýzy pro recyklaci mořicích směsí. Výzkum této aplikace byl podpořen MPO v rámci programu OP PIK (projekt: „Difuzní dialýza v remediačních procesech odpadních vod“ EG15_019/0004889). Dále bude nutné řešit výraznou spotřebu vody na chlazení, kdy bude zřejmě žádoucí tyto okruhy uzavřít a najít zdroje na náhradu vody odparem.

4.5.6 Těžařský průmysl

Těžařský průmysl je specifický tím, že hospodaření s vodou se odvíjí od toho, zda se jedná o povrchovou či hlubinnou těžbu. Nutnost odvodňování dolu vždy narušuje rovnováhu podzemních vod. Odvádění důlních vod do povrchových toků může rozkolísat jejich průtoky a zároveň zvýšit jejich kontaminaci látkami obsaženými v důlních vodách, jako jsou rozpuštěné soli, těžké kovy nebo radionuklidy.

4.6 Voda ve výrobě energie

4.6.1 Vodní energetika

Vysoké nároky na spotřebu vody má výroba energie. Přibližně 3,3 % z celkové produkce elektrické energie v ČR připadá na vodní elektrárny. Vodní elektrárny patří mezi obnovitelné zdroje energie, protože využívají běžný koloběh vody na Zemi. Využívají jak potenciální, tak i kinetickou energii vodních toků. Jejich velmi důležitou vlastností je jejich rychlý náběh na plný výkon. Průtočné vodní elektrárny využívají k výrobě elektrického proudu přirozený tok řeky. Akumulační vodní elektrárny využívají vodní spád, který vzniká přehrazením řeky hrázemi či přehradami. Přečerpávací vodní elektrárny vyžadují stavbu dvou vodních nádrží s rozdílnou výškou. Při přebytku energie v síti je voda čerpána do vyšší nádrže a při potřebě elektrické energie proudí voda z horní nádrže přes turbínu do dolní nádrže.

4.6.2 Tepelná energetika

Vedle vodních elektráren je elektrická energie vyráběna v tepelných elektrárnách. Tepelné elektrárny také využívají vodu, ale na jiném principu než vodní elektrárny. V tepelných elektrárnách se spalováním paliva (uhlí, plyn) zahřívá voda a vzniklá pára pak pohání parní turbínu. Voda pro přípravu páry musí být předem upravována a neustále doplňována.

4.6.3 Jaderná energetika

Velice významnou roli hraje voda v jaderných elektrárnách. Je všeobecně známo, že voda (díky svým vlastnostem) je schopna přenášet velké množství tepla. V jaderných elektrárnách je tato vlastnost využívána v primárním okruhu, kde voda slouží k přenosu tepelné energie z aktivní zóny reaktoru do parního generátoru, kde je voda sekundárního okruhu ohřívána a vzniklá pára je pak vedena na parní turbínu s generátorem. Dále pára vstupuje do kondenzátoru, kde zkapalní a kondenzát putuje zpět do parogenerátoru. Přebytečné teplo z chladicí vody z kondenzátoru je pak odváděno do ovzduší v chladicích věžích. Spotřeba vody pro chlazení je enormní. Uvádí se, že jedna chladicí věž má denní spotřebu přes 20–30 tis. m^3 vody, která je odebírána s povrchových toků.

Všechny typy elektráren jsou vysoce závislé na vodních zdrojích a jakékoliv extrémní klimatické výkyvy mohou významně ovlivnit výrobu a dodávku elektrické energie.

4.6.4 Obnovitelné zdroje

Stále rostoucí uplatnění mají tzv. obnovitelné zdroje energie, v případě ČR pak především solární a větrné elektrárny. Jejich základním nedostatkem je proměnlivý výkon s ohledem na klimatické podmínky a denní dobu. Výrazně tak vzrůstá potřeba akumulace energie. Kapacity pro výstavbu přečerpávacích elektráren jsou již prakticky vyčerpány, proto je nutné pro větší měřítka obnovitelných zdrojů hledat další procesy. Nejčastěji je uváděna produkce vodíku pomocí elektrolýzy vody a průtočné baterie. Oba způsoby však vyžadují vysoce odsolenou vodu pro přípravu roztoků a/nebo elektrolytický rozklad.

4.7 Pitná voda a komunální odpadní vody

Hospodaření s vodou se v dnešní době stává prioritou především v důsledku probíhajících klimatických změn, které zvyšují poptávku po kvalitní vodě. Proto je nutné s vodou nakládat šetrně a s ohledem na životní prostředí, což znamená chránit především veškeré zdroje vody na našem území tak, aby nedocházelo k jejímu úbytku a zhoršování její kvality, omezovat zbytečné ztráty a tam, kde je to možné, vodu recyklovat.

4.7.1 Pitná voda

Samostatnou kapitolou je spotřeba vody obyvateli v rámci běžného života a rovněž i charakter komunálních odpadních vod. Přístup obyvatel v ČR k pitné vodě je považován za samozřejmost. V České republice se pitná voda získává jednak z podzemních zdrojů (studny, vrty, prameny) a jednak úpravou povrchových vod (řeky, rybníky, vodní nádrže). Vzhledem ke stále se zvyšující ceně vody se obyvatelé snaží vodou šetřit. Průměrný obyvatel ČR spotřebuje cca 90 litrů pitné vody za den pro vaření a hygienu. Většina obyvatel v ČR je zásobována pitnou vodou z vodovodů. Z tohoto důvodu jsou nutné investice do vodohospodářské infrastruktury pro zamezení ztrát pitné vody v potrubní síti.

4.7.2 Komunální odpadní vody

Komunální odpadní vody vznikají při běžné činnosti obyvatel v domácnostech, úřadech, školách, zdravotnických, kulturních a sportovních zařízeních. Tato splašková voda je převážně odváděna kanalizační systémem do čistíren odpadních vod (ČOV), kde se nejdříve usadí hrubé částice a odstraní na česlích velké předměty. Při primární úpravě vody dochází v sedimentačních nádržích k usazování drobných části. Při sekundární úpravě vody se dostávají ke slovu přírodní procesy, při kterých bakterie odstraňují z vody biologicky rozložitelné organické látky, fosfor a uhlík. Vzniklý kal je dále zpracováván a fermentován. Vyčištěná voda prochází kontrolní analýzou, a pokud její parametry splňují nejvyšší normy, je dále zpracovávána a/nebo vypouštěna do vodoteče.

4.8 Zdroje znečištění

4.8.1 Bodové zdroje znečištění

Jakost povrchových vod ovlivňují především bodové zdroje znečištění, jako jsou města a obce, průmyslové závody a objekty soustředěné zemědělské živočišné výroby. Úroveň ochrany vod před znečištěním se nejčastěji hodnotí podle vývoje produkovaného a vypouštěného znečištění.

Produkovaným znečištěním je míněno množství znečištění obsažené v produkovaných (nečištěných) odpadních vodách. V souvislosti s požadavky EU se v ČR věnuje v posledních letech zvýšená pozornost sběru údajů a analýze vývoje tohoto znečištění. Zajišťuje se především rozšířený soubor vykazovaných dat od většího počtu subjektů v rámci tzv. vodohospodářské bilance, v souladu s požadavky stanovenými vyhláškou č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a údajích pro vodní bilanci.

Mezi roky 1990 a 2019 došlo k poklesu vypouštěného znečištění v ukazatelích BSK_5 o 96,5 %, $CHSK_{Cr}$ o 90,8 % a NL o 95,2 %. Zároveň se podařilo snížit i vypouštěné množství nebezpečných a zvlášť nebezpečných závadných látek. K významnému poklesu došlo také u tzv. makronutrientů (dusík, fosfor) v důsledku toho, že se v technologii čištění odpadních vod u nových a intenzifikovaných ČOV cíleně uplatňuje biologické odstraňování dusíku a biologické nebo chemické odstraňování fosforu.

4.8.2 Plošné znečištění

Jakost povrchových a podzemních vod významně ovlivňuje rovněž plošné znečištění – zejména znečištění ze zemědělského hospodaření, atmosférické depozice a erozních splachů s povrchů. Podíl plošného znečištění s pokračujícím poklesem znečištění z bodových zdrojů vykazuje spíše nárůst. Nejvýraznější ovlivnění jakosti povrchových a podzemních vod lze zaznamenat především u dusičnanů, pesticidů a acidifikace, avšak méně u fosforu.

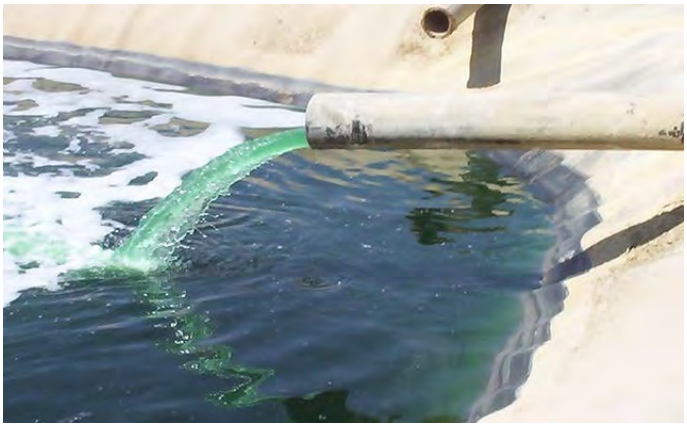
4.8.3 Havarijní znečištění

Jakost povrchových a podzemních vod negativně ovlivňuje také havarijní znečištění. V roce 2019 evidovala Česká inspekce životního prostředí na území České republiky 96 případů úniků závadných látek do povrchových vod a tři úniky do podzemních vod; v oblasti vodního hospodářství uložila celkem 518 pokut ve výši 21 mil. Kč.

Podle vodního zákona vede Česká inspekce životního prostředí (dále jen „ČIŽP“) od roku 2002 centrální evidenci havárií. V roce 2019 bylo do této evidence zapsáno 165 havárií, které naplnily ve své skutkové podstatě definici havárie dle § 40 vodního zákona. Během roku 2019 byly ČIŽP nahlášeny další havárie, které nebyly začleněny do centrální evidence havárií z důvodu nepatrného rozsahu bez dopadu na jakost vod.

Mezi nejčastější havárie se stále řadí ty, které jsou způsobeny dopravou. V roce 2019 jich bylo evidováno 55, což představuje 33,3 % z celkového počtu případů.

Úhyn ryb byl ve sledovaném roce průvodním jevem ve 23 případech, což představuje stejně jako v předchozím roce 14 % z celkového počtu. Bylo zaevidováno šest havárií vzniklých při zemědělské činnosti. Ke znečištění podzemních vod však došlo pouze ve třech případech.



5 TLAKOVÉ A OSMOTICKÉ PROCESY

5.1 Konvenční tlakové membránové procesy

Názvem konvenční tlakové membránové procesy se zpravidla označují čtyři typy separačních technik: **mikrofiltrace** (MF), **ultrafiltrace** (UF), **nanofiltrace** (NF) a **reverzní osmóza** (RO). Jejich společným znakem je použití polopropustné membrány jako separačního elementu a tlakového rozdílu jako hnací síly transportu přes membránu. Vzájemná odlišnost spočívá ve velikostech používaných tlakových rozdílů, vlastnostech membrán a převažujícím transportním mechanismu. Tlakové membránové procesy se využívají ke koncentrování nebo čištění zředěných roztoků a disperzí. Velikost separovaných částic nebo molekul a chemické vlastnosti rozpouštědla jsou určujícími faktory pro výběr vhodného typu membrány.

5.1.1 Mikrofiltrace

Mikrofiltrace je proces, který se nejvíce podobá klasické filtraci. Velikost pórů mikrofiltračních membrán se pohybuje v rozmezí od 0,05 μm do 10 μm, z čehož vyplývá, že proces se uplatňuje především pro dělení suspenzí a disperzí. Mikrofiltrační membrány se připravují jak z organických látek (polymerů), tak i anorganických materiálů (keramika, kovy, sklo) a jedná se nejčastěji o (a)symetrické, příp. kompozitní, porézní membrány.

Mikrofiltrace se používá v laboratorním i průmyslovém měřítku tam, kde je nutné z kapaliny odstranit částice větší než 0,1 μm. V průmyslovém měřítku bývá nejvíce využívána pro předčišťování nástřiku (tzv. pojistná filtrace) před reverzní osmózou při výrobě velmi čisté vody (pro farmaceutický, kosmetický, elektrochemický průmysl a energetiku) a procesní vody (výroba pitné vody, alkoholu apod.). Stále širší uplatnění nachází též v procesech čištění odpadních vod, zvláště ve zpracování odpadních proudů ve speciálních chemických technologiích, kde umožňuje snadnou a rychlou recyklaci cenných látek jejich zkoncentrováním. Skutečným odpadním produktem poté zůstává pouze čistá voda, kterou lze též vracet do technologického procesu.

Stále více se mikrofiltrace využívá přímo v technologických procesech především v potravinářském průmyslu, a to jako proces čistě separační, či jako součást membránového bioreaktoru. V něm, kromě funkce separační, též slouží velký aktivní povrch membrán jako nosič pro zachycení živých kultur.

5.1.2 Ultrafiltrace

Ultrafiltrace představuje jakýsi předěl mezi mikrofiltrací a nanofiltrací. Velikost pórů ultrafiltračních membrán se pohybuje v rozmezí od 10 nm do 0,05 μm. Typické použití ultrafiltrace je zachycování makromolekulárních a koloidních látek z roztoků (s molekulovou hmotností 10^3–10^6 Da). Ultrafiltrační membrány lze společně s mikrofiltračními považovat za čistě porézní membrány, jejichž rejekce je dána poměrem velikosti a tvaru zachycovaných molekul a velikosti pórů. Transport částic (molekul) je pak přímo úměrný velikosti působícího tlakového rozdílu nad a pod membránou.

Hlavní rozdíl mezi oběma procesy, tj. mezi MF a UF, spočívá v menší velikosti pórů a menší porozitě ultrafiltračních membrán, a tedy i vyšším hydrodynamickém odporu. Tloušťka aktivní vrstvy je zde obvykle menší než 1 μm.

Většina komerčně vyráběných ultrafiltračních membrán se vyrábí inverzí fází polymerních materiálů. Některé z těchto materiálů jsou polysulfony, polyvinylfluoridy, polyakrylonitril, acetáty celulózy, polyamidy, polyimidy. Kromě toho se používají i anorganické materiály, tj. Al_2O_3 a ZrO_2.

Ultrafiltrace se často používá pro zkoncentrování makromolekul z roztoků, přičemž do permeátu přecházejí nízkomolekulární látky (a molekuly rozpouštědla). Pro výběr vhodné membrány se jako kritérium zpravidla uvažuje hodnota cut-off.

Ultrafiltrace nachází využití v široké oblasti aplikací, kdy je potřeba separovat makromolekulární látky, resp. látky s vysokou molární hmotností. Příkladem mohou být např. zkoncentrování mléka a výroba sýrů v potravinářství, získávání proteinů ze syrovátky, čištění ovocných džusů a alkoholických nápojů a další aplikace v chemickém a farmaceutickém průmyslu, metalurgii a papírenství.

Mikrofiltrace i ultrafiltrace se často využívají jako předřadné procesy před reverzní osmózou.

5.1.3 Nanofiltrace

Nanofiltrace je tlakový membránový proces, při kterém jsou primárně oddělovány organické látky s nízkou molekulovou hmotností (200–1000 Da) a vícevalentní soli od jednovalentních a od molekul rozpouštědla. Velikost aplikovaných tlaků se pohybuje v rozmezí 10–40 · 10^5 Pa (je nutné překonat osmotický tlak).

Nanofiltrační a reverzně-osmotické membrány představují jakýsi předěl mezi mikroporézními membránami a neporézními membránami pro pervaporaci či separaci plynů. Protože intenzita toku permeátu je nepřímo úměrná tloušťce materiálu, je zřejmé, že důležitým požadavkem na nanofiltrační membrány bude co nejmenší tloušťka aktivní vrstvy. Ta se pohybuje pod 1 μm, vrstva nosiče má obvykle tloušťku 50–150 μm. Z množství polymerních materiálů pak pro separace vodných systémů (např. odsolování) nejvíce vyhovují hydrofilní polymery s nízkou propustností pro separovanou složku.

Na tomto místě je však nutné zdůraznit, že na separační vlastnosti NF-membrán má výrazný vliv náboj membrány a současně i pH prostředí, které výrazně ovlivňuje dělicí schopnost membrány v případě ionizujících organických látek.

První průmyslové aplikace byly zaměřeny na odsolování barviv a opticky zjasňujících prostředků. Retence nanofiltračních membrán pro jednovalentní ionty (Na^+, Cl^-) je mnohem nižší, než pro ionty vícemocné (Ca^{2+}, CO_3^{2-}). Kromě toho jsou nanofiltrační membrány schopny zachytit většinu nízkomolekulárních látek včetně herbicidů, pesticidů, barviv a cukrů. V menší míře lze nanofiltraci využít i v potravinářském a mlékárenském průmyslu.

5.1.4 Reverzní osmóza

Reverzní osmóza je membránová separace schopná dělit nízkomolekulární látky i jednovalentní ionty převážně z vodných roztoků. Používají se asymetrické membrány s vysokým hydrodynamickým odporem, aplikovaný tlak musí být vyšší než osmotický tlak systému.

Významnou skupinu materiálů pro reverzně-osmotické membrány tvoří estery celulózy, především di- acetát a triacetát celulosy. Tyto materiály jsou vhodné především pro svou vysokou propustnost pro vodu a nízkou permeabilitu pro sůl. Nicméně jejich chemická, tepelná a bakteriální odolnost je velmi nízká.

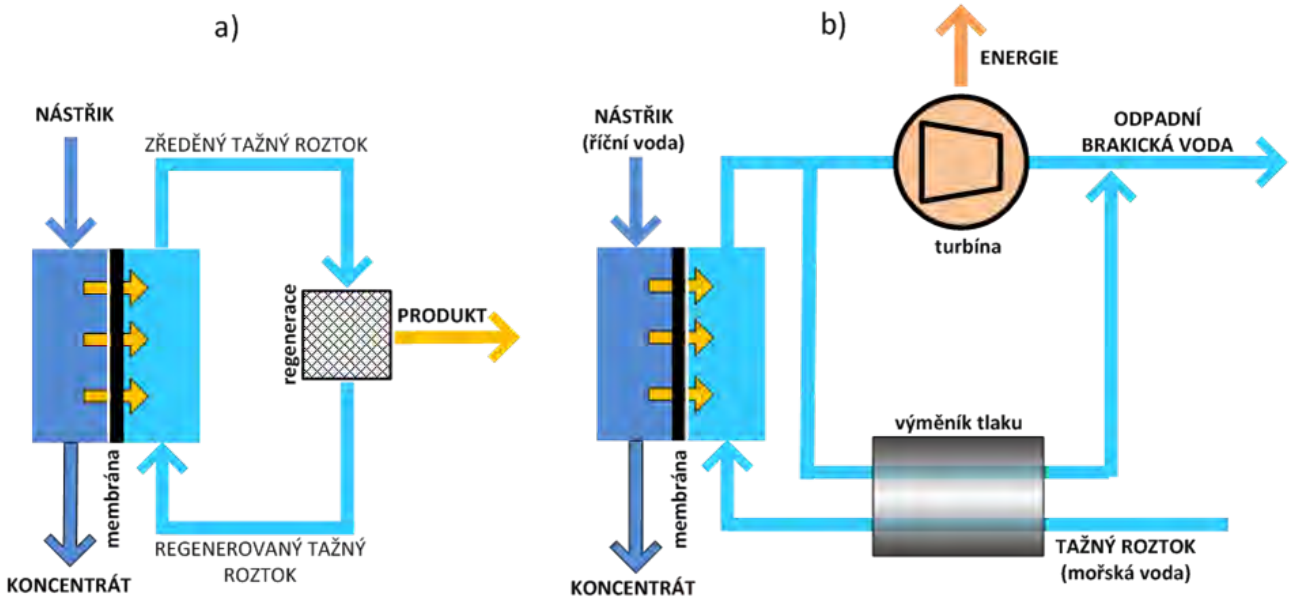
Jiným materiálem, který lze využít pro výrobu RO-membrán, jsou aromatické polyamidy. Ty rovněž vykazují vysokou selektivitu pro sůl, jejich permeabilita je však o něco nižší. Reverzní osmóza je nejvíce známá pro své použití při výrobě pitné vody z vody mořské, při odstraňování soli a dalších odpadních látek z molekul vody.

Aplikované tlakové rozdíly se při reverzní osmóze pohybují v rozmezí 20–100 · 10^5 Pa, tedy v hodnotách podstatně vyšších, než při ultrafiltraci a nanofiltraci. Výběr vhodného typu membrány se řídí požadavkem, aby hodnoty permeability rozpouštědla byly co nejvyšší a naopak, aby rejekce iontů byla co nejnižší. Materiál membrány musí být tedy co nejpropustnější pro rozpouštědlo (nejčastěji vodu) a co nejméně propustný pro rozpuštěnou látku.

Reverzní osmóza je využívána v řadě aplikací, ať už se jedná o čištění rozpouštědla (vody) nebo zkoncentrování rozpuštěné složky. Hlavní oblastí využití reverzní osmózy je bezesporu odsolování mořské a brakické vody. Velký význam má i produkce ultračisté vody používané při výrobě polovodičů. Reverzní osmóza se také používá při zkoncentrování potravinářských produktů. Ve většině případů předchází vlastnímu procesu předúprava separovaného systému, ať už se jedná o sedimentaci, koagulaci, adsorpci nebo např. mikrofiltraci.

5.2 Osmotické procesy (přímá osmóza a tlakově zpomalená osmóza)

Osmotické procesy jsou v poslední době široce využívány zejména při separacích ve vodných systémech, ať už se jedná o zkoncentrování potravinářských, farmaceutických a chemických produktů, zpracování odpadních vod nebo o přípravu demineralizované a pitné vody z mořské vody a brakických vod. V neposlední řadě je využití těchto procesů testováno i při produkci elektrické energie. Při **přímé osmóze** (osmosis, direct osmosis a nejčastěji forward osmosis, dále jen **FO**) prochází voda semipermeabilní membránou z roztoku o nižší koncentraci rozpuštěných látek do roztoku s vysokou koncentrací ve snaze o vyrovnání (přiblížení) koncentrací na obou stranách membrány. Separační membrána je v tomto případě propustná pro rozpouštědlo a méně propustná nebo nepropustná pro rozpuštěné látky. Tento jev se nazývá osmóza (přímá osmóza). Velikost osmózy je dána rozdílem koncentrací a následně osmotických tlaků na obou stranách polopropustné membrány. Technické využití procesu je závislé zejména na nalezení způsobu, jak efektivně následně oddělit prošlé rozpouštědlo od koncentrovanějšího, tzv. „tažného" roztoku. **Tlakově zpomalená osmóza** (pressure retarded osmosis, dále jen **PRO**) je pak proces úzce navazující na FO. Při PRO se přeměňuje část osmotického tlaku vznikajícího v koncentrovanějším roztoku na jeho hydrostatický tlak, který může být využit standardním postupem, například pro produkci elektrické energie. Zjednodušeně jsou procesy FO a PRO znázorněny na Obr. 5.5.1.



Obr. 5.1 Princip a) přímé osmózy a b) tlakově zpomalené osmózy

Ve srovnání s konvenčními tlakovými membránovými procesy, jako je například reverzní osmóza (RO) a nanofiltrace (NF), nabízí proces FO několik základních výhod. Jedná se zejména o to, že při tomto procesu není potřebný žádný, nebo jen minimální externě vytvářený tlakový rozdíl pro zajištění transportu rozpouštědla membránou, membrány mají obvykle vysokou selektivitu a velmi nízkou tendenci k zanášení. Na druhé straně se mohou v některých případech objevit problémy se snižováním hnací síly procesu nebo se znečišťováním koncentrátu. Proto je při těchto procesech především důležité podchycení jevů souvisejících se vznikem koncentrační polarizace v těsné blízkosti membrán.

5.3 Aplikace tlakových a osmotických procesů v ČR

Také v České republice nacházejí tlakové membránové procesy postupně své uplatnění. Přestože ekonomická náročnost investic a někdy i provozních nákladů těchto nových technologií bránily většímu rozšíření, situace se postupně zlepšuje.

Na straně provozovatele, či uživatele je základní motivací pro zavádění tlakových a osmotických membránových procesů do výrob především snaha o získání zcela nových produktů, zvýšení užitné hodnoty a kvality stávajících výrobků, vyšší čistota produktů a meziproduktů, zvýšení výtěžnosti procesů, snížení energetické náročnosti výroby, omezení, či úplná eliminace dopadů výroby na životní a pracovní prostředí a v neposlední řadě ekonomická výhodnost nového zařízení či technologie. Na straně nabídky, tj. producentů membrán,

zařízení a technologií, napomáhají rychlejšímu rozvoji zejména nové odolnější materiály membrán, jejich antifoulingové úpravy a nízkotlaká provedení (robustní ultratenké membrány), provázená v některých případech i poklesem ceny membrán souvisejícím zejména s rozsahem a centralizací jejich produkce. Z hlediska technologického nasazení byly vypracovány a ověřeny metodiky testování a návrhu jednotlivých procesů, zvládnuta předúprava nástřiku a čistící postupy. Zároveň je ve zvýšené míře uplatňována modularita, unifikace a automatizace. Rozumně je zvládán i transfer znalostí na národní i nadnárodní úrovni. Kvalitní vývojové a dodavatelské firmy se produktově a technologicky úzce specializují s cílem zvládnutí i všech souvisejících procesů zvažované výroby. Z hlediska technologického je stávající etapa rozvoje též charakterizována zaváděním membránových reaktorů a bioreaktorů a nástupem integrace membránových procesů do složitějších výrobních celků.

Prakticky ve všech oborech (včetně potravinářství a zdravotnictví u nás se již využívají reverzně osmotické jednotky, ať už pro přípravu velmi čisté vody jako vstupní suroviny nebo pro její opětovné použití.

Membránové technologie, které nabízejí společnosti v České republice (viz Tab. 5.1), vznikly jako další z poskytovaných dodavatelských a servisních činností zaměřených především na úpravu vody a dále pak na aplikace v potravinářství, zdravotnictví i v různých průmyslových odvětvích. Mezi přední dodavatele zařízení pro přípravu ultračisté vody patří u nás inženýrsko-dodavatelská firma ASIO, spol. s r.o. a společnost Euro-water, spol. s r.o., která vyrábí a dodává zařízení pro úpravu a čištění vody pro pivovary, potravinářský a nápojový průmysl i další průmyslová odvětví. Dalším významným výrobcem je firma Watek s.r.o., která se zaměřuje na výrobu technologických celků pro úpravu vody a přípravu demineralizované vody. Firma již realizovala zakázky nejen v České republice (Nestlé Olomouc, nemocnice Třebíč), ale i v řadě evropských zemí. Podobné zaměření má také společnost WATERFILTER s.r.o., která díky síti obchodních zastoupení a e-shopu působí po celé republice. Stejně jako další firmy (viz Tab. 5.1), spolupracují tyto podniky s významnými výrobci a dodavateli filtračních zařízení na světovém trhu a dodávají k nám především produkty francouzských, německých nebo skandinávských společností.

Určitou výjimku představuje firma ZENA s.r.o., která vlastní licenci na výrobu PP membrán s dutými vlákny. Jejich membránové moduly se používají jak pro separaci vodných systémů, tak i jako membránové kontaktory nebo výměníky tepla.

Na oblast potravinářství, především vinařství a pivovarnictví je zaměřena společnost Bílek Filtry s.r.o., která vyrábí filtrační a sanitační zařízení pro různé aplikace v potravinářských procesech. Firma se zabývá realizací technologií s použitím mechanických filtračních prostředků od jemné filtrace a mikrofiltrace až k nanofiltraci. Mezi její nejzajímavější aplikace patří cross-flow mikrofiltrace piva (FCB) nebo vína (FCW) a mikrofiltrace s využitím membránových filtrů, která zajišťuje mikrobiologickou stabilitu a trvanlivost nápojů. Technologie této firmy používají u nás například pivovary Plzeňský Prazdroj, a.s., Rodinný pivovar BERNARD a.s. nebo PIVOVAR SVIJANY, a.s. Pro klarifikaci, čiření piva, se tradičně využívají křemelinové filtry. Environmentální problémy jsou jedním z důvodů, proč se čiření nahrazuje cross-flow mikrofiltrací. Využívají se zde především porézní membrány (mohou být keramické i polymerní) s velikostí pórů 0,4–0,6 μm. Pro dealkoholizaci piva lze využít reverzní osmózu, která může pracovat při teplotách mezi 1–5°C. Tím se minimalizuje riziko poškození aromatického profilu teplem. Pro zajištění vyššího průtoku je ovšem potřeba pracovat při vysokých tlacích (40–50 bar). To má za následek růst nákladů na pořízení a provozování této technologie. S využitím reverzní osmózy lze snížit koncentraci etanolu v nástřiku na hodnoty pohybující se kolem 1 obj. %. Pro další snížení obsahu alkoholu lze využít techniku dialfitrace, která je založena na vymývání nízkomolekulárních látek (etanol) s využitím přídavku diafiltrační kapaliny Tímto postupem lze snížit koncentraci etanolu pod 0,5 obj. %.

Další možností aplikace tlakových membránových procesů je zpracování odpadních vod, které vznikají v průběhu výroby piva. Odpadní vody z pivovarnictví se vyznačují zvýšenými hodnotami CHSK, širokým rozmezím pH a také obsahují různé typy chemikálií použité pro čištění a sterilizaci.

V mlékárenském průmyslu je i v České republice pozornost věnována zpracování syrovátky a opětovnému využití nutričně významných složek v ní obsažených. V současné době se v České republice ročně vyrábí přibližně 80 000 tun přírodních sýrů a 30 000 tun tvarohů, přičemž vedlejším produktem je tekutá syrovátka v množství přibližně 1 000 000 tun. Ta je obvykle zpracovávaná na sušenou syrovátku (zahuštění se provádí často pomocí RO), případně demineralizována a následně sušena. Pro odsolování syrovátky se využívá elektrodialýza a pro nižší stupeň odsolení, resp. při zkoncentrování syrovátkových bílkovin se uplatňuje především ultrafiltrace. Příkladem dalšího využití membránových procesů v této oblasti může být spolupráce mezi Výzkumným ústavem mlékárenským, s.r.o. a Bohušovickou mlékárnou, a.s. zaměřená na využití koncentrátu

syrovátkových bílkovin při výrobě tvarohů a jogurtů. Lze očekávat, že také v mlékárenství bude docházet k rozsáhlejšímu využití membránových procesů v jednotlivých etapách zpracování mléka a výroby mléčných produktů. K širšímu využití membránových procesů je třeba kromě ekonomicky dostupných zařízení poskytovat další informace a podklady pro konkrétní technologii.

Tab. 5.1 Charakteristiky vybraných společností zabývajících se výrobou, dodavatelskou a servisní činností zařízení pro úpravu vody a aplikacemi membránových procesů

Název	Odkaz	Charakteristika činnosti firmy
Alfa Laval spol. s r.o. (Praha)	www.alfalaval.cz	Zařízení pro přenos tepla, membránové separace a dopravu tekutin
AquaOsmotic s.r.o. (Tišnov)	www.aquaosmotic.cz	Zařízení pro demineralizovanou vodu, filtry, RO moduly a příslušenství
Aquarex WATER-PROFIT s.r.o. (Uherské Hradiště)	www.aquarex.cz	Hospodaření s vodou, úpravy vody pro průmyslové provozy, hotely, aquaparky apod.
ASIO, spol. s r.o. (Brno)	www.asio.cz	Technologie pro zpracování odpadní vody průmyslové i komunální, úprava pitné vody, UF, RO
Bílek Filtry s.r.o. (Josefov)	www.filtrace.com	Filtrace klasická i membránová, pivovarnictví, úprava vína, MF, UF, FCW
DC Solutions s.r.o. (Praha)	www.dcsolutions.cz	Membránové produkty (čištění odpadních vod, úprava povrchové vody, odsolování mořské vody apod.), RO, NF, UF, MF
ENVI-PUR, s.r.o. (Praha)	www.envi-pur.cz	Čištění, úprava a recyklace vody v průmyslu, obcích i v domácnostech (MF, UF)
Eurowater, spol. s r.o. (Kolín)	www.eurowater.cz	Úprava speciální procesní a pitné vody, RO moduly a příslušenství
GORO, spol. s r.o. (Brandýs nad Labem–Stará Boleslav)	www.goro.cz	Výroba, prodej a servis zařízení na úpravu vody pro zdravotnictví, laboratoře a průmysl (RO, EDI)
GREEN-TECH M+H, s.r.o. (Velké Meziříčí)	www.green-tech.cz	Zařízení pro zpracování a regeneraci průmyslových kapalin, MF, UF
Huber CS spol. s r.o. (Brno)	www.hubercs.cz	Zařízení pro čištění odpadních vod, zařízení pro MF
Hydrofilter s.r.o. (Brno)	www.hydrofilter.cz	Dodavatelská a servisní činnost v oblasti dodávek technologií pro úpravu vody, tj. systémy úpravy vody pro domácnosti, průmyslové systémy (RO, UF, deionizace, změkčení, desinfekce apod.
INTREL a.s. (Ostrava-Martinov)	www.intrel.cz	Úprava a čištění průmyslových odpadních vod, zahušťování a odvodnění kalů
KONCEPT EKO-TECH s.r.o. (Praha)	www.koncept-eko-tech.com	Systémová řešení v různých oblastech hospodaření s vodou v sanitárních a průmyslových instalacích (RO, UF)

KOVOFINIŠ a.s. (Ledeč nad Sázavou)	www.kovofinis.cz	Zařízení pro povrchové úpravy a čistírny odpadních průmyslových vod, uzavřené nebo částečně uzavřené systémy odpadních vod (Zero Liquid Discharge), RO, NF, UF, MF
KTS-AME s.r.o. (Hradec Králové)	www.kts-ame.cz	Výstavba a rekonstrukce úpraven vody, tj. systémy úpravy vody pro průmyslové systémy a pro občanskou vybavenost (RO, filtrace, deionizace, změkčení, desinfekce apod.)
Pure System s.r.o. (Chrudim)	www.puresystem.cz	Zařízení na úpravu vody, filtry, ionexy, RO
QUINS spol. s r.o. (Dobřany)	www.quins.cz	Vodní hospodářství v různých průmyslových oborech, filtry, RO, MF, UF
UNIVERZÁLNÍ ČISTÁ VODA a. s. (Praha 5-Zličín)	www.ucv.cz	Komplexní služby v oblasti úpravy vody pro pitné, užitkové i technické účely (odstranění železa, manganu, dusičnanů, tvrdosti, těžkých kovů, dezinfekce vody – RO)
VA TECH WABAG Brno spol. s r.o. (Brno)	www.wabag.cz	Projekce, dodávky, servis a montáž technologických zařízení na úpravu vod, předúprava vody, ionexové technologie, membránové separace, čistírny odpadních vod, úpravy bazénové vody a další (RO)
VHZ-DIS, spol. s r.o. (Brno)	www.vhzdis.eu	Dodávky technologických celků pro čistírny odpadních vod a úpravny vod (RO)
WATEK s.r.o. (Ledeč nad Sázavou)	www.watek.cz	Výrobce a dodavatel technologických celků i samostatných zařízení k přípravě ultračisté vody pro laboratorní i technologické účely, čisté a ultračisté vody pro průmysl, pitné vody pro malé aglomerace, malé objekty a domácnosti (RO, iontoměniče, MIX-BED, EDI)
WATERFILTER s.r.o. (Praha)	www.waterfilter.cz	Systémy úpravy vody, filtry, ionexy, RO
W. P. E. a.s. (Praha-Běchovice)	www.wpe.cz	Dodávky čistíren odpadních vod pro průmysl, dopravu a zemědělství, úprava vody, výroba pitné vody (RO), průmyslová technologická zařízení, biologické čistírny odpadních vod
ZENA s.r.o. (Brno)	www.zena-membranes.cz	Úprava vody, moduly s dutými vlákny, ME kontaktory, ME destilace

Na využívání membránových procesů lze pohlížet jak z hlediska dodavatelského, tak uživatelského. V ČR není mnoho primárních dodavatelů membrán a membránových zařízení. Často se jedná o dodávky zahraničních producentů, případně implementace jejich membrán do výrobků české provenience. Za zmínku stojí především společnosti, schopné nabídnout komplexní program nabídky membránových produktů a služeb. To znamená dodávky membrán a membránových technologií, s plnou podporou aplikačních pracovišť, řešící komplexně vlastní technologickou realizaci membránového procesu včetně výroby a návrhu zařízení nebo dodání komplexního technologického celku na klíč. Do této skupiny lze zařadit společnosti jako MEGA a.s. (světový lídr v oblasti iontovýměnných membrán a elektromembránových procesů s vlastní výrobou membrán značky

RALEX), ProMinent Dosiertechnik CS, spol. s r.o. (dominantní postavení v dodávkách tlakových membránových procesů v segmentu vod), VWS MEMSEP s.r.o., (významný výrobce a dodavatel tlakových membránových procesů), WATEK s.r.o. (dodavatel reverzní osmózy a elektrodeionizace v segmentu voda), KEMIRA (dodavatel chemikálií a technologií v segmentu vod), Eurowater, spol. s r.o, CULLIGAN.CZ s.r.o. (dodavatelé komplexních technologií úpravy vody, včetně aplikace membránových procesů-RO), INTREL a.s. (dodavatel komplexních technologií, včetně aplikace membránových procesů-RO), ASIO, spol. s r.o. (dodavatel technologií pro úpravy surové a odpadní vody), MIKROPUR, s.r.o. (výrobce a dodavatel speciálních membránových zařízení), MEGA-TEC s.r.o. (s působností v průmyslu povrchových úprav), Ircon, s.r.o. (technologicko-inženýrská činnost v oblasti vodohospodářských systémů), CHEMCOMEX, a.s., Tractebel Engineering a.s. a další. Rovněž na našem trhu působí řada zahraničních firem v oblasti nabídky membránových procesů, mezi které lze zařadit firmy, resp. světové hráče na poli membrán a membránových procesů jako je General Electric (nově zahrnuje i UF membrány typu ZeeWeed – dřívější Zenon), Koch, Dow Chemicals (zn. FilmTech), Toray, Hydranautics, Microdyn-Nadir (dřívější Hoechst) a řada dalších.

Největšího aplikačního potenciálu dosáhly membránové procesy v oblasti zpracování vod. Zde jsou využívány pro přípravu vod pitných, speciálních (demineralizovaná voda, ultračistá voda) a také při zpracování vod odpadních (čističky odpadních vod, odpadní průmyslové vody apod.).

Neméně důležitou aplikační oblastí je potravinářský průmysl. Také v České republice nacházejí tyto technologie postupně své uplatnění. Prakticky ve všech oborech včetně potravinářství a zdravotnictví se využívají reverzně osmotické jednotky, ať už pro přípravu velmi čisté vody jako vstupní suroviny nebo pro její opětovné použití. Mezi přední dodavatele zařízení pro přípravu ultračisté vody patří u nás inženýrsko-dodavatelská firma ASIO, spol. s r.o. a společnost Eurowater, spol. s r.o., která vyrábí a dodává zařízení pro úpravu a čištění vody pro pivovary, potravinářský a nápojový průmysl i další průmyslová odvětví. Dalším významným výrobcem je firma WATEK s.r.o., která se zaměřuje na výrobu technologických celků pro úpravu vody a přípravu demineralizované vody. Firma již realizovala zakázky nejen v České republice (Nestlé Olomouc, nemocnice Třebíč), ale i v řadě evropských zemí.

Na oblast potravinářství, především vinařství a pivovarnictví je zaměřena společnost Bílek Filtry s.r.o., která vyrábí filtrační a sanitační zařízení pro mnoho různých aplikací v potravinářských procesech. Provádí se na strojních technologiích prostřednictvím mechanických filtračních prostředků od jemné filtrace a mikrofiltrace až k nanofiltraci. Mezi její nejzajímavější aplikace patří FCB cross-flow mikrofiltrace piva a FMS mikrofiltrace s využitím mikrobiologických membránových filtrů, která zajišťuje mikrobiologickou stabilitu a trvanlivost nápojů. Technologie této firmy používají u nás například pivovary Plzeňský Prazdroj, a.s., Rodinný pivovar BERNARD a.s. nebo PIVOVAR SVIJANY, a.s.

V mlékárenském průmyslu je i v České republice pozornost věnována zpracování syrovátky a opětovnému využití nutričně významných složek v ní obsažených. Kromě elektrodialýzy se při procesu zkoncentrování syrovátkových bílkovin uplatňuje především ultrafiltrace. Příkladem dalšího využití membránových procesů v této oblasti může být spolupráce mezi Výzkumným ústavem mlékárenským s.r.o. a Bohušovickou mlékárnou, a.s. zaměřená na využití koncentrátu syrovátkových bílkovin při výrobě tvarohů a jogurtů. Lze očekávat, že také v mlékárenství bude docházet k rozsáhlejšímu využití membránových procesů v jednotlivých etapách zpracování mléka a výrovy mléčných produktů.

6 PROCESY VYUŽÍVAJÍCÍ IONTOVÝMĚNNÉ MEMBRÁNY

6.1 Iontovýměnné membrány

Iontovýměnné membrány (IEM - z angl. „ion exchage membranes“) hrají dnes důležitou roli v průmyslovém měřítku v následujících oblastech: výroba pitné a užitkové vody, zpracování průmyslových odpadních vod, elektrolytickou syntézu chlóru, zásad a vodíku. V poslední době rychle roste zájem o další procesy, jako je např. extrakce antioxidantů z odpadních roztoků, zvýšení jejich koncentrace v ovocných šťávách, jakož i využití doplňků stravy a cenných léčivých přípravků z odpadů ze zpracovávaných zemědělských komodit. Dále je zájem o elektrodialytické štěpení vody s bipolárními membránami a zejména použití iontovýměnných membrán v systémech přeměny a skladování energie, jako jsou palivové články nebo tzv. „redox flow“ baterie, reverzní elektrodialýza atd. Uvedené membrány mohou hrát důležitou roli v budoucnosti výroby elektrické energie bez použití fosilních surovin. Další využití je ve formě iontovýměnných membránových (bio)reaktorů.

Tento zájem o iontovýměnné membrány vede základní a aplikovaný výzkum ke zlepšení „klíčových“ vlastností složek iontovýměnných membrán (IEM). Vývoj IEM a jejich derivátů se nyní snaží být aplikován na míru, specifickým požadavkům procesu, které mu nejlépe vyhovují, jako je nízký elektrický odpor membrány, monovalentní iontová selektivita nebo antifoulingové vlastnosti (tj. odolnost proti zanášení). Materiálové vlastnosti IEM jsou tedy hlavně studovány za tímto účelem, zatímco design a hydrodynamika elektromembránových zařízení prochází jen dílčími změnami, protože tradiční uspořádání elektromembránových modulů je ve formě desek a rámů, do kterých jsou ploché IEM dosud nejběžněji skládány. Objevují se však i snahy o výrobu spirálově vinutých modulů zejména pro využití s BP membránou.

Elektromembránové procesy jsou ekologicky šetrné membránové technologie, které aktivně nahrazují tradiční chemické a fyzikálně-chemické metody čištění, koncentrace, úpravy a oddělování látek.

Je známo, že IEM jsou nejdražší součást elektrodialyzačního (ED) zařízení. Jejich příspěvek k celkovým nákladům procesu může dosáhnout 40–50 % OPEXů a to zejména z pohledu spotřeby energie a z pohledu náhrady těchto membrán během provozu jako tzv. „spotřebního materiálu“. Proto je míra implementace technologií, které využívají iontovýměnné membrány, obecně určena vlastnostmi a náklady spojenými s výrobou a životností IEM.

Iontovýměnná membrána je semipermeabilní membrána, která transportuje určité rozpuštěné ionty, zatímco blokuje jiné ionty nebo neutrální molekuly. Iontovýměnné membrány jsou proto elektricky vodivé. Často se používají při odsolování a chemických regeneracích, při kterých se ionty pohybují z jednoho roztoku do druhého a tato výměna je spojena s malým průchodem vody membránou.

Iontovýměnná membrána je obecně vyrobena z organického nebo anorganického polymeru s nabitými (iontovými) skupinami, jako jsou iontovýměnné pryskyřice.

V elektromembránových procesech jsou tedy používány anexové a katexové membrány, resp. bipolární membrány. Až do nedávné doby byla struktura membrán používaných hlavně v komerčních aplikacích dělena na dva hlavní typy:

HOMOGENNÍ IEM mají póry na úrovni nanometrů (až do 100 nm) – ***jednofázové*** IEM (Nafion, DuPont Co., Wilmington, CA, USA; MF-4SK, JSC NPO Plastpolymer, Petrohrad, Rusko a další) nebo ***dvoufázové*** IEM (Neosepta AMX, CMX, Astom, Tokio, Japonsko; CJMC-3, CJMA-7, Hefei ChemJoy Polymer Materials, Hefei, Čína a další), které se tradičně nazývají „homogenní“;

HETEROGENNÍ IEM, které se skládají z iontovýměnných polymerních granulí zabudovaných do inertního pojiva o velikosti pórů v řádu mikrometrů (od 5 do 50 μm) (Ralex MH-PES, MEGA a.s., Česká republika; MK-40, MA-40, Shchekinoazot, Rusko, Iontech, Čína, ResinTech, USA, FTAM-E, FTAM-A, FuMA-Tech GmbH, Ludwigsburg, Německo).

Průmyslově jsou v ČR vyráběny heterogenní iontovýměnné membrány více jak 20 let pod komerčním názvem RALEX. Membrány mají po zbobtnání tloušťku (0,3 – 0,7 mm), jsou mechanicky stabilnější a mají vyšší odolnost změnám pH (kromě perfluorovaných IEM), avšak vykazují nerovný povrch, který může být zdrojem snadnějšího usazování nečistot. Z pohledu elektrochemických vlastností se plošný odpor pohybuje u heterogenních

membrán 5–10 $\Omega.cm^{-2}$. Tento odpor ovlivňuje systém při odsolování a má vliv na spotřebu energie nutné k převodu nebo štěpení vody.

Homogenní membrány jsou dražší, je však možné je vyrábět s armováním o tloušťce 0,05–0,15mm, s hladkým povrchem, který je méně náchylný k znečištění, a s větší selektivitou na vybrané ionty. Z pohledu elektrochemických vlastností se plošné odpory pohybují v hodnotách 0,2–40 $\Omega.cm^{-2}$ v závislosti na tloušťce a hustotě použité armující textilie. Povrchy obou typů membrány lze upravit tak, aby se změnily selektivní vlastnosti vzhledem k transportu vody, protonů, jednomocných iontů a dvojmocných iontů. Tato selektivita se výrazněji a snadněji upravuje u homogenních membrán. Převod vody lze lépe ovlivňovat opět u homogenního typu membrán.

V současnosti, pokud chceme povrchově nebo selektivně ovlivňovat vlastnosti heterogenních membrán, lze toto provést různými metodami. Ve většině případů jsou na povrch membrány nanášeny a aplikovány příslušné funkční skupiny. V principu dochází k vytvoření separační vrstvy na povrchu membrány. IEM lze pak zjednodušeně popsat tak, že je složena ze substrátu z heterogenní IEM a selektivní vrstvy „obdobného složení jako homogenní IEM“. V procesech dlouhodobých testů dochází buď vlivem mechanického namáhání nebo vlivem působení elektrického proudu k rozpadávání této separační vrstvy nebo i k oddělování těchto vrstev od sebe, což je samozřejmě nežádoucí. Uvedené modifikace jsou prováděny z důvodu zvýšení selektivity IEM, což při koncovém čištění roztoků elektromembránovými procesy vede částečně k zvýšení čistoty roztoku a k snížení spotřeby energie v průběhu přečišťování kapalin a organických roztoků.

Jakýkoliv typ iontovýměnné homogenní membrány je vyroben z polymerních materiálů s iontově výměnnými vlastnostmi (k dispozici jsou také anorganické iontovýměnné řetězce, ale jejich použití není dnes zcela běžné). Vlastnosti a řetězení těchto polymerů se podobá iontoměnným pryskyřicím v tom, že jsou oba polymery spojeny s aktivní skupinou na řetězci polymeru, ale mechanismus, funkčnost a účinek těchto struktur jsou odlišné. Na trhu existuje mnoho typů iontovýměnných homogenních membrán, avšak neexistuje jednotná metoda klasifikace struktury těchto membrán. Obecně jsou rozděleny do tří kategorií podle makroskopické struktury membrány:

- **Heterogenní iontovýměnná membrána**
  Je tvořena smícháním práškové iontovýměnné pryskyřice a pojiva, extruzí nebo lisováním za tepla s armující textilií. Pryskyřice je dispergována v pojivu, takže chemická struktura membrány není jednotná.

- **Homogenní iontovýměnná membrána**
  Homogenní iontovýměnná membrána se vyrábí zavedením aktivních skupin do inertního nosiče. Nemá žádnou fázovou strukturu a je sama o sobě homogenní. Její chemická struktura je jednotná, póry jsou malé, odpor membrány je nízký, propustnost pro roztoky není snadná, elektrochemický výkon je vynikající a je široce používána v různých aplikacích. Samotná průmyslová výroba je komplikovaná a mechanická pevnost je poměrně nízká u folií bez armování.

- **Polohomogenní iontovýměnné membrány**
  Tyto membrány se vyrábějí zavedením aktivních skupin do polymerních nosičů. Avšak tyto dvě vrstvy netvoří chemickou kompozici a jejich výkon je mezi homogenní iontovýměnnou membránou a heterogenní iontovýměnnou membránou.

Iontovýměnné membrány lze dále rozdělit do pěti typů podle jejich funkcí a struktur: kationtovýměnné membrány, aniontovýměnné membrány, amfoterní výměnné membrány, mozaikové, profilované iontovýměnné membrány a polyelektrolytové kompozitní membrány. Struktura iontovýměnné membrány se dá popsat jako struktura iontovýměnné pryskyřice, ale ve formě membrány (filmu).

Membránový odpor a selektivní permeabilita iontovýměnné membrány jsou důležitými indikátory elektrochemického výkonu membrány. Pořadí propustnosti kationtů v pozitivně nabité membráně je:

$Li^{+} > Na^{+} > NH_4^{+} > K^{+} > Rb^{+} > Cs^{+} > Ag^{+} > Ti^{2+} > Mg^{2+} > Zn^{2+} > Co^{2+} > Cd^{2+} > Ni^{2+} > Ca^{2+} > Sr^{2+} > Pb^{2+} > Ba^{2+}$

Pořadí propustnosti aniontů v negativně nabité membráně je:

$F^{-} > CH_3COO^{-} > HCOO^{-} > Cl^{-} > SCN^{-} > Br^{-} > CrO^{-} > NO^{-} > I^{-} > (COO)^{-} > SO^{-}$

- **Bipolární membrány**
  Bipolární membrány (BPM) jsou speciální druh iontovýměnných membrán tvořených kationtovou a aniontovou výměnnou vrstvou, která umožňuje tvorbu protonů a hydroxidových iontů pomocí mechanismu disociace vody na rozhraní těchto vrstev. Tato jedinečná vlastnost činí bipolární membrány atraktivní pro různé aplikace v mnoha odvětvích, jako je (bio)chemický průmysl, zpracování potravin, ochrana životního prostředí a přeměna a skladování energie. Výzkum a vývoj BPM v posledních dvou desetiletích vytvořil rostoucí trh s komerčními BPM a moduly. Dnes jsou k dispozici od více výrobců. Kromě toho BPM rychle získávají pozornost pro jejich technický, environmentální a ekonomický pokrok ve srovnání s konvenčními procesy pro výrobu kyselin a zásad, nebo pro úpravu pH *in-situ*.

6.2 Membránové procesy využívající iontovýměnné membrány

6.2.1 Elektrodialýza

Elektrodialýza (ED) je víceúčelová technologie, kterou lze použít pro úpravu přírodních i odpadních vod (OV) jak z průmyslu, tak i z komunálních zdrojů, které obsahujících iontově vodivé látky. Její nepřetržitá provozní kapacita, škálovatelnost a snadná obsluha mohou vyřešit většinu nedostatků současných technologií a přímé opětovné použití koncentrovaných proudů může zabránit nutnosti chemického přidávání a srážení. ED se tedy jeví jako slibná technologie s obrovským růstovým potenciálem pro koncentraci, separaci a selektivní získávání látek z odpadních vod.

Bipolární elektrodialýza

Základním aspektem elektrodialýzy s bipolárními membránami (EDBM) je kombinace elektrodialýzy pro separaci solí s elektrodialyzačním štěpením vody pro přeměnu soli na odpovídající kyselinu a zásadu. Bipolární membrány zesilují štěpení vody na protony a hydroxidové ionty. Bipolární membrány mohou poskytnout nové metody šetrné k životnímu prostředí pro širokou škálu procesů s významnými výhodami a jejich použití by se nemělo omezovat pouze na výrobu kyselin a zásad z odpovídajících roztoků solí. V tomto ohledu jsou k odhalení nových potenciálních aplikací zapotřebí nové membrány s vysokou selektivitou, širokým rozsahem provozních hodnot pH (odolnost vůči kyselinám a zásadám) a dobrou mechanickou pevností. Zejména vyšší selektivita a tepelná stabilita by mohly významně zlepšit stávající aplikace rozšířením rozsahu provozních podmínek, tj. umožněním dosažení vyšších koncentrací kyseliny a zásady a využitím vyšší teploty ke zvýšení výkonnosti procesu.

Přestože bylo zachycování CO_2 chemickými nebo fyzikálními absorpčními metodami věnováno mnoho úsilí, spotřeba energie je stále velmi vysoká. I přes přímé zachycování pomocí základní adsorpce generované zařízením EDBM prostřednictvím obnovitelné energie, jako je např. solární, je spotřeba stále vysoká, ale nižší než náklady, které jsou uváděny jako cíl v membránové separaci plynů 50 USD/t zachyceného CO_2. Vzhledem k tomu, že výroba alkálií je náročná na spotřebu energie, je výroba kyselin a hydroxidů ze zařízení EDBM účinnou konkurencí pro tradiční a komercializované chlor-alkalické metody výroby NaOH. Kontinuální saturační napájení při vysoké proudové hustotě (více než 100 mA/cm^2) by mohlo být vhodným pokusem o využití v EDBM ke zlepšení bilance výroby alkálií. Kromě toho je přímá přeměna uhličitanu elektromembránovými procesy s odpadními solemi možným a pravděpodobným řešením, jak přeměnit zbytečné zdroje na produkty s přidanou hodnotou. Výroba vodíku pomocí alkalické membrány by mohla být slibným směrem pro vodíkový energetický článek. Kromě toho se rozvíjí vodní redoxní palivové baterie pro ukládání energie, které si jistě zaslouží již nyní zvláštní pozornost.

Metatézní elektrodialýza

Elektrodialýza s metatezí (EDM) je varianta reverzní elektrodialýzy, při které dochází k metatézní reakci. Konvenční elektrodialyzační systém (ED) se skládá z opakujících se buněk dvou střídavých kationtových a aniontových výměnných membrán. Každá buňka obsahuje dva oddíly, z nichž jeden obsahuje napájecí roztok a druhý koncentrovaný roztok. Membrány jsou umístěny mezi dvěma elektrodami a prochází jimi elektrický proud, který způsobuje pohyblivost nabitých iontů směrem k příslušné elektrodě. V systému EDM tvoří čtyři střídavé iontově výměnné membrány opakující se čtveřici čtyř oddílů a přidává se substituční roztok, který poskytuje

výměnné ionty pro reakci metateze. Při reakci si vstupní roztok, reprezentovaný MX, vyměňuje kationty a anionty se substitučním roztokem, M′X′, za vzniku nových produktových solí, M′X a MX′, jak je znázorněno v rovnici MX + M′X′ → M′X + MX′. Pro tento účel obsahují dvě z oddělení vstupní a substituční roztok a nazývají se oddělení zředěného roztoku 1 (D1) a oddělení zředěného roztoku 2 (D2). Další dvě oddělení obsahují každé nově vytvořené nesrážlivé soli produktu a nazývají se oddělení koncentrátu 1 (C1) a oddělení koncentrátu 2 (C2). V závislosti na zamýšleném produktovém roztoku v obou koncentračních oddílech se do oddílu D2 přivádí příslušný roztok substituční soli, který iniciuje reakci dvojího rozkladu s přívodním roztokem z oddílu D1. Soli vznikající v oddělení C1 jsou převážně bohaté na anionty a chudé na kationty, z oddělení D1. Soli vytvořené v oddělení C2 jsou převážně bohaté na kationty a chudé na anionty z oddělení D1. Když se jako substituční roztok přidá chlorid sodný, obsahuje oddělení C1 směs sodných solí a oddělení C2 směs chloridových solí.

Selektivní elektrodialýza (SED)

Selektivní elektrodialýza (SED) je slibná technologie pro regeneraci kyseliny prostřednictvím rozdílu potenciálu jako hnací síly. Rozdíl ve struktuře membránového svazku a hnací síle způsobuje regeneraci kyseliny nebo zásady. Selektivní elektrodialýza (SED) patří k iontovýměnnému membránovému separačnímu procesu, který je schopen zadržet bivalentní nebo multivalentní ionty a zároveň umožňuje pronikání monovalentních iontů. Ve srovnání s tradiční elektrodialýzou (ED) je nejpozoruhodnějším rysem SED nahrazení běžné katexové membrány (CEM) nebo aniontovýměnné membrány (AEM) monovalentní selektivní iontovýměnnou membránou. Výsledkem je, že tento nový elektricky řízený proces má jedinečné výhody při frakcionaci monovalentních/divalentních iontů, jako je separace lithia a hořčíku, separace protonů a kovových iontů, separace $NaCl/Na_2SO_4$ atd. Využitím schopnosti frakcionace iontů v procesu SED je možné oddělit anorganické kyseliny od roztoků obsahujících kovové ionty. Lze předpokládat, že tok iontů v SED bude mnohem vyšší ve srovnání s procesem DD, protože elektricky poháněná síla je mnohem silnější než hnací síla s gradientem koncentrace. Dalo by se však očekávat několik nedostatků SED pro regeneraci kyseliny. Jedním z nich je vysoká cena multivalentní selektivní iontovýměnné membrány, která je téměř 4–5krát dražší než v případě membrány pro difuzní dialýzu. Druhým nedostatkem je vstup energie do procesu SED, zvláště když je koncentrace kyseliny v odpadní kyselině velmi vysoká.

6.2.2 Elektrodeionizace

Jedná se o analogický proces elektrodialýze s tím rozdílem, že komory mezi membránami jsou vyplněny ionexovým ložem. Na ionexu dochází ke koncentrování procházejících iontů. V případě roztoků s nízkou vodivostí prochází elektrický náboj pouze částicemi ionexu. Na ionexu dochází při odsolování zároveň k disociaci vody na H^+ a OH^- ionty, které také migrují v elektrickém poli, čímž udržují ionexy v daných formách. Elektrodeionizace je kontinuální proces s použitím iontovýměnných membrán, ionexů a elektřiny. Stejnosměrný elektrický potenciál je hnací silou pro odstranění iontů z protékajícího proudu vody.

6.2.3 Membránová kapacitní deionizace

Tato technika je založena na elektrochemických základech: spočívá na adsorpci iontů v pórech elektrodových materiálů s velkým povrchem v závislosti na potenciálu. Proces adsorpce je obvykle kapacitní, ačkoli v poslední době byly zaznamenány i jiné přístupy. Výzkum v uvedené oblasti se zaměřuje především na aspekty materiálových věd, tj. na vliv složení/struktury elektrody a membrány a na výkonnostní ukazatele spojené s tímto procesem. Energetické náklady uvedeného separačního procesu jsou rovněž důsledně vyhodnocovány prostřednictvím různých výpočtů účinnosti a v současné době se provádí i přímé srovnání s konvenčními separačními systémy, tj. zejména s RO. Termodynamická energetická účinnost MCDI je poměrně nízká a její hodnoty jsou obvykle nižší o 5 % než u RO, ačkoli existují příklady, kdy tato účinnost může za vhodných podmínek dosáhnout 10 % nebo více. S pokračujícím vývojem MCDI a analogických kapacitních procesů by měla energetická účinnost zůstat hlavní metrikou pro srovnání s konvenčními technikami odsolování. Kromě toho by měla být intenzivněji zkoumána schopnost MCDI provádět selektivní separace pro stopové sloučeniny, obnovu zdrojů a odstraňování kontaminantů.

6.2.4 Difuzní dialýza

Difuzní dialýza (DD) je unikátní membránový proces, který pracuje s gradientem koncentrace pro regeneraci kyselin nebo zásad využívající výhody permselektivity anexové nebo katexové membrány, např. pro protony proti kovovým iontům.

6.2.5 Elektroforéza

Elektroforéza využívá schopnosti nabitých částic pohybovat se v elektrickém poli, přičemž rychlost pohybu částic je závislá na velikosti celkového povrchového náboje, velikosti a tvaru molekuly a její koncentrace v roztoku. Elektroforéza nalézá široké využití např. při analýze a dělení směsí bílkovin a při charakterizaci povrchů organizmů, jako jsou bakterie, viry apod. Velké průmyslové využití elektroforézy je při nanášení barev.

6.2.6 Reverzní elektrodialýza

Reverzní elektrodialýza (RED) je jednou z membránových technologií pro výrobu obnovitelné energie založená na smíchání dvou roztoků o různé salinitě. Reverzní elektrodialýza (RED) generuje elektřinu z potenciální energie vytvořené smíšenými vodnými roztoky vytvářejícími výrazný gradient koncentrací solí.

6.2.7 Elektrolýza

Elektrolýza je děj, při kterém dochází k rozkladu roztoku elektrolytu (tavenina nebo roztok iontových sloučenin) procházejícím stejnosměrným elektrickým proudem. Proud je do roztoku zaváděn pomocí dvojice elektrod – katody a anody. Proud způsobuje, že na elektrodách dochází k oxidačně-redukčním (redoxním) reakcím. Anoda je vždy elektroda, na které dochází k oxidaci, katoda je naopak elektroda, na které dochází k redukci. Elektrolýza vody má různé průmyslové aplikace. Zájem o technologie elektrolýzy vody v posledních letech vzrostl především díky renesanci jaderně-vodíkové energetické koncepce a také perspektivě rozsáhlé realizace elektráren na bázi obnovitelných zdrojů energie.

Elektrolýza se využívá dnes zejména při výrobě vodíku a v chlor-alkalickém průmyslu, při galvanickém poměďování, přečišťování kovů apod.

Dnes je vodík základním chemickým činidlem pro výrobu čpavku, metanolu, ropných produktů, různých polymerů a mnoha dalších sloučenin a materiálů. Většina vodíku používaného v průmyslovém sektoru se v současnosti vyrábí parním reformováním fosilních uhlovodíků (hlavně metanu), což způsobuje znečištění atmosféry. Masivní emise CO_2 do atmosféry a výsledný dopad na životní prostředí volají po alternativních řešeních. Pro vytvoření bezuhlíkové ekonomiky šetrné k životnímu prostředí je považováno za nezbytné používat k výrobě vodíku elektrolýzu vody a vyvíjet řešení pro distribuovanou výrobu na vyžádání a na místě.

6.2.8 Elektroelektrodialýza

Elektroelektrodialýza (EED) je přechodný proces mezi ME a elektrodialýzou. V tříkomorovém modulu se roztok soli zavádí do komory umístěné uprostřed, ve které jsou kationty transportovány přes CEM směrem ke katodě a anionty přes AEM směrem k anodě, což vede k vyčerpání roztoku soli. V katolytu a anolytu poskytuje elektrolýza vody ionty pro tvorbu zásady, resp. kyseliny. V některých variantách je umístěna další CEM, která odděluje anolytický prostor a snižuje únik protonů. Koncentrace produktů je omezena transportem vody, chemickou odolností IEM a únikem protonů. Výrazný únik protonů má za následek okyselení solného prostoru a tím snížení CE báze – místo kovu se přes CEM transportují vodíkové ionty a v katolytu vzniká voda. Čistota produktů může být velmi vysoká, protože kontaminující ionty jsou z procesních roztoků odstraňovány elektromigrací (elektrostatickým polem). Všechny výše uvedené skutečnosti činí z EED účinný proces určený ke štěpení soli za účelem současného získání/výroby odpovídající kyseliny a zásady s vysokou čistotou.

6.2.9 Palivové články

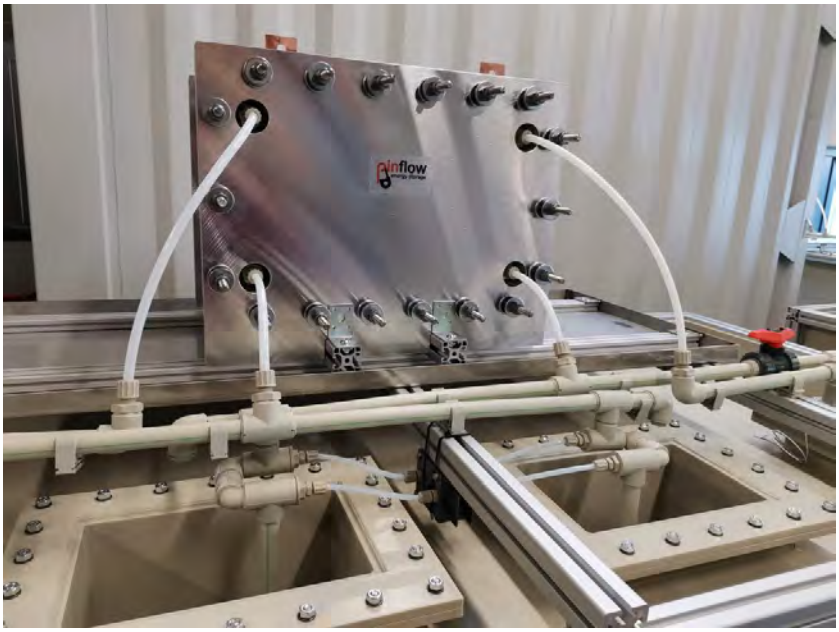
Palivové články jsou slibná zařízení pro konverzi energie. Velký povrch, vysoká pórovitost a elektrická vodivost uhlíkového nosiče účinně zvyšují aktivitu palivových článků. Palivové články představují konverzní systém, v němž se chemická energie přeměňuje na energii elektrickou oxidací paliva. Hlavními výhodami palivových článků jsou vysoká hustota energie, vynikající účinnost, hospodárnost a kontrolovatelné emise. Vodík (H_2) je hojně rozšířený zemský prvek a pro svou vysokou reaktivitu se používá jako palivo v palivových článcích. Kromě toho může H_2 vznikat elektrochemickou oxidací uhlovodíkových paliv, jako je metanol, kyselina

mravenčí a formaldehyd. Vodík se může na anodě palivového článku rychle oxidovat a jeho chemickým produktem je pouze voda. Musí být však vyráběn udržitelným způsobem, tj. nikoliv z fosilních paliv.

V palivovém článku založeném na palivu H_2, vstupuje H_2 na anodovou elektrodu a oxiduje se ztrátou elektronů. Při této reakci vznikají ionty H^+ a elektrony. Přeměna iontů H^+ a elektronů probíhá prostřednictvím elektrolytu, resp. vnějšího obvodu. Kyslík obsažený v katodě reaguje s ionty H^+ a elektrony, přičemž vzniká voda. Palivové články lze klasifikovat na základě použitého elektrolytu a paliva. Palivové články s membránou pro výměnu protonů (PEMFC), palivové články s kyselinou fosforečnou (PAFC), palivové články s pevnými oxidy (SOFC), alkalické palivové články (AFC) a palivové články s roztaveným uhličitanem (MCFC) představují hlavní kategorie palivových článků. Kromě toho jsou pro výzkumníky atraktivní kategorií biologické palivové články, včetně enzymatických palivových článků (EFC) a mikrobiálních palivových článků (MFC). Palivové články mají významné aplikace v dopravních prostředcích, telekomunikacích a přenosných elektronických systémech a zařízeních s nízkým výkonem.

6.2.12 Redoxní průtokové baterie

Redoxní průtokové baterie uchovávají veškerou energii nebo její část v kapalných elektrolytech namísto elektrod v článcích. Tato jedinečná architektura umožňuje oddělit energii a výkon a snadněji je škálovat než u běžných baterií. Akumulační kapacity lze snadno zvyšovat množstvím (nebo vyššími koncentracemi) elektrolytů, zatímco jmenovitý výkon lze škálovat použitím větších ploch elektrod (aktivního povrchu) nebo i počtem článků/modulů v systémech. S ohledem na tuto škálovatelnost jsou zdokonalené redoxní průtokové baterie považovány za jednu z nejslibnějších technologií v rozsahu 1 kW (výkon) / 2kWh (kapacita) až 200 MW / 800 MWh. S cílem dosáhnout cílových nákladů (USD <100 (kW h^{-1}) a vynikajícího výkonu byl prováděn významný vývoj redoxních a hybridních průtokových baterií s použitím různých organických a anorganických redoxních párů ve vodných a nevodných elektrolytech. Pro další zlepšení hustoty energie a výkonu jsou zásadní žádoucí vlastnosti těchto elektrolytů. Stabilita vodných a nevodných průtokových baterií závisí na výběru vhodných podpůrných elektrolytů, redoxních chemikálií a komponentů baterie. Vodné systémy využívají jako rozpouštědlo vodu, která má užší potenciálové okno stability (často <2,0 V), ale podléhá potencionálním výparům vodíku a kyslíku, které se mohou lišit podle složení elektrolytu a povrchu elektrod. Kromě vývinů plynů mají některé kovové anody (např. zinkové) používané v hybridních systémech tendenci rozpouštět se v kyselých/alkalických elektrolytech, což vede ke ztrátám energie (jako samovybíjení/korozní proces). Kromě aktivních materiálů je třeba se vyvarovat vystavení kovových součástí/dílů korozivním kyselinám nebo zásadám, což může vést k nestabilním redoxním potenciálům během cyklování.



Obr. 6.1 Pilotní jednotka vanadiových redoxních průtočných baterií české společnosti Pinflow s.r.o.

6.3 Situace elektromebránových procesů v ČR

Jediným výrobcem iontovýměnných membrán v ČR je firma MEGA a.s. pod obchodním označením RALEX®. Z této skutečnosti vyplývá i využívání těchto membrán ve vlastních membránových elektrodialyzačních modulech a jednotkách využívající tyto moduly. V současné době jsou na trhu dostupné jak heterogenní iontovýměnné membrány typu RALEX®, tak i heterogenní bipolární membrány RALEX®.

Membrány RALEX® jsou instalovány do modulů nebo technologií značených RALEX ®EWDU nebo RALEX ®EWTU (EWDU Electodialysis whey desalination unit, EWTU Electrodialysis water treatment unit), moduly jsou vyráběny pod obchodní značkou RALEX ®ED(R)II/100-600 (číslo udává počet membránových párů v elektrodialyzačním modulu). Modul je možné dodávat s reverzací, která slouží jako prevence proti zanášení povrchu membrán, nebo bez reverzace pro produkty o vysoké čistotě a minimalizaci ztrát produktu. Dále jsou membrány RALEX® používány v modulech pro EDI, které byl vyvinuty firmou MemBrain pro MEGA a.s. a prodávají se pod obchodním označením MPure™. V současnosti je tedy MEGA a.s. jediným výrobcem zařízení EDI v ČR, což ale neznamená, že jsou na trhu v ČR nabízeny pouze tyto moduly. Přes své obchodní zástupce jsou nabízeny v ČR EDI moduly od následujících firem: BWT (SEPTRON® EDI), DOW (DOW™ EDI), Evoqua (IONPURE®), Veolia (E-Cell).

6.3.1 Elektrodialýza

ED je při odsolování brakických vod (koncentrace solí do 5 g/l) energeticky, nákladově a provozně levnější než další membránové procesy jakými jsou např. RO, CDI, MCDI, a to s ještě mnohem větší recyklací/regenerací vody (tzv. „recovery“). Jedno zařízení je možné používat pro flexibilní nastavení kvality výstupní odsolené vody nebo dokonce přejít z odsolovacího režimu do koncentračního režimu. Slabinou procesu je životnost elektrod při vysokých proudových účinnostech. Dalším negativem je zpracování dožitých membrán (z důvodů kontaminace nejčastěji ve spalovnách). Další slabinou jsou nedostatečné inženýrské znalosti o těchto procesech a jejich dalších možnostech využití.

Jediným dodavatelem a výrobcem ED v ČR je skupina firem MEGA group. V ČR jsou průmyslově provozována zařízení na zpracování sladké syrovátky, glykolů (antifreezů), purifikaci farmaceutických roztoků a prebiotik a pro koncentrování síranu sodného. ED je v ČR používána především pro přípravu teplárenské vody pro kotle. Komerčně jsou dále procesy elektrodialýzy nabízeny v následujících segmentech:

- Mléčný průmysl – pro odsolování syrovátky, ideální syrovátky z tlakových procesů, ochucovadel, umělých sladiv, proteinů, delaktozované syrovátky, UF permeátů ze syrovátky nebo mléka, cukrovarnictví a v procesech výroby laktózy.
- Energetika a úprava vody – ultračistá voda, koncentrování solných proudů, odsolovaní brakických vod, chladící vody, zpracování RO solných roztoků (solanky).
- Chemický průmysl – glykoly, glyceroly, obnova, získání organických kyselin, zpracování hydrolyzátových kalů, hnojiv.
- Farmacie – odsolování roztoků, purifikace aktivních farmaceutických látek, získávání cenných látek z odpadních proudů, purifikace roztoků a předúprava procesních vod.
- Krmiva pro zvířata – velmi podobné využití jako v oblasti odsolování laktózy a syrovátky, ale produkt má nižší úroveň kvality; zpracování různých hydrolyzátových proudů z procesů hydrolýzy v kafileriích.

Novým dodavatelem elektrodialýzy a elektrodeionizace v ČR je firma MICO spol. s.r.o., která dodala pro teplárnu Carthaumus (Český Krumlov) zařízení ED pro recyklaci retentátu napájecí vody kotle a OV od firmy Evoqua – Nexed a EDI pro přípravu ultračisté vody od stejné firmy.

6.3.2 Elektrolýza

Dalším elektromembránovým procesem, kde jsou využívány iontovýměnné membrány, je proces elektrolýzy. V ČR je elektrolýza používaná v procesech výroby NaOH a HCl, poslední instalace membránové elektrolýzy proběhla v Spolchemii, Ústí nad Labem, přičemž homogenní membrány dodal čínský dodavatel. Tím byly nahrazeny všechny dosavadní amalgámové procesy. Dále je proces elektrolýzy nabízen v zařízeních pro výrobu bazénové desinfekce, kdy je pomocí elektrolýzy z roztoku s NaCl získáván desinfekční prostředek. Jako příklad lze uvést zařízení fumaGen®LS HC, kde je produkován HOCl sloužící k desinfekci. Další technologie od firmy Fumatech prodávaná v ČR je systém označovaný jako fumaGen®LS – A. Jedná se o inovaci klasického procesu ECA, kdy při použití solného roztoku (NaCl) se pro výrobu desinfekčního prostředku využívá katodových a anodových reakcí. Při této klasické elektrolýze je konverze max. 20 % z roztoku solanky na desinfekční činidlo (HOCl). Významná nevýhoda a hrozba při provozu uvedených zařízení je samozřejmě vysoké riziko koroze tímto desinfekčním prostředkem. Elektrochemická aktivace pomocí FumaGen® je proces elektrolýzy, při jehož použití je v desinfikované vodě vytvářeno desinfekční činidlo. Potřebná sůl je poskytována z třetí komory, která je hydraulicky oddělená od ostatních proudů (jedná se tedy o EED). Generované látky jsou: anolyt HOCl a zředěný katolyt NaOH (koncentrace 2 %). Rozdíl oproti běžnému elektrolytickému systému je v použití patentované chlórově stabilní aniontové membrány a inovovaných anodových elektrod. Výrobce udává vynikající vlastnosti včetně samostatného poměru konverze 1:1 (sůl:chloridy). Využití tohoto systému je vhodné pro procesy CIP v potravinářství a pivovarnictví. HOCl slouží k desinfekci roztoků a vzniklý louh se skladuje v zásobní nádobě a tento roztok je následně použit při louhovém cyklu CIP.

V případě elektrolýzy a palivových článků existují velké i malé začínající firmy, které se zabývají komercializací těchto produktů na trhu, ale zatím z jejich portfolií tvoří jen zlomek příjmů a podílí se na trhu nepatrně. Jako příklad lze uvést 3M, DuPont Fuel Cell, Basf, Asahi Glass Cummins, Mitsubishi, Ballard Power, Toyota, Čínští výrobci, ITM, Mel ASA, Siemens Energy, Kobelco Eco-solutions, GTT Group, Hitachi, Horizon Fuel Cell, Ion Power, Umicore, W. L. Gore, SGL Technologies, Ceramic Fuel Cells, Solvay, Kyocera, Special Power Sources , Samsung, Polyfuel, Sharp Corp.Fujikura, Ultracell. Existuje reálný předpoklad, že všechny uváděné firmy zůstanou přes svá zastoupení v této oblasti aktivní i na území ČR a SR.

6.3.3 Palivové články, baterie a elektrolýza vodíku

V ČR se vývojem palivových článků zabývají jak soukromé, tak nadnárodní firmy (Ústav jaderného výzkumu Řež, a.s., Siemens, 2JSP, Bosh, Jablotron apod.). Zatím ojedinělým výrobcem palivových článků založených na vlastním know-how je firma DEVINN (palivový článek typu PEM). V současnosti jsou ale palivové články nabízeny i jako zdroj tepla a elektřiny pro domácnosti (viz. Tabulka 6.1). Již dnes jsou palivové články využívány v armádních průzkumných dronech, kde takto vybavené stroje dokáží být ve vzduchu autonomně tak dlouho, dokud mají dostatek paliva, což je v některých případech i více než 24 h.

Bohužel v ČR neexistuje zatím žádný podnik na recyklaci nabíjecích baterií založených na jiné surovinové základně než olovo. Jedná se zejména o zpracování z pohledu využití elektrolytů, anody a katody.

Tab. 6.1 Charakteristiky vybraných společností zabývajících se výrobou, dodavatelskou a servisní činností zařízení využívající iontovýměnné membrány.

Název	Odkaz	Charakteristika činnosti firmy
Aquarex WATER-PROFIT s.r.o. (Uherské Hradiště)	www.aquarex.cz	Úprava vody a OV. EDI, CEDI
AQUAL s.r.o. (Lelekovice)	https://aqual.projekty4g.cz/cz/pro-prumysl/prumyslove-stanice-edi	Úpravy vody, EDI.
BKG – úprava vody a.s. (Hradec Králové)	www.bkg.cz	Zaměřením na projekci, výrobu a kompletní dodání zařízení na úpravu vody – pitné, procesní, odpadní. Technologie úpravy vody jsou dodávány v širokém

		rozsahu výkonnostních řad se zaměřením na filtraci, odsolení, změkčení, dezinfekci, úpravu mořské i brakické vody, reverzní osmózu a mobilní kontejnerové jednotky do výkonu jednotlivého zařízení 280 m3/h.
Buderus / BlueGEN	buderus.com	Kogenerační jednotky, vytápění, kotle palivové články, stacionární baterie
Bosh	bosh.com nebo www.bosch-sofc.com	Mobilní řešení, Průmyslové technologie, spotřební zboží a energetické a stavební technologie - úprava vody, palivové články
BWT	www.bwt.com	Úprava vody a OV, ED, EDI, CEDI, Elektrolýza, BPED, generátory ozónu
Centec automatika, s.r.o.	www.centec.cz/elektrodeionizace-a-ultrafiltrace.html	Úprava vody a OV pro potravinářství, farmacii, vodárenství. ED. CEDI
Chemoprojekt, a.s.	http://www.chemoprojekt.cz	Vodní hospodářství, EDI, CEDI
DEVINN	www.h2base.eu	Výroba nabíjecích stanic a čerpacích stanic pro H_2, PEM
Efoy	www.my-efoy.com	Dodává do ČR mobilní zdroje energie, baterie a metanolové palivové články
EuroClean s. r. o. (Roztoky)	euroclean.cz	Úpravy vody, EDI.
Eurowater, spol. s r.o. (Kolín – Sendražice)	https://www.eurowater.com/cz/zarizeni-na-upravu-vody/elektrodeionizace	Zařízení na úpravu vody RO, EDI, CEDI
Goldman water s.r.o. (Zeleneč)	www.goldmanwater.cz	Zdravotnické úpravny vody, průmyslové úpravny vody i domácí úpravny vody na bázi filtrace, dezinfekce a reverzní osmózy. EDI, CDI
GORO, spol. s r.o. (Chrašťany)	https://www.goro.cz/elektrodeionizace/	Projekce a výroba zařízení na úpravu vody. EDI
2JSP (Štětí)	www.2jcp.com	Výroba elektrolyzérů PEM Siemens pro firmu Siemens
LAVIMONT BRNO, a.s. (Brno)	lavimont.cz	Úprava vody, RUN AQUA-EDI
Veolia	www.veolia.cz	Úprava voda a OV, ED, EDI, CEDI, elektrolýza, BPED. EDM
MEGA a.s.	mega.cz	Výroba iontovýměnných membrán a dodávka technologií na klíč; tlakové procesy, povrchové úpravy elektroforéza, ED, EDI, BPED
MemBrain s.r.o.	membrain.cz	VaV a dodávky na klíč pilotních a laboratorních zařízení pro tlakové MP, ED, EDD, EDM SED, EDI, BPED
Merck	http://www.merckmillipore.com	Příprava ultračisté vody do 3000 l/den

MiCo (Moravian industrial comapany (Třebíč)	www.mico.cz	Dodávky zařízení na klíč tlakové procesy, ED, EDI, CEDI
Mitsubishi power	power.mhi.com/products	Úprava vody, membrány, ionexy, generátory, turbíny, uskladňování energie, palivové články od domovních zdrojů po 1000 kW (zdrojem energie SOFC je LNG, Bioplyn nebo vodík)
Panasonic	Panasonic.com	Dodávky palivových článků, elektrolyzérů, baterií
PKPU Oriontec	https://www.oriontec.pl/cs/elektrodeionizace-edi/	Dodává a instaluje modulu CEDI IONPURE
Power Plastics s.r.o (Žďár nad Sázavou˘)	www.powerplastics.cz	Filtrace a úprava vody, MF, UF, RO, EDI
Senertec	Senertec.com	Mikrokogenerační jednotky, baterie, palivové články pro domácnosti, Dachs 0,8.
Siemens Energy	www.siemens-energy.com	Úprava vody, EDI, CEDI, palivové články, elektrolýza
WATEK s.r.o. (Ledeč nad Sázavou)	www.watek.cz	Úprava vody RO-EDI
Watera Czech (Praha)	https://www.watera.cz/electrodeionization-edi/	Zařízení pro demineralizovanou vodu, filtry, EDI.
Waleon s.r.o. (Praha)	http://www.waleon.eu	Navrhuje a vyrábí kompletní technologické celky úpravy vody na klíč. EDI
Viessmann	Viessman.com	Palivové články pro domácnost a mobilní palivové články

Při využití IEM membrán je důležité si uvědomit, že jsou součástí modulu, který se skládá z dalších komponent, jako jsou rozdělovače, elektrody atd. Jejich vývoj a význam pro celý proces není zanedbatelný. Bohužel i dostupnost některých základních materiálů je v budoucnu problematická – jedná se především o grafit, kobalt, chrom, platinu, titan a iridium. I proto bude v příštích letech věnována značná pozornost výše uvedené problematice a možným alternativám a náhradám v průmyslové výrobě. Na rozdíl od komerčních baterií, není v případě ED a EDI stále prozkoumána možnost a recyklačních možnosti elektrolýzy založené na PEM, SOC, PEMEC.

7 NAŠE VIZE BUDOUCNOSTI

Udržitelnost je klíčová

Regionální vodohospodáři, města a obce jsou hlavními aktéry a partnery při přeměně české společnosti k vyšší udržitelnosti. V roce 2030 se bude převážná část odpadů přeměňovat na čisté suroviny, energii a čistou vodu. Klíčovou součástí tohoto procesu bude zpětné získávání odpadů. Regionální vodohospodářské společnosti a obce budou vykonávat aktivity, které umožní nahrazení fosilních paliv různě zpracovanou biomasou pro chemickou výrobu, dopravu, vytápění a výrobu elektřiny. Vodohospodáři s městy a obcemi budou při tomto úsilí zřizovat především společná zařízení pro zpracování biomasy, místní jednotky na úpravu a čištění odpadů (často na bázi membránových technologií) s velkým důrazem na udržitelnost.

Účinné čištění odpadních vod a ochrana veřejného zdraví a kvality vody

Vládní činitelé ČR se zavázali k účinnému čištění odpadních vod, aby bylo podpořeno veřejné zdraví a kvalita vody. Naše zákonné úkoly se obsahově nezměnily, ale výrazně se změnil způsob, jakým lze tyto úkoly splnit.

Celková řešení

Partneři v oblasti nakládání s odpadními vodami (odvádění a čištění) zvolili společné postupy a zvolili integrovaný přístup k řešení této významné problematiky. Jsou volena taková prostorová řešení, která jsou v souladu s přírodními systémy a prostředím obcí. Plány na inovaci a rozšíření způsobů řešení v oblasti vod jsou koordinovány s projekty nové výstavby a rekonstrukce. Snahou rovněž je, aby řešení vycházela z uzavřených cyklů v rámci recyklace odpadů v podnicích a průmyslových parků.

Způsoby shromažďování a dělení vod

Třídění odpadu obvykle začíná v městském a průmyslovém prostředí. Existuje mnoho různých používaných technologií, jejichž výběr a použitá koncepce závisí pro konkrétní situaci na:

- povaze a objemu odpadních toků,
- charakteru místa, jako jsou např. aspekty krajiny, územního plánování a příslušných ekologických problémů.

Specializovaná údržba

Část údržby odpovídajících technologií zajišťují specializované firmy, které se budou zabývat specifickými úkoly. Výstavba a údržba zařízení budou integrovány především do oblasti nakládání s odpadními vodami. Jednotlivé komponenty budou vyžadovat různé standardy údržby. Udržet celý tento proces v chodu vyžaduje zcela jasná pravidla, normy a dobrou organizaci. Za tuto kontrolu bude zodpovědný centrální (virtuální) dispečink. Dispečink bude tedy udržovat správnou rovnováhu mezi náklady, kvalitou a riziky.

Strategická partnerství

Na strategickém poli bude existovat úzká spolupráce s řadou pečlivě vybraných subjektů, v některých případech na dočasné bázi, v jiných na bázi trvalejšího partnerství. To umožní využívat specializované odborné znalosti vodohospodářských firem, energetických společností, bytových družstev a zpracovatelů odpadů. Ve spolupráci se zákazníky, průmyslovými partnery, výzkumnými institucemi a místními orgány budou vyvíjeny nové produkty, služby a technologie.

Vedoucí postavení v oblasti technologií

Z pohledu aplikací a aplikovaného výzkumu v oblasti membránových technologií je bohužel přechod k uživatelům a zpracovatelům velmi komplikovaný – nové technologie a procesy jsou zaváděny zdlouhavě a v některých případech je limitujícím faktorem neznalost parametrů příslušných membránových technologií, kdy jsou ze strany budoucích uživatelů očekávány nerealistické nároky, jak z pohledu procesu, tak z pohledu provozní náročnosti. Jasnou vizí v rámci uvedené studie je neustále informovat odbornou veřejnost o nových trendech a o využití membránových technologií pro zpracování a recyklaci odpadních vod, získávání energie a surovin.

Vize 2030: Suroviny

Vize

- Uvažování v cyklech surovin
- Propojování s ostatními odvětvími
- Více způsobů zpracování surovin
- Neustálé hledání nových příležitostí
- Otevřené inovační prostředí
- „Green image“ pro výrobky z odpadu
- Flexibilní výroba
- Kombinace kroků v rafinérském průmyslu
- Diseminace poznatků prostřednictvím inovačních platforem
- ČOV jako továrna na suroviny

Příležitosti

- Fosfáty pro výrobu hnojiv
- Znovuvyužití toaletního papíru
- Kultivace řas jako potravina, krmivo pro zvířata, chemii
- Alginát pro stabilizaci kapalin
- Dusík pro sloučeniny amoniaku
- CO_2 jako chladivo
- Syngas pro syntézu chemikálií
- Síra pro sulfátové a různé aplikace

Vize 2030: Energie

Vize

- Celé spektrum udržitelných řešení
- Dostatečné technické možnosti
- Důležité role pro business developery
- Zapojení vládních orgánů
- Inovativní stavitelství
- Výroba energie a znovuvyužití nerostných surovin
- ČOV jako lokální zdroj energie
- Efektivní využití provozní energie
- Snížení spotřeby vody při splachování toalet

Příležitosti

- Rekuperace tepla v domech a budovách
- Zpětné získávání tepla z odpadních vod
- ČOV jako producent energie
- Úspory energií pro čistírny odpadních vod
- Větrné a solární elektrárny pro čistírny odpadních vod
- Vodní energie z odpadních vod
- Chlazení z hlubinných vodních zdrojů
- Energie z černé a zelené vody

Vize 2030: Voda

Vize

- Sběr různých druhů (odpadních) vod, převážně odděleně
- Rozšíření kvalitativních norem
- Obecná řešení na míru
- Voda vysoké a nízké kvality pro průmysl
- Vysoce kvalitní voda pro skleníky
- Vodní soběstačnost měst
- Méně aktivních zařízení na zpracování kalů
- Rozšíření technologií pro úpravu pitné vody a její recyklaci
- Online systémy pro měření a monitorování

Příležitosti

- Krajinářské úpravy a rekreační voda
- Procesní a chladicí voda
- Voda pro domácnosti
- Voda pro zemědělství a průmysl
- Odpadní vody pro vodní bilanci
- Boj proti městským tepelným ostrovům
- Skladování dešťové vody

8 ZPRACOVÁNÍ ODPADNÍCH VOD PRO ZISK SUROVIN

Jak bude vypadat oběhové hospodářství surovin získávaných z odpadních vod v roce 2030? Kde můžeme očekávat velké příležitosti při využívání membránových technologií?

8.1 Kde budeme v roce 2030

Nové způsoby řešení v oblasti surovinových cyklů

Je žádoucí neustále hledat nové udržitelné technologie pro zpracování odpadních toků a uzavírání surovinových cyklů. S významným využitím membránových technologií bude možné vyrábět vysoce hodnotné suroviny.

Spojení s iniciativami v jiných odvětvích

Významné bude zapojení do iniciativ v zemědělství, zelené chemii, potravinářství a krmivářství.

Mezi dosažené úspěchy membránových technologií budou patřit:

- Produkce fosfátů. ČOV budou produkovat fosfáty přímo z odpadních vod nebo z popela, který zůstává po spalování kalů. Fosfáty se budou přesně dávkovat jako hnojiva plodin i jako přísada do krmiv.
- Zdroj celulózy pro výrobu bioplastů.
- Dodávka odpadních vod bohatých na živiny pro zemědělství a chov řas.

Více způsobů zpracování surovin

Ve většině případů mohou regionální vodohospodářské orgány a obce dodávat pouze základní suroviny, jako je celulóza a monomery, které pak musí specializované společnosti rafinovat, aby dosáhly úrovně kvality potřebné pro jejich použití na vyšších stupních řetězce. Někdy však může být jejich rafinace ve fázi čištění atraktivní příležitostí pro membránové technologie. ČOV v blízkých regionech budou spojovat své síly, aby mohly společně dodávat v potřebném měřítku (objemu) suroviny do společností zabývajících se jejich zpracováním.

Hledání nových příležitostí

Budou hledány a vytipovány nové stavební prvky, suroviny a výrobky. Při výběru vhodných příležitostí bude probíhat spolupráce se zpracovateli odpadních toků, vývojovými pracovníky produktů a technologií a osobami s rozhodovací pravomocí ve společnostech z nejrůznějších odvětví. K obchodním příležitostem bude využíváno výsledků z probíhajících experimentů a pilotních projektů.

Otevřené inovační prostředí

Výzkum bude probíhat především v prostředí otevřených inovací. Bude využíváno nejnovějších poznatků z tzv. „emerging technologies“, příp. budou využívány některé jevy probíhající v přírodě (např. „biomimikry“) pro další rozvoj membránových technologií. K urychlení technologických inovací jsou (a budou) využíváni studenti a mladí vědci k řešení otázek týkajících se udržitelného designu a při pořádání lokálních i mezinárodních soutěžních workshopů a konferencí.

Zelená image výrobků z odpadu

Výrobky z odpadů mají již dnes tzv. „zelenou image“, která je vnímána vysoce pozitivně. Bude prosazováno, aby se toto vnímání na veřejnost po roce 2030 dostalo na mnohem vyšší úroveň. Do této činnosti je budou zapojovány i školy na všech úrovních, kdy se problematika hodnoty výrobků z odpadu bude diskutovat v rámci výuky.

Flexibilní výroba

Hospodaření s odpadními vodami se bude opírat především o flexibilní výrobu. To umožní rychle reagovat na potřeby a změny trhu. Výrobní technologie je složena ze standardizovaných modulárních výrobních jednotek a dalších komponent. Komponenty lze snadno přidávat nebo odebírat. Díky tomu se výrobním společnostem investice do komponent velmi rychle vrátí. Specifický způsob operace a snadná škálovatelnost membránových technologií tento aspekt ještě významně podporuje.

Kombinace kroků v rafinačním systému

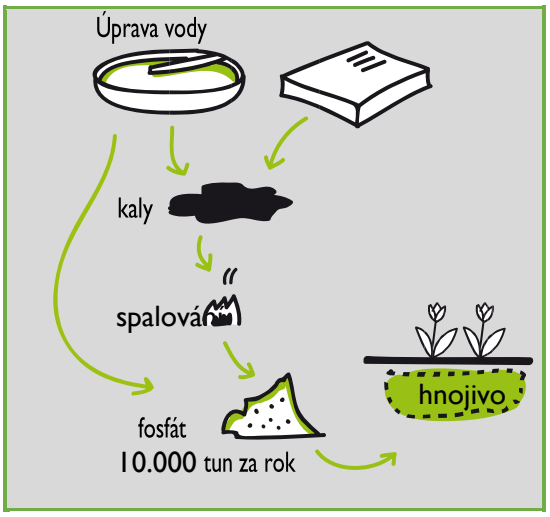
V mnoha případech je rafinace jednoho nebo několika málo produktů ekonomicky nevýhodná. Řešením je tzv. „refinery train“, při kterém se kombinují kroky rafinace více skupin materiálů. Tímto způsobem lze maximálně využít komplexnost a hodnotu látek, jako je celulóza, různé živiny, mastné kyseliny, enzymy, zbytky léčiv, detergenty a další organické sloučeniny v odpadní vodě nebo kalu.

Sdílení poznatků prostřednictvím inovačních platforem

Existuje celá řada inovačních platforem, které umožňují maximálně využít poznatky z výzkumu, experimentů a pilotních projektů. Klíčovou roli v tomto ohledu bude zajišťovat Česká membránová platforma:

- koordinace výzkumu a vývoje, experimentálních studií s následnou analýzou výsledků,
- diseminace výsledků mezi partnery v oblasti nakládání s vodními zdroji a odpadními vodami,
- navazování vztahů s dalšími platformami a externími výzkumnými organizacemi.

8.2 Příležitosti membránových technologií při získávání surovin z odpadních vod

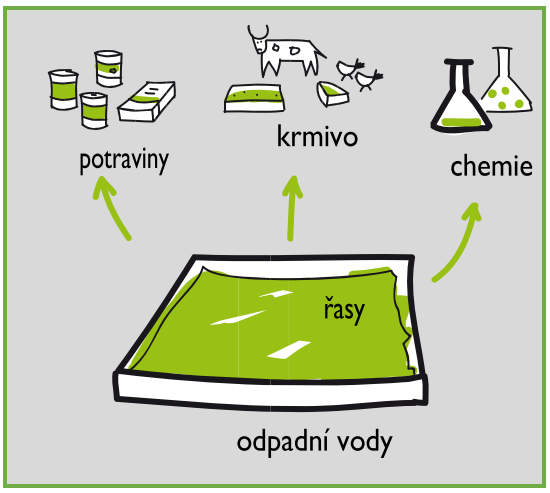


Získávání fosfátu na výrobu hnojiv

Fosfátová ruda je stále vzácnější a dražší komoditou. Při úpravě, resp. při konečném zpracování, je možné získat ročně přibližně 10 000 tun fosfátu. Fosfáty jsou důležitou surovinou pro výrobu hnojiv. Biofosfát z odpadních vod je vhodný pro použití v udržitelně vyráběných hnojivech.

Příležitost pro membránové technologie

Kombinace UF–MBR a ED–EDM umožňují účinnou výrobu hnojiv, např. struvitu (magnesium ammonium fosfát) nebo se uplatňují při získávání fosforu v dalších formách.

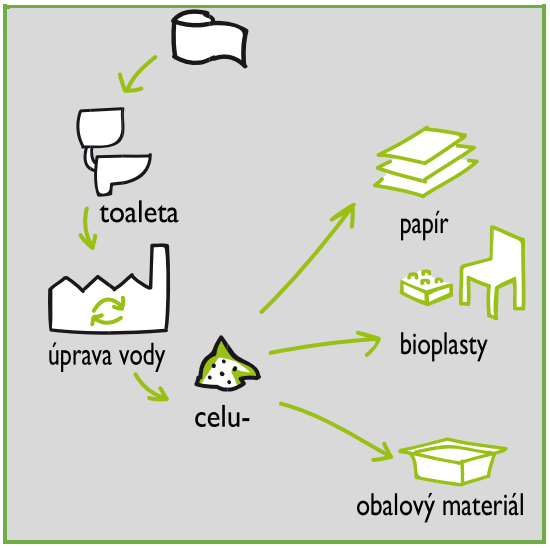


Získávání cenných výrobků z řas

Řasy rostou na zbytcích z odpadních vod a jsou surovinou pro krmiva zvířat a ryb. Některé řasy obsahují prekurzory pro výrobu bioplastů a pryskyřic. Určité řasy vylučují oleje používané ve farmaceutickém průmyslu. Výzkum a vývoj s řasami a dalšími vodními rostlinami má výrazně rostoucí tendenci.

Příležitost pro membránové technologie

Membránové technologie se mohou uplatnit významným způsobem jako součást kultivace řas (zajištění nezávadné vody a nutrientů). Možné využitelné procesy: RO, UF, GS.

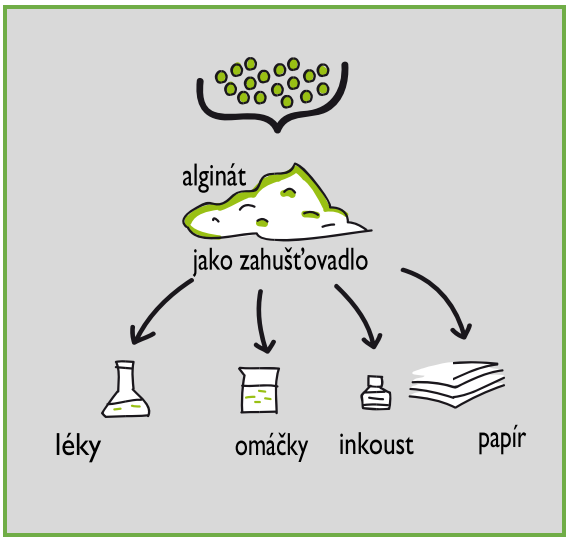


Recyklace toaletního papíru

Celulóza z toaletního papíru je surovinou pro výrobu ekologických izolací budov a při výstavbě silnic. Celulóza je využívána také pro výrobu chemikálií, které se zpracovávají na bioplasty pro výrobu nábytku, plastových dílů aut a stavebnic (hraček). Odpadní vody mohou pokrýt 5 % poptávky po celulóze v naší zemi. Její kvalita a množství jsou navíc stálá.

Příležitost pro membránové technologie

V úpravně vody lze očekávat nasazení některých membránových technologií, jako jsou např. MBR, RO, UF.

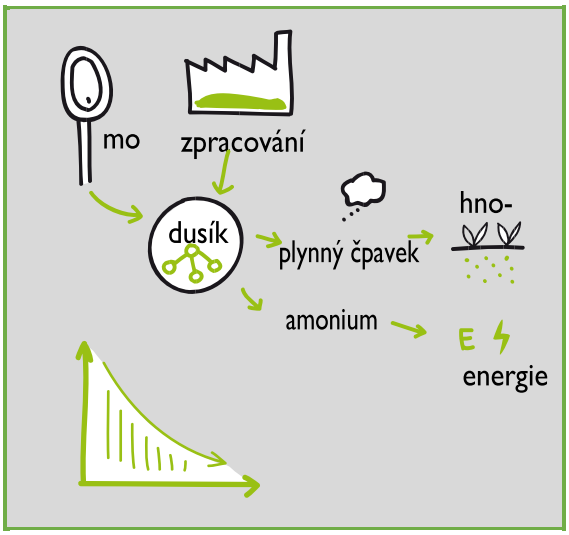


Alginát pro stabilizaci kapalin

Alginát je vedlejší produkt při zpracování především granulovaných kalů. Alginát lze použít k emulgaci a stabilizaci kapalin, tj. jako zahušťovadlo pro inkousty, omáčky, mléčné výrobky, léčiva, papír atd. Granulovaný kal je bohatý na alginát. Alginát představuje z hlediska finanční hodnoty velmi významnou komoditu.

Příležitost pro membránové technologie

Alginát by mohl být zachytáván z vodného roztoku pomocí UF, NF.

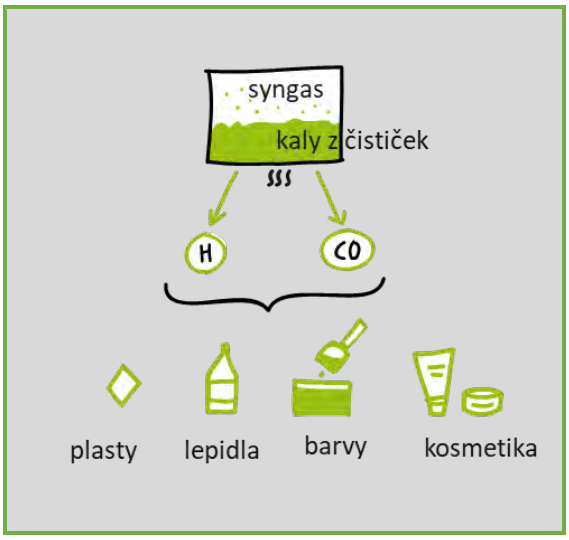


Dusík pro sloučeniny amoniaku

Dusík je možné získat z čistírenských kalů nebo z moči. Z dusíku jsou vyráběny sloučeniny čpavku, které mají různé využití. Plynný čpavek je například potřebný při výrobě hnojiv. V palivovém článku může být čpavek zdrojem energie. Získávání dusíku je také způsob, jak snížit emise skleníkových plynů. Toto je možné provádět především v místech, kde je k dispozici zbytkové teplo (nutné pro odbourávání dusíku).

Příležitost pro membránové technologie

Uplatnit by se mohly amoniakové palivové články pro výrobu elektrické energie.

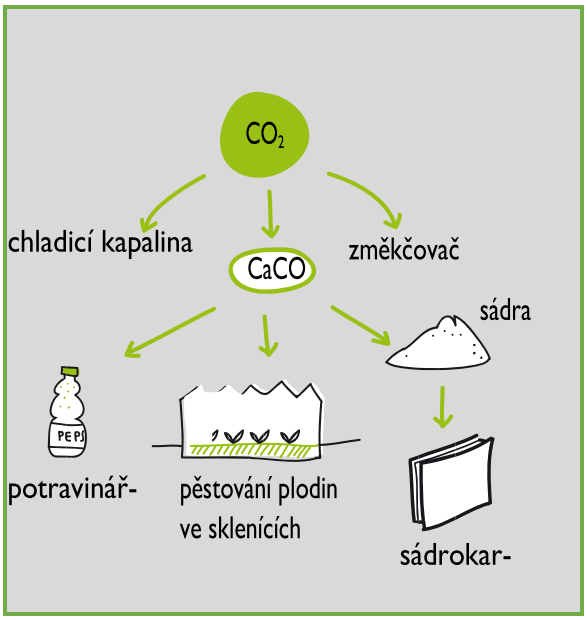


Syntézní plyn pro výrobu chemikálií

Syntézní plyn se skládá převážně z vodíku a oxidu uhelnatého. Je to vstupní zdroj používaný při výrobě chemických látek, jako je např. metanol. Syntézní plyn lze použít pro výrobu plastů, lepidel, barev a kosmetiky. Jedním ze způsobů výroby syntézního plynu je zplyňování čistírenských kalů.

Příležitost pro membránové technologie

Při zpracování syntézního plynu by se mohly snadno uplatnit procesy separace plynů, které by umožňovaly regeneraci H_2 nebo CO.

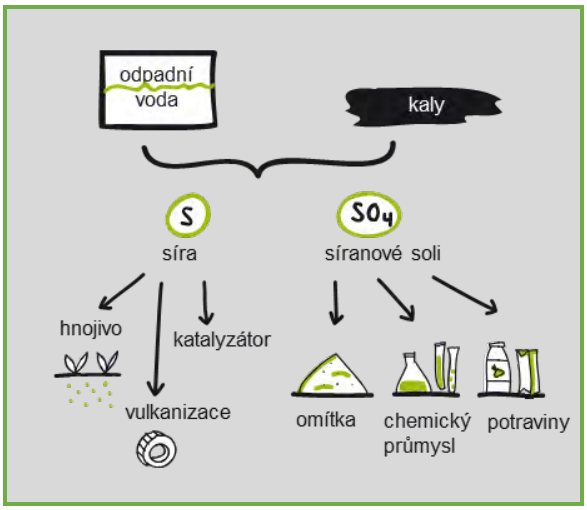


CO_2 jako užitečný produkt

CO_2 lze použít jako kapalné chladivo, změkčovač vody nebo k výrobě uhličitanu vápenatého. Uhličitan vápenatý se používá jako křídové plnivo do sádrokartonových desek, k obohacování půdy a jako hnojivo pro pěstování ve sklenících. CO_2 se používá také v řadě dalších průmyslových odvětví, například v potravinářství (výroba nealkoholických nápojů).

Příležitost pro membránové technologie

Příležitostí by molo být např. využití membránových kontaktorů pro vysušení CO_2, aby nedocházelo ke korozi kovových trubek a armatur.



Síra nebo sírany pro různá použití

Síru nebo sírany lze získávat z odpadních vod nebo kalů. Síra se může použít při výrobě hnojiv a k vulkanizaci kaučuků. Síra se také používá jako katalyzátor v různých průmyslových procesech. Sírany jsou užitečnou součástí sádry, katalyzátorem v chemickém průmyslu a surovinou v potravinářském průmyslu.

Příležitost pro membránové technologie

Odstraňování síranů z odpadních vod je zavedenou membránovou technologií využívající proces ED.

9 VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ V ENERGETICE

Jak bude vypadat obnovitelná energie z odpadních vod v roce 2030? Kde můžeme očekávat velké příležitosti při využívání membránových technologií?

9.1 Kde budeme v roce 2030

Integrovaná udržitelná energetická řešení

Poptávka po chytrých řešeních v oblasti obnovitelných zdrojů energie je obrovská, přičemž nakládání s OV k těmto řešením významně přispívá. Regionální vodohospodářské instituce a samosprávy tvoří vzájemné a spolehlivé partnerství, jelikož mají jedinečnou pozici pro propojování nabídky a poptávky v oblasti energetiky a rovněž schopnost zajistit technickou infrastrukturu.

Dostatečné technické možnosti

ČR disponuje celou řadou vhodných technických možností pro získávání energie z odpadních vod, ať již z domácností, nebytových budov, obcí a/nebo čistíren odpadních vod.

Důležitá role tzv. „business developerů“

Business developeři budou zásadním způsobem ovlivňovat a rozvíjet lokální energetické projekty. Business developer spojuje strany a vytváří portfolio projektů, vytváří trh pro kupující a spotřebitele energie ve městech a urbanizovaném prostředí. V mnoha městských zastupitelstvích zastávají tito developeři kontrolní funkce, neboť obce a města mají velký zájem o zvyšování udržitelnosti v zastavěném prostředí.

Spojení vládních orgánů

Vždy, kdy je uvažováno o velkém rozvoji v určitém regionu, obce (okresy, kraje) a regionální vodohospodářské úřady hledají společně možnosti vedoucí k udržitelnosti. Zadávají průzkum proveditelnosti/příležitostí a rovněž vypracování podnikatelského záměru. Těmito činnostmi získávají další partnery, přičemž jejich společný postup výrazně šetří náklady.

Čistírny odpadních vod jako lokální zdroje energie

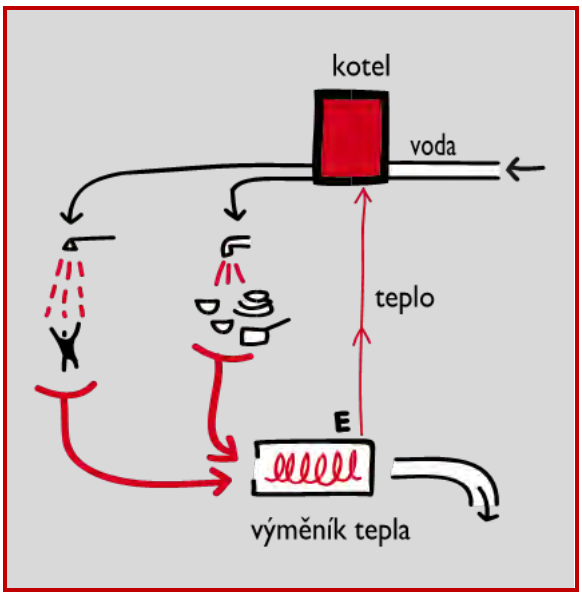
ČOV představují ve své podstatě „továrny na energie“. Systém čištění vody získává z odpadní vody chemickou energii. Existuje řada různých variant tohoto procesu. Největší výtěžnost produkují tzv. „varianta plus“ a „varianta super“. Varianta plus je rozšířením základního způsobu čištění o palivový článek namísto plynového motoru a o další stupeň zachycování kalů. Varianta super rozšiřuje tuto variantu tím, že zplyňování nahrazuje nadkritickým zplyňováním kalu a zpracováním zbylé solné břečky. V obou variantách se v součtu kroků zpracování vyrobí více energie, než je spotřebováno.

Efektivní využití provozní energie

ČOV budou využívat provozní energii efektivněji, přičemž toto závisí na řadě opatření, jako např.:

- Termální tlaková hydrolýza. V zařízení podobném tlakové nádobě se kal tepelně předupravuje, aby se zlepšilo jeho zplyňování.
- Zlepšený provoz. Výměna povrchových aerátorů za bublinkové aerátory a oběžná kola, snížení obsahu kalu v aeračních nádržích, instalace regulátorů zapnutí a vypnutí na oběžná kola, optimalizace skluzových vratných smyček atd.
- Předčištění odpadních vod pomocí filtrace a mikrofiltrace. Tyto technologie oddělují z odpadní vody papírová vlákna a další plovoucí látky. Energie se pak získává spalováním. Předčištěná odpadní voda tak vyžaduje mnohem méně energie na zpracování.

9.2 Příležitosti pro energetiku

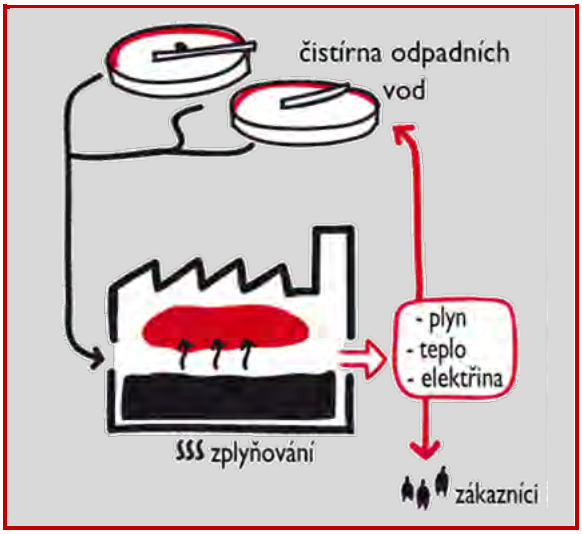


Zpětné získávání tepla v budovách

Výměníky tepla umožňují obyvatelům opětovné použití tepla z teplé vody z rozvodu jak např. v kuchyni, tak v koupelně. Existují dvě možnosti: předehřev vodovodní a sprchové vody, resp. využití tepelného čerpadla k výrobě tepla. Tyto výměníky tepla se snadno instalují do nových domů a budov. U větších budov je dobrým řešením výměník tepla umístěný přímo ve studni.

Příležitost pro membránové technologie

Membránové technologie budou spíše následovat po výměně tepla pro recyklaci vody, nebo pro získávání surovin z odpadních vod. V úpravně vody lze očekávat případné nasazení UF, NF, RO.

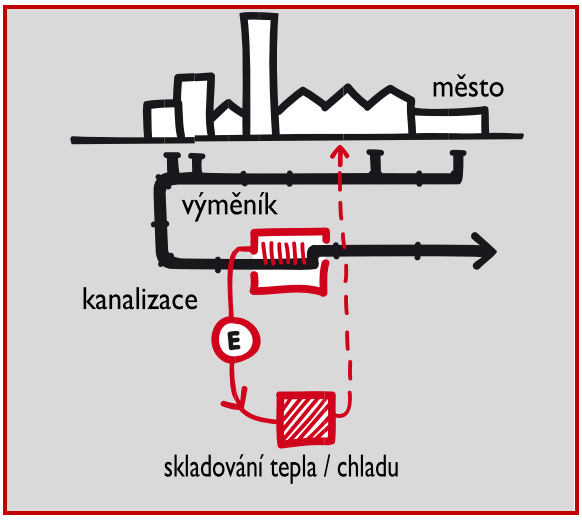


ČOV jako zdroj energie pro budovy

ČOV přeměňuje chemickou energii v odpadní vodě na elektřinu. ČOV využívá tuto elektřinu ke svému provozu a také dodává energii zákazníkům. Díky nadkritickému zplyňování nevyžadují kaly již žádné konvenční finální zpracování. Čistírny mohou také znovu využít teplo z jimi vypouštěných odpadních vod.

Příležitost pro membránové technologie

Membránové technologie se mohou uplatnit pro přípravu vody, která bude pohánět turbínu vyrábějící elektřinu, a je tak součástí chladicího okruhu (RO, UF). GS se může uplatnit pro separaci cenných plynných složek během zplyňování kalů.

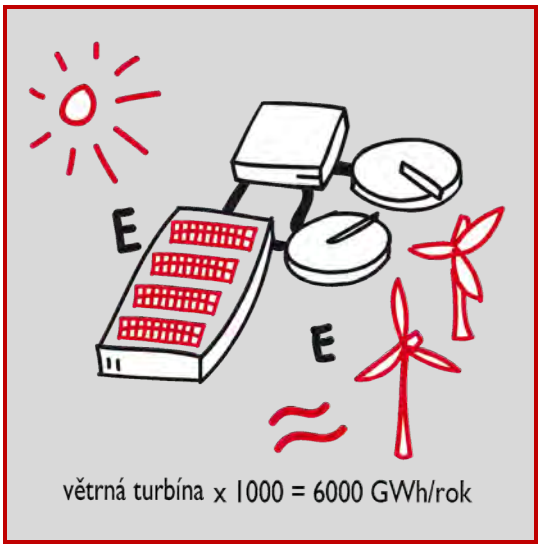


Zpětné získávání tepla z odpadních vod

V létě získává výměník tepla připojený ke kanalizaci teplo z odpadní vody. Toto teplo se ukládá do tepelného zásobníku. V zimě tepelné čerpadlo dodává z tohoto vysoce kvalitního zdroje teplo do městských budov. Teplo z odpadních vod také pomáhá předcházet tvorbě náledí na silnicích.

Příležitost pro membránové technologie

Membránové technologie (UF, NF, RO) mohou být použity pro předúpravu vody tepelného okruhu.



Větrné turbíny a solární panely na pozemcích čistíren odpadních vod

Větrné turbíny jsou instalovány v místech, kde se čistí odpadní vody. Vyrábějí elektrickou energii. Tisíc větrníků může ročně vyrobit až 6 000 GWh elektrické energie. Svým dílem mohou přispívat i solární panely na nádržích ČOV.

Příležitost pro membránové technologie

Mohou být využity membránové elektrolyzéry po ukládání energie, resp. palivové články pro produkci energie v období nepříznivého počasí (pro produkci energie ze solárních panelů/větrníků).

Energie z černé a zelené vody

V obcích, kancelářích a hotelech by se mohl využít vakuový sběr, který odvádí černou vodu do fermentoru, ve kterém se produkuje bioplyn. Ještě vyšší výtěžnosti lze dosáhnout ze zelené vody s přídavkem organického kuchyňského odpadu. Tato zelená voda může být přiváděna do fermentoru přes kontejner nebo vakuové potrubí.

Příležitost pro membránové technologie

Zušlechťování bioplynu pomocí GS je v současné době čím dál tím více nasazováno pro výrobu biomethanu (někdy také označovány Bio-CNG).

10 RECYKLACE ODPADNÍCH VOD

Jak bude vypadat přístup k recyklaci vody z odpadních vod v roce 2030? Kde můžeme očekávat velké příležitosti při využívání membránových technologií?

10.1 Kde budeme v roce 2030

Oddělování splaškových vod od dešťových odpadních vod

Většina kanalizačních systémů bude v nedaleké budoucnosti částečně nebo zcela odpojena od dešťových vod. Srážkový odtok již nebude mít na průtoky odpadních vod žádný významný vliv, protože dílčí proudy budou shromažďovány a čištěny odděleně. Starší infrastruktura se stane součástí systémů pro dešťovou vodu. Právě kvalita obytného prostředí bude hlavním faktorem, který bude určovat jejich strukturu. Lze očekávat zapojení tlakových nebo elektromembránových procesů do nově vznikajících infrastruktur.

Nárůst kvalitativních norem

Požadavky kladené na kvalitu vody se budou značně lišit, ale je možné provést následující zobecnění:

- Hygienické zabezpečení je nezbytné pro vodu, která se bude dostávat do potravinového řetězce nebo bude určena pro použití v domácnostech.
- Odsolování a odstraňování celkového organického uhlíku (TOC) budou důležité pro vysoce kvalitní průmyslovou vodu.
- Pokud se bude voda vracet zpět do přírody, odstraní se z ní fosfáty, živiny, mikroskopické znečišťující látky, hormony atd., aby se zabránilo kontaminaci životního prostředí.

Činnosti na zakázku

Vyčištěnou odpadní vodu lze využít několika způsoby a k několika účelům. Část z nich končí ve veřejném prostoru a v povrchových vodách. Vyčištěná odpadní voda se také bude prodávat veřejným i soukromým spotřebitelům. Dodávaná voda musí splňovat normy kvality odvozené od vlastností místního prostředí a příslušné legislativy. Zpravidla se dostává přímo ke konečným uživatelům, tj. úroveň kvality odpovídá zamýšlenému použití. Z uvedeného vyplývá, že většina dodávek je v podstatě „zakázková činnost“. V případě potřeby se podle požadovaných parametrů odpadních vod bude i individuálně navrhovat vhodná membránová technologie.

Voda vysoké a nízké kvality pro průmysl

Oblasti s převahou průmyslových klastrů budou zásobovány průmyslovou vodou z velké ČOV. Tato voda může mít vysokou a/nebo nízkou kvalitu. ČOV se budou zpravidla řídit strategií více zdrojů, tj. kombinací např. povrchové vody a vyčištěné odpadní vody. Tím se bude snižovat závislost na jediném zdroji. Potřebu vody v dané oblasti mohou uspokojovat jedna nebo více vodáren. Komplexní a vysoce efektivní ČOV budou disponovat širokou škálou různých membránových technologií na základě požadavků průmyslových klastrů.

Vysoce kvalitní voda pro skleníky a vertikální farmy

Oblast s mnoha komerčními skleníky vyžaduje velké množství kvalitní vody pro zavlažování. Nejdůležitějším zdrojem je dešťová voda. V obdobích sucha je však zapotřebí další zdroj, zejména pokud se suché období vyskytuje během vegetačního období. Tímto zdrojem může být demineralizovaná voda vyrobená z odpadních vod.

Voda ve městech a soběstačnost

Některá města jsou schopna zajistit veškerou svou spotřebu vody sama. Charakteristickými znaky takové oblasti jsou malý rozsahem, ale kvalitní průmysl, kvalitní úroveň životního prostředí a „městské“ zemědělství. Inspirací pro sběr oddělených toků odpadních vod a optimální opětovné využití vody a dalších užitečných složek je koncept "od kolébky ke kolébce".

Aplikace ve venkovských oblastech

Ve venkovských oblastech existují vedle běžných ČOV rovněž i menší čistírny. Tyto menší systémy vracejí vodu zpět do přírodního prostředí. Pro domácnosti v odlehlých lokalitách je toto uspořádání levnější než doprava odpadních vod. Místní zemědělské společnosti získávají v malých ČOV živiny a znovu je využívají. V některých případech dokonce znovu využívají vyčištěnou vodu, která je stále bohatá na živiny. Odpadní voda je dalším zdrojem pro zemědělství v obdobích sucha. Na západě země může nedostatek vody vznikat v důsledku prosakování solí a zasolování řek. Na východě země klesá hladina podzemní vody, zejména na písčitých půdách

Výměna systémů aktivovaného kalu

Některé dnešní systémy aktivovaného kalu byly nahrazeny novými technologiemi nebo tzv. hybridními technologiemi. Existuje mnoho různých technik následného zpracování odpadních vod. Zvláštní pozornost věnují organizace následnému přírodnímu zpracování pomocí rostlin, plodin a vodních organismů. Tím se vytváří ekologické spojení mezi nakládáním s odpadními vodami a vodními systémy (povodím).

Různé technologie pro přípravu pitné vody

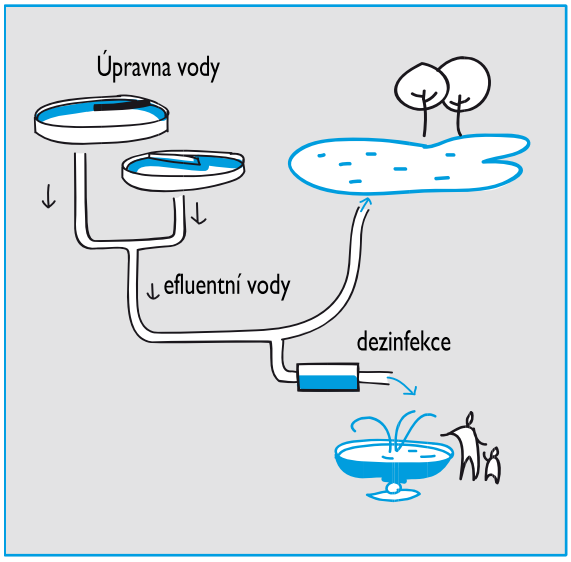
Různé organizace využívají mnoho rozmanitých technologií odvozených od výroby pitné vody a v pokročilejších formách je aplikují na opětovné využití vody. V oblasti recyklace odpadních vod úzce spolupracují s odvětvím přípravy pitné vody při vývoji a zavádění technologií, jako je membránová separace, adsorpce na aktivním uhlí, reverzní a přímá osmóza, dezinfekční techniky s ozonem, H_2O_2 (příležitosti pro membránové kontaktory) a UV zářením atd.

Online systémy pro měření a monitorování

Během sucha slouží odvodněné drenážní oblasti jako „nárazník“ při prudkých srážkových přísunech vody a tím se zabraňuje jejich zatopení. Toto opatření je možné díky použití online systémů pro měření a monitorování a kontrolu kvality a množství vod v reálném čase. Rovněž propojení s klimatologickými a meteorologickými modely zvyšuje účinnost uvedených systémů.

Obr. 10.1 Kompletní membránová technologie pro úpravu vody.

10.2 Příležitosti membránových technologií při recyklaci odpadních vod

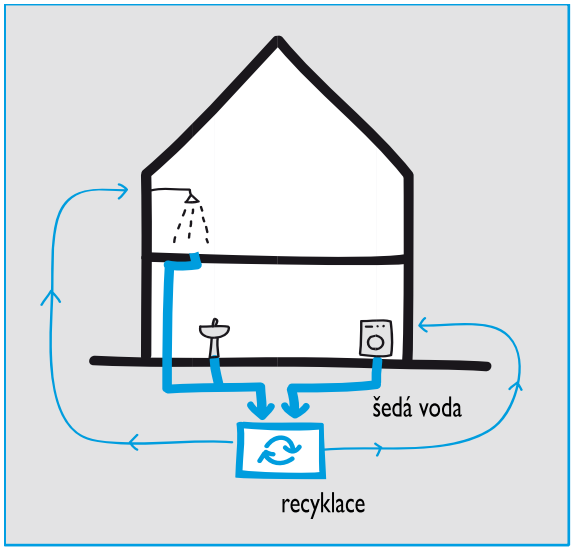


Voda pro využití v krajině či rekreaci

V ČR bude možné použít upravenou odpadní vodu pro potřeby měst, zavlažování parků a rekreačních ploch. Toto opatření bude eliminovat část zátěže kladené na podzemní vodní zdroje. To také znamená, že bude možné déle zavlažovat v obdobích sucha. V případě možnosti kontaktu lidí s odpadní vodou pro rekreační účely bude nutné vodu podrobit desinfekčním procesům.

Příležitost pro membránové technologie

V úpravně vody lze očekávat nasazení některých membránových technologií, jako jsou např. tlakové membránové procesy (MF, UF, NF a RO).

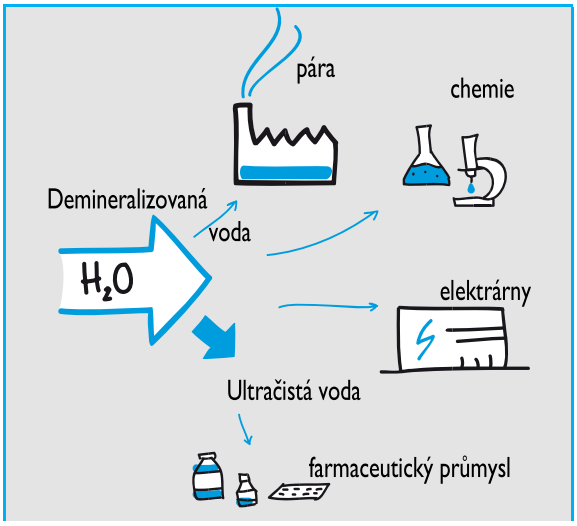


Voda pro domácnosti

V roce 2030 bude opětovné využití vody mnohem důležitější než nyní. Jedním z mnoha příkladů bude domácí využití šedé vody. Toto řešení bude také napomáhat snižovat spotřebu pitné vody. Je však nutné zajistit hygienické požadavky pro tuto recyklovanou odtokovou vodu, což je opět příležitostí pro membránové technologie.

Příležitost pro membránové technologie

Při úpravě odtokové vody lze předpokládat využití především tlakových membránových procesů (MF, UF, NF a RO), příp. GS.

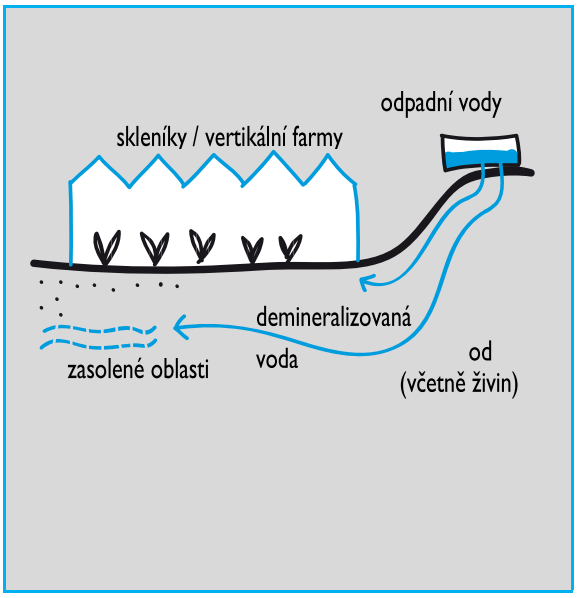


Procesní nebo chladicí voda

Z odpadních vod je možné vyrábět odsolené vody s kvalitou demineralizované vody. Odsolenou vodu lze použít pro výrobu páry a procesy vyžadující vysoce kvalitní vodu. Tato úroveň kvality vody je žádaná mezi chemickými společnostmi, elektrárnami, výrobci "nové energie" a dalšími typy zařízení. Speciálním typem je tzv. ultračistá voda, kterou využívá farmaceutický a polovodičový průmysl.

Příležitost pro membránové technologie

Při úpravě vody lze očekávat nasazení některých membránových technologií, jako jsou např. tlakové membránové procesy (UF a RO), resp. EDI.

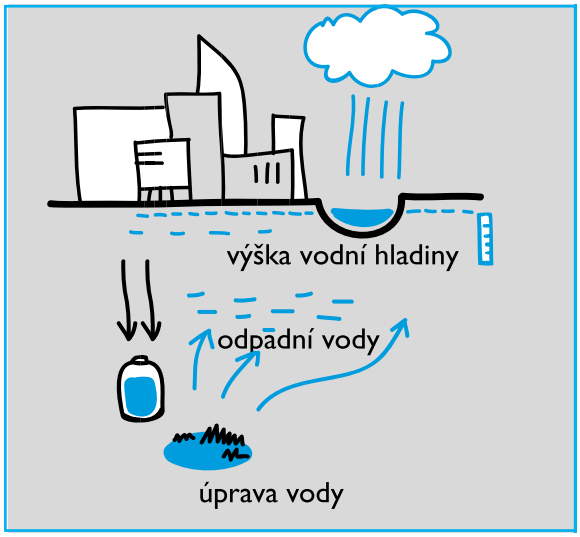


Voda pro zemědělství

Odpadní vody je možné využít k udržení vyšší hladiny vodních zdrojů v zemědělských oblastech v období sucha. Lze je také využít k vyrovnání nedostatku sladké vody v zasolených oblastech. Odpadní voda s obsahem živin je pro zemědělství prospěšná. Ve sklenících a vertikálních farmách se používá demineralizovaná voda, která navíc neobsahuje bakterie a viry. Dodávání odpadních vod do skleníků snižuje nároky na skladovací prostory pro vodu.

Příležitost pro membránové technologie

Pro úpravu vody lze opět očekávat nasazení některých membránových technologií, jako jsou např. tlakové procesy (UF a RO), resp. EDI.

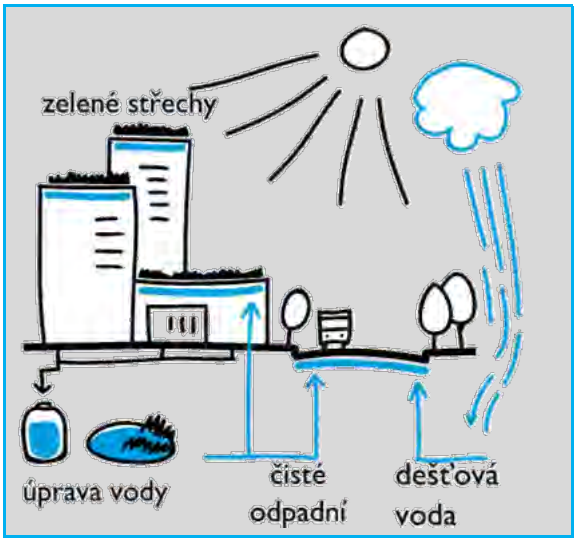


Odpadní vody pro vodní bilanci

Města používají odpadní vody k udržování hladiny vody. Vzhledem k tomu, že změna klimatu zvyšuje riziko dlouhých období sucha, stává se využívání vyčištěné odpadní vody jako součásti udržování vodní bilance v městských systémech stále atraktivnější.

Příležitost pro membránové technologie

Pro udržování vodní bilance bude možné využít některé membránové technologie, jako jsou např. tlakové procesy (UF a RO), resp. EDI.

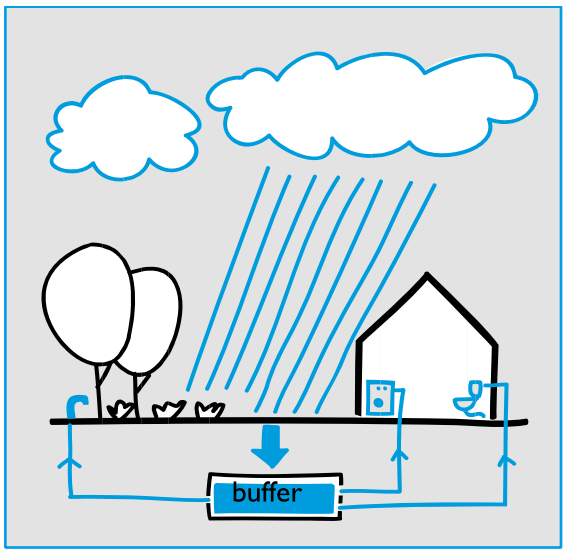


Boj proti městským tepelným ostrovům

Hustě zastavěné budovy ve městech zadržují v městských oblastech velké množství tepla. To vede k tepelnému stresu a vzniku tzv. „městských tepelných ostrovů“. Teploty lze snížit použitím dešťové vody (uchovávané v rezervoárech např. pod silnicemi či zelených střechách) a čistých odpadních vod. Částečně porézní dlažba může také snížit tepelný stres ve městech.

Příležitost pro membránové technologie

Pro úpravu (čištění) dešťové vody lze využít především MF a UF, popř. EDI



Dešťová voda pro toalety a praní

Zásobníky dešťové vody (např. umístěné pod zemí na zahradě) mohou pomoci snížit spotřebu pitné vody. Domy mohou používat dešťovou vodu na splachování toalet, praní prádla a k zavlažování zahrad. Pro zahrady je užitečné využít filtrační boxy nebo biopískové filtry užitečné jak pro úpravy pH, tak i srážení následované filtrací.

Příležitost pro membránové technologie

Pro úpravu (čištění) dešťové vody lze využít především MF a UF.

Obr. 10.2 Ilustrativní obrázek domácí RO jednotky pro úpravu pitné vody

11 BARIÉRY V APLIKACÍCH MEMBRÁNOVÝCH TECHNOLOGIÍ

Byl vypracován návrh základní metody strategické analýzy, a to právě z důvodu jejího integrujícího charakteru získaných, sjednocených a vyhodnocených poznatků, ze kterých budou generovány alternativy strategií dalšího rozvoje membránových technologií nejen v ČR, ale i v rámci celého regionu střední a východní Evropy.

Tab. 11.1 Obecná SWOT analýza potenciálního využití membránových technologií pro řešení problémů nejen v segmentu vodního hospodářství

	Pozitivní			Negativní/Škodlivé		
INTERNÍ	**Silné stránky**			**Slabé stránky**		
	STRENGTHS			**WEAKNESSES**		
		důležitost	*hodnocení*		*důležitost*	*hodnocení*
	1 Energeticky efektivní	0,4	5	1 Snížení toku díky foulingu	0,4	4
	2 Možnost dosažení vysokýchch čistot	0,2	5	2 Snížení toku díky konc. polarizace	0,2	2
	3 nízký OPEX	0,2	3	3 Potřeba chemických prostředků pro čistění	0,2	1
	4 snadno škálovatelné	0,1	4	4 Potřeba výměny modulů po určité době	0,2	1
	5 prostorově nenáročné	0,1	5	5		
	Součet	4,5			2,4	
EXTERNÍ	**Příležitosti**			**Hrozby**		
	OPPORTUNITIES			**THREATS**		
		důležitost	*hodnocení*		*důležitost*	*hodnocení*
	1 možnost získátní nových zdrojů vody	0,4	5	1 nahrazení konkurenčními technologiemi	0,5	3
	2 potenciál ve vyšší kvalitě odpadní vody	0,2	5	2 riziko nedostupnosti modulů	0,2	2
	3 možnost odstranění mikropolutantů	0,3	4	3 výpadek klíčových dodavatelů	0,3	3
	4 likvidace ekolog. zátěží	0,1	4	4		
	5			5		
	Součet	4,6			2,8	

SWOT - výsledek		**CELKEM**	**3,9**
Silné stránky	4,5		
Slabé stránky	2,4		
Celkem interní	**2,1**		
Příležitosti	4,6		
Hrozby	2,8		
Celkem externí	**1,8**		

11.1 Tlakové a osmotické membránové procesy úpravy vody

11.1.1 Mikrofiltrace (MF)

Mikrofiltrace je proces, který se nejvíce podobá klasické filtraci. Velikost pórů mikrofiltračních membrán se pohybuje v rozmezí od 0,05 μm 10 μm, z čehož vyplývá, že proces se uplatňuje především pro dělení suspenzí a disperzí. Mikrofiltrační membrány se připravují jak z organických látek (polymerů), tak i anorganických materiálů (keramika, kovy, sklo) a jedná se nejčastěji o (a)symetrické, příp. kompozitní, porézní membrány.

Silné stránky

- ***nízké náklady na energie*** – základním principem každého separačního procesu je dosažení minimální spotřeby energie a dokonalé oddělení žádaného produktu od příměsí. Při MF nedochází k přechodu fází, a proto je možné předpokládat i relativně nízké energetické nároky technologické operace.
- ***provoz za normální teploty*** – při vlastním procesu separace nedochází k tepelnému namáhání zpracovávaných látek (výhodné především při využití v potravinářství, tj. např. studená sterilizace).
- ***jednoduchá konstrukce zařízení*** – zařízení pro MF se skládají pouze z membránových modulů (deskový, trubkový a moduly kapilární), čerpadel (odstředivá, příp. membránová), nádrží na nástřik a permeát, výměníku tepla pro chlazení nebo ohřev nástřiku, potrubí a armatur, měřicích zařízení (tlakoměry, teploměry, měření průtoku permeátu a nástřiku). Kompletní linka s membránovým zařízením zahrnuje i

zařízení pro předcházející úpravu zpracovávaných roztoků (např. filtrace, chemická úprava apod.), zařízení pro kontrolu a řízení procesu (měření složení proudů) a zařízení pro eventuální čištění zanesených membrán.

- ***menší zastavěný prostor*** – zařízení pro MF představuje kompaktní provedení včetně předfiltrace a předúpravy vstupující vody.
- ***minimální nároky na obsluhu a údržbu*** – vzhledem k jednoduchému cirkulačnímu zařízení a sledování několika veličin (průtok nástřiku a permeátu, tlakový rozdíl) není provozování zařízení složité. Navíc existuje i možnost automatizace celého procesu.

Tab. 11.2 SWOT analýza potenciálního využití mikrofiltrace pro řešení problémů v segmentu vodního hospodářství

	Pozitivní			Negativní/Škodlivé		
INTERNÍ	**Silné stránky**			**Slabé stránky**		
	STRENGTHS			**WEAKNESSES**		
		důležitost	*hodnocení*		*důležitost*	*hodnocení*
	1 nízké náklady na energie	0,4	5	1 snížení výkonu – zanášení membrán	0,5	-4
	2 provoz za normální teploty	0,2	4	2 snížení výkonu – koncentrační polarizace	0,2	-3
	3 jednoduchá konstrukce zařízení	0,2	3	3 spotřeba chemikálií pro čištění membrán	0,1	-2
	4 menší zastavěný prostor	0,1	4	4 nutnost výměny modulů po určité době	0,1	-2
	5 min. nároky na obsluhu a údržbu	0,1	5	5 nutnost exp. za účelem výběru membrán	0,1	-2
	Součet	4,3			-3,2	
EXTERNÍ	**Příležitosti**			**Hrozby**		
	OPPORTUNITIES			**THREATS**		
		důležitost	*hodnocení*		*důležitost*	*hodnocení*
	1 možnost získání nových zdrojů vody	0,4	5	1 nahrazení konkurenčními technologiemi	0,5	-3
	2 vyšší kvalita čištění odpadní vody	0,2	5	2 riziko nedostupnosti modulů	0,2	-2
	3 využití MF membrán v MBR	0,2	4	3 výpadek klíčových dodavatelů	0,2	-2
	4 intenzifikace ČOV	0,1	4	4 nedůvěra potenciálních uživatelů	0,1	-2
	5 předúprava pro jiné procesy	0,1	3	5		
	Součet	4,5			-2,5	

SWOT - výsledek		**CELKEM**	**3,1**
Silné stránky	4,3		
Slabé stránky	-3,2		
Celkem interní	**1,1**		
Příležitosti	4,5		
Hrozby	-2,5		
Celkem externí	**2**		

Slabé stránky

- ***snížení výkonu (koncentrační polarizace + zanášení membrán)*** – hlavním problémem, se kterým se potýká jak laboratorní, tak i provozní mikrofiltrace, je pokles intenzity toku permeátu. Ten je způsoben jednak koncentrační polarizací a také zanášením membrán (uvnitř pórů nebo na povrchu membrány). V praxi není neobvyklé ani tak významné snížení intenzity toku permeátu, jako je pokles na 1 % průtoku na čistou vodu. Zanášení membrán může výrazně ovlivňovat i adsorpce, a proto je potřeba věnovat velkou pozornost výběru materiálu membrán.
- ***spotřeba chemikálií pro čištění membrán*** – při chemickém čištění membrán se používá široká škála chemikálií. Mezi nejrozšířenější patří: kyseliny (silné – H_3PO_4, slabé – kyselina citronová), hydroxidy (NaOH), detergenty, enzymy, komplexní látky (EDTA) a desinfekční prostředky (H_2O_2, NaOCl). Při výběru použité chemikálie vždy záleží na vlastnostech zpracovávaného nástřiku a rovněž na materiálu membrány.
- ***nutnost výměny modulů po určité době*** – i když jsou nastaveny optimální podmínky provozu a probíhá pravidelné čištění membrán, dlouhodobě dochází k poklesu výkonu membránového zařízení, tj. intenzita toku permeátu klesá. Proto je nutné po určité době (záleží na zpracovávaném systému) provést výměnu membránových modulů za nové.

- ***nutnost experimentů za účelem výběru membrán*** – chování každého typu membrány při dané separaci je výrazně ovlivněno charakterem separované směsi. Pro přesné určení separačních charakteristik a výkonů MF membrán jsou nezbytné experimenty příslušného systému membrána-separovaná látka.

Příležitosti

- ***možnost získání nových zdrojů vody*** – stále širší uplatnění nachází MF v procesech čištění odpadních vod, zvláště ve zpracování odpadních proudů ve speciálních chemických technologiích, kde umožňuje snadnou a rychlou recyklaci cenných látek jejich zkoncentrováním. Skutečným odpadním produktem poté zůstává pouze čistá voda, kterou lze též vracet do technologického procesu.
- ***vyšší kvalita čištění odpadní vody*** – MF je schopna snížit zátěž biologického čištění a zlepšit účinnost úpravy vody (např. následná operace po hrubé filtraci na kalolisech).
- ***využití MF membrán v MBR*** – stále více se MF využívá přímo v technologických procesech především v potravinářském průmyslu, a to jako proces čistě separační, či jako součást membránového bioreaktoru. V něm, kromě funkce separační, též slouží velký aktivní povrch membrán jako nosič pro zachycení živých kultur.
- ***intenzifikace ČOV*** – jako příklad lze uvést např. čistírny odpadních vod, které jsou určeny k čištění splaškových odpadních vod z trvale obývaných objektů, jako jsou například hotely, bytové domy, penziony či menší obce. ČOV je vybavena MF technologií, jež vyčištěnou vodu zbavuje většiny virů a bakterií. Vyčištěná voda je kvalitou srovnatelná s dešťovou vodou a použitelná pro zalévání, a i jako voda užitková do domácnosti.
- ***předúprava pro jiné procesy*** – v průmyslovém měřítku bývá MF nejvíce využívána pro předčišťování nástřiku (tzv. pojistná filtrace) před reverzní osmózou při výrobě velmi čisté vody (farmaceutický, kosmetický, elektrochemický a energetický průmysl) a procesní vody (výroba pitné vody, alkoholu apod.).

Hrozby

- ***nahrazení konkurenčními technologiemi*** – v případě nízkého obsahu nerozpustných částic v nástřiku by bylo možné využít hloubkovou MF s využitím filtračních vložek s vinutou vrstvou, příp. s vrstvou tvořenou netkanou nanotextilií.
- ***riziko nedostupnosti modulů*** – i když existuje velké množství výrobců MF membrán (a modulů), nemusí být pro danou aplikaci vhodné moduly na trhu.
- ***výpadek klíčových dodavatelů*** – vzhledem k ekonomické situaci a výpadku výrob některých klíčových komponent, nemusí být dodány požadované moduly v reálném čase.
- ***nedůvěra potenciálních uživatelů*** – s ohledem na dlouhodobé používání „klasických“ jednotkových separačních operací existuje předpoklad, že uživatel bude zvažovat začlenění „nové“ operace do stávajícího provozu.

Závěr

Výsledek SWOT analýzy vychází pro mikrofiltraci vcelku pozitivně. Membránová MF se stává součástí technologických procesů pro výrobu nových produktů o vysoké čistotě, umožňuje zvýšení výtěžnosti procesů, snížení energetické náročnosti výroby, omezení, či úplnou eliminaci dopadů výroby na životní prostředí. Z hlediska technologického dnes již byly vypracovány a ověřeny metodiky testování MF membrán a návrhu celého procesu, zvládnuta předúprava nástřiku a čisticí postupy. Je však nutné provozovat MF zařízení s ohledem na vhodnou membránu (modul) a provozní podmínky uvedeného procesu. Nicméně životnost membrán a jejich znečištění je stále kritickým problémem, který ovlivňuje stabilitu výkonu MF membránové jednotky.

11.1.2 Ultrafiltrace

Ultrafiltrace představuje jakýsi předěl mezi mikrofiltrací a nanofiltrací. Velikost pórů ultrafiltračních membrán se pohybuje v rozmezí od 10 nm do 0,05 μm. Typické použití ultrafiltrace je záchyt makromolekulárních a koloidních látek z roztoků (s molekulovou hmotností 10^3–10^6 Da). Ultrafiltrační membrány lze společně s mikrofiltračními považovat za čistě porézní membrány, jejichž rejekce je dána poměrem velikosti a tvaru zachycovaných molekul a velikosti pórů. Transport částic (molekul) je pak přímo úměrný velikosti působícího tlakového rozdílu nad a pod membránou.

Tab. 11.3 SWOT analýza potenciálního využití ultrafiltrace pro řešení problémů v segmentu vodního hospodářství

	Pozitivní			Negativní/Škodlivé		
INTERNÍ	**Silné stránky**			**Slabé stránky**		
	STRENGTHS			**WEAKNESSES**		
		důležitost	*hodnocení*		*důležitost*	*hodnocení*
	1 nízké náklady na energie	0,4	5	1 snížení výkonu – koncentrační polarizace	0,4	-4
	2 provoz za normální teploty	0,2	3	2 snížení výkonu – zanášení membrán	0,2	-3
	3 jednoduchá konstrukce zařízení	0,2	3	3 tepelná a chemická odolnost membrán	0,1	-3
	4 menší zastavěný prostor	0,1	4	4 nutnost výměny modulů po určité době	0,1	-2
	5 minimální nároky na obsluhu a údržbu	0,1	4	5 nutnost exp. za účelem výběru membrán	0,2	-2
	Součet		4			-3,1
EXTERNÍ	**Příležitosti**			**Hrozby**		
	OPPORTUNITIES			**THREATS**		
		důležitost	*hodnocení*		*důležitost*	*hodnocení*
	1 možnost zpracování procesních vod	0,4	5	1 riziko nedostupnosti modulů	0,5	-3
	2 vyšší kvalita čištění provozních proudů	0,3	5	2 výpadek klíčových dodavatelů	0,2	-2
	3 součást integrovaných membr. proc.	0,2	4	3 nedůvěra potenciálních uživatelů	0,3	-2
	4 předúprava pro jiné procesy	0,1	4	4		
	5			5		
	Součet		4,7			-2,5

SWOT - výsledek		**CELKEM**	**3,1**
Silné stránky	4		
Slabé stránky	-3,1		
Celkem interní	**0,9**		
Příležitosti	4,7		
Hrozby	-2,5		
Celkem externí	**2,2**		

Hlavní rozdíl mezi oběma procesy, tj. mezi MF a UF, spočívá v menší velikosti pórů a menší porozitě ultrafiltračních membrán, a tedy i vyšším hydrodynamickém odporu. Tloušťka aktivní vrstvy je zde obvykle menší než 1 μm.

Většina komerčně vyráběných ultrafiltračních membrán se vyrábí inverzí fází polymerních materiálů. Některé z těchto materiálů jsou polysulfony, polyvinylfluoridy, polyakrylonitril, acetáty celulózy, polyamidy, polyamidy. Kromě toho se používají i anorganické materiály, tj. Al_2O_3 a ZrO_2.

Silné stránky

- ***nízké náklady na energie*** – při UF opět nedochází k přechodu fází, a proto je možné předpokládat i relativně nízké energetické nároky technologické operace.
- ***provoz za normální teploty*** – při vlastním procesu separace nedochází k tepelnému namáhání zpracovávaných látek (výhodné především při využití v potravinářství, tj. např. při zpracování mléka).
- ***jednoduchá konstrukce zařízení*** – zařízení pro UF se skládají pouze z membránových modulů (trubkový, kapilární, dutá vlákna, spirálově vinuté), čerpadel (odstředivá, příp. membránová), nádrží na nástřik a permeát, výměníku tepla pro chlazení nebo ohřev nástřiku, potrubí a armatur, měřicích zařízení (tlakoměry, teploměry, měření průtoku permeátu a nástřiku). Kompletní linka s membránovým zařízením zahrnuje i zařízení pro předcházející úpravu zpracovávaných roztoků (např. filtrace, chemická úprava apod.), zařízení pro kontrolu a řízení procesu (měření složení proudů) a zařízení pro eventuální čištění zanesených membrán.
- ***menší zastavěný prostor*** – zařízení pro UF představuje opět kompaktní provedení včetně předfiltrace a předúpravy vstupující vody.

- ***minimální nároky na obsluhu a údržbu –*** vzhledem k jednoduchému cirkulačnímu zařízení a sledování několika veličin (průtok nástřiku a permeátu, tlakový rozdíl) není provozování zařízení složité. Navíc existuje i možnost automatizace celého procesu.

Slabé stránky

- ***snížení výkonu (koncentrační polarizace + zanášení membrán)*** – při návrhu a hodnocení procesu je třeba opět přihlížet k existenci a vlivu koncentrační polarizace a zanášení membrán. V průběhu ultrafiltrace se často na povrchu membrány hromadí zachycované makromolekuly a zvyšují tak jejich koncentraci v blízkosti membrány. Při ustáleném stavu je konvektivní tok molekul k membráně rovný zpětné difuzi do hlavního proudu. Dalším zvyšováním tlaku již pak neroste intenzita toku permeátu, protože se současně zvyšuje odpor mezní vrstvy (dosáhlo se tzv. limitní hodnoty). Tento jev pak významně ovlivňuje výkon zařízení. Velký důraz je opět kladen na výběr vhodného typu modulu a konstrukci celého systému.
- ***tepelná a chemická odolnost membrán –*** vývoj membrán a membránových jednotek je zaměřen na tepelnou a chemickou odolnost materiálu a schopnost snížit (zamezit) zanášení membrán. Rovněž při výběru použitých chemikálií pro čištění membrán vždy záleží na vlastnostech zpracovávaného nástřiku a na chemické odolnosti materiálu membrán.
- ***nutnost výměny modulů po určité době*** – i když jsou nastaveny optimální podmínky provozu a probíhá pravidelné čištění membrán, dlouhodobě dochází k poklesu výkonu membránového zařízení, tj. intenzita toku permeátu klesá. Proto je nutné po určité době (záleží na zpracovávaném systému) provést výměnu membránových modulů za nové.
- ***nutnost experimentů za účelem výběru membrán*** – membránový modul je třeba vybrat vzhledem k dané aplikaci. Je nutno zvolit několik vhodných modulů dle kritérií selektivity požadované od procesu, a tedy od membrány. Zjednodušeně lze říci, že UF moduly jsou vybírány podle dělicí schopnosti („cut–off"). S vybranými moduly se provádí testy za shodných podmínek, aby byl rozdíl mezi moduly dobře porovnatelný. Výsledkem je srovnání kapacit a selektivit modulů. Modul lze provozovat za konstantního tlakového rozdílu či konstantního průtoku permeátu. Druhý způsob je obvykle preferován z důvodu nižšího zanášení membrány a stabilního výkonu jednotky.

Příležitosti

- ***možnost zpracování procesních vod –*** stále širší uplatnění nachází UF v procesech čištění procesních vod, zvláště ve zpracování odpadních proudů v chemických a strojírenských technologiích, kde umožňuje snadnou a rychlou recyklaci cenných látek jejich zkoncentrováním. Skutečným odpadním produktem poté zůstává pouze čistá voda, kterou lze též vracet do technologického procesu.
- ***vyšší kvalita čištění provozních proudů –*** ultrafiltrace nachází využití v široké oblasti aplikací, kdy je potřeba separovat makromolekulární látky, resp. látky s vysokou molární hmotností. Příkladem mohou být např. zkoncentrování mléka a výroba sýrů v potravinářství, získávání proteinů ze syrovátky, čištění ovocných džusů a alkoholických nápojů a další aplikace v chemickém a farmaceutickém průmyslu, metalurgii a papírenství.
- ***součást integrovaných membránových procesů –*** vzájemné spojení membránových procesů, přináší ve vybraných aplikacích úspory investičních i provozních nákladů. Často je spojení vyloženě ekonomickou nutností; kombinace výhod jednotlivých membránových operací snižuje náklady pod mez konkurenceschopnosti oproti klasickým technologiím. Ve specializovaných technologiích lze kombinovat i více než dva procesy. Časté jsou kombinace tlakových membránových procesů (s postupně se snižující pórovitostí) či tlakových a elektromembránových procesů.
- ***předúprava pro jiné procesy –*** v průmyslovém měřítku bývá UF nejvíce využívána pro předčišťování nástřiku (odstranění koloidních látek) před reverzní osmózou při výrobě velmi čisté vody (farmaceutický, kosmetický, elektrochemický a energetický průmysl) a procesní vody (výroba pitné vody, alkoholu apod.).

Hrozby

- ***riziko nedostupnosti modulů*** **–** i když existuje velké množství výrobců UF membrán (a modulů), nemusí být pro danou aplikaci existující moduly vhodné.
- ***výpadek klíčových dodavatelů*** **–** vzhledem k ekonomické situaci a výpadku výrob některých klíčových komponent, nemusí být dodány požadované moduly v reálném čase.
- ***nedůvěra potenciálních uživatelů*** **–** s ohledem na dlouhodobé používání „klasických" jednotkových separačních operací existuje předpoklad, že uživatel bude zvažovat začlenění „nové" operace do stávajícího provozu. Kvalita produktů je dána požadavkem zákazníka, jde tedy hlavně o optimalizaci investičních nákladů (velikost technologie) oproti provozním (tlaková energie). Důležitým optimalizačním bodem pro UF je také frekvence, délka a intenzita zpětného proplachu. Zde je optimalizace hlavně technologická, jde o optimum výkonu jednotky mezi sníženým výkonem často čištěné jednotky a ztrátou provozního času a produktu při zpětném proplachu.

Závěr

Výsledek SWOT analýzy vychází pro ultrafiltraci opět vcelku pozitivně. UF se stává součástí technologických procesů pro výrobu nových produktů o vysoké čistotě, umožňuje zvýšení výtěžnosti procesů, snížení energetické náročnosti výroby, omezení, či úplnou eliminaci dopadů výroby na životní prostředí. Je však nutné provozovat UF zařízení s ohledem na vhodnou membránu (modul) a provozní podmínky uvedeného procesu. Nicméně životnost membrán (jejich znečištění) a rovněž tepelná a chemická odolnost materiálu membrán je stále kritickým problémem, který ovlivňuje provozování UF membránové jednotky.

Obr. 11.1 Ultrafiltrační membránový systém používaný na čistírně odpadních vod s aktivovaným kalem, instalovaný společností Aquabio Ltd.

11.1.3 Nanofiltrace

Nanofiltrace je tlakový membránový proces, při kterém jsou primárně oddělovány organické látky s nízkou molekulovou hmotností (200–1000 Da) a vícevalentní soli od jednovalentních a molekul rozpouštědla. Velikost aplikovaných tlaků se pohybuje v rozmezí od 1 do 4 MPa (je nutné překonat osmotický tlak).

Protože intenzita toku permeátu je nepřímo úměrná tloušťce materiálu, je zřejmé, že důležitým požadavkem na nanofiltrační membrány bude co nejmenší tloušťka aktivní vrstvy. Ta se pohybuje pod 1 μm, vrstva nosiče má obvykle tloušťku 50–150 μm. Z množství polymerních materiálů pak pro separace vodných systémů (např. odsolování) nejvíce vyhovují hydrofilní polymery s nízkou propustností pro separovanou složku.

Tab. 11.4 SWOT analýza potenciálního využití nanofiltrace pro řešení problémů v segmentu vodního hospodářství

	Pozitivní			Negativní/Škodlivé		
INTERNÍ	**Silné stránky**			**Slabé stránky**		
	STRENGTHS			**WEAKNESSES**		
		důležitost	*hodnocení*		*důležitost*	*hodnocení*
	1 návrh NF jednotky	0,5	5	1 vliv náboje membrány a pH roztoku	0,5	-4
	2 jednoduchá konstrukce zařízení	0,2	4	2 rozpustnost solí	0,3	-3
	3 menší zastavěný prostor	0,2	3	3 tepelná a chemická odolnost membrán	0,1	-2
	4 minimální nároky na obsluhu a údržbu	0,1	4	4 nutnost výměny modulů po určité době	0,1	-2
	5			5		
	Součet	4,3			-3,3	
EXTERNÍ	**Příležitosti**			**Hrozby**		
	OPPORTUNITIES			**THREATS**		
		důležitost	*hodnocení*		*důležitost*	*hodnocení*
	1 změkčování užitkové nebo pitné vody	0,4	5	1 nahrazení konkurenčními technologiemi	0,5	-3
	2 regenerace barevných OV	0,2	5	2 riziko nedostupnosti modulů	0,2	-2
	3 separace kovů a organických molekul	0,2	4	3 výpadek klíčových dodavatelů	0,2	-2
	4 odsolování barviv a chem. produktů	0,1	4	4 nedůvěra potenciálních uživatelů	0,1	-2
	5 diafiltrační aplikace ve farmac. prům.	0,1	3	5		
	Součet	4,5			-2,5	

SWOT - výsledek		**CELKEM**	**3**
Silné stránky	4,3		
Slabé stránky	-3,3		
Celkem interní	**1**		
Příležitosti	4,5		
Hrozby	-2,5		
Celkem externí	**2**		

Silné stránky

- ***návrh NF jednotky*** – k návrhu se používají programy výrobců membrán, ve kterých jsou již začleněny parametry výkonů a selektivit membrán. Před návrhem je vhodné provést ruční orientační výpočet, který je v programu zpřesňován, přičemž jsou dopočítávány tlaky, průtoky, složení produktů, spotřeby chemikálií a energie a další ekonomické parametry.
- ***jednoduchá konstrukce zařízení*** – zařízení pro NF se ve většině případů skládají pouze ze spirálově vinutých membránových modulů (výjimečně jsou použity trubkové moduly), čerpadel (pístová, příp. membránová), nádrží na nástřik a permeát, výměníku tepla pro chlazení nebo ohřev nástřiku, potrubí a armatur, měřicích zařízení (tlakoměry, teploměry, měření průtoku permeátu a nástřiku). Kompletní linka s membránovým zařízením zahrnuje i zařízení pro předcházející úpravu zpracovávaných roztoků (především použití UF), zařízení pro kontrolu a řízení procesu (měření složení proudů) a zařízení pro eventuální čištění zanesených membrán.
- ***menší zastavěný prostor*** – zařízení pro NF představuje opět kompaktní provedení včetně předfiltrace a předúpravy vstupující vody.
- ***minimální nároky na obsluhu a údržbu*** – vzhledem k jednoduchému cirkulačnímu zařízení a sledování několika veličin (průtok nástřiku a permeátu, tlakový rozdíl) není provozování zařízení složité. Navíc existuje i možnost automatizace celého procesu.

Slabé stránky

- ***vliv náboje membrány a pH roztoku*** – na separační vlastnosti NF membrán má výrazný vliv náboj membrány a současně i pH prostředí, které výrazně ovlivňuje dělicí schopnost membrány v případě ionizujících organických látek.
- ***rozpustnost solí*** – srážení solí v systému je nepřijatelné, na žádném místě nesmí být překročeny součiny rozpustnosti. V praxi pak jde vždy o koncentrát z posledního modulu, kde jsou koncentrace látek nejvyšší, tj. nesmí být překročeny srážecí rovnováhy.
- ***tepelná a chemická odolnost membrán –*** vývoj nových typů kompozitních membrán a membránových jednotek je zaměřen na tepelnou a chemickou odolnost materiálu membrán a schopnost snížit (zamezit) zanášení membrán. Rovněž při výběru použitých chemikálií pro čištění membrán vždy záleží na vlastnostech zpracovávaného nástřiku a na chemické odolnosti materiálu membrán.
- ***nutnost výměny modulů po určité době*** – i když jsou nastaveny optimální podmínky provozu a probíhá pravidelné čištění membrán, dlouhodobě dochází jak k poklesu výkonu membránového zařízení, tak i k „stárnutí" polymerů, ze kterých jsou NF membrány vyrobeny. Proto je nutné po určité době (záleží na zpracovávaném systému) provést výměnu membránových modulů za nové.

Příležitosti

- ***změkčování užitkové nebo pitné vody*** – díky rostoucím požadavkům na vysoce kvalitní pitnou vodu a vodu pro domácnost, příp. gastronomii, je možné racionalizovat procesy spojené se změkčováním tvrdé vody pomocí NF, která umožňuje zadržet ionty Ca^{2+} a Mg^{2+}. Výhodou nanofiltrační přípravy pitné vody je oproti reverzní osmóze to, že odpadá potřeba dodatečné remineralizace permeátu.
- ***regenerace barevných OV*** – regenerace odpadních vod z barvicích lázní vznikajících v textilním průmyslu, kde se spotřebovává obrovské množství vody a stejně tak obrovské množství odpadní vody je produkováno, je významnou aplikací NF. Odpadní vody z reakčních barvicích lázní jsou vysoce obarvené a obsahují kromě hydrolyzovaného barviva i pomocné chemikálie. Zatímco voda a chlorid sodný procházejí membránou, většina bivalentních iontů a molekuly barviva jsou membránou zadržovány.
- ***separace kovů a organických molekul*** – NF je možné izolovat z vodných roztoků kovové ionty ve formě komplexních sloučenin s vhodnými funkčními skupinami vodorozpustných polymerů. Tyto komplexy se mohou nanofiltrací silně zkoncentrovat a pak opět snadno rozložit, např. změnou pH. Po následné nanofiltraci se získá jako permeát roztok kovové soli, zatímco retentát obsahuje volný polymer. Roztok polymeru se vrací zpět do pracovního cyklu a permeát, jenž obsahuje kovovou sůl v mnohonásobně vyšší koncentraci, než tomu bylo u výchozího roztoku, se zpracuje obvyklými postupy, např. elektrolýzou, srážením ve formě hydroxidů, krystalizací apod.
- ***odsolování barviv a chemických produktů*** – retence nanofiltračních membrán pro jednovalentní ionty (Na^+, Cl^-) je mnohem nižší, než pro ionty vícemocné (Ca^{2+}, CO_3^{2-}). V malotonážních technologiích výroby kapalných forem barviv se vzhledem k objemu výroby a provozní flexibilitě zařízení používá obvykle diafiltrace ve vsádkovém uspořádání. Při diafiltraci je využito skutečnosti, že velké molekuly barviva se silným elektrickým nábojem jsou membránou zadržovány, zatímco relativně malé ionty solí membránou snadno procházejí.
- ***diafiltrační aplikace ve farmaceutickém průmyslu*** – organické syntézy léčiv obecně zahrnují vícestupňové reakce, kde se každá reakce může uskutečnit v jiném rozpouštědle. Navíc je izolace léků často realizována v rozpouštědle odlišném od reakčního. Farmaceutická výroba je cílena na maximalizaci výtěžku produktu a minimalizaci nečistot. Farmaceutické produkty jsou většinou termicky labilní, s molekulovou hmotností 250–1000 Da a doprovázené vysokomolekulárními i nízkomolekulárními vedlejšími produkty, zbytkovými reaktanty a rozpouštědly. Přechodný či finální produkt musí být navíc izolován spolu s rozpouštědlem od ostatních látek kvůli nežádoucí zpětné reakci. Konvenční separační procesy (např. destilace) vyžadují pro zacházení s termicky labilními produkty zvláštní podmínky (např. velmi nízké tlaky či přídavky chemikálií). Proto je membránový proces nevyžadující vysokou teplotu pro izolaci produktu více než žádoucí.

Hrozby

- ***nahrazení konkurenčními technologiemi*** – i když v porovnání s klasickými změkčovači vody jsou provozní náklady nanofiltrace nižší, neboť zcela odpadá nutnost regenerace změkčovače velkým množstvím soli, je použití iontovýměnných kolon běžnou praxí.
- ***riziko nedostupnosti modulů*** **–** i když existuje velké množství výrobců NF membrán (a modulů), nemusí být pro danou aplikaci existující membrány vhodné.
- ***výpadek klíčových dodavatelů*** **–** vzhledem k ekonomické situaci a výpadku výrob některých klíčových komponent, nemusí být dodány požadované moduly v reálném čase. Navíc si ve většině případů dodavatel technologie vyhrazuje i právo dodávky modulů (i v případě jejich výměny).
- ***nedůvěra potenciálních uživatelů*** **–** s ohledem na dlouhodobé používání „klasických" jednotkových separačních operací existuje předpoklad, že uživatel bude zvažovat začlenění „nové" operace do stávajícího provozu. Kvalita produktů je dána požadavkem zákazníka, jde tedy hlavně o optimalizaci investičních nákladů (velikost NF technologie) oproti provozním (tlaková energie) ve srovnání s „klasickou" technologií (iontoměnič).

Závěr

Výsledek SWOT analýzy vychází pro nanofiltraci opět vcelku pozitivně. NF se stává součástí technologických procesů, umožňuje zvýšení výtěžnosti procesů, snížení energetické náročnosti výroby, zvyšuje kvalitu produktů výroby apod. Návrh NF jednotky pro danou aplikaci lze provést bez předchozích experimentů vzhledem k tomu, že hlavním odporem vůči toku permeátu je membrána a všechny ostatní odpory (koncentrační polarizace, zanášení membrán, gelová vrstva atd.) jsou víceméně zanedbatelné. Tento předpoklad platí pro separace solí z jinak relativně čistých vod, což jsou případy některých aplikací NF. Konkrétně jde o odsolování, změkčování či zahušťování složek čistých anorganických (a organických) roztoků přírodních vod (brakické, povrchové, studniční).

11.1.4 Reverzní osmóza

Reverzní osmóza je membránová separace schopná dělit nízkomolekulární látky i jednovalentní ionty převážně z vodných roztoků. Používají se asymetrické membrány s vysokým hydrodynamickým odporem, aplikovaný tlak (2–10 MPa) musí být vyšší než osmotický tlak zpracovávaného systému

Silné stránky

- ***návrh RO jednotky*** **–** k návrhu se používají programy výrobců membrán, ve kterých jsou již začleněny parametry výkonů a selektivit membrán a kterými jsou dopočítávány tlaky, průtoky, složení produktů, spotřeby chemikálií a energie a další ekonomické parametry.
- ***jednoduchá konstrukce zařízení*** **–** zařízení pro RO se ve většině případů skládají pouze ze spirálově vinutých membránových modulů, pístových čerpadel, nádrží na nástřik a permeát, výměníku tepla pro chlazení nebo ohřev nástřiku, potrubí a armatur, měřicích zařízení (tlakoměry, teploměry, měření průtoku permeátu a nástřiku). Kompletní linka s membránovým zařízením zahrnuje i zařízení pro předcházející úpravu zpracovávaných roztoků (především použití MF a UF), zařízení pro kontrolu a řízení procesu (měření složení proudů) a zařízení pro eventuální čištění zanesených membrán. Jedná se tedy opět o kompaktní provedení včetně předfiltrace a předúpravy vstupující vody (menší zastavěný prostor).
- ***provoz za normální teploty*** – separace probíhá při teplotě, kdy nedochází k poškození termolabilních látek (separace bílkovin, enzymů, antibiotik).
- ***nízké provozní náklady*** – ve srovnání s termickými separačními procesy je výhodou reverzní osmózy, kromě jiného, výrazná úspora energie vzhledem k tomu, že proces probíhá beze změny fáze.
- ***ekologicky nezávadný proces*** – za provozu reverzně osmotického zařízení nevznikají obtížně zlikvidovatelné látky.
- ***snadná možnost automatizace procesu*** – provoz RO stanic lze velmi efektivně řídit a kontrolovat moderními řídícími prostředky s vyloučením obsluhy.

Slabé stránky

- ***nutnost předúpravy nástřiku*** – ve většině případů předchází vlastnímu procesu předúprava separovaného systému, ať už se jedná o sedimentaci, koagulaci, adsorpci nebo např. mikrofiltraci a ultrafiltraci.
- ***nutnost dobré analýzy vstupní vody*** – k návrhu procesu je třeba získat rovněž informace týkající se typu vody (mořská, brakická, povrchová studniční, RO permeát apod.). V analýze vstupní vody nesmí chybět žádné důležité složky (viz Tab. 11.6), součet nábojů kationtů a aniontů se významně neliší (<10 %) a analýza je v souladu s chemismem vody (srovnání pH a uhličitanové rovnováhy, složky nepřesahují své rozpustnosti apod.). V Tab. 11.6 je uveden seznam obvyklých analytických stanovení a vysvětlena jejich důležitost pro návrh jednotky.

Tab. 11.5 SWOT analýza potenciálního využití reverzní osmózy pro řešení problémů v segmentu vodního hospodářství

	Pozitivní			Negativní/Škodlivé		
INTERNÍ	**Silné stránky**			**Slabé stránky**		
	STRENGTHS			**WEAKNESSES**		
		důležitost	*hodnocení*		*důležitost*	*hodnocení*
	1 návrh RO jednotky	0,4	5	1 nutnost předúpravy nástřiku	0,4	-3
	2 jednoduchá konstrukce zařízení	0,2	4	2 nutnost dobré analýzy vstupní vody	0,3	-3
	3 provoz za normální teploty	0,1	3	3 rozpustnost solí	0,1	-2
	4 nízké provozní náklady	0,1	4	4 tepelná a chemická odolnost membrán	0,1	-2
	5 ekologicky nezávadný proces	0,1	4	5 nutnost výměny modulů po určité době	0,1	-2
	6 snadná možnost automatizace proc.	0,1	5			
	Součet	4			-2,5	
EXTERNÍ	**Příležitosti**			**Hrozby**		
	OPPORTUNITIES			**THREATS**		
		důležitost	*hodnocení*		*důležitost*	*hodnocení*
	1 odsolování mořské a brakické vody	0,4	5	1 nahrazení konkurenčními technologiemi	0,4	-3
	2 výroba velmi čisté vody	0,2	5	2 riziko nedostupnosti modulů	0,2	-2
	3 čištění odpadních vod z galvanizoven	0,1	4			
	4 likvidace odpadních vod	0,1	4	3 výpadek klíčových dodavatelů	0,2	-2
	5 likvidace průsakových vod	0,1	4	4 nedůvěra potenciálních uživatelů	0,2	-2
	6 zpracování mléka a syrovátky	0,1	3	5		
	Součet	4,1			-2,4	

SWOT - výsledek		**CELKEM**	**3,2**
Silné stránky	4		
Slabé stránky	-2,5		
Celkem interní	**1,5**		
Příležitosti	4,1		
Hrozby	-2,4		
Celkem externí	**1,7**		

Tab. 11.6 Potřebné analýzy při návrhu RO jednotky a jejich důležitost

Veličina	Důvod stanovení
pH [-]	pH ovlivňuje acidobazické rovnováhy slabých kyselin a bází, ve vodě se jedná hlavně o rovnováhu $CO_3^{2-}/HCO_3^-/CO_2$ a na ni navázané srážení uhličitanů.
Teplota [°C]	Zvýšená teplota zpracovávané vody má zásadní vliv na výkon jednotky (zvyšuje se), na kvalitu permeátu (snižuje se) a také rozpustnost solí (snižuje se).
Zákal [NTU]	Zákal udává množství nerozpuštěných a koloidních částic, které zanášejí membrány. Zákal by neměl překročit hodnotu udávanou výrobcem elementů, obvykle se jednotka navrhuje pro zákal menší než 0,3 NTU.
$SDI_{5,15}$ [-]	SDI má podobný vliv jako zákal, udává míru zanášení membrán. Jednotka se obvykle navrhuje pro hodnoty SDI_{15}<4.

$CHSK_{Cr}$ [mgO_2/l]	Chemická spotřeba kyslíku udává množství organických látek ve vodě, a tedy opět zanášení membrán. Jednotka se obvykle navrhuje do $CHSK_{Cr}$<15 mg/l.
Cl_2 [mg/l]	Volný chlór je silné oxidační činidlo, které rychle ničí tenkou aktivní vrstvu membrány. Chlór by neměl překročit hodnotu 0,1 mg/l.
Celkové Fe, celkový Mn [mg/l]	Železo a mangan dobře tvoří rezavé úsady na membráně, čímž snižují průtok a kvalitu permeátu. Obvyklé limity pro tyto látky jsou Fe<0,1mg/l, Mn<0,05mg/l.
Ca^{2+}, Mg^{2+}, Ba^{2+}, Sr^{2+} [mg/l]	Vápenatý, hořečnatý, barnatý a strontnatý kation tvoří špatně rozpustné soli se sírany, uhličitany, fosforečnany či fluoridy. Koncentrace těchto dvoumocných kationtů je často limitujícím faktorem pro výtěžek jednotky z důvodu srážení uvedených solí.
Na^+, K^+, NH_4^+ [mg/l]	Sodík, draslík a amoniak jsou bezproblémové ionty, jejich analýzu je nutno znát pouze pro doplnění bilance.
HCO_3^-, SO_4^{2-}, F^-, celkový P [mg/l]	Uhličitany, sírany, fluoridy a fosforečnany tvoří špatně rozpustné soli s dvoumocnými kationty, viz výše. Uhličitany CO_3^{2-} jsou v programu dopočítávány z acidobazické rovnováhy a pH.
Cl^- [mg/l]	Chloridy jsou v nízkých koncentracích bezproblémové ionty, jejichž analýzu je nutno znát pouze pro doplnění bilance. Ve vyšších koncentracích však působí chloridovou korozi nerezu, ovlivňují tak výběr materiálu pro jednotku.
NO_3^-, B [mg/l]	Oba ionty mají většinou výrazně nižší rejekce než ostatní. Limity pitné vody jsou pro oba ionty přísné, proto je nutno sledovat jejich koncentraci v permeátu. Dusičnany se objevují často v podzemních vodách, bór pak hlavně ve vodě mořské.
SiO_2 [mg/l]	Koloidní křemičitany tvoří velmi nepříjemný scaling na membránách, limitu nasycení je třeba věnovat velkou pozornost.

Obr. 11.2 Reverzně osmotická jednotka pro úpravu průmyslové vody od společnosti Puretec Industrial Water

- ***rozpustnost solí*** – srážení solí v systému je nepřijatelné, na žádném místě nesmí být překročeny součiny rozpustnosti. V praxi pak jde vždy o koncentrát z posledního modulu, kde jsou koncentrace látek nejvyšší, tj. nesmí být překročeny srážecí rovnováhy.
- ***tepelná a chemická odolnost membrán –*** vývoj nových typů kompozitních membrán a membránových jednotek je zaměřen na tepelnou a chemickou odolnost materiálu membrán a schopnost snížit (zamezit) zanášení membrán. Rovněž při výběru použitých chemikálií pro čištění membrán vždy záleží na vlastnostech zpracovávaného nástřiku a na chemické odolnosti materiálu membrán.
- ***nutnost výměny modulů po určité době*** – i když jsou nastaveny optimální podmínky provozu a probíhá pravidelné čištění membrán, dlouhodobě dochází jak k poklesu výkonu membránového zařízení, tak i k „stárnutí" polymerů, ze kterých jsou RO membrány vyrobeny. Proto je nutné po určité době (záleží na zpracovávaném systému) provést výměnu membránových modulů za nové.

Příležitosti

- ***odsolování mořské a brakické vody při výrobě pitné vody*** – základním úkolem při odsolení mořské nebo brakické vody je dosáhnout výrazného snížení obsahu solí ve vodě. Pokud voda obsahuje 1 500–2 000 mg l^{-1} solí, chutná slaně a je nepoužitelná k pití a spotřebě. Taková voda se nehodí ani k účelům osobní hygieny či na zalévání rostlin. Za brakické vody jsou považovány takové, které obsahují 2 000 až 10 000 mg l^{-1} solí, zatímco voda mořská obsahuje 35 000 mg l^{-1} i více. Směrnice WHO udávají obsah solí v pitné vodě do 500 mg l^{-1} což znamená, že obsah solí je třeba snížit o 75 % až 99 % (v závislosti na původní koncentraci). Součástí jednotky musí rovněž být remineralizace permeátu odtékajícího z reverzní osmózy. Z důvodů principu reverzní osmózy má permeát pH hodnotu nižší, než udává WHO, tj. pod doporučeným rozmezím pH 6,5–8,5. Proto je potřeba zvýšit pH hodnotu upravené vody buď dávkování alkalické chemikálie nebo průchodem permeátu vrstvou dolomitického vápence. Tím se současně chrání potrubní rozvodný systém před korozí. Následně je upravená voda dezinfikována zpravidla dávkováním chlornanu. Tato aplikace z geografického hlediska není v ČR moc dobře realizovatelná, nicméně pořád může být tato oblast zajímavá pro české společnosti, které mohou tuto membránovou technologii nabízet na světových trzích.
- ***výroba velmi čisté vody pro elektrotechnický a farmaceutický průmysl*** – tato voda je charakterizována velmi nízkým obsahem rozpuštěných látek; vodivost takové vody bývá pod 1 μS cm^{-1}. Nejčastějším použitím velmi čisté vody je oplachová voda v elektronickém průmyslu (pro výrobu polovodičů a mikročipů, TV obrazovek), příp. jako procesní voda v některých speciálních technologiích (farmaceutický průmysl — infuzní roztoky, výroba antibiotik apod.). Pomocí jednostupňové reverzní osmózy nelze takovou vodu připravit; je nutno použít buď dvoustupňovou RO, kdy permeát z prvního stupně je nástřikem pro druhý stupeň RO, nebo zařadit za jednostupňovou RO směsné filtry („mixbed").
- Způsoby a postupy, jak dosáhnout ultračisté vody, jsou známé. Základem je kvalitní technologie úpravny vody. Ta je většinou dána a je třeba se zaměřit na důslednou kontrolu účinnosti předfiltrace, samotné separace a s ní svázané kvality membrán a jejich pravidelnou údržbu (dezinfekci). U nových instalací se vyplatí investovat do kvalitních materiálů a technologií, které samy o sobě riziko kontaminace značně snižují. V obou případech má velký význam pravidelná údržba celého systému, kontrola kontaminace produkované vody a pravidelné dezinfekce.
- ***čištění odpadních vod z galvanizoven*** – reverzní osmóza je v oblasti povrchových úprav kovů vhodným řešením pro čištění oplachových vod, příp. čištění odpadních vod. V případě této aplikace lze účinně v jedné operaci vyřešit současně s čištěním oplachové vody také navracení výnosů z lázně zpět do provozní galvanické lázně. Současně lze provádět i doplňování lázně demineralizovanou vodou, protože její množství se vlivem odpařování snižuje.
- ***likvidace odpadních vod*** – odstraňování nežádoucích nízkomolekulárních složek z vodných roztoků je často naléhavým požadavkem i při zneškodňování průmyslových odpadních vod. Reverzní osmózou lze z odpadních vod odstraňovat organická barviva, povrchově aktivní látky, soli těžkých kovů, toxické organické látky atd. Aplikace jsou proto možné v mnoha odvětvích chemického průmyslu, v hydrometalurgii a v neposlední řadě i při povrchových úpravách kovů. Reverzní osmóza může také doplňovat běžné

postupy biologického čištění odpadních vod, zvláště tehdy, jsou-li přítomny látky, které mají škodlivý vliv na mikroorganismy aktivovaného kalu. Vhodným uplatněním RO (NF) může být i odstraňování sice netoxických, avšak těžko biologicky odbouratelných látek, které se shromažďují v povrchových vodách, a tak je znehodnocují. Ve všech těchto případech lze očekávat úspory vynaložené energie, a to i tehdy, kdy je závěrečná fáze zahušťování (před konečnou likvidací, např. spalováním) provedena klasickým termickým postupem, tj. odpařováním.

- ***likvidace průsakových vod*** – vzhledem ke složení a koncentracím polutantů ve skládkových vodách jsou ostatní metody čistění těchto vod prakticky nevhodné. V případě využití konvenční čistírny odpadních vod dojde pouze k naředění většiny anorganických složek a složitějších organických struktur ve výluhu, při výskytu těžkých kovů dokonce k inhibici aktivovaného kalu (mj. RO spolu s NF patří ke spolehlivým technologiím pro odstranění těžkých kovů). Konvenční čistírna odpadních vod je totiž uzpůsobena hlavně pouze k odstranění forem dusíku a TOC. Běžně používané technologie se skládají z několika prvků a jsou si v zásadě velmi podobné. Vstupující kapalina je nejprve předčištěna. K tomuto účelu se používá běžně hrubá filtrace, mikrofiltrace nebo ultrafiltrace; může být použito taktéž biologického čištění či koagulace/flokulace. Lze použít také ale srážení, koagulaci nebo stripování. Následuje vyrovnávací nádrž, ve které může být upraveno pH z důvodu zvýšení účinnosti separace amoniakálního dusíku. Snížení pH taktéž zabraňuje krystalizaci anorganických složek, při snížení pH pod hodnotu 5 se zase eliminují uhličitany na oxid uhličitý. Pro samotný separační proces se zpravidla používá dvojstupňové uspořádání pro dosažení maximální čistoty výsledného permeátu. Podíl tohoto permeátu se pohybuje kolem hodnoty 80 %, může být však i značně vyšší v závislosti na složení průsakové vody. Zbylý koncentrát je dále zpracován technologií solidifikace nebo je odpařen na pevný podíl.
- ***zpracování mléka a syrovátky*** – použití RO nabízí celou řadu výhod pro spotřebitele i pro výrobce. Na jedné straně umožňuje RO účinnější způsob pro získání výrobků s vynikající kvalitou a bezpečností, aniž by došlo narušení základních senzorických kvalitativních ukazatelů. Umožňuje (spolu s MF a UF) odstranit nežádoucí součásti — mikroorganizmy, zákaly a sedimenty, které negativně ovlivňují kvalitu výrobku. Zároveň mohou zlepšit texturu a prodloužit jeho trvanlivost. Na druhé straně mohou snížit počet výrobních operací a zvýšit výtěžnost, jsou vysoce selektivní, zlepšují řízení výrobního procesu a mají nižší energetické nároky.

Hrozby

- ***nahrazení konkurenčními technologiemi*** – i když ve srovnání s termickými separačními procesy je výhodou reverzní osmózy, kromě jiného, výrazná úspora energie (RO proces probíhá beze změny fáze), je použití termických procesů běžnou praxí.
- ***riziko nedostupnosti modulů –*** i když existuje velké množství výrobců RO membrán (a modulů), nemusí být pro danou aplikaci existující membrány vhodné.
- ***výpadek klíčových dodavatelů –*** vzhledem k ekonomické situaci a výpadku výrob některých klíčových komponent, nemusí být dodány požadované moduly v reálném čase. Navíc si ve většině případů dodavatel technologie vyhrazuje i právo dodávky modulů (i v případě jejich výměny).
- ***nedůvěra potenciálních uživatelů –*** s ohledem na dlouhodobé používání „klasických“ jednotkových separačních operací existuje předpoklad, že uživatel bude zvažovat začlenění „nové“ operace do stávajícího provozu. Kvalita produktů je dána požadavkem zákazníka, jde tedy hlavně o optimalizaci investičních nákladů (velikost RO technologie) oproti provozním (tlaková energie) ve srovnání s „klasickou“ technologií (termické separační procesy).

Závěr

Výsledek SWOT analýzy vychází pro reverzní osmózu opět vcelku pozitivně. RO se stává součástí technologických procesů, umožňuje zvýšení výtěžnosti procesů, snížení energetické náročnosti výroby, zvyšuje kvalitu produktů výroby apod. Návrh RO jednotky pro danou aplikaci lze provést bez předchozích experimentů vzhledem k tomu, že hlavním odporem vůči toku permeátu je membrána a všechny ostatní odpory (koncentrační polarizace, zanášení membrán, gelová vrstva atd.) jsou víceméně zanedbatelné. Tento předpoklad platí pro separace solí z jinak relativně čistých vod, což jsou případy většiny aplikací RO. Konkrétně se jedná

o čištění rozpouštědla (vody) nebo koncentrování rozpuštěné složky. Hlavní oblastí využití reverzní osmózy je bezesporu odsolování mořské a brakické vody, pro což v ČR není přímo potenciál. Velký význam má i produkce ultračisté vody používané při výrobě polovodičů či farmacii. Reverzní osmóza se také používá při koncentrování potravinářských produktů.

11.1.5 Přímá osmóza

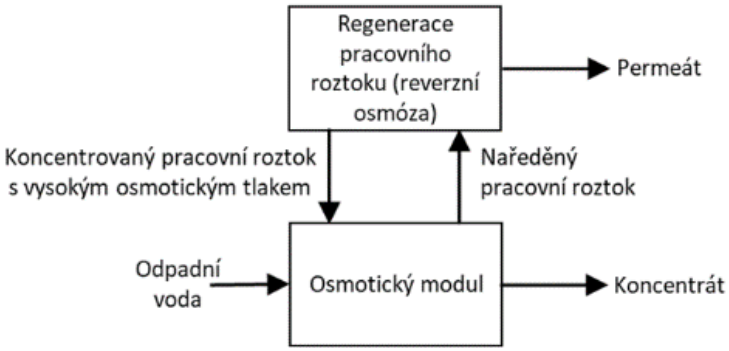
Tab. 11.7 SWOT analýza potenciálního využití přímé osmózy pro řešení problémů v segmentu vodního hospodářství

	Pozitivní			Negativní/Škodlivé		
INTERNÍ	**Silné stránky**			**Slabé stránky**		
	STRENGTHS			**WEAKNESSES**		
		důležitost	*hodnocení*		*důležitost*	*hodnocení*
	1 nízké tlakové rozdíly	0,5	4	1 snižování hnací síly	0,5	-5
	2 separační účinnost	0,3	4	2 ekonomická rentabilnost	0,2	-5
	3 snadná možnost automatizace proc.	0,2	3	3 zanášení membrán	0,1	-3
	4			4 prostorová náročnost	0,1	-3
	5			5 předúprava a dočištění	0,1	-3
	Součet	3,8			-4,4	
EXTERNÍ	**Příležitosti**			**Hrozby**		
	OPPORTUNITIES			**THREATS**		
		důležitost	*hodnocení*		*důležitost*	*hodnocení*
	1 zkoncentrování produktů	0,4	4	1 energetická náročnost	0,5	-3
	2 zpracování odpadních vod	0,3	4	2 provozní náklady	0,2	-3
	3 příprava demi a pitné vody	0,3	4	3 spotřeba chemikálií	0,2	-2
	4			4 nedůvěra potenciálních uživatelů	0,1	-4
	5			5		
	Součet	4			-2,9	

SWOT - výsledek		**CELKEM**	**0,5**
Silné stránky	3,8		
Slabé stránky	-4,4		
Celkem interní	**-0,6**		
Příležitosti	4		
Hrozby	-2,9		
Celkem externí	**1,1**		

Při přímé osmóze („forward osmosis“ – FO) prochází voda semipermeabilní membránou z roztoku o nižší koncentraci rozpuštěných látek do roztoku s vysokou koncentrací ve snaze o vyrovnání (přiblížení) koncentrací na obou stranách membrány. Separační membrána je v tomto případě propustná pro rozpouštědlo a méně propustná nebo nepropustná pro rozpuštěné látky. Tento jev se nazývá osmóza (přímá osmóza). Velikost osmózy je dána rozdílem koncentrací a následně osmotických tlaků na obou stranách polopropustné membrány. Celý proces probíhá ve dvou stupních. V prvním je na jednu stranu membrány přiváděna vstupní voda, na druhou pracovní (osmotický, hnací, "tažný") roztok. Voda ze vstupního proudu prochází přes membránu do pracovního roztoku (např. roztoku NaCl, mořské vody), který zřeďuje. Výstupy z 1. stupně jsou tedy vstupní koncentrát a naředěný pracovní roztok. Ten je následně ve druhém stupni zkoncentrován pomocí vhodného procesu (destilace, reverzní osmóza). Z 2. stupně tak vystupují regenerovaný (zpět zkoncentrovaný) pracovní roztok (který se vrací do 1. stupně) a získaná voda (viz Obr. 11.3). Technické využití procesu je závislé zejména na nalezení způsobu, jak efektivně následně oddělit prošlé rozpouštědlo od koncentrovanějšího, „tažného“ roztoku.

Většina komerčně vyráběných membrán je kompozitní polymerní (polyethersulfon PES, polysulfon PS, polyamid PA) a v separačních jednotkách bývají použity především moduly deskové, s dutými vlákny, příp. spirálově vinuté.



Obr. 11.3 Princip přímé osmózy.

Silné stránky

- ***nízké tlakové rozdíly*** – při tomto procesu není potřebný žádný, nebo jen minimální externě vytvářený tlakový rozdíl pro zajištění transportu rozpouštědla membránou a membrány mají obvykle vysokou selektivitu.
- ***separační účinnost*** – teoreticky lze dosáhnout výsledků srovnatelných i lepších než u reverzní osmózy, tj. více než 90–98 % ve vztahu k rozpuštěným látkám.
- ***snadná možnost automatizace procesu*** – provoz FO stanic lze velmi efektivně řídit a kontrolovat moderními řídícími prostředky s vyloučením obsluhy.

Slabé stránky

- ***snižování hnací síly*** – v některých případech se mohou objevit problémy se snižováním hnací síly procesu nebo se znečišťováním koncentrátu. Proto je při těchto procesech především důležité podchycení jevů souvisejících se vznikem koncentrační polarizace v těsné blízkosti membrán.
- ***ekonomická rentabilnost*** – aby byl proces FO ekonomicky rentabilní, mělo by být dosaženo hodnot intenzity toku permeátu ≥ 15–30 l/m^2.h, přičemž podíl získaného permeátu k vstupujícímu nástřiku by měl být cca do 50 %.
- ***zanášení membrán*** – vstupní voda vykazuje vysoký potenciál k zanášení membrán. Tvorba anorganických inkrustací, gelových organických vrstev a biofilmů může vést k nevratnému znehodnocení membrány.
- ***prostorová náročnost*** – vzhledem ke kombinaci dvou procesů je nutná plocha větší než u jednostupňových membránových procesů. Na druhou stranu mohou být menší nároky na plochu ze strany předčištění.
- ***předúprava a dočištění*** – je vyžadována dokonalá separace nerozpuštěných látek, někdy desinfekce jako prevence tvorby biofilmů. V případě požadavků na konečný stupeň (zcela demineralizovaná voda) je nutné jednotku doplnit o ionexy.

Příležitosti

Proces přímé osmózy je v poslední době využíván zejména při separacích ve vodných systémech, ať už se jedná o:

- zkoncentrování potravinářských, farmaceutických a chemických produktů,
- zpracování odpadních vod,
- přípravu demineralizované a pitné vody z mořské vody a brakických vod.

Hrozby

- ***energetická náročnost*** – je dána především druhým stupněm, tj. zpětným zkoncentrováním pracovního roztoku. Efektivitu FO ovlivňuje správný výběr tažného roztoku tak, aby umožňoval vytváření dostatečného osmotického tlaku při účinné a nenákladné regeneraci umožňující jeho recirkulaci. Nicméně studie ukazují, že kombinace přímá osmóza–reverzní osmóza je méně energeticky náročná než samotná reverzní osmóza.

- ***provozní náklady*** – jsou spojeny se spotřebou elektrické energie, zejména ve druhém stupni, a používanými činidly (pro čištění, případně úpravu vstupující suroviny).
- ***spotřeba chemikálií*** – činidla pro čištění membrány, příp. chemikálie pro úpravu vstupující vody (např. proti inkrustaci, tvorbě biofilmů apod.).
- ***nedůvěra potenciálních uživatelů –*** s ohledem na dlouhodobé používání reverzní osmózy existuje předpoklad, že uživatel bude zvažovat začlenění „nové" operace do stávajícího provozu. Kvalita produktů je dána požadavkem zákazníka, jde tedy hlavně o optimalizaci investičních nákladů (závisí především na typu zvoleného membránového modulu a materiálu membrány a charakteru vstupní vody) oproti provozním ve srovnání s RO technologií.

Závěr

Výsledek SWOT analýzy nevychází pro přímou osmózu příliš dobře. Technické využití procesu je závislé zejména na nalezení způsobu, jak efektivně následně oddělit prošlé rozpouštědlo od koncentrovanějšího, tzv. „tažného" roztoku. Navíc nejsou v současnosti dostatečné zkušenosti s čištěním průmyslových vstupních vod (první průmyslová aplikace byla realizována v roce 2002).

Obr. 11.4 Pilotní jednotka přímé osmózy od společnosti ForwardOsmosisTech

11.2 Analýza trhu s elektromembránovými procesy pro úpravu vod

ED je při odsolování brakických vod energeticky a provozně levnější než jiné membránové procesy RO, CDI, MCDI do koncentrací 5 g/l s daleko vyššími hodnotami „recovery“ vody. Jedno zařízení je možné používat pro flexibilní nastavení kvality výstupní odsolené vody nebo dokonce přejít z odsolovacího režimu do koncentračního režimu. Slabinou procesu je životnost elektrod při vysokých proudových účinnostech. Dalším negativem je zpracování dožitých membrán (z důvodů kontaminace pak nejčastěji ve spalovnách). Další slabinou jsou nedostatečné inženýrské znalosti o uvedených procesech a možnostech jejich využití a rovněž vysoká konkurence odsolovacích zařízení při zpracování odpadních vod, kdy velké nadnárodní společnosti mají zájem dodávat pouze jimi preferované technologie.

Tab. 11.8 SWOT analýza trhu s ED, EDI a CEDI pro úpravu pitné vody

	Pozitivní				Negativní/Škodlivé		
INTERNÍ	**Silné stránky**				**Slabé stránky**		
	STRENGTHS				**WEAKNESSES**		
		důležitost	*hodnocení*			*důležitost*	*hodnocení*
1	Dynamický trh s vysokou mírou růstu 14 % v období poháněný nedostatkem vody pro průmsl, lidi a zemědělce	0,2	5	1	Pořizovací náklady	0,25	5
2	Energeticky efektivní	0,2	5	2	Nutná předúprava vody	0,18	3
3	Rostoucí poptávkou po vodě a separaci průmyslových OV	0,1	5	3	Cena energií	0,27	5
4	Obnovitelné zdroje energie mohou poskytovat zaručenou a levnou energii	0,15	5	4	Životnost komponent	0,07	5
5	Technologické inovace a cenová dostupnost systémů	0,15	5	5	Místní technologické know-how pro provoz, údržbu a instalaci	0,1	3
6	Flexibilní	0,1	5	6	Vysoká konkurence s ostatními purifikačními procesy	0,1	5
7	Snadno škálovatelné	0,1	5	7	Potřeba výměny komponennt po určité době	0,03	4
	Součet		**5,0**				**4,4**
EXTERNÍ	**Příležitosti**				**Hrozby**		
	OPPORTUNITIES				**THREATS**		
		důležitost	*hodnocení*			*důležitost*	*hodnocení*
1	Je možné zvládnout kolísání výkonu pro optimální integraci s nestálými obnovitel-nými zdroji energie	0,25	5	1	Nahrazení konkurenčními technologiemi	0,25	5
2	Pro výrobu syntetických paliv	0,2	4	2	Riziko nedostupnosti modulů	0,05	3
3	Již existující SAPS řízený RES v které mo-	0,1	3	3	Vysoké ceny energií a nedostupnost energií	0,2	5
4	Různorodost společností v odvětví energetiky	0,1	5	4	Vzrůstající cen vstupních surovin	0,1	3
5	Diverzifikace společností zapojených do energetickém odvětví	0,15	4	5	Nezkušení potenciální uživatelé	0,1	3
6	Nové pracovní příležitosti	0,1	3	6	Vysoká konkurence ve velkém měřítku	0,07	5
7	Vzrůstající cen vstupních surovin	0,1	3	7	Nedostatečný přístup k jakým koliv zdrojům vod	0,05	5
				8	Netransparentní veřejné zakázky	0,01	5
				9	Čištění vody a odpadních vod je vysoce roztříštěné	0,01	3
	Součet		**4,05**				**3,68**

SWOT - výsledek		**CELKEM**	**0,96**
Silné stránky	5		
Slabé stránky	4,41		
Celkem interní	**0,59**		
Příležitosti	4,05		
Hrozby	3,68		
Celkem externí	**0,37**		

11.2.1 Analýza elektrolýzy pro výrobu vodíku

V celosvětovém měřítku celkový objem instalovaných obnovitelných zdrojů činil v roce 2015 bez vodních elektráren 785 GW (665 GW v roce 2014) a 1849 GW (1701 GW v roce 2014) včetně těchto elektráren. Celkově bylo v roce 2015 již dodáváno 23,7 % celosvětové elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie (z toho 16,6 % z obnovitelných zdrojů energie pocházelo z vodních elektráren). Tento rychlý nárůst kapacit obnovitelných zdrojů přináší nové výzvy týkající se dodávek energie a jejich spolehlivosti, řízení distribuované výroby, skladování a využití přebytečné energie (zejména elektrické energie) a přináší i potřeby rozšíření elektrické sítě. Současné elektrické sítě byly vybudovány v době, kdy výroba elektřiny byla centralizovaná a navržená pro předvídatelný elektrický výkon, a nikoliv pro proměnlivý výkon, který je charakteristický pro obnovitelné zdroje. Přirozené kolísání nebo intermitence obnovitelných zdrojů může způsobit přebytek nebo nedostatek elektřiny v síti. Přebytek větrné energie zatěžuje elektrickou síť a je proto nutné provést optimalizační výpočty elektrizačních soustav větrných elektráren a udržet frekvenci sítě v rovnováze. V důsledku takových odstávek dochází např. v Německu ročně ke ztrátám přibližně 400 GWh elektrické energie. K překonání těchto nedostatků jsou zapotřebí skladovací kapacity k ukládání přebytečné energie. Baterie nejsou vhodné pro dlouhodobé skladování kvůli jejich vysoké rychlosti samovybíjení a nízké proudové hustotě. Nevýhodou přečerpávacích elektráren je vliv na krajinu, např. prostřednictvím přehrad a vodních nádrží. Vodík vyráběný elektrolýzou vody z přebytku obnovitelné energie je řešením výše uvedených problémů a je klíčovou technologií v rámci projektů „Power-to-Gas“ a „Power-to-Fuel“. Vyrobený vodík je možné přeměnit zpět na elektřinu s její nízkou spotřebou. Vodík tak může být využíván jako dlouhodobé médium pro skladování přebytečné energie. Tento vodík by mohl být také využit pro vozidla s palivovými články v automobilovém průmyslu, vstřikování vodíku do plynofikační sítě pro vytápění a/nebo jako surovina pro výrobu chemických látek.

Pro výrobu vodíku elektrolýzou vody se používá nejčastěji PEM elektrolýza a alkalická elektrolýza. Zejména díky dynamickému provozu je PEM elektrolýza vhodná pro přerušované příkony.

Problémem elektrolýzy vodíku je nízká dostupnost a vysoká cena malých elektrolýzních systémů. Silnou stránkou vodíkové elektrolýzy PEM je, že pro dopravu je možné využít plynárenskou infrastrukturu. Slabými stránkami jsou relativně vysoké náklady při pořizování a nízká provozní doba při napojení na obnovitelné zdroje. Z ostatních zdrojů elektrické energie pak dává smysl propojení s nízkoemisní jadernou energií. Její příležitosti pomohou snížit míru nezaměstnanosti vytvořením nových oborů. Při setrvávajícím tlaku na dekarbonizaci průmyslu je vodík z PEM elektrolýzy jednu z možností, jak tento průmysl transformovat a udržet. Hrozbami jsou však pomalu vznikající právní rámec a nedostatek zkušeností s uvedenou technologií. Další podmínkou je nutnost přípravy ultračisté vody.

V současnosti roste zájem o technologie elektrolýzy vody. V současné době se intenzivně zvažuje propojení systémů elektrolýzy vody s obnovitelnými nebo jadernými zdroji energie, včetně tzv. technologií Power-to-X (X = plyn, teplo, mobilita atd.). Komerčně dostupné systémy jsou schopné větrem a sluncem produkovat vodík v rozsahu desítek MW (100 MW systémy jsou stále ve vývoji). Energetické systémy na bázi vodíku, zejména pak vodní elektrolyzéry s membránou pro výměnu protonů, by mohly být v souladu s koncepty „Smart Home“, resp. „Internet of Energy“. Vysokoteplotní elektrolyzační systémy by se mohly s výhodou spojit s vysokoteplotními reaktory IV. generace chlazenými heliem. Zavádění technologií elektrolýzy ve velkém měřítku stále vyžaduje snižování nákladů; nicméně investice do vývoje makroměřítek „Power-to-Gas“ systémů a průlomy v technologiích sesterských palivových článků usnadňují snížení nákladů až na cílových 500 EUR/kW.

Tab. 11.9 SWOT analýza elektrolýzy pro výrobu vodíku

	Pozitivní				Negativní/Škodlivé		
INTERNÍ	**Silné stránky**				**Slabé stránky**		
	STRENGTHS				**WEAKNESSES**		
		důležitost	*hodnocení*			*důležitost*	*hodnocení*
	1 Možnost dosažení vysokých čistot	0,2	4	1	Pořizovací náklady	0,25	5
	2 Energeticky efektivní	0,2	4	2	Nutná předúprava vody	0,2	5
	3 K přepravě paliva není zapotřebí infrastruktura	0,1	4	3	Cena energií	0,3	5
	4 Obnovitelné zdroje energie mohou poskytovat zaručenou a levnou energii	0,15	5	4	Životnost komponent	0,1	5
	5 Velký prostor pro zlepšení a robustnost HER. PEM a OER	0,15	3	5	Spotřeba energie : membránová plocha	0,1	5
	6 Flexibilní	0,1	3	6	Chybí předpisy a normy	0,01	4
	7 Snadno škálovatelné	0,1	5	7	Špatně navržené - optimální velikosti zařízení	0,01	3
				8	Potřeba výměny komponennt po určité době	0,03	5
	Součet		4,00				4,97
EXTERNÍ	**Příležitosti**				**Hrozby**		
	OPPORTUNITIES				**THREATS**		
		důležitost	*hodnocení*			*důležitost*	*hodnocení*
	1 Je možné zvládnout kolísání výkonu pro optimální integraci s nestálými obnovitel-nými zdroji energie	0,25	4	1	Nahrazení konkurenčními technologiemi	0,15	5
	2 Pro výrobu syntetických paliv	0,2	4	2	Riziko nedostupnosti modulů	0,02	3
	3 Již existující SAPS řízený RES v které mo-hou být spojeny s vodíkovými technologiemi	0,1	3	3	Vzrůstající ceny energií	0,1	5
	4 Různorodost společností v odvětví energetiky	0,1	5	4	Vzrůstající cen vstupních surovin	0,05	5
	5 Diverzifikace společností zapojených do energetickém odvětví	0,15	4	5	Nezkušení potenciální uživatelé	0,05	3
	6 Nové pracovní příležitosti	0,1	3	6	Slabá dodavatelská síť (konzultanti, inženýři,	0,03	5
	7 Vzrůstající cen vstupních surovin	0,1	3	7	Nedostatečný přístup ke zdrojům	0,03	5
				8	Mnoho překážek, zejména nákladů a účinnosti brání zavedení ve velkém rozsahu	0,01	5
				9	Nedostatečná politicko-právní omezení a administrativní překážky	0,01	4
				10	Málo specializovaných dodavatelů kom-pletních systémů	0,03	5
				11	Chybějící mechanismy pro financování realizace demonstračních fází	0,05	5
	Součet		3,8				2,5

SWOT - výsledek		**CELKEM**	**0,33**
Silné stránky	4		
Slabé stránky	4,97		
Celkem interní	**-0,97**		
Příležitosti	3,8		
Hrozby	2,5		
Celkem externí	**1,3**		

11.2.2 SWOT analýza trhu s ED, EDM,BMED

Nedostatečně udržované zdroje vody nebo neexistující vodohospodářská infrastruktura a masivně se zvyšující urbanizace, resp. rostoucí počet obyvatel žijících ve městech vytváří obrovský tlak na tradiční zásoby podzemní vody (OSN předpovídá, že v roce 2030 bude na světě žít 8,2 miliardy obyvatel, z nichž 60 % bude v městských oblastech). Nejen hustší osídlení v městském prostředí, ale i celkový nárůst počtu obyvatel v městském obyvatelstva jako celku dále zvyšuje omezení podzemní vody. Další významnou zátěží pro omezené zásoby podzemní vody je stále více industrializované zemědělství a jeho zpracovatelský průmysl. Pokles hladiny podzemních vod musí vést k stále častějšímu dialogu mezi hlavními zemědělskými skupinami a místními úřady, kdy se do popředí budou dostávat otázky využívání vody. Všechny tyto zátěže podzemní vody nutí země hledat progresivní způsoby, jak zajistit, aby jejich obyvatelé neměli nedostatek vody a potravin. Jedním z nejzřetelnějších zdrojů pro nové zdroje vody jsou právě procesy odsolování ED spojené se zelenou energií.

Historicky byl největší trh s odsolovacími zařízeními v oblasti Perského zálivu, ale dnes se velké odsolovací zařízení staví v Izraeli, Austrálii a Španělsku. Dokonce i evropské země, které jsou považovány za země s bohatými zásobami sladké vody, trpí stále častějšími obdobími sucha, a proto hledají alternativy ke svým historickým zásobám sladké vody. Rostoucí pravděpodobnost, že sucho postihne západní země, stejně jako země v Perském zálivu, znamená, že odsolování a související trh s odsolovací infrastrukturou poroste dvěma různými způsoby. V preventivním smyslu, aby se zmírnilo potenciální sucho, a jako stálý zdroj vody v rámci celkových zdrojů v jednotlivých zemích.

Trh poroste i z důvodu možnosti získávání pomocí ED a EDBM i dalších prvků a sloučenin v tzv. cirkulární ekonomice. Z koncentrátu z RO je možné např. získat kritické prvky typu Mg, Li a Co z recyklace baterií atd.

V každé zemi dochází ke ztrátám vody v rozvodné síti, ale v průměru se pohybuje mezi 18–25 % a je, bohužel, v mnoha západních zemích normální. Tyto ztráty jsou samozřejmě obrovské a tvoří mnoho miliard litrů sladké vody, které se každoročně ztratí v celosvětovém měřítku. Pokud země vynaloží finanční prostředky na své stávající vodovodní systémy a umožní moderní, dobře udržovaný vodovodní systém, který umožní méně úniků, mohlo by to v mnoha případech negovat potřebu odsolovacích zařízení. Je však stále pravděpodobnější, že země budou investovat do odsolovacích zařízení, aby tento problém vyřešily, než aby nákladně a složitě modernizovaly své stávající vodní zdroje vodohospodářské infrastruktury.

Obr. 11.5 ED jednotka od společnosti MEGA a.s.

Tab. 11.10 SWOT analýza trhu s ED, EDM, BMED

	Pozitivní				Negativní/Škodlivé		
INTERNÍ	**Silné stránky**				**Slabé stránky**		
	STRENGTHS				**WEAKNESSES**		
		důležitost	*hodnocení*			*důležitost*	*hodnocení*
	1 Nízká spotřeba elektrické energie	0,3	5	1	Snížení toku díky foulingu	0,3	4
	2 Možnost dosažení vysokýchch čistot	0,17	5	2	Snížení toku díky konc. polarizace	0,16	2
	3 Energeticky efektivní	0,15	5	3	Potřeba chemických prostředků pro čistění	0,07	2
	4 Jedno ED zřízení je možné využít jak k odsolování tak koncentrování roztoků	0,1	5	4	Pro velmi znečištěné roztoků nutná předúprav	0,07	4
	5 Zpracování roztoků při teplotách do 75°C	0,02	4	5	Spotřeba energie : membránová plocha	0,12	5
	6 Vysoké recovery odsolované vody	0,1	5	6	Chyby v předpovědi budoucnosti poptávky po vodě	0,03	3
	7 Bio a Ekologické značení produktů v potranivářství	0,01	4	7	Špatně navržené - optimální velikosti zařízení	0,02	3
	8 Možnost regulace pH	0,05	5	8	Roztříštěnost odvětví	0,01	2
	9 Snadno škálovatelné	0,1	5	9	Potřeba výměny modulů po určité době	0,1	4
				10	Nedostatečné technické lidské zdroje	0,07	3
				11	Nedostatek zkušeností s technologiemi	0,05	3
	Součet		4,97				3,27
EXTERNÍ	**Příležitosti**				**Hrozby**		
	OPPORTUNITIES				**THREATS**		
		důležitost	*hodnocení*			*důležitost*	*hodnocení*
	1 možnost získátní nových zdrojů vody	0,25	5	1	Nahrazení konkurenčními technologiemi	0,25	5
	2 potenciál ve vyšší kvalitě odpadní vody	0,15	5	2	riziko nedostupnosti modulů	0,05	1
	3 možnost odstranění mikropolutantů	0,02	3	3	Vzrůstající ceny energií	0,15	5
	4 využití v kombinaci s zelenými zdroji energie	0,12	5	4	Vzrůstající cen vstupních surovin	0,1	5
	5 Selektivita – monoselektivní membrány	0,07	4	5	Výpadek klíčových dodavatelů	0,05	3
	6 Bez přídavků aditiv a možnost regulace pH	0,13	5	6	Slabá dodavatelská síť (konzultanti, inženýři, atd,)	0,07	3
	7 Likvidace ekolog. zátěží	0,07	5	7	Nedostatečný přístup k zdrojům vody	0,05	5
	8 Nedostatečný počet odsolovacích zařízení	0,05	4	8	Socioekonomické a environmentální překážky infrastruktury	0,01	3
	9 Nedostatečně udržované technologie	0,01	4	9	Nedostatečná politicko-právní omezení a administrativní překážky	0,01	3
	10 Neexistující vodohospodářská infrastruk-tura	0,01	3	10	Nejistoty týkající se správného uplatňování právních předpisů v oblasti životního	0,01	3
	11 Možnost vypracovat řešení, která by se uplatnila v praxi pro cirkulární ekonomiku	0,03	5	11	Chybějící mechanismy pro financování realizace	0,1	4
	12 Dostupnost místních víceoborových odborných znalostí	0,01	3	12	Nízká vybavenost a připravenost laboratoří	0,05	2
	13 Využití při hydrometalurgických procesech zpracování hlušin	0,05	4	13	Nedostatečné technické lidské zdroje	0,1	4
	14 Vzrůstající cen vstupních surovin	0,03	5				
	Součet		2,56				3,66

SWOT - výsledek		**CELKEM**	**0,60**
Silné stránky	4,97		
Slabé stránky	3,27		
Celkem interní	**1,70**		
Příležitosti	2,56		
Hrozby	3,66		
Celkem externí	**-1,10**		

11.2.3 Kapacitní deionizace - CDI

V oblasti kapacitní deionizace vede vlastní výzkumné práce (v různém stavu rozpracovanosti) firma ASIO, s.r.o., v rámci projektu CADESTECH. Z obchodního hlediska nabízí ve svém portfoliu BKG, v současnosti běží projekt spojený s modelováním na JU „*Kapacitní deionizace*: Porozumění pomocí molekulárního modelování", standardní projekt GA ČR, 21-27338S. 2021–2023.

11.2.4 Redox flow battery

V oblasti průtočných baterií typu „Redox flow battery" proběhl (nebo probíhá) výzkum na spolupracujících pracovištích VŠCHT Praha, ZČU Plzeň a TIÚ-plast a.s. Z tohoto výzkumu vzešla spin-off společnost PIN-FLOW.

12 PERSPEKTIVA VYUŽITÍ MEMBRÁNOVÝCH TECHNOLOGIÍ V ČR

12.1 Potenciální aplikace tlakových a osmotických procesů v ČR

Aplikační prostor pro realizaci nabídkového programu je dosud v České republice poměrně široký. Většina provozních aplikací průmyslového charakteru je stále soustředěna do oblasti přípravy technologické vody o požadované kvalitě, např. při úpravě podzemní a povrchové vody pro napájení technologie výroby alkoholických nápojů (piva, likérů apod.), pro napájení technologií s vyššími kvalitativními požadavky např. v chemickém a farmaceutickém průmyslu. Proces využívají i jiné obory jako je sklářský a textilní průmysl, průmysl povrchové úpravy kovů a energetický průmysl. Vedle průmyslového využití se nesmí zapomenout na drobné uživatele, především z pohledu kapacitních požadavků. Do této skupiny patří laboratoře, medicínské provozy, soukromí uživatelé pro zajištění pitné vody apod. Modelem aplikace mohou být koncoví uživatelé, kteří membránové procesy již ve svých provozech používají nebo jejich zavedení připravují. Ty je možno rozdělit na společnosti dle aplikačního zaměření. Z oblasti segmentu vod jsou to regionálně nejvýznamnější DIAMO, s.p., zejména pak jeho odštěpný závod GEAM v Dolní Rožínce, Chemcomex a.s. (všichni s vazbou na energetiku), KEMIFLOC a.s. (nadnárodní společnost). V oblasti potravinářství jsou to zejména INTERLACTO, spol. s r.o., Moravia Lacto a.s., Mlékárna Olešnice,a.s., Plzeňský Prazdroj, a.s., v oblasti farmacie LONZA BIOTEC s.r.o., Kouřim a v oblasti automobilového průmyslu ŠKODA Auto a.s., Mladá Boleslav a Benteler ČR s.r.o.

V ČR je zatím realizována a v provozu skupiny Veolia provozována jediná větší paralelní dvoulinková komunální ČOV Benecko – Štěpanická Lhota s membránovou separací aktivovaného kalu před vypouštěním do recipientu. Je osazena technologií společnosti Envipur (www.envipur.cz). Výstavba ČOV musela respektovat přísné požadavky vodoprávního úřadu na vypouštění do málo vodnatého recipientu i přítomnost ČOV ve 3. ochranném pásmu KRNAP a také zohlednit značné sezónní výkyvy v zatížení dané turistickým ruchem v oblasti. Firma ASIO, spol. s r.o. nabízí typovou řadu čističek odpadních vod ASVARIO comp. NULTRA vhodnou pro 30–300 ekvivalentních obyvatel. Tyto vystrojené čistírny odpadních vod jsou určené k čištění splaškových odpadních vod z trvale obývaných objektů, jako jsou například hotely, bytové domy, penziony či menší obce pro 30–300 ekvivalentních obyvatel. ČOV je vybavena membránovou technologií, která vyčištěnou vodu zbavuje většiny virů a bakterií. Vyčištěná voda je kvalitou srovnatelná s dešťovou vodou a použitelná pro zalévání, a i jako voda užitková do domácnosti.

Membránové separace se stávají součástí technologických procesů pro výrobu nových produktů o vysoké čistotě, umožňují zvýšení výtěžnosti procesů, snížení energetické náročnosti výroby, omezení, či úplnou eliminaci dopadů výroby na životní prostředí. Z hlediska technologického dnes již byly vypracovány a ověřeny metodiky testování a návrhu jednotlivých procesů, zvládnuta předúprava nástřiku a čisticí postupy. Rychlejšímu rozvoji napomáhá také vývoj nových odolnějších materiálů membrán, často se speciální úpravou povrchu, což vede k omezení zanášení membrán, méně častému čištění i snížení cen některých membrán, které se používají pro nejrozšířenější aplikace.

12.2 Potenciál procesů využívající iontovýměnné membrány

12.2.1 Přehled

V oblasti iontovýměnných membrán (IEM) bylo v období 2001–2019 publikováno přes 22 000 odborných článků. Od roku 2014 kolísá roční množství publikovaných článků mezi 1600–1900 články. V Tabulce 12.1 jsou shrnuty hlavní oblasti publikační činnosti o IEM. Mezi roky 2015 a 2018 došlo k výraznému publikačnímu nárůstu v oblasti reverzní elektrodialýzy (RED) a kapacitní deionizace (CDI). V Tabulce 12. 1 uváděné publikace se týkají MCDI, ale daleko větší publikační činnost se týká aplikačního využití a elektrod pro kapacitní deionizaci (dnes je již aplikačně rozeznáváno 9 typů CDI).

Tab. 12.1 Oblasti publikací věnovaných využití IEM

Oblast použití IEM	2001 - 2018
Palivové články	13011
Elektrodialýza	957
Elektrolýza	463
Desalinace	291
Redoxní průtočné baterie	307
Elektrodialýza s bipolárními membránami	243
Difuzní dialýza / Donnanova dialýza	177
Úprava vody	129
Reverzní elektrodialýza	205
Kapacitní deionizace	208
Elektrodeionizace	120
Čištění vody	115
Elektro-elektrodialýza	75

Bylo publikováno více než 22 000 článků na téma iontovýměnných membrán, což naznačuje zájem výzkumníků o toto téma. Zvláště pokud srovnáváme období do roku 2001, vzrostl do roku 2016 počet publikovaných článků přibližně šestkrát. Od roku 2001 do roku 2011 došlo k rychlému zvýšení počtu každoročně publikovaných článků na uvedené téma. Pak se růst publikovaných článků snížil. Od roku 2011 do roku 2013 a od roku 2015 dochází opět k jejich nárůstu. Z tohoto průběhu počtu publikací je možné konstatovat, že počátek od roku 2000 bylo obdobím rychle se vyvíjejícího výzkumu pro iontovýměnné membrány, které se v poslední době stabilizovalo, jak z pohledu výzkumné činnosti, tak vzhledem k produkci IEM. Navzdory tomu je téma výzkumu IEM stále velmi atraktivní i vzhledem ke skutečnosti, že od roku 2011 bylo každoročně vydáno více než 1 600 článků. Tento trend pokračuje i po roce 2017; v letech 2017–2018 bylo publikováno více než 2 000 článků v dané oblasti.

Z výše uvedeného hodnocení tedy vyplývá, že nejvíce článků je o IEM spojených s jejich využitím pro palivové články. Z toho cca tři tisíce článků se věnuje IEM z pohledu převodu protonů. Nejvíce publikovaných článků se zabývá PEMFC („Proton exchange membrane fuel cell“), MFC („Microbial fuel cell“); dále následují DFAFC („Direct formic acid fuel cell“). Z pohledu elektrodialýzy je zajímavý nárůst zájmu v oblasti EDBM od roku 2010. Bipolární membrány leží od tohoto období v oblasti většího zájmu výzkumu hlavně díky své vysoké energetické účinnosti a zřejmým environmentálním výhodám. Jedním specifickým směrem vývoje z počátku tohoto období bylo studium membránového štěpení vody. Zatímco poslední 4 roky existuje výrazně viditelný příklon k aplikovatelnému využití EDBM. Dále je publikační činnost zaměřena i na různé druhy způsobů přípravy IEM, tj. např. na odlévání, profilované membrány, štěpení polymeru, elektrospining, 3D tisk atd. Dalším sledovaným tématem je využití IEM pro elektrolýzu vody (vzhledem k možnosti vyrábět vodík z levného a snadno dostupné zdroje, tj. vody). Nicméně to neznamená, že tento proces výroby vodíku je levný. Ve výzkumném zájmu je rovněž snížení vysokých kapitálových nákladů a snížení nejistot souvisejících s uvedeným procesem. Řada publikací je věnována i membránám se smíšenou matricí. Na druhou stranu, velké množství publikací se snaží řešit IEM z pohledu mechanické robustnosti a chemické stability za účelem toho, že smíšené matrice membrán mohou vykazovat nestabilitu v důsledku přidání a funkcionalizace částic do svých struktur.

Výše uvedené je pak možné shrnout v konstatování, že „**Vývoj iontovýměnných membrán je poháněn především dvěma celosvětovými problémy: energií a vodou**“. Čína a USA patří mezi dvě nejčastěji publikující země. Další země, které přesáhly v daném období počet 1 000 publikací, jsou Japonsko, Jižní Korea a Kanada.

Analýza publikační činnosti byla zaměřena zejména na publikace aplikačních možností ED a rozšiřování znalostí a modelování o tomto procesu. Sledováno bylo období od roku 1989 do roku 2018. Za toto období se dá najít nejméně 3 547 relevantních publikací, které lze rozdělit do téměř 60 kategorií ve více než 52 publikačních zdrojích. Více jak 80 % všech publikací připadá na tyto hlavní skupiny zájmu: procesní inženýrství (více než 2 050 článků), chemické inženýrství (>760 článků), problematika vodních zdrojů (>730 článků), polymerní chemie (>557 článků), aplikace elektrochemie (cca 400 článků). Z analýzy je tedy patrné, že v procesním inženýrství v posledních 25 letech došlo k prudkému nárůstu článků, zatímco v oblasti elektrochemie, zejména u elektrolýzy, došlo jen k pozvolnému nárůstu. U elektrolýzy je tedy možné vyslovit závěr, že se jedná již o vyspělou technologii, a proto se publikační činnost v tomto oboru zaměřuje na stabilitu membrán a na využití při výrobě vodíku.

Z celkového publikačního a procesního hlediska je zřejmé, že elektrodialýza byla zavedena do průmyslových aplikací o 20 let dříve než RO. Většina kapacit ED zařízení je soustředěna na výrobu pitné vody z brakických vod, a to zejména vzhledem k vyššímu využití vod. RO je více používána pro vody s vyšším obsahem solí než 8 g/l zejména z ekonomických a provozních důvodů. RO má výhodu i při velkoobjemových průtocích zpracovávaného media; ED je pak vhodnější pro vsádkové systémy zpracovávající roztoky, domácí vodní systémy, ostrovní systém a speciální aplikační oblasti. V oblasti mírně zasolených brakických vod začíná být ED pozvolna vytlačována různými druhy CDI, i když pro toto není procesní ani ekonomicky důvod. I přes uvedené zůstává ED velký potenciál při zpracování následujících roztoků:

- odstranění a regenerace těžkých kovů z OV
- odpadní vody z výroby baterií
- čištění průmyslových a zemědělských vod
- EDBM pro hydrolyzátové/fermentační proudy
- EDBM pro obnovu kyselin a bázi z OV
- demineralizace a úprava pH potravinářských roztoků

Oblast vody a energií jsou dvě hlavní aplikace IEM, přičemž aplikace spojené s vodou zahrnují především elektrodialýzu ve všech formách (EDBM. SED, MED, EED), difuzní dialýzu a membránovou kapacitní deionizaci. Aplikace založené na energii zahrnují především reverzní elektrodialýzu, palivové články, redoxní průtokové baterie a elektrolýzu. Z hlediska membrán je pro zvýšení účinnosti a efektivity těchto aplikací zapotřebí v budoucnu zkoumat levné membránové materiály a vyvíjet membrány s vysokou iontovou vodivostí, vysokou permselektivitou, vysokou stabilitou a dlouhou životností. Jelikož různé aplikace mohou mít zvláštní požadavky na vlastnosti membrán, je důležité tyto faktory zohlednit při optimalizaci vlastností membrán.

Obecně je elektrodialýza považována za jednoduchou, ale účinnou metodu čištění odpadních vod. Stále však existují určitá omezení ED. Pouze nabité ionty mohou být odstraněny elektrodialýzou, nenabité znečišťující látky nelze odstranit. Když je koncentrace soli příliš vysoká nebo je požadována vysoká čistota produkovaného roztoku, naráží ED na své limity. Elektrodialýza také v některých případech není ekonomicky konkurenceschopná s jinými postupy čištění. Díky své schopnosti nepřetržitého provozu a jednoduchým možnostem rozšiřování je ED vhodným kandidátem na použití pro čištění kyselých odpadních vod s obsahem kovů v případě velkých aplikací. Kromě toho je ED ekologicky šetrná technologie bez přidávání chemických látek (v případě, že není vyžadována předběžná úprava). Použití klasické technologie ED však stále naráží na nevýhody, mezi něž patří vysoké náklady, zanášení membrán, proudy koncentrátu a specifické požadavky na čištění jednotlivých průmyslových odpadních vod. Doporučuje se proto dodržovat princip jedné proměnné a snadno porovnávat výkonnost různých použitých technik ED.

Na budoucí výzkum ED by měl navazovat:

- vývoj SED pro zpětné získávání specifických kovů, včetně funkcionalizace membrán, optimalizace jejich parametrů nebo kombinace různých technologií.
- vývoj SED s chelatačním činidlem pro opětovné využití koncentrovaných toků kovových iontů může podpořit ekonomické úspory, oběhové hospodářství a nulové vypouštění.
- praktické testování ED v ČOV za účelem výroby směsných kovových koncentrátů a jejich opětovné využití v hromadných aplikacích, jako je výroba cementu. Proto je pro nepřetržitý provoz a čištění hromadných vod zapotřebí vyvinout robustní a trvanlivé membrány.
- vývoj jednoduchých a účinných čisticích postupů pro čištění IEM a automatizovaných procesů pro výměnu membrán z modulů.

Cílem všech těchto směrů výzkumu je snížit náklady a zvýšit výkonnost systémů ED pro nakládání s OV, a hlavně s OV obsahující ionty kovů. Je však třeba provést testy v plném měřítku při zpracování odpadních vod a průmyslových odpadních vod (např. elektronický odpad, regenerace baterií, hydrometalurgie, galvanické pokovování), jakož i testy jejich opětovného použití. Je třeba provést ekonomické hodnocení systémů v rozšířeném měřítku a systematické srovnání s jinými technologiemi, aby se dále prokázala použitelnost technologií založených na iontovýměnných membránách.

Obr. 12.1 Heterogenní iontovýměnné membrány od společnosti MemBrain s.r.o.

13 VLIV TZV. „EMERGING TECHNOLOGIES“ NA MEMBRÁNOVÉ TECHNOLOGIE A VZNIK NOVÝCH PŘÍLEŽITOSTÍ

IT a elektronika

Určité typy membrán jsou velmi žádány v elektronice. Membrány používané jako "protective vents" zahrnují některé typy senzorů jako např. senzory změny úhlu, akcelerometrické senzory, senzory vlhkosti, chemické senzory, senzory polohy, magnetorezistivní senzory atd. IPRO (značka výrobce membrán Hangzhou IPRO membranes) chráněné větrací otvory umožňují průchod vzduchu dovnitř senzoru, ale zároveň chrání před vniknutím prachových a jiných částic. Rovněž chrání před vniknutím vody a celkově umožňují citlivost a nepřetržitou funkčnost senzoru. Zároveň IPRO membrána vyrovnává pokles tlaku z vnitřní a vnější strany senzoru vzhledem k teplotním změnám a dobré propustnosti pro vzduch. IPRO membrány se dále používají v takových elektronických zařízeních, jako jsou plynové detektory, baterie, sluchové elektronické pomůcky, kamery bezpečnostních systémů, voděodolné kamery, a dokonce vybavení ponorek a pomůcky pro testování jejich vybavení. Polyvinyliden fluorid (PVDF) je semikrystalický, termoplastický a elektroaktivní polymer s piezoelektrickými a pyroelektrickými vlastnostmi, dále s teplotní stabilitou, elasticitou a chemickou odolností. PVDF existuje v 5 různých fázích (α, β, δ, γ a ε-fáze). Unikátní vlastnosti tohoto polymeru prohlubují jeho použití v chemickém, biomedicínském, and elektronickém průmyslu (např. superkapacitátory, převodníky, akumulátory a baterie). Pro plné využití potenciálu PVDF v elektronice, se používá přídavek z uhlíkových nanotrubiček („Carbon nanotube“ – CNT). Vzniklý nanokompozit má vylepšené výše uvedené vlastnosti, což ještě více rozšiřuje aplikační potenciál PVDF.

Umělá inteligence

Umělá inteligence bude schopna najít vztahy mezi chemickou strukturou/morfologií a transportními vlastnostmi. Umělá inteligence se též používá jako pomocný prvek v provozování čištění vody s pomocí MBR. Taktéž se neuronové sítě a umělá inteligence (AI) používají pro predikci zanášení membrán. V současnosti se v širokém měřítku využívá i optimalizace průmyslových membránových procesů pomocí umělé inteligence, strojového učení a neuronových sítí. Komercializace/výzkum/objevování nových aplikací v ČOV s MBR probíhá zatím pouze na úrovni vědeckých publikací. Použití AI, ML a NN (umělé inteligence, strojového učení a neuronových sítí) pro optimalizaci průmyslových procesů je zatím v počátcích.

Big data

Výzkumníci v USA a Německu využili experimentálně ověřený způsob založený na strojovém učení k rychlému návrhu a vývoji pokročilých membrán pro separaci plynů. V květnu 2020 to byla průkopnická a velice úspěšná experimentální práce. Další tým vědců z Columbia Engineering a University of South Carolina vyvinuli metodu, která využívá jak „Big data“, tak strojové učení k efektivnímu a poměrně rychlému návrhu membrán pro dělení plynů.

Průmysl 4.0 / Robotizace

Robotizace bude vést k zvýšení kvality membránových technologií, snížení nákladů na výrobu membrán, k vylepšení účinnosti membránového systému s použitím technologií umělé inteligence pro udržitelné zpracování odpadních vod, ale také pitné vody (Průmysl 4.0 věnován především komercializaci/zavádění membránových jednotek do výrobních procesů).

5G sítě a IoT

Membránové jednotky budou připojeny na internet a dodávat on-line data do vzdáleného úložiště (možnost řízení na dálku, což zásadně sníží náklady na provoz). Jednotky a celé technologie ED, RO jsou takto už dnes připojeny a operovány. V současné době dochází ke změnám, které se týkají analytických stanovení, poskytnutí servisu a predikce dějů uvnitř a vně zařízení. Rovněž probíhá snaha vyvinout neuronové sítě, které umožní predikovat vývoj stavu zařízení dopředu a navrhovat řešení daných problémů (např. zjednodušení

rozhodovacích cyklů údržby, čištění a výměny náhradních dílů, tj. modulů a automatizace jejich skládání, příp. detekci vad na modulech).

Kvantové počítače

Kvantové počítače umožní přesnější předpověď chemických reakcí, čímž se může urychlit například vývoj nových materiálů. Obrovský výpočetní výkon může být velmi přínosný při řešení výpočtů ve složitých chemicko-inženýrských systémech.

3D tisk

3D tisk rozdělovačů může zlepšit tok kapalin v modulech (vyšší efektivita separace/návrhy prototypů nových geometrií modulů). Se zvyšováním rozlišení tisku lze očekávat tisk samotných membrán. Z hlediska perspektivy použití 3D tisku pro výrobu separačních membrán (při porovnání s jinými nekonvenčními technologiemi) je nutné si uvědomit, že samostatný 3D tisk zatím neumožňuje výrobu membrán např. pro filtraci vody. Tato skutečnost vyplývá z důvodu minimálního dosažitelného rozlišení struktur tištěných pomocí 3D tiskárny. Proto se začínají používat tzv. hybridní 3D tiskové techniky a metody.

Vertikální zemědělství /aquaponie

Membrány X-Flow mohou být použity v ostřikovačích a systémech pro hloubkovou irigaci v hydrokulturách a aquaponických systémech. Membránové odsolení a opětovné využití vody v zemědělství je zaměřeno na RO a MBR. Výhledově se diskutuje použití FO a MD (přímá osmóza a membránová destilace) pro uvedené účely, tj. získání čisté vody pro irigaci.

Využití membrán pro separaci CO_2 (ze spalin) a následné využití jako nutrient pro rostliny představuje v aquaponii (uzavřený ekologický systém) další využití membrán při odstraňování nežádoucích polutantů z ekosystémů.

Nové materiály

Teplotně přeskupené polymery („Thermally rearranged polymers“) zahrnuji třídu heterocyklických mikroporézních polymerů připravených „in situ“ teplotními přeskupeními ortho-hydroxy polyamidů nebo polyamidů při velmi vysokých teplotách, což vede ke vzniku hustých polybenzoaxazolů (PBO) a polybenzothiazolů (PBT) tvořících následně stabilní membrány, které mají velké využití v praxi.

Membrány se smíšenou matricí („Mixed matrix membranes“ – MMMs) jsou novou třídou hybridních kompozitních membrán, kde anorganické nano- nebo mikročástice jsou homogenně integrovány do polymerní matrice.

Perfluoropolymery získaly uznání díky jejich vynikající chemické a teplotně-oxidativní stabilitě, výtečným dielektrickým, optickým, elektrickým a povrchovým vlastnostem, a to vzhledem k svým pevným C-F vazbám a přítomnosti fluorových atomů kolem uhlíkového páteřního řetězce.

Jak naznačuje název, iontové kapaliny (RTIL) jsou materiály obsahující ionty, které mají bod tání pod 100 °C. Iontové kapaliny jsou zpravidla netěkavé a nehořlavé. V uplynulých 20 letech, poly(RTIL)s membrány získaly pozornost díky svým unikátním vlastnostem, jako jsou např. vysoká teplotní a chemická stabilita, vysoká katalytická aktivita, vysoká schopnost rozpouštět, minimální těkavost, vysoká elektrická vodivost a schopnost přesně nastavit jejich polarity.

Zelené materiály

Zelené materiály předpokládají náhradu stávajících polymerů a rozpouštědel používaných při výrobě membrán za ekologicky méně závadné. Zároveň se předpokládá šetrné zacházení s přírodou při recyklaci membránových modulů, použití superkritického oxidu uhličitého, příp. výroby membrán bez použití rozpouštědla díky polymeraci v objemové fázi.

Grafen a další nanoplniva

Membrány metal-organické sítě (MOF) jsou multidimenzionální porézní struktury skládající se z kovového kationtu nebo kovového klastru koordinovaného s organickými ligandy. Díky svým mimořádným vlastnostem, jako je vysoká povrchová plocha (až 10 000 m^2 g^{-1}), ultra vysoká pórovitost, malá hustota, velká rozmanitost velikostí pórů (3-100 Å), dobrá tepelná stabilita (až 500°C) a možnosti modifikace (během a po syntéze), jsou membrány MOF stále atraktivnější při separaci kapalin, plynů a par. V ideálním případě by se dobrá polymerní membrána měla vyznačovat vysokou propustností a vysokou selektivitou. Obecně jsou k dispozici dva typy membrán MOF: i) čisté MOF a ii) membrány se smíšenou matricí (MMM) obsahující organickou matrici a částice MOF.

Bez ohledu na tyto slibné výsledky (dostatečná selektivita a propustnost) je příprava vhodných, zcela čistých MOF membrán, stále velmi náročná. Lze konstatovat, že ne všechny MOF mohou být vybrány jako selektivní vrstva, protože některé z nich vytvářejí drobné krystaly, které zabraňují tvorbě souvislé vrstvy. Za druhé, MOF membrány jsou vyráběny na podpůrných materiálech, např. oxidu křemičitém, zeolitech, grafitu a oxidu hlinitém, jež jsou charakterizovány dobrou tepelnou stabilitou; jejich křehkost a nedostatečná flexibilita však výrazně omezují další aplikace. A konečně, slabá přilnavost mezi částicemi MOF a porézní podporou může vést k oddělení porézní podpory, čímž se vytvoří neselektivní membrána. Vzhledem k tomu, že příprava čistých MOF membrán je komplikovaný a nákladný proces, vědci představili jiné řešení, tj. membrány se smíšenou matricí (MMM). Ačkoli většina MOF jsou mikrokrystalické prášky, MOF mohou být homogenně rozptýleny v polymerní matrici generující MMM. Plnivo MOF může snížit rychlost plastifikace, čímž se zvýší transport a separace membrán obsahujících MOF. Tyto membrány jsou navíc mnohem stabilnější než čisté MOF membrány a nevyžadují žádné nákladné podpory, a proto není nutná potřeba udržovat vysoce reprodukovatelnou syntézu.

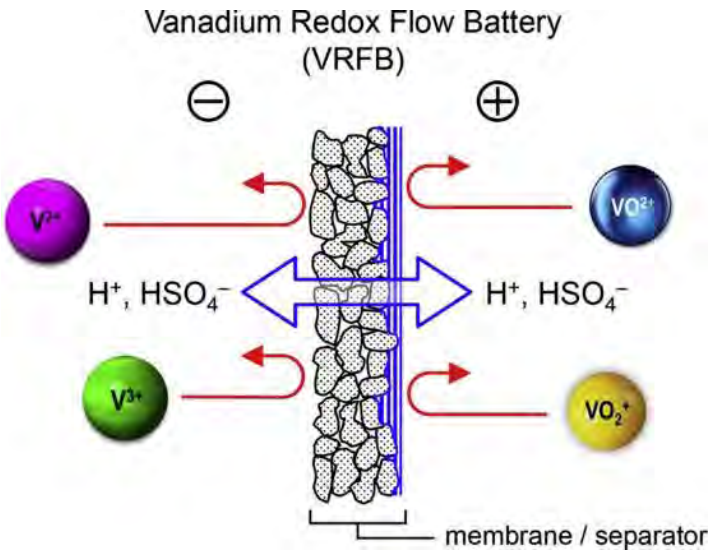
MMM membrány mají potenciál překonat omezení polymerních membrán pro separaci tekutin zlepšením propustnosti i selektivity. MMM membrány kombinují výhody levných polymerních membrán s vysokým separačním výkonem plniv. Kromě toho jsou MOF více kompatibilní s polymery než anorganická plniva. Příprava dobrých MMM membrán však vyžaduje vhodný výběr polymeru a plniva a homogenní rozptýlení plniv v polymerní matrici. Při separaci tekutin se běžně používají dva typy polymerů: kaučukovité a skelné polymery. Kaučukovité polymery poskytují dobrou disperzi částic MOF díky vysoké mobilitě polymerních řetězců, čímž vytvářejí stabilní a neporézní membrány. U skelných polymerů s tuhou řetězovou strukturou membrány MMM založené na tomto typu polymeru často obsahují dutiny. V důsledku tohoto začlenění částic, MOF nejen zvyšuje transportní a separační vlastnosti membrány, ale také pomáhá překonat problém bobtnání polymerního řetězce.

Vodíkové technologie

V poslední době se stále významněji využívá elektrolýza vody pomocí iontověvýměnných membrán v moderních palivových článcích**.** Dalším příkladem úspěšné membránové technologie v praxi je katalytický membránový reaktor, který může extrahovat čistý vodík z amoniaku. V budoucnu jsou předpoklady pro použití dané technologie jako klíčové komponenty v systémech dopravy a palivového využití vodíku a amoniaku v budoucnu.

Nové baterie

Membrána je využívána jako tuhý elektrolyt. Ohmický odpor a transportní vlastnosti membrány v případě vanadu (a obecně elektrolytu) jsou klíčovými membránovými vlastnostmi. Jako perspektivní se jeví amfoterní membrány s vrstevnatou strukturou. Asymetrické materiály kombinující porézní podložku s robustní krycí tenkou vrstvou představují slibné řešení pro aplikace ve vanadových průtočných bateriích (Obr. 13.1).



Obr. 13.1 Role asymetrické membrány ve vanadové redoxní průtočné baterii.

Záchyt CO_2

Jedním z moderních řešení pro záchyt oxidu uhličitého je membránový foto bioreaktor (MPBR), který je možné využít pro zpracování a záchyt CO_2 z odpadních procesních proudů, jakožto proudů ze zpracování odpadních vod (ČOV), průsakových vod a kompostáren, ale také z produkce elektrické energie a zhodnocení řasové biomasy.

Obr. 13.2 Ilustrativní obrázek k technologii zachytávání CO_2

14 ZÁVĚR

Tlakové (a osmotické) membránové procesy využívané v oblasti chemických a průmyslových výrob, energetice, potravinářství, farmaceutickém průmyslu, ochraně životního prostředí i v dalších odvětvích jsou vhodnou alternativou k tradičním technologiím. Nacházejí stále větší uplatnění zejména při úpravě pitné vody, při zpracování a recyklaci odpadní vody, v biotechnologiích a při zpracování potravin.

Lze očekávat, že i v budoucnu se bude rozšiřovat využití membránových technologií. Jako příklad může sloužit koncepce opětovného využití odpadních a dešťových vod, která nabývá v poslední době většího významu. Nutností se tyto systémy stávají i v Evropě, kde prozatím takový tlak na znovuvyužití šedých a dešťových vod nebyl.

Hlavním důvodem pro recyklaci „šedých" vod je především to, že jsou minimálně znečištěny a jejich úprava není příliš náročná; navíc lze s výhodou využít tepla, které je v nich obsaženo. Důvodem pro dělení vod v tomto případě je tedy hlavně oddělení šedé vody, na rozdíl od decentralizovaného čištění odpadních vod, kde se hlavně odděluje tzv. „žlutá voda" za účelem snížení množství nutrientů na odtoku. V případě šedých vod a vyčištěných šedých vod (bílých vod) se často uvažuje o kombinaci se srážkovými vodami a minimalizuje se tak problém s nerovnoměrností srážek.

Membránové separace se stávají součástí technologických procesů pro výrobu nových produktů o vysoké čistotě, umožňují zvýšení výtěžnosti procesů, snížení energetické náročnosti výroby, omezení, či úplnou eliminaci dopadů výroby na životní prostředí. Z hlediska technologického dnes již byly vypracovány a ověřeny metodiky testování a návrhu jednotlivých procesů, zvládnuta předúprava nástřiku a čisticí postupy. Rychlejšímu rozvoji napomáhá také vývoj nových odolnějších materiálů membrán, často se speciální úpravou povrchu, což vede k omezení zanášení membrán, méně častému čištění i snížení cen některých membrán, které se používají pro nejrozšířenější aplikace.

Elektrochemické membránové technologie jsou v principu hybridní procesy složené z elektrochemické a membránové technologie. V současnosti pokrok v tomto oboru těží jak z rychlého vývoje monopolárních, tak i bipolárních membrán. Vliv tzv. "vodivých membrán" je stále významně posilován některými parametry, jako jsou propustnost, selektivita a energetická účinnost. Některé překážky v dalším rozvoji však stále existují. Jednou z hlavních překážek v elektrochemické technologii založené na IEM je znečištění/zanášení membrán. Dalším problémem, který může omezit vývoj elektromembránového procesu, jsou boční (nežádoucí) elektrochemické reakce, tj. např. vývoj kyslíku, který může vytvářet bubliny a které se snadno zachytí v malých omezených průtokových kanálech elektromembránových modulů, čímž ovlivňují dlouhodobou propustnost a selektivitu iontovýměnných membrán. V neposlední řadě většina elektrochemických membránových technologií založených na iontovýměnných membránách stále stagnuje především v laboratorních studiích a další studie ve větších provozních měřítcích budou nutné k podpoře praktických aplikací elektromembránových technologií.

Elektromembránové technologie přitahují stále větší pozornost po celém světě v oblasti čištění odpadních vod. Spojení elektrochemického procesu s membránovou technologií neumožňuje pouze účinné odstranění nebo rozklad znečišťujících látek v odpadních vodách, ale také zajišťuje mnohem vyšší kontrolu nad zanášení membrán a rovněž vysoce selektivní separační proces. Nedávný vývoj elektromembránových technologií také rozšířil jejich použití při odsolování, získávání energie a obnově zdrojů z mořské vody a odpadních vod, tj. jak průmyslových, tak komunálních vod.

15 Literatura

1. Campione, L. Gurreri, M. Ciofalo, G. Micale, A. Tamburini, A. Cipollina. (2018). Electrodialysis for water desalination: a critical assessment of recent developments on process fundamentals, models and applications, Desalination, 434
2. Abdullah, N., Yusof, N., Lau, W. J., Jaafar, J., & Ismail, A. F. (2019). Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane technologies. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 76, 17-38.
3. Al-Amshawee, M.Y.B.M. Yunus, A.A.M. Azoddein, D.G. Hassell, I.H. Dakhil, H.A. Hasan. (2020). Electrodialysis desalination for water and wastewater: a review Chem. Eng. J., 380, p. 122231
4. Albright R.E., Kappel,T.A. (2003). Roadmapping in the corporation. Research Technology Management 46 (2), 31–40.
5. Balanyà, T., Labanda, J., Llorens, J., & Sabaté, J. (2019). Influence of chemical speciation on the separation of metal ions from chelating agents by nanofiltration membranes. Separation Science and Technology, 54(1), 143-152.
6. Balster J., Stamatialis D., Wessling M.: Electro-catalytic membrane reactors and the development of bipolar membrane technology; Chem. Eng. Process. Process Intensif. (2004), 43, 1115–1127.
7. Basha C.A., Ghosh P.K., Gajalakshmi G.: Total dissolved solids removal by electrochemical ion exchange (EIX) proces; Electrochimica Acta (2008), 54, 474-483.
8. Begum, S., Kausar, A., Ullah, H. & Siddiq, M. (2016). Potential of Polyvinylidene Fluoride/Carbon Nanotube Composite in Energy, Electronics, and Membrane Technology: An Overview. *Polym. Plast. Technol. Eng.* 55, 1949–1970.
9. Cath, T. Y., Childress, A. E., & Elimelech, M. (2006). Forward osmosis: principles, applications, and recent developments. Journal of membrane science, 281(1-2), 70-87.
10. Couto, C. F., Lange, L. C., & Amaral, M. C. (2019). Occurrence, fate and removal of pharmaceutically active compounds (PhACs) in water and wastewater treatment plants—A review. Journal of Water Process Engineering, 32, 100927.
11. Cui, J., Li, F., Wang, Y., Zhang, Q., Ma, W., & Huang, C. (2020). Electrospun nanofiber membranes for wastewater treatment applications. Separation and Purification Technology, 117116.
12. Dhangar, K., & Kumar, M. (2020). Tricks and tracks in removal of emerging contaminants from the wastewater through hybrid treatment systems: A review. Science of the Total Environment, 140320.
13. Gindy N. N.Z., Cerit B., Hodgson A. (2006). Technology roadmapping for the next generation manufacturing enterprise. Journal of Manufacturing Technology Management, 17 (4): 404-416
14. Goswami, L., Kumar, R. V., Borah, S. N., Manikandan, N. A., Pakshirajan, K., & Pugazhenthi, G. (2018). Membrane bioreactor and integrated membrane bioreactor systems for micropollutant removal from wastewater: a review. Journal of water process engineering, 26, 314-328.
15. Helfer, F., Lemckert, C., & Anissimov, Y. G. (2014). Osmotic power with pressure retarded osmosis: theory, performance and trends–a review. Journal of Membrane Science, 453, 337-358.
16. Hube, S., Eskafi, M., Hrafnkelsdóttir, K. F., Bjarnadóttir, B., Bjarnadóttir, M. Á., Axelsdóttir, S., & Wu, B. (2020). Direct membrane filtration for wastewater treatment and resource recovery: A review. Science of The Total Environment, 710, 136375.
17. Kamali, M., Appels, L., Yu, X., Aminabhavi, T. M. & Dewil, R. (2021). Artificial intelligence as a sustainable tool in wastewater treatment using membrane bioreactors. Chem. Eng. J. 417, 128070.
18. Khan, N. A., Khan, S. U., Ahmed, S., Farooqi, I. H., Yousefi, M., Mohammadi, A. A., & Changani, F. (2020). Recent trends in disposal and treatment technologies of emerging-pollutants-A critical review. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 122, 115744.

19. Kim, J., Jeong, K., Park, M. J., Shon, H. K., & Kim, J. H. (2015). Recent advances in osmotic energy generation via pressure-retarded osmosis (PRO): a review. Energies, 8(10), 11821-11845..
20. Kostoff R.N., Boylan R., Simons G.R., (2004). Disruptive technology roadmaps. Technological Forecasting and Social Change 71 (1–2): 141–159
21. Kostoff, R.N. and Schaller, R.R. (2001). Science and technology roadmaps. IEEE Transactions of Engineering Management, 48 (2), 132-143.
22. Kwon, Y., & Lee, D. G. (2019). Removal of contaminants of emerging concern (CECs) using a membrane bioreactor (MBR): a short review. Global NEST Journal, 21(3), 337-346.
23. Lee S., Kang S., Park E., Park Y. (2008). Applying technology road-maps in project selection and planning. International Journal of Quality & Reliability Management, 25 (1): 39–51.
24. Ministerstvo zemědělství ČR. (2021). Zpráva o stavu vodního hospodářství ČR v roce 2020, ISBN 978-80-7434-626-2
25. Obotey Ezugbe, E., & Rathilal, S. (2020). Membrane technologies in wastewater treatment: a review. Membranes, 10(5), 89.
26. Pourcelly G., Gavach C.: Electrodialysis water splitting-application of electrodialysis with bipolar membranes. In: Kemperman A.J.B. (Ed.), Handbook on Bipolar Membrane Technology, Twente University Press, Enschede, 2000
27. Pourcelly G.: Electrodialysis with bipolar membranes: principles, optimization, and applications; Russ. J. Electrochem. (2002), 38, 919–926.
28. Renu, Agarwal, M., & Singh, K. (2017). Methodologies for removal of heavy metal ions from wastewater: an overview. Interdisciplinary Environmental Review, 18(2), 124-142.
29. Römgens B., Kruizinga E. (2013) Waste water management roadmap, DNW
30. Saddiqa Begum, Ayesha Kausar, Hameed Ullah & Muhammad Siddiq. (2016). Potential of Polyvinylidene Fluoride/Carbon Nanotube Composite in Energy, Electronics, and Membrane Technology: An Overview, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 55:18, 1949-1970
31. Silva, L. L., Moreira, C. G., Curzio, B. A., & da Fonseca, F. V. (2017). Micropollutant removal from water by membrane and advanced oxidation processes—a review. Journal of Water Resource and Protection, 9(05), 411..
32. Suwaileh, W., Pathak, N., Shon, H., & Hilal, N. (2020). Forward osmosis membranes and processes: A comprehensive review of research trends and future outlook. Desalination, 485, 114455.
33. Tang, C. Y., Yang, Z., Guo, H., Wen, J. J., Nghiem, L. D., & Cornelissen, E. (2018). Potable water reuse through advanced membrane technology.
34. Taoufik, N., Boumya, W., Janani, F. Z., Elhalil, A., & Mahjoubi, F. Z. (2020). Removal of emerging pharmaceutical pollutants: A systematic mapping study review. Journal of Environmental Chemical Engineering, 104251.
35. Wang, Z., Crandall, C., Sahadevan, R., Menkhaus, T. J., & Fong, H. (2017). Microfiltration performance of electrospun nanofiber membranes with varied fiber diameters and different membrane porosities and thicknesses. Polymer, 114, 64-72.
36. Xu T.: Electrodialysis processes with bipolar membranes (BMED) in environmental protection—a review; Resour. Conserv. Recycl. (2002), 37, 1–22.
37. Xu, W., Chen, Q., & Ge, Q. (2017). Recent advances in forward osmosis (FO) membrane: Chemical modifications on membranes for FO processes. Desalination, 419, 101-116.

16 Přílohy – případové studie

Příloha 1

Případová studie realizované membránové aplikace pro čištění a úpravu vody

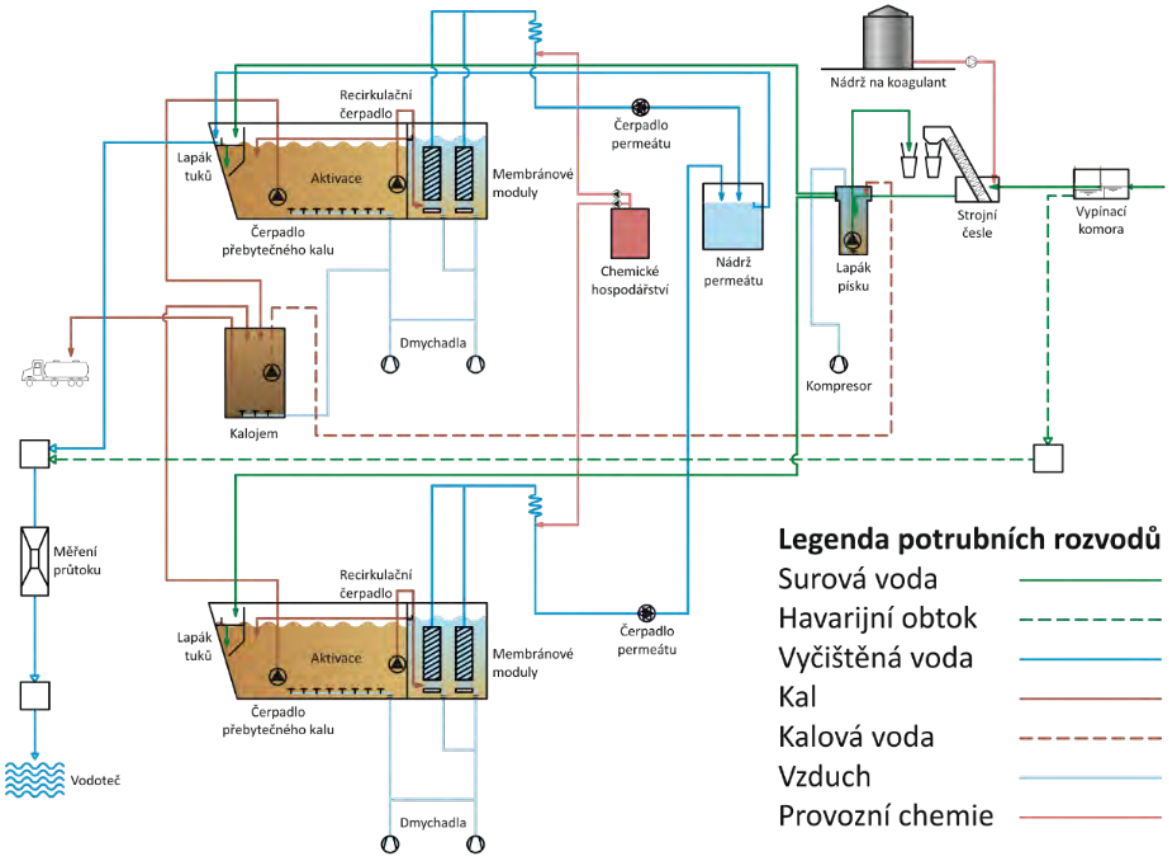
ENVI-PUR, s.r.o. Na Vlčovce 13/4, 160 00 Praha 6 – Dejvice

Úvod

V aplikacích naší společnosti se uplatňují tlakové membránové procesy, tj. mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmóza. Podle typu aplikace jsou používány deskové a spirálně vinuté moduly a moduly s dutými vlákny (s keramickými či polymerními membránami) v podtlakovém či přetlakovém uspořádání. Uvedené membránové separace jsou při čištění odpadních vod využívány nejen pro splaškové odpadní vody, ale jejich aplikace je směřována zejména na intenzifikace ČOV při zachování stávajících objemů nádrží. Pro průmyslové odpadní vody jsou využívány keramické mikrofiltrační membrány, které se vyznačují vyšší chemickou odolností v porovnání s polymerními membránami. Hlavním úkolem membránových technologií v čistírenství je separace biomasy z odpadní vody. V aplikacích membránových bioreaktorů (MBR) se nejčastěji uplatňuje mikrofiltrace a ultrafiltrace. Pro úpravu pitné vody je používána technologie mikrofiltrace s využitím keramických membrán a s předřazeným koagulačním stupněm.

Pro bližší představení membránových technologií jsou uvedeny dvě vybrané aplikace, tj. čistírna odpadních vod s membránovým biologickým reaktorem (MBR) Benecko-Štěpanická Lhota a úpravna vody Klenovec.

Komunální ČOV s MBR Benecko-Štěpanická Lhota

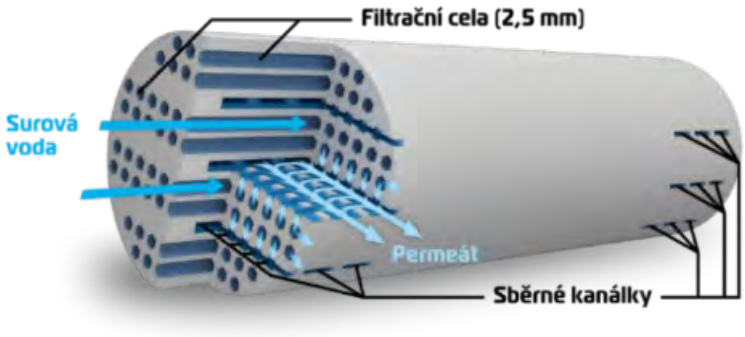


Obr. P1. 1 Blokové schéma ČOV Benecko-Štěpanická Lhota

Membránový bioreaktor kombinuje klasické biologické čištění odpadních vod (pomocí aktivovaného kalu) s membránovou technologií. Membránová technologie slouží především pro separaci nerozpuštěných látek a přítomných patogenních mikroorganismů.

Obec Benecko je významné rekreační středisko, které leží v západních Krkonoších, v 3. zóně Krkonošského národního parku. I v této rekreační oblasti je značně rozdílný počet obyvatel a hostů v zimním a letním období (1 000–1 900) a v období mezisezony, kdy je na čistírnu napojeno pouze 350 stálých obyvatel Benecka. Původní kapacita čistírny byla 900 EO, po jejím rozšíření je kapacita 1 900 EO, a to bez jakéhokoli zvětšování objemů nádrží. Blokové schéma ČOV je uvedeno na Obr. 1. ČOV je v provozu od roku 2011. Průměrný objemový průtok odpadní vody je 129 m^3/den, koncentrace kalu je 6 g/l a průměrný výkon separačních membrán, tj. intenzita toku permeátu (vyčištěné vody) je 250 l/m^2 h.

Během procesu separace dochází k zanášení membrán (tzv. fouling – tvorba organických úsad, a scaling – tvorba anorganických úsad). V důsledku tohoto jevu roste tlaková ztráta (vzrůstá odpor vůči toku permeátu) a zároveň dochází k snižování výkonu membrán. Proto je v provozu důležité efektivně čistit membránové moduly, kdy jsou využívány jak zpětný proplach a chemický zpětný proplach (CEB), tak chemické čištění.



Obr. P1. 2 Průřez keramickým membránovým elementem

Provozní oxidační chemické zpětné proplachy (CEB) se projevily jako velmi účinné pro zpomalení poklesu intenzity toku permeátu (permeability), zejména během zvýšených hydraulických zatížení čistírny (jarní tání nebo plná turistická sezóna). Používanou chemikálií pro oxidační CEB je chlornan sodný, pro kyselý CEB pak kyselina citronová. Základní princip spočívá v dávkování chemikálie do proudu zpětného proplachu permeátu a v klidové fázi, která umožňuje následný průběh reakce. Při plném zatížení čistírny je oxidační CEB prováděno 3× týdně a jeden kyselý CEB za 14 dní na každé lince. Při nižším zatížení je počet chemických zpětných proplachů snížen na jeden za týden. Aplikace oxidačního CEB zvyšuje provozní výkon separace o 5–8 %. Chemický zpětný proplach také snižuje četnost potřeby chemického čištění, a tím přispívá k prodloužení životnosti membránového modulu (membrán). Ke kompletnímu chemickému čištění (tj. oxidační a kyselé) bylo přistoupeno u každé linky pouze dvakrát během sedmi let provozu.

Měrná spotřeba elektrické energie pro ČOV Benecko-Štěpanická Lhota je 0,75–1,04 KWh/m^3. Tato hodnota se výrazně neliší od jiných menších čistíren v rekreačních oblastech.

Úpravna pitné vody Klenovec

Základem celé technologie nových úpraven vody pracujících na principu membránové separace s předřazeným koagulačním stupněm je keramický membránový element. Jeden keramický membránový element má separační plochu 25 m^2, nominální velikost pórů 0,1 μm a celkový počet 2 000 kanálků s průměrem 2,5 mm. Keramické membránové elementy jsou vyrobeny z oxidu hlinitého (korund). Délka jednoho keramického elementu je 1,5 m a průměr je 180 mm.

Obr. P1. 3 Uspořádání jedné řady 10 ks modulů s keramickými membránami

Průřez membránovým elementem je znázorněn na Obr. P1. 2. Celý systém pracuje na principu přímé separace (dead end uspořádání, inside-out).

Mikrofiltrace s využitím keramických membrán byla pro ÚV Klenovec (Slovensko) navržena ve dvoulinkovém uspořádání (krátkodobý maximální výkon jedné linky 70 l/s). Každá z linek obsahuje 50 ks keramických membránových elementů (celkem 100 ks membrán), které jsou uzavřeny do nerezových pouzder. V každé lince je paralelně řazeno 5 řad po 10 keramických elementech. Pohled na jednu řadu s 10 moduly je uveden na Obr. P1.3 a P1.4 pak dokumentuje uspořádání kompletní linky č. 2.

Separaci zajišťují keramické membránové elementy v dead-end uspořádání (inside-out), výkon zařízení (intenzita toku permeátu) je nastaven na hodnotu 200 l/m^2 h pro Q_{max} 140 l/s a 122 l/m^2 h při Q_{nom} 85 l/s.

Fyzikální praní (BW) je prováděno automaticky podle hodnot tlakové ztráty na membránovém elementu. Délku separačního cyklu určují jak kvalita surové vody, tak i množství zpracovávané suspenze. Obvyklá délka separačních cyklů je 1–8 hodin. Chemické praní (CEB) je dvojího charakteru, a to kyselé pomocí kyseliny sírové H_2SO_4 (koncentrace 37 %), resp. oxidační pomocí chlornanu sodného NaClO (koncentrace 12 %).

Dlouhodobý výkon ÚV Klenovec je 90 l/s, při kterém je dosahováno průměrné hodnoty intenzity toku permeátu (čisté vody) 129,6 l/m^2 h. Fyzikální praní se provádí jednou za 3–4 hodiny, spotřeba vody na jedno praní a jednu sestavu membránových elementů je přibližně 1 000 l. Spotřeba prací vody je kolem 1 %. Schéma technologické linky 1 je uvedeno na Obr. P15.

Závěr

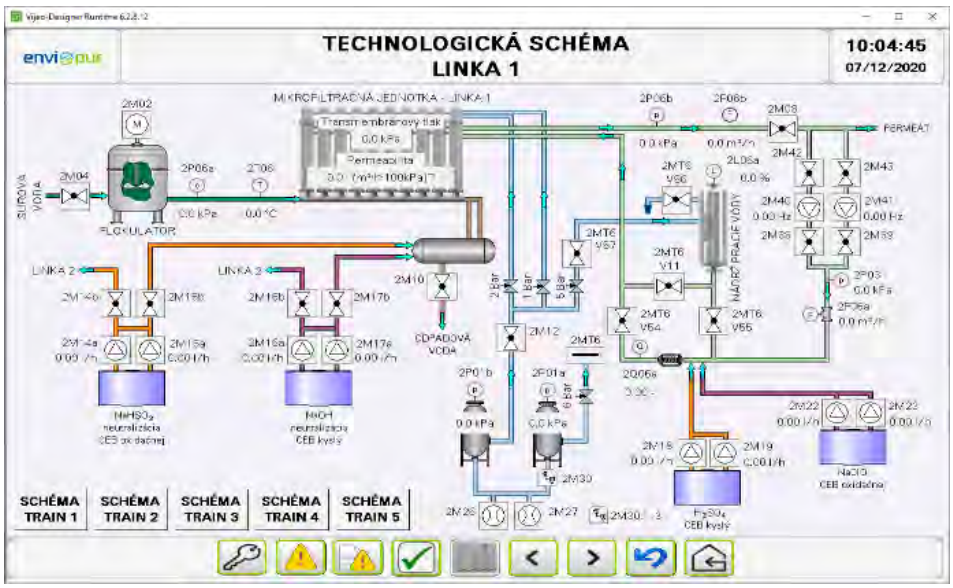
Více než sedmiletý provoz rekonstruované a intenzifikované čistírny odpadních vod Benecko-Štěpanická Lhota prokázal udržitelnost provozování membránového bioreaktoru v náročných horských podmínkách a v měnících se sezónních výkyvech. Provoz ČOV Benecko-Štěpanická Lhota je ekonomicky srovnatelný s podobnými čistírnami v rekreačních oblastech. Uvedený projekt spolu s dalšími dokazuje oprávněnost aplikací technologií MBR v případech, v kterých konvenční systémy nejsou schopny konkurovat ekonomicky a/nebo technologicky.

Obr. P1. 4 Kompletní membránová separační linka 2

Na ÚV Klenovec byla realizována a uvedena do provozu dosud největší instalace membránové separace s využitím keramických membrán AMAYA ve střední Evropě. Důvodem pro modernizaci stávající ÚV byla zastaralá technologie (cca 40 let provozu), která nesplňovala požadavky na kvalitu upravené vody. Kromě fyzikálně-chemického hlediska (zvýšený obsah manganu), bylo zejména problematické hydrobiologické oživení surové vody, zvýšená koncentrace organických látek a nestabilní hodnota pH. Mikroorganismy nebylo možné zachytit v separační části stávající technologie.

Analýzy upravené vody získané po uvedení nové ÚV do provozu ukazují, že volba kombinace úpravy vody koagulací (příp. flotací) a technologií membránové separace AMAYA splnila očekávání a požadavky investora. Problematickému výskytu živých organismů v upravené vodě dokáže AMAYA stoprocentně zabránit. Rovněž hodnoty ostatních ukazatelů jakosti pitné vody jsou slibným zahájením zkušebního provozu nově zrekonstruované ÚV Klenovec.

Systém AMAYA představuje moderní technologii, která si díky své kompaktnosti a vysoké účinnosti odstraňování organických a jiných látek ze surové vody zajisté dokáže získat své pevné místo při úpravě pitné vody.



Obr. P1. 5 Schéma technologické linky 1 ÚV Klenovec.

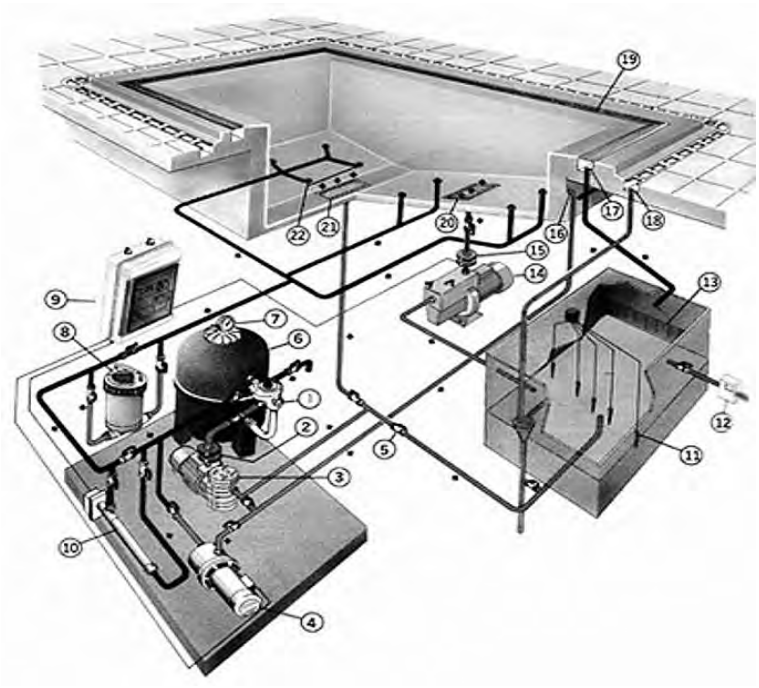
Příloha II

Případová studie využití membránových technologií v bazénových systémech ASIO

ASIO TECH, spol. s r.o., Kšírova 552/45, 619 00 Brno

Úvod

Recirkulace vody v bazénových systémech se využívá již dlouhou dobu a slouží k úspoře vodních zdrojů, energie a snížení provozních nákladů. Pro recyklace vody se nejčastěji používají pískové filtry společně s desinfekcí vody (viz Obr. PII.1).



Obr. PII. 1 Schéma tradičního uspořádání recirkulačního čištění vody z bazénu

Během recirkulačního procesu se pískovým filtrem zachytávají nerozpustné nečistoty, které je pak nutné odstranit pomocí periodického zpětného proplachu, což vede k velkému množství odpadní vody. V současné době jsou prací vody z praní pískových filtrů vypouštěny do splaškové kanalizace. Tento stav je však z ekonomického a ekologického hlediska nevýhodný. Celosvětovým trendem je proto využití systémů pro recyklaci energií a vody.

Cíle a legislativa

Cílem je použití doplňující technologie, která by umožnila opětovné použití vody po proplachu pískových filtrů, což povede k výraznému snížení spotřeby pitné vody z vodovodního řadu a snížení nákladů na energii pro ohřev této vody. Další přídavnou hodnotou je snížení nákladů spojených s dávkováním chemikálií.

Záměrem je recyklovanou vodou nahradit dopouštění pitné vody do systému tak, aby řešení vyhovovalo vyhlášce č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch se změnami uvedenými ve vyhláškách 97/2014 Sb. a 1/2016 Sb.

Popis technologie

Systém recyklace bazénových vod je založen na vlastním dlouholetém vývoji membránových a úpravárenských technologií. Výsledkem tohoto vývoje, tj. pilotních zkoušek, optimalizací poloprovozních jednotek a simulací

systému v podmínkách reálných vod z bazénových provozů, je inovativní řešení AS-POOLREC. Technologie AS-POOLREC je založena na systému dvoustupňové membránové separace včetně několikastupňové předúpravy pracích vod z bazénové pískové filtrace.

Membránová separace č. 1 – separace semipermeabilní membránou působením vyššího tlaku, než je pouhý hydrostatický tlak kapaliny. Separace umožňuje odstranění nerozpustných mechanických nečistot, bakterií a virů.

Filtrace na aktivním uhlí umožnuje odstranění zbytku chlorovaných organických látek (vysoká kapacita filtru, proplach filtru pouze vodou, tj. bez použití chemikálií). Aktivní uhlí je regenerováno přímo ve filtru pomocí zpětného proplachu, čímž je zajištěna dlouhodobě vysoká účinnost a životnost filtru.

Membránová separace č. 2 – proces RO, který dovoluje transport rozpouštědla membránou, zatímco rozpuštěné soli a nízkomolekulární složky jsou membránou zachycovány. Proces je založen na aplikaci vnějšího tlaku ze strany koncentrovanějšího roztoku, což způsobí obrácení přirozeného jevu osmózy. V našem případě použití tohoto procesu vyplývá z potřeby odstranění rozpuštěných iontů, zejména pak amoniakálního dusíku.

Použití **UV lampy** na deaktivaci bakterií, virů a prvoků, jako jsou např. *Legionella*, *Giardia* nebo *Cryptosporidia*, které jsou ve většině případů přítomny v prací vodě při teplotě kolem 25°C.

Od pilotních zkoušek k realizaci

Firma ASIO TECH, spol. s r.o. nabízí před realizací možnost provedení pilotních zkoušek pro ověření možnosti recyklace bazénových vod využitím membránových technologií.

Hlavními cíli pilotních zkoušek jsou:

- ověření možnosti recyklace vody z praní filtrů a vody z přelivových žlabů,
- získání informací pro zpracování projektové dokumentace technologie recyklace,
- získání recyklované vody s parametry vhodnými pro znovuvyužití v provozu.

Při návrhu pilotní jednotky se vycházelo ze zkušeností s množstvím podobných separačních jednotek, které společnost ASIO TECH, spol. s r.o. historicky provozovala. Z důvodu eliminace možných chyb, které by mohly vzniknout neodbornou obsluhou, z důvodu jednoduchosti celého zařízení a v neposlední řadě z důvodu univerzálnosti řešení pilotní jednotky, bylo přistoupeno ke konstrukci jednotky nezávislé na provozních podmínkách v místě instalace a nezávislé na jakémkoliv řídicím systému provozovatele.

Pilotní jednotka je sestavena ze standardních komponentů a bloků (viz Obr. PII.2):

- akumulace vody z praní filtrů,
- jednotka membránové separace č. 1,
- akumulace vody,
- jednotka membránové separace č. 2,
- společná čerpací stanice pro všechny vody s odčerpáváním do kanalizace.

Návratnost vody v případě navržené pilotní jednotky je kolem 65 %, což znamená, že z každého 1 m³ vstupní vody bylo získáno 0,65 m³ permeátu. Lze tedy konstatovat, že z každých 10 m³ vody z pískových filtrů je možné získat cca 6,5 m³ vyčištěné vody při teplotě 26–30°C, kterou lze vracet zpět do bazénu a tímto postupem ušetřit až 16,5 kWh (energie potřebná k ohřátí 6,5 m³ vody).

Po získání provozních dat a výsledků analýz vzorků vody na vstupu a výstupu z jednotky (potvrzeno, že vyčištěná voda vyhovuje vyhlášce č. 238/2011 Sb.) je pro zákazníka připravena závěrečná zpráva z pilotních testů s detailním popisem všech zkoušek, tj. popis a výsledné parametry technologie, fotodokumentace, výpočet návratnosti technologie spod.

Na základě provedených pilotních zkoušek je vytvořen projekt s následnou realizací **"na klíč".**

Obr. PII. 2 Uspořádání pilotní jednotky

Realizace aquacentrum CZ 60 m³/den

Jedná se o odpadní vody z denní výměny bazénu s požadavkem na využití cca 60 m³/den (tj. úspora vody cca 12 600 m³/rok) s tím, že vyčištěná voda se může znovu používat v provozu bazénu (viz Obr. PII.3).

Obr. PII. 3 Separační jednotka pro čištění vody v aquacentru.

V Tab. PII.1jsou uvedeny základní parametry odpadní vody z pískových filtrů a přelivných žlabů a vyčištěné vody.

Z pohledu mikrobiologických zkoušek provedených akreditovanou laboratoří ALS Czech Republic, s.r.o. bylo prokázáno, že vyčištěná voda plně vyhovuje Vyhlášce č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a na hygienické limity písku v pískovištích a venkovních hracích plochách. Upravovaná voda (viz Tab. PII.1) odpovídá německé normě DIN 19645, konkrétně Typu I – voda vhodná na doplnění do bazénu.

Investiční náklady akce:	4,5 mil. Kč
Dodací lhůty:	
Projektová dokumentace:	2 měsíce od objednání
Pilotní zkoušky:	1 měsíc od objednání
Dodání technologie:	6 měsíců
Platnost nabídky:	3 měsíce

Tab. PII.1 Parametry odpadní vody z pískových filtrů a přelivných žlabů a vyčištěné vody.

	pH	vodi-vost	volný Cl	zákal	barva	CHSK	NL105	N-NH4	tvr-dost
		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l Pt	mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l
Odpadní voda	6,84	60,68	0,22	20,42	5,6	118,98	86,6	0,82	2,09
Vyčištěná voda	6,43	4,34	0	0,02	2,0	0,80	2,0	0,09	0,05

Obr. PII. 4 Celkové uspořádání separační jednotky AS-POOLREC v aquacentru.

Návratnost technologie

Náklady na provoz technologie (viz Obr. 4) zahrnují příkon stanice, náklady na údržbu (cca 1 hodina/den) a náklady na chemikálie. Přínosy technologie zahrnují hlavně úspory za doplňování čisté studené vody a úspory energie na její ohřev (teplota permeátu je cca 25–26 °C, což je o 12–13 °C vyšší než voda z běžného rozvodu pitné vody). V případě aquacentra je při použití navržené technologie a recyklaci 60 m³/den vody úspora přibližně 7 000 Kč denně.

Výhody systému AS-POOLREC

- ekonomická návratnost investice do dvou let
- zlepšení ekonomiky provozu koupaliště, aquaparku, wellness apod.
- zásadní snížení množství dopouštěné pitné/napouštěcí vody do bazénu
- snížení nákladů na ohřev bazénové vody
- prodloužení životnosti systému výměníku tepla
- snížení množství dávkování chemikálii pro provoz bazénu (zejména H_2SO_4)
- omezení tvorby vázaného chloru v systému bazénové technologie
- kompaktní řešení s malou zastavěnou plochou
- otevřený systém s možností využití stávajících objemů
- možnost realizace systému v kontejnerovém provedení
- plně automatický systém s minimální údržbou
- možnost pilotních zkoušek před samotnou realizací
- technologický dohled
- realizace v České republice i v zahraničí
- plně kompatibilní vzdálená správa