



CZEMP

Česká membránová platforma o.s.

STRATEGICKÁ VÝZKUMNÁ AGENDA



OPERAČNÍ PROGRAM
PODNIKÁNÍ
A INOVACE



Ministerstvo
průmyslu
a obchodu



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI

Česká membránová platforma o.s.

STRATEGICKÁ VÝZKUMNÁ AGENDA

Zpracováno v rámci projektu „Česká membránová platforma“ - 5.1SPTP01/007,
program OPPI Spolupráce - Technologické platformy

Ing. Darina Bouzková

Prof. Dr. Ing. Karel Bouzek

Ing. Miroslav Bleha, CSc.



Česká membránová platforma o. s.
Myslbekova 2447
470 01 Česká Lípa
www.czemp.cz
e-mail: info@czemp.cz



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI

Červenec 2011



Technologie výroby kyseliny hyaluronové, Contipro Group spol. s r.o.

OBSAH

1 Úvod	4
2 Výzkumné priority	6
3 Membránové procesy	10
4 Česká membránová platforma	20
5 Aktuální stav membránových technologií v ČR	22
6 Historie a současnost membránových technologií v EU a ve světě	42
7 Terciární vzdělávání v oblasti membránových procesů	46
8 Strategie pro výzkum, zavádění a využívání membránových technologií	52
9 Závěr	56

ČLENOVÉ CZEMP - AKADEMICKÁ A PRŮMYSLOVÁ SFÉRA

členové
akademické sféry



členové
průmyslové sféry





1 | Úvod |

Při dnešní světové ekonomické situaci jsou vědci a inženýři nuceni reagovat na rychle se měnící potřeby společnosti i průmyslu. Jejich úsilí směřuje k řešení často vzájemně si protirečících problémů, jako jsou stále více omezené zdroje surovin, úspora energie či ochrana životního prostředí vystaveného vlivům činnosti člověka a jeho vzrůstajících požadavků na nové produkty se specifickými koncovými vlastnostmi.

Jedním z nejschůdnějších způsobů, jak „uchopit budoucnost“ a zajistit trvale udržitelný rozvoj společnosti, je intenzifikace výrobních procesů. V zásadě to znamená nahrazení velkých, drahých a energeticky náročných technologických zařízení a procesů menšími, méně nákladnými a účinnějšími, která minimalizují dopad na životní prostředí, jsou bezpečnější a současně umožňují či usnadňují řízení na dálku, automatizaci a zajišťují vyšší kvalitu produktů. K dosažení těchto cílů lze použít vícero „ingrediencí“, včetně nových materiálů, nových provozních režimů a/nebo multifunkčních operací s výrazně integrovanými multidisciplinárními a víceúrovňovými postupy a přístupy, se zahrnutím nových funkčních materiálů konstruovaných na mikro- nebo dokonce nanoúrovni. Co se operací a procesů týče, nová koncepce „integrace“ nahradí tradiční myšlenku „adice“. Úkolem právě chemického inženýrství je poskytnout ty nejvhodnější nástroje, jak propojit tuto vzdálená měřítko, od mikro-, resp. nanoúrovně až po celá multifunkční zařízení. Bezpochyby právě syntetické membrány a příslušné technologie jsou tou správnou odpovědí na tyto různorodé požadavky.

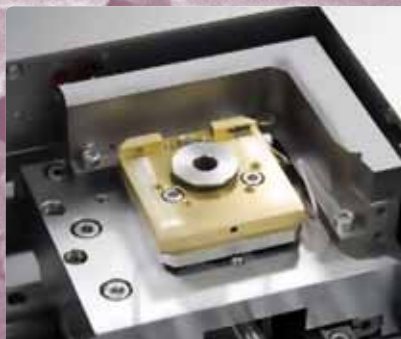
Membrána je v zásadě komplexní vysoce výkonná multifunkční bariéra, která odděluje dvě média a usnadňuje, resp. brzdí či zabraňuje transportu různých látek, a to vysoce selektivním způsobem. Za počátek průmyslového rozvoje membrán lze pokládat šedesátá léta minulého století, kdy byla prvně uvedena

do praxe zařízení na odsolení mořské vody na bázi technologie reverzní osmózy. Mezitím použití membrány pro hemodialýzu znamenalo významný pokrok v řešení problémů s nedostatečnou funkcí ledvin. Od těchto pionýrských počátků, kde evropský průmysl sehrál význačnou roli, prošly membránové procesy obdobím rozvoje a našly využití v mnoha dalších aplikacích se silným socioekonomickým dopadem na každodenní život obyvatel.

V současnosti hraje membránová věda vedoucí roli v inovativních procesech a je považována za jednu z hlavních strategických os výzkumných aktivit ve všech vyspělých zemích světa. Je zapojena do pokročilých technologických programů v USA nebo Japonsku a s ročním tempem růstu 10–20% a obratem více než 10 miliard Euro na světových trzích k roku 2010 je pravděpodobná její narůstající důležitost v budoucnosti. Lze očekávat, že membrány budou hrát v rostoucí míře ústřední roli v mnoha systémech (separace, reakce, umělé orgány, obalové materiály, apod.) a oblastech (chemický, potravinářský, automobilový průmysl, medicína, energetika, atd.) našeho každodenního života. Významnou měrou je to dáno tím, že membrány představují nejvhodnější koncepci pro trvale udržitelný rozvoj společnosti, jelikož jejich použitím nedochází k vývoji či spotřebě tepla, fázovým přeměnám a odpadá nutnost použití chemických přísad.

Syntetické membrány jsou ovšem pouhou velice hrubou kopií membrán biologických buněk, zajišťujících veškeré životní funkce. Aby byly syntetické membrány stále více efektivní, inteligentní, multifunkční, biokompatibilní, chemicky a tepelně rezistentní, odolné vůči tzv. bio-foulingu, zpracovatelné do modulů, tj. zpracováním je přiblížit k jejich biologickému modelu, bude nutné řídit vlastnosti membránových materiálů na nano-, ne-li na molekulární úrovni, a významně zdokonalit náš globální přístup k membránovému inženýrství.

2 | Výzkumné priority |



Již z krátké úvodní části vyplývá, že membrány a membránové procesy patří mezi technologické operace nacházející své uplatnění v širokém spektru lidských aktivit. Jsou to výrobní procesy v průmyslových odvětvích zahrnující i zpracování technologických odpadů směřující k vývoji bezodpadových zařízení, jsou to i energetické aplikace včetně zajištění jejich obnovitelných zdrojů a nezanedbatelná oblast je péče o člověka ať již z pohledu péče o zdraví nebo o udržitelný rozvoj společnosti v přijatelných ekologických podmínkách. Tento komplex pohledů je podnětem k vytvoření určité stupnice priorit, zdůrazňující, kterým směrem je správné pokračovat, jak ve výzkumu a vývoji procesů, tak v jejich skutečném využívání.

Z dosavadních rozborů expertů na mezinárodní úrovni je preferováno šest základních směrů zahrnujících chemické výroby, energetiku, problematiku životního prostředí, zajištění potravin, účinné zdravotnictví a materiálové zajištění membrán a jsou považovány za klíčové otázky dalšího úspěšného rozvoje společnosti. Charakter vymezených oblastí je uveden v následující části této kapitoly.

VÝROBA CHEMICKÝCH LÁTEK

Membrány nabízejí atraktivní vyhlídky pro chemický a petrochemický průmysl. Především díky své velké schopnosti regenerace, recyklace nebo valorizace vedlejších produktů (např. rozpouštědel) vedou k procesům více zhodnotitelným a příznivým pro životní prostředí. Prostřednictvím nových konceptů membránových reaktorů, které kupříkladu rozšiřují oblast homogenních operací (probíhající bez fázových proměn) v důsledku snadné recyklace volného katalyzátoru nebo využití membrány jako jejich nosiče, mohou tyto soutěžit s tradičními ope-

racemi, jako jsou destilace a extrakce, a otevírají tak nové cesty pro intenzifikaci procesů. Přesvědčivá odborná kvalifikace v chemickém a procesním inženýrství by měla napomáhat rozvoji průmyslu, a to za předpokladu, že těmto technologiím bude věnována stejná pozornost jako těm starším a tradičnějším. Zejména modelování a simulační techniky, zahrnující nová technologická schémata obsahující membrány, bude nutné rozvíjet, aby bylo možné předpovídat výkonnost zařízení. Z tohoto úhlu pohledu hraje velkou roli vzdělávání.

ENERGETIKA

Závěry organizace IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) poukazují na skutečnost, že globální oteplování a klimatické změny jsou způsobeny emisemi skleníkových plynů jako důsledku lidské činnosti. Světová spotřeba energie bude v dohledné budoucnosti pokračovat ve svém nárůstu. Tato skutečnost zdůrazňuje důležitost zavedení technologií, které zajistí trvale udržitelný rozvoj lidské společnosti. Očekává se, že membránové technologie proniknou do tří hlavních oblastí zaměřených na zmírnění problémů se skleníkovými plyny: zachytávání CO_2 , úspora energií a obnovitelné zdroje energie. Membránová separace plynů hraje vůdčí roli v technologii zachytávání CO_2 (separace CO_2 , H_2 a O_2). Rovněž podstatná úspora energie je možná prostřednictvím intenzifikace procesů právě za použití membránových technologií. Taková intenzifikace má široký rozsah, od eliminace fázových proměn při destilaci a evaporaci až po energetické konverze u teplotních a elektrochemických postupů. Jako příklad slouží energeticky výkonná produkce pitné vody pomocí reverzní osmózy, pervaporace a nebo palivové články. Membrány odkrývají nové možnosti a zvyšují účinnost technologií pro výrobu energií z obnovitelných zdrojů. Výroba elektrické energie ze solného gradientu vodních zdrojů a výroba bio-paliva jsou případy, kde membrány hrají klíčovou roli.

ZDRAVOTNICTVÍ A FARMACEUTICKÝ PRŮMYSL

Membrány mají vzrůstající úlohu ve zdravotnictví prostřednictvím bio-separací a umělých orgánů. Časově řízené podávání léků, hormonů a dalších léčivých látek lze provádět pomocí rychlost určujících membrán: náplasti, tablety nebo kapsle složené z centrálního léčivého jádra obaleného membránou. V souvislosti s nárůstem průměrného věku populace a dostupností medicíny pro narůstající počet lidí (především v rozvojových zemích) se velice rychle vyvíjí i použití umělých a bio-umělých orgánů. Hemodialýza (technologie umělé ledviny) je nepochybně jedno z nejrozšířenějších a známých medicínálních využití membrán. Stejně jako v jiných oblastech (chemikálie, životní prostředí, atd.) i sepa-

rační a reakční procesy ve farmaceutické výrobě (downstream bioprocessing, kultivace buněk) zahrnují pořád víc a víc membránových procesů. Sterilní filtrace, mikrofiltrace, separace a čištění látek podle molekulových vah a afinitních principů jsou obecně nejvíc používané membránové technologie v rámci farmaceutického průmyslu. V současnosti všechny tyto nástroje nabývají na důležitosti v souvislosti se snahou zaručit zdraví lidí a redukovat společenské náklady spojené s péčí o zdraví.

OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Membrány jsou vysoce konkurenceschopné v porovnání s ostatními, obvykle staršími technologiemi, používanými u kapalných procesů, zvláště u výroby nápojů, pitné vody a zpracování odpadních vod. Chybné přesvědčení, že voda je volně k dispozici v neomezeném množství, vedlo ke špatné ochraně vodních zdrojů a jejímu neefektivnímu užívání. Pouze 1 % světového vodstva je k dispozici v čisté formě, 97 % představuje slaná voda a 2 % jsou polární ledovce. Následkem toho se odsolování mořských a brakických vod, zpracování komunálních a průmyslových odpadních vod a výroba pitné vody staly zásadními problémy lidské společnosti, které silně vyžadují nová řešení. Tradiční membránové technologie – reverzní osmóza, ultrafiltrace a nanofiltrace, elektrodialýza a reverzní elektrodialýza – stejně jako nové koncepty – membránové reaktory a membránové stykače – jsou součástí intenzivního úsilí, vynakládaného v této oblasti na světové úrovni. Co se zpracování plynů týče, aktuálním tématem souvisejícím s klimatickými změnami, je zachytávání a skladování CO₂ (sekvence). Boj proti znečišťování životního prostředí prostřednictvím VOC (Volatile Organic Compounds – těkavé organické látky) je dalším důležitým bodem zájmu jejich odstraňování, případně obnovení a pokud možno recyklace hodnotných procesních par. Ekologické a ekonomické regulace proces zavádění či užívání membránových aplikací urychlí.



Ilustrační foto - hemodialyzační jednotka

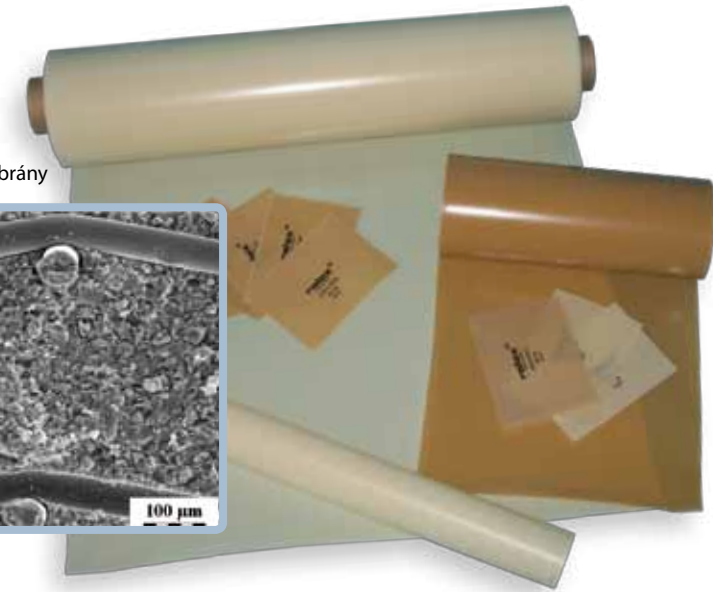
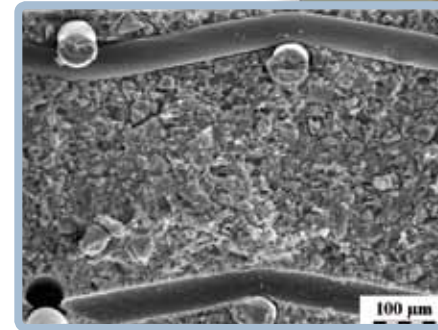
POTRAVINÁŘSKÝ PRŮMYSL

Membránové technologie jsou využívány ve specifických aplikacích v potravinářském průmyslu již déle než 30 let. Tyto procesy zahrnují zahušťování proteinů syrovátky, separaci mléčné sušiny, vyčeřování ovocných šťáv, studenou sterilizaci, odsolování nebo zpracování odpadů. Nejběžnějšími membránovými operacemi využívanými v této oblasti jsou reverzní osmóza, ultrafiltrace a nanofiltrace, ačkoli poptávka je i po dalších technologiích: pervaporace pro dealkoholizaci vína a piva, elektrodialýza při separaci tartrátu z vína a při deacidifikaci ovocných šťáv. Nanofiltrace (selektivní regenerace vysoce hodnotných složek), membránové reaktory (s využitím enzymů při biotransformacích či redukcí viskozity) a membránové stykače (příkladem je membránová evaporace pro zahušťování ovocných šťáv) se ukázaly být technologiemi s velkým potenciálem pro budoucnost a často vyžadují pouhou optimalizaci a demonstrační aktivity, které by usnadnily jejich uvedení na trh. Mnohé z uvedených procesů používají polymerní membrány, ale anorganické membrány mají díky své delší životnosti a snadnějšímu čištění (sterilizaci) slibnou budoucnost.



Ilustrační foto

Ilustrační foto
mikroskopický snímek
lomu heterogenní membrány



Ilustrační foto – ploché iontové selektivní membrány

VÝVOJ MEMBRÁNOVÝCH MATERIÁLŮ

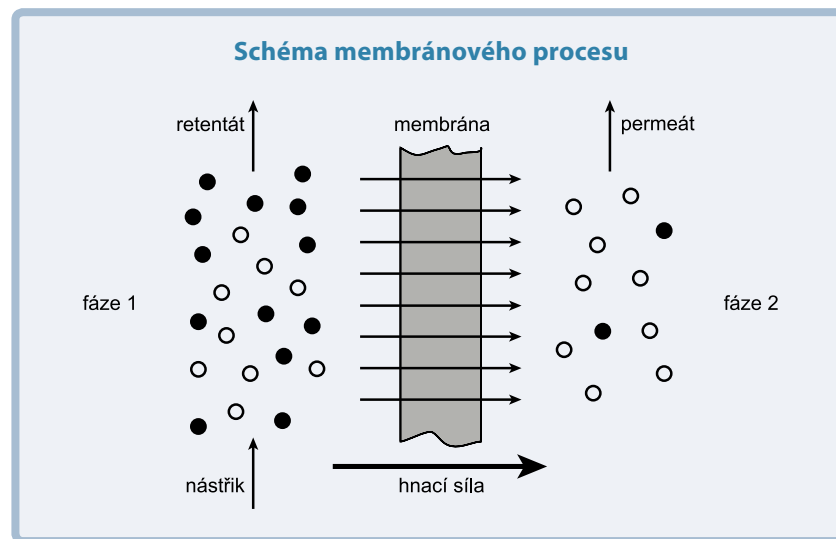
Membrány jsou nepostradatelné v řadě aplikací: produkce pitné vody, energie, regenerace tkání, balící technika, pivovarnictví, separace nutné pro výrobu chemického, automobilového a elektronického průmyslu, atd. Vedle jejich tradiční separační funkce se objevují další požadavky pro specifická užití, např. při reakcích (katalýza), fázovém kontaktu (membránové kontaktory), se značně rozdílným podílem vzhledem ke sféře použití. V různých oblastech jsou požadovány membrány se specifickými vlastnostmi povrchu (hydrofobicita, oleofobicita, hemokompatibilita), funkcionalizované membrány se specifickými ligandy, se zvýšenou odolností např. vůči rozpouštědlům a různým čistícím činidlům, s odolností vůči vysokým teplotám nebo extrémním pH, se zvýšenou selektivitou bez poklesu toku, použitelné ve standardních základních modulech apod. Odpovědí na všechny tyto rozdílné požadavky je škála materiálů (polymerní, kovové, keramické či hybridní), stejně tak různé metody jejich přípravy, včetně tenkých vrstev. Významným prostředkem pro pochopení mechanismu a předpovídání výkonu za daných pracovních podmínek jsou modelování a simulace.



3 | Membránové procesy |



Membránové procesy jsou vyvíjeny v průběhu posledních pěti desetiletí jako moderní vysoce energeticky účinné **separační metody založené na molekulárních vlastnostech oddělovaných látek**. Základním cílem této snahy je dosažení co nejdokonalejšího oddělení produktu od příměsí při co nejnižší spotřebě energie. Z termodynamického hlediska je minimální nezbytné množství potřebné energie rovno změně entalpie spojené se smísením příslušných čistých složek. Pro většinu separačních procesů lze tedy teoreticky předpokládat relativně nízké energetické nároky. Výjimku představují separace spojené s fázovou přeměnou, popř. separace složek vzájemně vázaných silnými asociacími interakcemi. Přes tuto skutečnost je však řada dnes průmyslově využívaných separačních procesů energeticky poměrně značně náročných. V mnoha případech lze tento nedostatek vyřešit právě vhodným použitím membránových procesů.



Za srdce každého membránového postupu je považována membrána. Tu lze definovat jako **selektivní bariéru mezi dvěma prostředími umožňující transport vybraných částic**. Membrána je charakterizována účinností roz-

dělení transportovaných částic, tj. **selektivitou**, a dále pak množstvím převedené látky, tj. **propustností (permeabilitou)**. Selektivita membrány je určena charakterem použitého materiálu a dokonalostí její výroby. Tento parametr je rozhodující z hlediska kvality vlastní separace složek směsi. Propustnost pak charakterizuje společně s velikostí hnací síly výkonnost celého procesu. Látka prošlá membránou je označována jako **permeát**, zadržená látka pak jako **retentát** nazývaný často též **koncentrát**. Jiným aspektem je omezení funkce membránového procesu způsobené koncentračními změnami v blízkosti membrány – koncentrační polarizace nebo usazováním nečistot na povrchu membránového materiálu – **fouling**. Tyto jevy je možné omezit uspořádáním procesu, např.

volbou proudění roztoků tangenciálně podél membrány (cross flow system). Všechny uvedené možnosti tak dovolují kategorizovat membránové procesy a pro cílené aplikace vybírat vhodný proces, případně kombinaci procesů ve vhodném uspořádání.

V současnosti membránové separace zahrnují následující hlavní procesy: mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace, reverzní osmóza (někdy též hyperfiltrace), elektrodialýza, elektroforéza, membránová destilace, membránová krystalizace, membránová separace plynů a dialýza.



Membránové moduly pro RO,
Koch Membrane Systems™

KLASIFIKACE MEMBRÁNOVÝCH PROCESŮ PODLE HNACÍ SÍLY

membránový proces	fáze 1	fáze 2	hnací síla
mikrofiltrace	kapalina	kapalina	gradient tlaku
ultrafiltrace	kapalina	kapalina	gradient tlaku
nanofiltrace	kapalina	kapalina	gradient tlaku
reverzní osmóza	kapalina	kapalina	gradient tlaku
dialýza	kapalina	kapalina	gradient chem. potenciálu
separace plynů	plyn	plyn	gradient tlaku
pervaporace	kapalina	plyn	gradient chem. potenciálu
elektrodialýza	kapalina	kapalina	gradient elektrochem. potenciálu
elektroforéza	kapalina	kapalina	gradient elektrochem. potenciálu
membránová destilace	kapalina	kapalina	gradient teploty/tlaku

ROZDĚLENÍ MEMBRÁNOVÝCH PROCESŮ

Membránové procesy lze rozdělit do několika skupin podle různých kritérií. Nejčastěji jsou klasifikovány podle **fyzikálního charakteru hnací síly vlastní separace**. Z tohoto úhlu pohledu rozeznáváme membránové procesy, jejichž hnací silou je gradient tlaku, chemického a elektrochemického potenciálu. Můžeme také mluvit o odlišných tvarech membrán a jejich uspořádání v membránovém modulu a rozeznávat symetrické nebo asymetrické membrány ve tvaru listů uspořádaných do spirálově vinutého modulu nebo modulů plochých. Jiným typem jsou membrány trubicové nebo kapilární různého průměru v modulech tubulárních. Každé z těchto uspořádání má své výhody i nevýhody, které jsou klíčem k jejich volbě pro uvažovaný proces.

TLAKOVÉ MEMBRÁNOVÉ PROCESY

Již konkrétně uvedené tlakové membránové procesy se kategorizují podle velikosti oddělovaných částic a s tímto parametrem související hodnotou používaného gradientu tlaku a rozměru pórů v membráně.

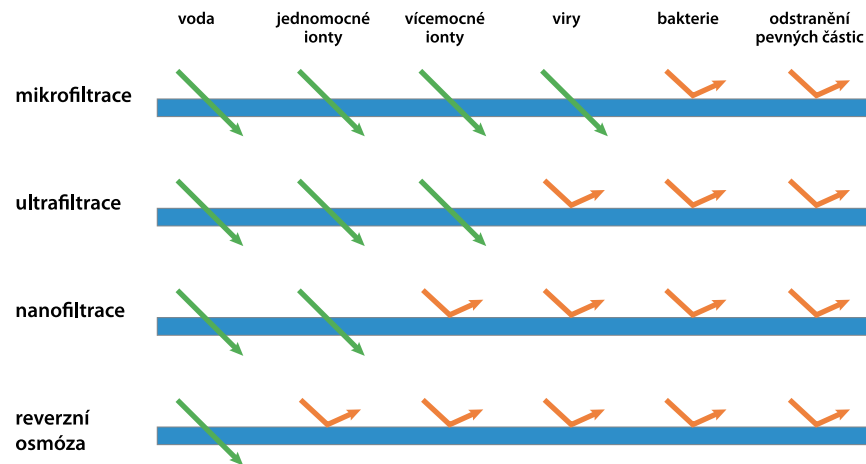
Mikrofiltrace (MF) je proces blízký klasické filtraci a oddělované částice jsou rozměru 0,1 – 10 μm . To odpovídá suspendovaným pevným částicím v kapalině (koloidy), bakteriím a velkým molekulám proteinů. Porézní struktura mikrofiltračních membrán odpovídá rozměrům oddělovaných částic a používaný tlakový spád na membráně dosahuje 0,1 – 2,0 bar.



Ploché iontové selektivní membrány

Membránový modul pro filtraci vína, Koch Membrane Systems™

Charakteristika tlakových membránových procesů



Ultrafiltrace (UF) je proces využívaný k separaci velkých molekul polymerů, bílkovin a koloidních látek. Je tedy využívána zejména k zakoncentrování a čištění přírodních látek. Používaný tlakový spád na membráně dosahuje 1 až 5 bar. V průmyslové praxi je používáno technické uspořádání typu „cross flow“. Používané membrány jsou buď z hydrofobních materiálů (polytetrafluorethylen, polyvinylidenfluorid, polypropylen) nebo hydrofilních (estery celulózy, polysulfon, polyethersulfon, anorganické typy). Volba membrány odvisí od charakteru nástržkové směsi a jejích možných interakcí s materiálem membrány. Výkonnost procesu výrazně ovlivňuje znečištění membrány (fouling) v průběhu procesu, které lze odstranit chemickým nebo termickým čištěním. S tím souvisejí zvýšené požadavky na odolnost membrány.

Zavedení tlakového membránového procesu do technologického schématu vyžaduje stanovení optimálních provozních podmínek, nejlépe za pomoci pilotního testu. Při čištění vodných roztoků by obsah suspendovaných pevných látek v nich neměl přesáhnout 50 g/L. Zároveň je nutné posoudit rizika vyplývající ze složení filtrované směsi. Hlavní komplikace obvykle představují povrchové aktivní látky nesoucí kladný náboj a zvyšující riziko foulingu membrány.

➡ **Současný trend vývoje v MF/UF** spočívá zejména v získání vyšší selektivity odstranění malých částic, snížení energetické náročnosti procesu a případné prodloužení časových period mezi čištěním systému. Zvyšování instalované plochy membrán by mělo vést ke snížení jejich ceny. V důsledku toho by bylo možné snížit měrné zatížení membrán v provozu vedoucí ke zvýšení jejich životnosti. Cílem materiálového vývoje je příprava polymerů se zvýšenou chemickou, tepelnou a povrchovou stabilitou a zavádění keramických membrán do technologií zpracování vody. V delší časové perspektivě je očekáváno zavedení nových funkcionalizovaných membrán modifikovaných ligandami v kombinaci s enzymy, případně nanočásticemi.



Nanofiltrace (NF) je tlakový proces typický pro separaci multivalentních iontů a molekul s molekulární hmotností okolo 200 g/mol. Monovalentní ionty jsou nanofiltračními membránami s iontovýměnnými skupinami odstraňovány s přibližně 50% účinností. Spirálově vinuté nebo kapilární moduly jsou sestaveny z kompozitních funkcionalizovaných membrán. Operační tlak na membráně se u standardních NF jednotek pohybuje v rozmezí 5 až 25 bar. Před zařazením NF jednotky do průmyslové technologie je nezbytné ověřit její funkci a nastavení provozních parametrů prostřednictvím pilotních testů.

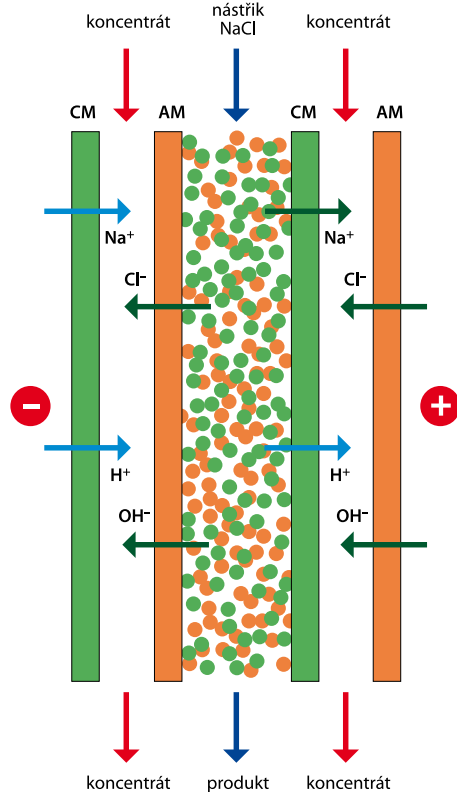
Reverzní osmóza (RO) je využívána především k zakonzentrování roztoků a přípravě čisté vody. Využívána je buď samostatně, nebo v propojení s dalším vhodným procesem, jako např. s MF, UF nebo elektrodialýzou. Molekuly vody jsou při reverzní osmóze protlačovány homogenní membránou tlakem, který je vyšší než osmotický tlak vstupního roztoku. Operační tlak na membráně se pohybuje v rozmezí 10 až 100 bar, při kterém dojde k oddělení většiny iontů a organických sloučenin z roztoku. Typickými RO membránami jsou asymetrické membrány s integrovanou skinovou vrstvou nebo vrstvené kompozitní membrány. Membránové moduly jsou většinou spirálově vinuté z plochých membrán a mohou být připraveny i z dutých vláken. V RO instalacích jsou uspořádány sériově i paralelně podle požadavků kladených na proces.

➡ **Směřování dalšího výzkumu a vývoje** je cíleno na snížení nákladů při instalaci a provozu RO a NF membránových zařízení. Výzkumná činnost se musí zaměřit na přípravu vysoce selektivních membrán pro práci při nižších pracovních tlacích a optimalizaci hydrodynamiky membránových modulů. Nové membrány by měly být výrazně chemicky, mechanicky a tepelně odolné. Z hlediska energetiky je a bude pozornost věnována tepelným technologiím vedoucím k hybridním odsolovacím systémům a výzkum bude rovněž soustředěn na využití gradientu koncentrace solí (SPG - salinity power gradient) k získávání mechanické nebo elektrické energie metodami tlakové zpětné osmózy (pressure retarded osmosis) a obrácené elektrodialýzy (reverse electrodialysis).



PURON MBR Systems, Koch Membrane Systems™

Schéma elektrodeionizace



ELEKTROMEMBRÁNOVÉ PROCESY

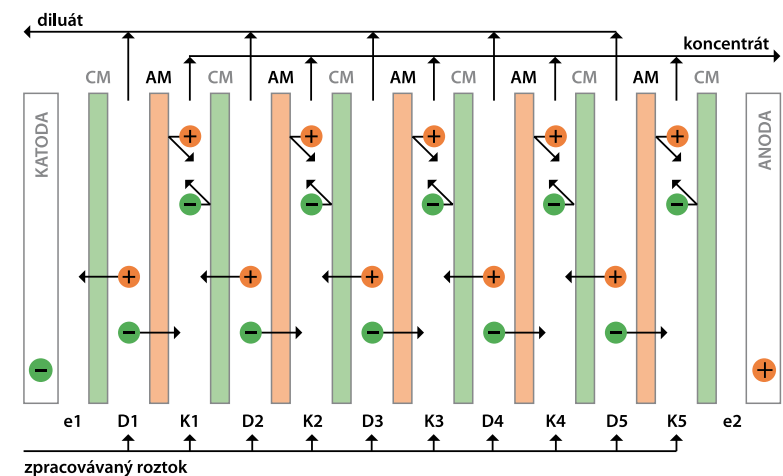
Další skupina procesů využívá jako hnací síly gradientu elektrochemického potenciálu. Jedná se o tzv. elektromembránové procesy, mezi které řadíme **elektrodialýzu**, **elektrodeionizaci** a **elektroforézu**. Mezi nejnovější elektromembránové procesy se pak řadí rovněž technologie **palivových článků**. **Membránová elektrolyza** jako v jistém smyslu modifikace elektrodialýzy představuje jeden z nejperspektivnějších průmyslových chemických procesů umožňujících jednak zvýšení efektivity stávajících technologií, popř. náhradu technologií představujících potenciální riziko pro životní prostředí nebo zdraví populace.

Elektrodialýza (ED) je elektrochemický membránový proces umožňující specifické oddělení iontových sloučenin od nedisociovatelných látek. To zajišťuje uspořádání spočívající v použití iontově výměnných membrán seřazených do svazků střídavě složených z kationtově výměnných a aniontově výměnných membrán a pracujících v elektrickém poli. Membránový proces je kontinuální a proto velmi efektivně nahrazuje iontovou výměnu vyžadující periodickou regeneraci iontových výměnných pryskyřic. V pracovním režimu se anionty z roztoku obsahujícího soli přesouvají k anodě

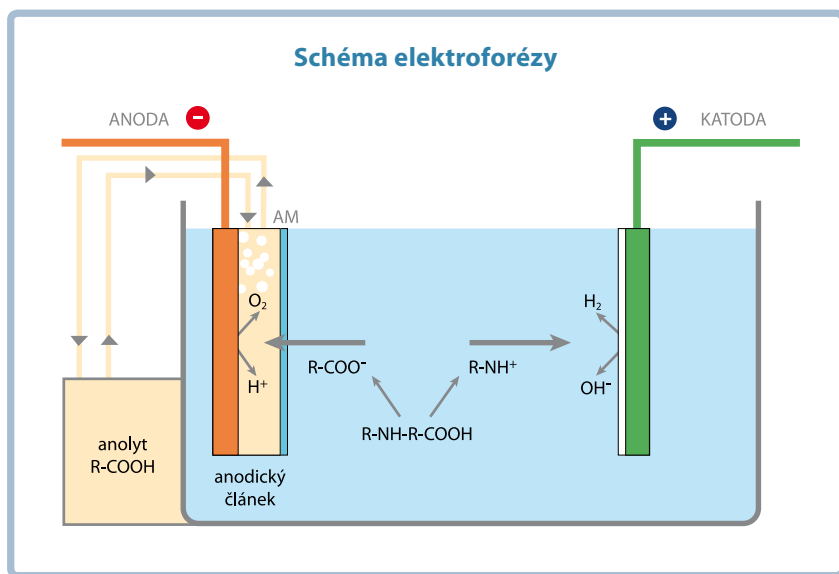
a procházejí anionaktivní membránou, zatím co kationty postupují ke katodě přes membrány kationaktivní. Tím vzniká v cirkulačním systému elektrodialýzy proud koncentrátový se zvyšujícím se obsahem solí a proud diluátový, v kterém se obsah solí zmenšuje. Rozhodujícím parametrem pro efektivitu procesu elektrodialýzy je proudová hustota v systému a kvalita iontových výměnných membrán.

Elektrodeionizace (EDI) je elektromembránový separační proces, používaný k hluboké demineralizaci málo vodivých roztoků. Elektrodeionizace kombinuje výhody technologií elektrodialýzy a iontové výměny prostřednictvím vyplnění diluátové komory vrstvou iontové výměnných částic. Ve většině případů je používána vrstva smíšená, tzv. „mixbed“. Výsledkem je hybridní proces, v němž dochází k intenzifikaci demineralizace zředěných roztoků.

Schéma elektrodialýzy

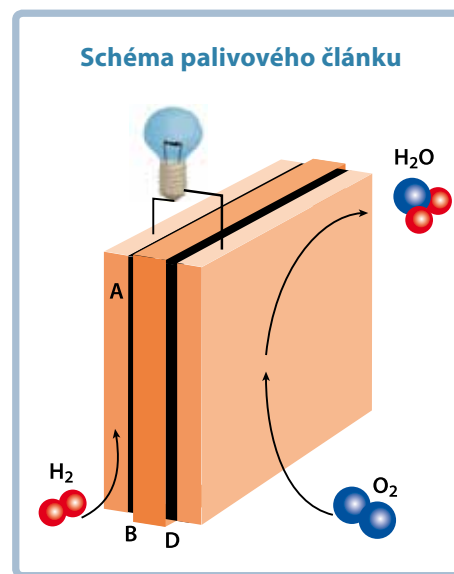


Elektroforetické lakování využívá pohyblivost iontů ve stejnosměrném elektrickém poli. Při tomto elektrochemickém procesu může být lakovaný předmět zapojen jako anoda (proces se nazývá anafóréza) nebo častěji jako katoda (kataréza). Vlastní lak je dodáván ve speciální formě, která ve vodém prostředí disociuje za vzniku molekul iontového charakteru. Iont o polaritě opačné než je polarita lakovaného předmětu je unášen stejnosměrným elektrickým polem k jeho povrchu. Tento mechanismus umožňuje dosáhnout elektrochemické vyloučení homogenního barviva bez poruch po celém povrchu ošetřovaného tělesa, který je v kontaktu s roztokem. Po vyjmutí lakovaného tělesa z lázně je barva fixována např. vypálením. Základním přínosem elektroforetického lakování ve srovnání s klasickými postupy spočívá zejména v rovnoměrném nanesení laku na celý povrch ošetřovaného předmětu účinkem stejnosměrného elektrického pole a v omezení emisí par organických rozpouštědel do ovzduší.



➡ **Výzkum a vývoj elektromembránových procesů se bude v dalších letech orientovat** jak na materiálový výzkum membrán tak další varianty procesního uspořádání. Vedle iontovýměnných membrán s vysokou selektivitou a zvýšeným antifoulingem a optimalizovanou cenou se jedná o typy bipolárních membrán, jejichž zařazení do systému ED podstatně zvýší využitelnost procesu. Další technologická, často hybridní, uspořádání a kombinace membránových procesů, včetně systému elektrodeionizace, je příslibem pro intenzifikaci přípravy čisté vody z vod odpadních či jinak znečištěných.

Významnou část membránových procesů představují **palivové články**, tj. zařízení pro konverzi chemické energie uložené v palivu na energii elektrickou. Membrány v nich plní roli tzv. pevného elektrolytu. Materiál membrány je pak v každém konkrétním případě určen provozními podmínkami daného palivového článku, zejména pak provozní teplotou. Elektrochemický princip funkce



palivového článku, kdy palivo je oxidováno na anodě, vzniklé ionty transportované ke katodě prostřednictvím použité membrány, kde reagují s oxidačním činidlem a elektrony za vzniku konečného produktu reakce, umožňuje obejít termodynamická omezení účinnosti platná v případě tepelného stroje. Membrána je jako každý elektrolyt nepropustná pro elektrony. Ty jsou tak nuceny procházet od anody ke katodě vnějším elektrickým obvodem. Přitom vykonávají elektrickou práci.

➡ **Základním cílem dalšího rozvoje** v této oblasti je snaha o snížení materiálových nároků tohoto procesu, a to jak na straně membrán, tak na straně elektrod, a konstrukčních komponent článku. Dalším významným cílem je zvýšení účinnosti a prodloužení životnosti zařízení.

MEMBRÁNOVÉ PROCESY ŘÍZENÉ CHEMICKÝM POTENCIÁLEM

Na základě obecných fyzikálních principů je možné odvodit řadu dalších membránových separačních i katalyticko-separačních procesů. Jen některé z nich jsou již ve stadiu výzkumu a vývoje, případně ověřovacích provozních jednotek.

Dělení plynů (*GS – gas separation*) patří mezi nejpokročilejší membránové technologie zařazené ve vyspělých zemích do specializovaných technologií. Prvním znakem metody je plynná fáze nástříku i permeátu a hnací silou procesu je rozdíl parciálních tlaků separovaného plynu na opačných stranách membrány. Jsou používány membrány dvojího druhu: neporézní polymerní nebo porézní keramické. Transport plynu v polymerních membránách je popsán rozpustnostním a difúzním mechanismem charakterizovaným molekulárními interakcemi mezi molekulami plynu a membránou. Transport v keramických membránách probíhá ve vzájemně komunikujících pórech a princip oddělení je definován jako funkce typu permeátu a vlastností membrány.

Polymery pro přípravu membrán mohou být buď kaučukovitého typu, vykazující vyšší permeabilitu a menší selektivitu, nebo materiály ve skelném stavu s opačným charakterem základních separačních parametrů. Keramické membrány jsou připravovány z mikroporézní siliky, zeolitů nebo porézního uhlíku. Dělení plynů membránami je proces alternativní ke kryogenní destilaci nebo adsorpčním dělicím metodám, a protože při tomto postupu nedochází ke změně fáze, je vždy energeticky výhodnější. Navíc nejsou zapotřebí žádné další chemikálie či pomocné látky, systém je modulárně proměnný a provozně

jednoduchý. V současné době je možné využití membránových separací plynů k dělení vzduchu při výrobě dusíku nebo vzduchu obohaceného kyslíkem, k čištění vodíku a dělení přírodního plynu nebo organických par. Před rozhodnutím o praktickém využití membránové separace plynů je nutné posoudit a vybrat vhodný typ membrány podle její permeability a selektivity pro separovaná média v reálných směsích i chemické, tepelné a mechanické odolnosti v podmínkách procesu s cílem optimalizace spotřeby energie i investičních nákladů. I když jsou již některé průmyslové aplikace dělení plynů známy, existuje mnoho nedořešených problémů brzdících jejich rozšíření. Výzkum nových polymerních membránových materiálů či jejich kombinace s anorganickými materiály



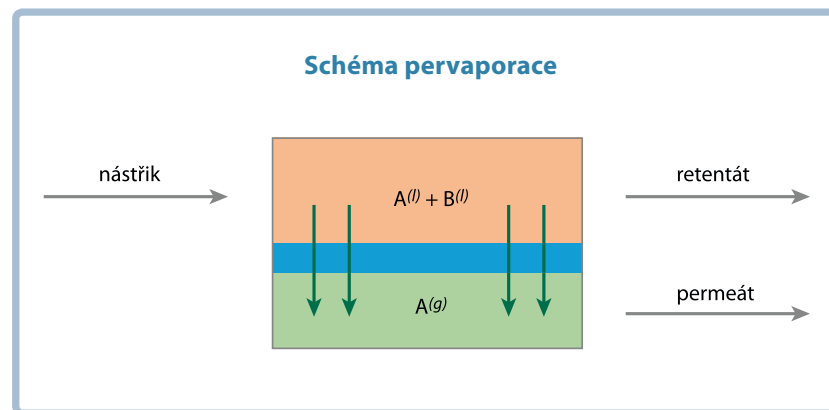
Honda FCX Clarity s vodíkovým pohonem

v hybridních systémech má zvýšit využitelnost metody, zejména zlepšením selektivity, permeability, odolnosti vůči korozi a foulingu. Speciální membrány jsou požadovány pro eliminaci emisí CO_2 z různých zdrojů – výfukových a kouřových plynů, z výrobních technologií, (vodík) apod.

Dialýza je typickým membránovým procesem řízeným chemickým potenciálem, tj. koncentračním rozdílem transportovaných látek mezi roztokem v nástřiku a jeho rozpouštědlem na straně permeátu. Jedná se o historicky nejstarší operaci membránového typu, jejíž kinetika ovládána pouze difúzí vedla v průmyslových aplikacích k záměně za výkonnější membránové separace. I dodnes má však dialýza nezastupitelnou úlohu ve zdravotnictví v metodě hemodialýzy – umělé ledvině. V tomto případě je nástřikem krev pacienta a v okruhu permeátu je fyziologický roztok. Membrány jsou většinou ve tvaru dutých vláken, některé ještě jako spirálově vinuté moduly, z převážně hydrofilních materiálů. Hnací silou procesu je koncentrační rozdíl odstraňovaných rozpustných látek po stranách membrány. Na obdobném principu jsou konstruovány i další přístrojové náhrady lidských orgánů – umělá játra nebo plíce.

V průmyslu je používána tzv. **difúzní dialýza**, která na rozdíl od dialýzy využívá iontovýměnné membrány. Nachází uplatnění především při oddělování kyseliny nebo alkálií ze směsí obsahujících anorganické kyseliny nebo alkálie a jejich soli. Rozvoj difúzní dialýzy je bezprostředně spjat s vývojem nových typů membrán, především aniontovýměnných, které by za zvýšené teploty odolávaly silně alkalickému prostředí.

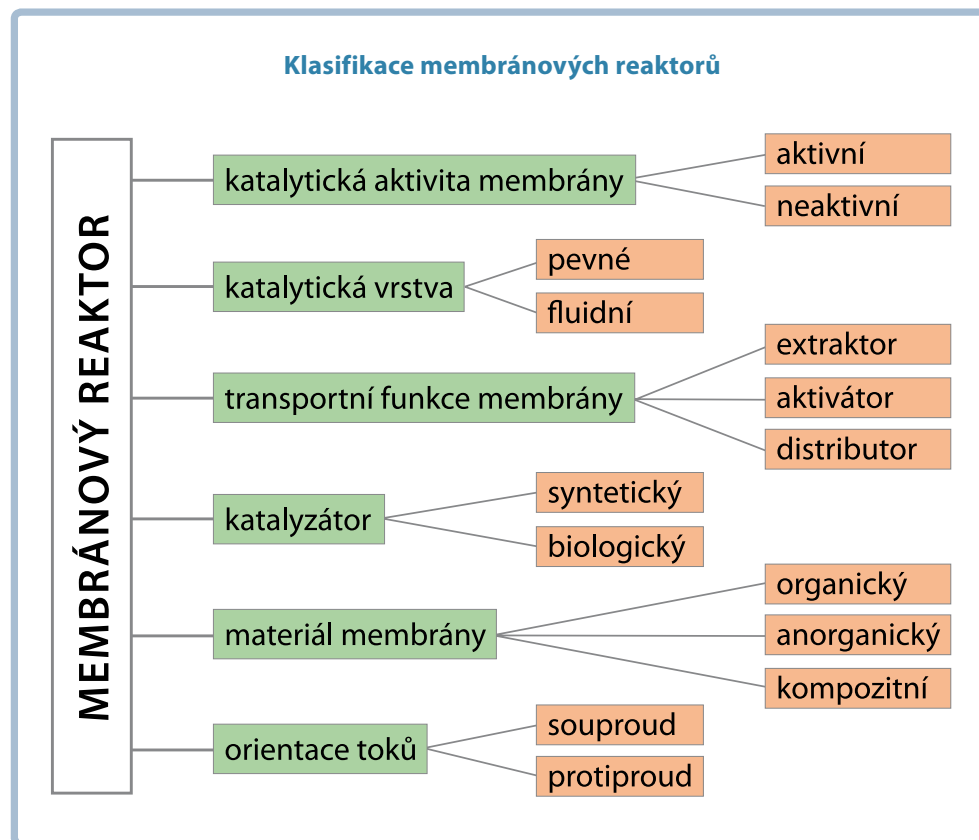
➡ **Perspektivní separační metodou** je **pervaporace (PV)**, spočívající v dělení kapalně směsi za vstupních atmosférických podmínek v nástřiku membránou do parní fáze permeátu. Transport je vyvolán snižováním koncentrace produktu na straně permeátu vakuem nebo chlazením produktu, případně proudem inertního plynu. Membrána pro pervaporaci je kompozitní, sestávající často



z kompaktní vrstvy homogenního polymeru na porézní podložce. Transport je popisován difúzním modelem spočívajícím v selektivní sorpci transportované látky, její selektivní difúzi membránou a desorpcí do parní fáze na permeátové straně. Separační účinnost je dána primárně funkcí membránového materiálu a interakcí nástřikové směsi s membránou. I když tato metoda nabízí vysoký aplikační potenciál, její průmyslové využití je dosud limitované.

Pro tento účel jsou nutné membrány vyznačující se mechanickou, chemickou a tepelnou stabilitou a mající vysokou propustnost, dobré separační vlastnosti a velký volný objem. Lze předpokládat, že význam pervaporace se bude v nejbližších letech zvyšovat, zejména pak v souvislosti s novými rozpouštědly, která jsou označována jako iontová rozpouštědla.

V současnosti je zkoumána řada dalších membránových procesů, které dosud nedosáhly stupně praktické aplikace, ale nacházejí se ve fázi základního a aplikovaného výzkumu. Jako příklad lze uvést **membránovou destilaci** a **membránovou krystalizaci**. Membránová destilace využívá hydrofobicity použitých porézních membrán k selektivnímu transportu par tekavých komponent ze směsi. To



může být využito například k účinnému oddělení par organických látek ze směsi s vodou, nebo k zakoncentrování netěkavých složek z roztoku. Tyto metody lze využít rovněž k přípravě čisté vody tam, kde není vyžadována vysoká intenzita procesu. Membránová krystalizace pracuje na podobném principu. Těkávé rozpouštědlo je ze směsi odstraňováno do okamžiku, kdy dojde na straně retentátu

k překročení koncentrace nasyceného roztoku a ke krystalizaci žádaných látek. K dosažení nejvyšší koncentrace žádané látky dochází na povrchu membrány. Ta plní zároveň roli krystalizačního centra.

➔ **Pozornost výzkumných pracovišť na tomto poli se soustředí** na vývoj membránových materiálů charakterizovaných odpovídající mechanickou a chemickou stabilitou, dostatečnou permeabilitou a selektivitou. Za tímto cílem jsou připravovány strukturované membrány s funkčními vrstvami.

Zvláštní skupinou membránových aplikací jsou **membránové reaktory**, v současné době především **membránové bioreaktory (MBR)**. Toto zařízení spojuje průběh chemické reakce nebo biologického procesu s dělením produktů. Reakce, často katalyzovaná, může probíhat mimo membránu nebo uvnitř membrány, zejména je-li funkcionalizovaná membrána vybavena katalytickým systémem. I tato oblast využití membrán je ve stadiu výzkumu a ověřovacích experimentů, a to jak v oblasti biologických, převážně enzymatických reakcí, tak v oblasti chemických technologií.

➔ V rámci již existujících technologií se **hlavní pozornost výzkumných pracovišť soustředí** na vývoj membrán s vyšší propustností a selektivitou. Jedná se o membrány většinou polymerní nebo kompozitní, pracující za nízkých teplot a tlaků. Největší potenciál tak skýtají aplikace membránových reaktorů pro vysokoteplotní procesy, především v petrochemii a ostatním chemickém průmyslu. V této oblasti je v centru pozornosti vývoj membrán a modulů s přijatelnou cenou, stabilitou v širokém rozsahu podmínek a vykazující dlouhodobě vysokou a reprodukovatelnou výkonnost. Jedná se zejména o anorganické mikroporézní a husté membrány (zeolity, SiO_2 , kovové slitiny, perovskity) v různých formách a tvarech. Vzdálenější perspektivy membránových reaktorů lze spatřovat ve vývoji a aplikaci selektivních membrán pro katalytické a enzymatické procesy produkující s vysokou selektivitou, např. enantiomery, a dále ve vývoji integrovaných membránových strukturovaných soustav pro autotermní reforming (kombinace katalytický reaktor - membránový separátor - tepelný výměník).

4 | Česká membránová platforma |



ZÁKLADNÍ POSLÁNÍ

- == CZEMP propojuje aktivity odborné veřejnosti, akademické sféry a průmyslových výrobců, resp. uživatelů produktů a technologií v oblasti membránové problematiky,
- == CZEMP zajišťuje přenos informací a stabilizaci a aktualizaci informační báze membránové problematiky a podporuje vzdělávání v oboru,
- == CZEMP napomáhá koordinaci aktivit subjektů působících v oblasti výzkumu a vývoje membránových procesů v návaznosti na výzkumné programy a finanční zdroje jak domácí, tak zahraniční,
- == CZEMP podporuje a prosazuje společné zájmy svých členů s cílem popularizace membránové problematiky a vytváření vhodného prostředí pro její stabilizaci a další rozvoj.

Česká membránová platforma o.s. (CZEMP) sdružuje odborníky a významné instituce zaměřené na výzkum, vývoj, realizaci a využití membránových operací v technologických procesech širokého spektra výrobních odvětví. Membránové aplikace dosud nejsou v českém průmyslu dostatečně propagovány a ani využívány. Rozvoj založené platformy je proto základním předpokladem propojení výzkumných a vzdělávacích subjektů s výrobní sférou a dalšími institucemi, zabývajícími se vývojem a využitím technologií pro trvale udržitelný rozvoj společnosti. Propojení zmíněných subjektů umožní jejich vzájemnou odbornou spolupráci založenou na dokonalé informovanosti jak na národní, tak na evropské i celosvětové úrovni. Urychlené zavádění výsledků výzkumu do aplikační sféry prostřednictvím průmyslových subjektů, které jsou členy platformy, je hnacím momentem rozvoje této problematiky a tím i všech souvisejících odvětví.

HISTORIE VZNIKU

CZEMP navazuje na činnost Membránové sekce České společnosti chemického inženýrství (MS ČSCH), která od poloviny 90. let minulého století vyvíjela iniciativu v oblasti popularizace membránového oboru v tuzemsku. Membránová sekce se stala profesním sdružením specializovaných odborníků, slučujícím osobnosti vědy, výzkumu i praxe, jejichž spolupráce byla podložena značnou odborností a zaručovala vysokou úroveň řešených problematik. Činnost MS 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. V roce 2008 na tyto aktivity navázala Česká membránová platforma o.s., jejíž činnost byla zahájena dne 11. 1. 2008 na základě registrace u Ministerstva vnitra ČR. Právní forma sdružení vychází ze zákona č. 83/1990 Sb. a členství v platformě i její organizační uspořádání je definováno ve Stanovách sdružení.

ČLENSTVÍ

CZEMP je otevřenou organizací, která sdružuje fyzické i právnické osoby se zájmem o membránovou problematiku. V současnosti má 17 řádných členů – právnických osob a předpokládá vstup dalších subjektů. Členská základna CZEMP zahrnuje jak vysoké školy a výzkumné ústavy AV ČR, tak průmyslové podniky různého zaměření a velikosti. Rozsah zaměření sahá od vývoje a výroby membrán a zařízení pro membránové technologie až po jejich využití ve výrobních postupech či výrobcích.

ČLENOVÉ – AKADEMICKÁ SFÉRA

Univerzita Pardubice

(www.upce.cz)

VŠCHT Praha (www.vscht.cz)

Ústav makromolekulární chemie

AV ČR, v.v.i. (www.imc.cas.cz)

Ústav chemických procesů AV ČR,

v.v.i. (www.icpf.cas.cz)

Technická Univerzita v Liberci

(www.tul.cz)

Vysoká škola báňská – Technická

univerzita Ostrava (www.vsb.cz)

Západočeská univerzita v Plzni

– Výzkumné centrum Nové

technologie (www.zcu.cz/ntc)

ČLENOVÉ – PRŮMYSLOVÁ SFÉRA

MEGA a.s. (www.mega.cz)

MemBrain s.r.o. (www.membrain.cz)

MEGA-TEC s.r.o. (www.megatec.cz)

DIAMO s.p., o.z. GEAM

(www.diamo.cz)

INTERLACTO, spol. s r.o.

(www.interlacto.cz)

TENEZ a.s. (www.tenez.cz)

KEMIFLOC a.s. (www.kemifloc.cz)

Kemwater ProChemie s.r.o.

(www.prochemie.cz)

VWS MEMSEP s.r.o.

(www.memsep.cz)

ASIO, spol. s r.o. (www.asio.cz)

5 | Aktuální stav membránových technologií v ČR |

Výzkumná laboratoř, VŠCHT Praha



Technologie ED, DIAMO s.p., oz. GEAM Dolní Rožínka



Jedním z výstupů činnosti CZEMP vedoucí k vytčenému cíli je vytvoření databáze subjektů, jejichž činnost je spojena s membránovou problematikou nebo membránovými technologiemi. Přehled zahrnuje oblast vědy, výzkumu a vzdělávání (skupina 1), instituce zabývající se vývojem a transferem technologií, výrobce a distributory membránových technologií (skupina 2) a v konečném důsledku i uživatele těchto technologií (skupina 3), tj. pracoviště membránové procesy již ve vlastních provozech používající nebo jejich zavedení připravující.

Informace obsažené v databázi představují odrazový můstek pro získání odpovídajících referenčních bodů pro plánování potenciálních nových technologií na bázi membránových procesů, získání informací o jejich národních dodavatelích a o výzkumném potenciálu dosažitelném rovněž na národní úrovni.

Databáze ve své současné podobě (www.czemp.cz) je dynamickým, soustavně doplňovaným a aktualizovaným souborem informací, dokumentujícím aktuální přehled České membránové platformy o stavu membránového oboru v ČR. Snahou CZEMP je vytvoření co nejpodrobnějšího souboru vypovídajícího o reálném stavu řešení membránové problematiky ve sféře akademické i průmyslové.

Výzkumná laboratoř, VŠCHT Praha



SKUPINA 1

Výzkum v oblasti membrán a membránových procesů

AKADEMIE VĚD ČESKÉ REPUBLIKY (www.cas.cz)

AV ČR je veřejná neuniverzitní instituce České republiky, kterou tvoří soustava vědeckých pracovišť věnujících se převážně základnímu výzkumu. AV ČR provádí koncepční politiku vědy a výzkumu, je začleněna do národních i mezinárodních výzkumných programů, podporuje spolupráci s aplikační sférou a rozvoj vzdělanosti a kultury.

ÚSTAV CHEMICKÝCH PROCESŮ AV ČR, v. v. i. (www.icpf.cas.cz)

Předmětem hlavní činnosti Ústavu chemických procesů AV ČR je vědecký výzkum a vývoj v oblasti teorie chemických procesů, zejména v oborech chemického inženýrství, fyzikální chemie a bioinženýrství, zaměřený zvláště na chemickou a statistickou termodynamiku, separační procesy, katalýzu, reaktorové inženýrství, aplikovanou organokovovou chemii, vícefázové chemické reaktory a bioreaktory, biotechnologie a technologie procesů pro životní prostředí, dále pak na chemické reakce iniciované, resp. urychlované laserovým, resp. mikrovlnným zářením, a na procesy tvorby a přeměn aerosolů.

Membránovou problematikou se v současnosti zabývají Oddělení separačních procesů a Laboratoř procesů ochrany prostředí. Těžištěm výzkumné činnosti je studium transportu v polymerních a anorganických membránách, separace par a kondenzujících plynů a pervaporace.

ÚSTAV MAKROMOLEKULÁRNÍ CHEMIE AV ČR v. v. i. (www.imc.cas.cz)

Ústav makromolekulární chemie AV ČR je pracovištěm Akademie věd České republiky s padesátiletou tradicí a zabývá se základním, orientovaným a aplikovaným výzkumem v chemii a fyzice polymerů. Výzkum zahrnuje tři hlavní oblasti:

- biomakromolekulární systémy
- dynamika a samoorganizace molekulárních a nadmolekulárních polymerních útvarů
- příprava, charakterizace a využití nových polymerních systémů s řízenou strukturou a vlastnostmi

V problematice membrán se výzkumné programy soustřeďují na membrány pro energetické účely a membránové procesy v ochraně životního prostředí a technologiích obnovitelných zdrojů. Základním směrem technologického výzkumu je studium vztahů mezi strukturou a fyzikálními vlastnostmi připravovaných materiálů se zaměřením na řešení úkolů úzce vázaných na kvalitu separační charakteristiky membrány a zároveň vyžadujících znalost technologie zvolené membránové separace i dělené soustavy. Pozornost je soustředěna zejména na elektrodialýzu, elektroforézu, elektrodeionizaci, membránovou elektrolyzu vody, separaci plynů, na návrhy a vývoj membránových modulů pro separaci plynů a základní procesní výpočty technologie jejich separace.

ÚSTAV FYZIKÁLNÍ CHEMIE JAROSLAVA HEYROVSKÉHO AV ČR v. v. i.

(www.jh-inst.cas.cz)

Badatelská činnost Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR je zaměřena na výzkum v oblasti fyzikální chemie a chemické fyziky, konkrétně na vztahy mezi strukturou a reaktivitou látek. Soustřeďuje se zejména na teoretický a experimentální výzkum chemických a fyzikálně-chemických dějů na atomární a molekulární úrovni v plynné, kapalně a pevné fázi a na jejich rozhraních, a to především v systémech významných pro chemickou katalýzu a sorpční, elektrochemické a biologické procesy.

Iniciativa pro vznik membránové problematiky vznikla na ÚFCH JH v někdejší Oddělení katalýzy jako logické vyústění dlouhodobého studia adsorpce a transportu látek v mikroporézních materiálech, zejména zeolitech. Z hlediska zakotvení membránové laboratoře v Oddělení struktury a dynamiky v katalýze ÚFCH JH je důležitá orientace výzkumu na membránové materiály s vysokou tepelnou, mechanickou a chemickou odolností. To dává naději na aplikaci těchto materiálů v systémech s integrovanou reaktorovou (zejména katalytickou) a separační funkcí, především v tzv. membránových reaktorech.

VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

(www.vscht.cz)

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze je největší vzdělávací institucí svého druhu ve střední a východní Evropě. Navazuje na více než dvousetletou tradici výuky technické chemie v Čechách, která v kombinaci s progresivními studijními obory a mezinárodním renomé otevírá každému studentovi přístup ke špičkovým technologiím, možnostem zahraničních stáží a je následně dobrou vstupenkou k perspektivnímu, prestižnímu a nadprůměrně finančně ohodnocenému uplatnění v technické, výzkumné i manažerské sféře v České republice i v zahraničí.

VŠCHT Praha je veřejnou univerzitní vysokou školou a člení se na Fakultu chemické technologie, Fakultu technologie ochrany prostředí, Fakultu potravinářské a biochemické technologie a Fakultu chemicko-inženýrskou. Kromě výuky technické chemie je VŠCHT Praha rovněž významným vědecko-výzkumným centrem. Patří mezi nejvýkonnější vysoké školy v oblasti vědy a výzkumu v České republice. Tato skutečnost spočívá především v silném badatelském zázemí, přístupu k aktuálním databázím a informacím z celého světa, v širokém zapojení do mezinárodní spolupráce i v nepřehlédnutelném potenciálu studentů doktorského studia i talentovaných studentů magisterského studia.

VŠCHT Praha má dlouholetou zkušenost ve spolupráci s průmyslovými podniky na inovačních programech a transferu technologií. Základní směry výzkumné činnosti jsou dány výzkumnými prioritami opírajícími se především o cíle řešení výzkumných záměrů a jsou zaměřeny na oblast chemie a chemické technologie, materiálového inženýrství, potravinářství, biotechnologie, biochemie, mikrobiologie, genetiky, technologie pro ochranu životního prostředí, chemického a procesního inženýrství a ekonomiky. VŠCHT Praha je zapojena do evropského výzkumného prostoru a zejména v oblasti geneticky modifikovaných mikroorganismů, kvality a bezpečnosti potravin, chemického inženýrství (chemické robotiky), alternativních zdrojů energie a membránových procesů.

ÚSTAV ANORGANICKÉ TECHNOLOGIE, VŠCHT PRAHA

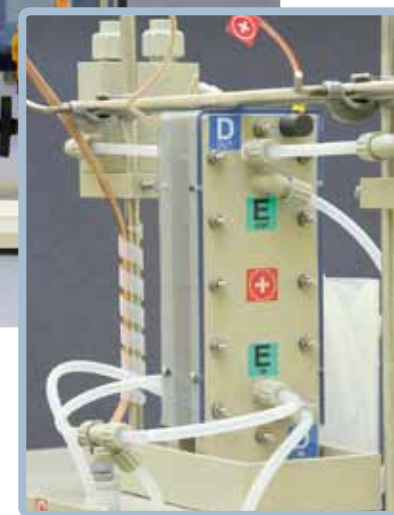
(www.vscht.cz/kat/)

ÚAT, VŠCHT Praha, představuje vysokoškolské pracoviště s širokým spektrem řešených výzkumných témat, ať již v přímém vztahu s membránovými technologiemi, nebo i mimo tuto oblast. Ve všech uvedených oblastech je realizováno vzdělávání ve všech třech stupních studia definovaných Boloňskou dohodou. Tento výzkum je realizován jak ve spolupráci s průmyslovými partnery, tak v rámci výzkumných projektů financovaných z veřejných prostředků. Poskytovatelem dotace z veřejných prostředků je vedle národních grantových agentur u řady projektů rovněž Evropská komise v rámci evropských rámcových programů. Jako nejvýznamnější z hlediska membránových procesů lze bezesporu označit právě ukončený projekt sítě excelence NanoMemPro, jehož přímým pokračovatelem je nadnárodní organizace European Membrane House, která sdružuje nejvýznamnější pracoviště aktivní v oblasti vývoje membrán a membránových procesů v rámci Evropské unie.

Výzkumná témata ve vztahu k membránovým procesům jsou v současnosti řešena v rámci skupiny Technická elektrochemie I, Technická elektrochemie II a ve skupině Katalytické procesy: vývoj komponent pro membránové palivové



Laboratorní jednotka ED, MEGA a.s.





Výzkumná laboratoř, VŠCHT Praha

články a elektrolyzéry pro rozklad vody, modelování a optimalizace elektromembránových separačních procesů, příprava a charakterizace anorganických a hybridních membrán, matematické modelování transportu plynů a par, navrhování a optimalizace chemických procesů.

ÚSTAV FYZIKÁLNÍ CHEMIE, VŠCHT PRAHA (www.vscht.cz/fch)

Hlavní náplní výzkumné činnosti Ústavu fyzikální chemie, VŠCHT Praha, je aplikovaná termodynamika, kinetika, membránové procesy a teoretická fyzikální chemie. Problematikou membránových separačních procesů se skupina pracovníků

zabývá již od roku 1978. Předmětem výzkumu je stanovení transportních parametrů plynů a par a jejich směsí v polymerních membránách, tj. stanovení koeficientů propustnosti, difuze a sorpce (rozpustnosti).

ÚSTAV POLYMERŮ, VŠCHT PRAHA (www.vscht.cz/pol/)

Ústav polymerů VŠCHT, Praha, se kromě výuky věnuje i výzkumné činnosti, která zahrnuje mimo jiné přípravu a studium vlastností polymerních látek, analytiku polymerních materiálů, hodnocení přísad do polymerů, modifikaci polymerů (fyzikální i chemickou vč. radiační), degradaci a stabilizaci plastů, apod.

ÚSTAV CHEMICKÉHO INŽENÝRSTVÍ, VŠCHT PRAHA (www.vscht.cz/uchi/)

Vědecko-výzkumná činnost Ústavu chemického inženýrství, VŠCHT Praha, je zaměřena na základní i aplikovaný výzkum, zaměřený mj. na modelování proudění tekutin, mikroreaktory a membránové bioreaktory řízené elektrickým polem a jejich uplatnění ve farmacii, modelování DNA čipů řízených elektrickým polem jako efektivního nástroje genomiky, snižování emisí škodlivých plynů pomocí řízeného katalytického spalování, polymerizační reaktorové inženýrství a morfogeneze nanostrukturovaných materiálů. Na ústavu jsou vytvořeny následující výzkumné skupiny: Míchání a proudění tekutin, Reaktorové inženýrství, Sdílení hmoty a Systémové a procesní inženýrství.

ÚSTAV KVASNÉ CHEMIE A BIOINŽENÝRSTVÍ, VŠCHT PRAHA

(www.vscht.cz/kch)

Výzkumné aktivity Ústavu kvasné chemie a bioinženýrství, VŠCHT Praha, vycházejí z dlouholetých tradic pracoviště zaměřeného na studium tradičních i moderních biochemických technologií využívajících činnosti jednobuněčných organismů a jejich dopadu na kvalitu výrobků potravinářského a farmaceutic-

kého průmyslu. Po celou dobu své existence se ústav podílí na vývoji nových technologií směřujících k produkci kvalitních a zdravotně nezávadných potravin v oblasti nápojového průmyslu, výroby organických kyselin, droždí, mikrobiální biomasy, organických rozpouštědel a celé řady biologicky aktivních látek.

Současný výzkum je soustředěn na studium biotechnologických procesů v celé jejich šíři – počínaje chováním biologického činitele, studium jednotkových operací uplatňujících se v moderních biotechnologiích, včetně down-stream processingu, bioinženýrských aspektů (modelování a simulace bioprocusů, až po aplikace biotechnologických procesů v potravinářském, farmaceutickém, biotechnologickém či chemickém průmyslu a při ochraně životního prostředí.

ÚSTAV TECHNOLOGIE MLÉKA A TUKŮ, VŠCHT PRAHA

(www.vscht.cz/tmt)

Ústav technologie mléka a tuků, VŠCHT Praha, působí v oblastech mikrobiologie, chemie a technologie mléka, tuků, detergentů a kosmetiky. Vědeckovýzkumná činnost pracovníků ústavu je zaměřena na studium vlastností mléka jako suroviny pro mlékárenský průmysl, studium hlavních zdrojů mikroorganismů v mlékárenských a tukových výrobcích a jejich vlivu na jakost a hygienickou bezpečnost, studium základních dějů při získávání a rafinaci tukových surovin, zdokonalování technologických pochodů při výrobě tukových potravin a výrobků z oblasti technických tuků, studium fyzikálně chemických vlastností tenzidů a jejich využití při výrobě detergentů a výrobků průmyslové a bytové chemie, studium reologických vlastností mlékárenských, tukových a kosmetických výrobků.

Pracovní skupina chemie a technologie mléka v rámci Ústavu technologie mléka a tuků se zabývá obecně využitím syrovátky, dále je zaměřeno na sledování reologických vlastností mléčných a dalších potravinářských výrobků.

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE SACHARIDŮ, VŠCHT PRAHA

(www.vscht.cz/sch)

Ústav chemie a technologie sacharidů, VŠCHT Praha, v celé své historii rozsáhle spolupracoval, i nyní spolupracuje, s výzkumnými pracovišti a podniky v oblasti průmyslu cukrovarnického, pekárenského, mlýnského, cukrovinkářského, trvanlivého pečiva, těstovin, škrobářenského a výroby krmiv. Spolupracuje i na problémech kvality surovin rostlinného původu v oblasti pěstitelské a v oblasti dodavatelských podniků.

ÚSTAV TECHNOLOGIE VODY A PROSTŘEDÍ, VŠCHT PRAHA

(www.vscht.cz/tvp)

Ústav technologie vody a prostředí, VŠCHT Praha, je součástí Fakulty technologie a ochrany prostředí, VŠCHT Praha. Vědecko-výzkumná činnost ústavu je soustředěna zejména na aplikovaný výzkum v oblasti čištění odpadních vod a vodárenství a je realizována především s důrazem na aktuální trendy v těchto oblastech. Své místo zde zaujímají i aplikace membránové technologie při separaci aktivovaného kalu od vyčištěné odpadní vody. Velký důraz je také kladen na vysoký potenciál implementace získaných výsledků do provozní praxe. Členové ústavu mimo jiné spolupracují také s Úřadem pro technickou normalizaci, měření a státní zkušebnictví (ÚNMZ) při tvorbě norem ČSN a připomínkách k mezinárodním normám ISO a EN týkající se hydrochemie, hydroanalitiky a technologie vody.



Elektrodialyzní modul EDR-III, MEGA a.s.

ÚSTAV ENERGETIKY, VŠCHT PRAHA (www.vscht.cz/ktt)

Ústav energetiky, VŠCHT Praha, se zabývá zejména řešením problematiky elektrochemie, protikorozní ochrany materiálů v energetice, iontové výměny a sorpčních procesů v úpravě vody, spalování biomasy, alternativních paliv a odpadů a analytiky biomasy a odpadů.

Membránovými procesy se zabývá skupina studující iontovou výměnu a sorpční procesy v úpravě vody. Hlavními tématy jsou kombinace membránových a sorpčních technologií pro selektivní odstraňování polutantů z permeátu reverzní osmózy a dalších membránových procesů a kombinace membránových a ionexových technologií pro demineralizaci vody.

**UNIVERZITA PARDUBICE,
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ** (www.upce.cz/fcht)

Univerzita Pardubice je jednou z 26 veřejných vysokých škol ČR založených ze zákona. Je jedinou vysokoškolskou institucí univerzitního typu v Pardubickém kraji. Má sedm fakult a jeden vysokoškolský ústav (Fakultu chemicko-technologickou, Fakultu ekonomicko-správní, Dopravní fakultu Jana Pernera, Fakultu filozofickou, Fakultu restaurování, Fakultu zdravotnických studií, Fakultu elektrotechniky a informatiky, Centrum materiálového výzkumu).

Vedle vzdělávání je pro univerzitu charakteristická bohatá vědecká a výzkumná činnost, již si univerzita a její fakulty získaly respekt u domácí i mezinárodní vědecké obce. Napomáhá tomu i řada specializovaných pracovišť a dalších organizací, institucí a sdružení, které při Univerzitě Pardubice pracují.

Historicky nejstarší fakulta univerzity, Fakulta chemicko-technologická, je fakultou s pětadesátiletou tradicí a vysokým kreditem v České republice i zahraničí. Vyspěla ve významné centrum výuky chemie a technické chemie, materiálového inženýrství, chemických technologií, ale i biologických a biologicko-chemických oborů, manažerských a řídicích procesů. Studenti doktorské-

ho studia se mohou podílet na řešení výzkumných projektů, získávat zkušenosti na zahraničních vysokých školách a vědeckých konferencích. Vědecká činnost fakulty je zaměřena jak na základní, tak aplikovaný výzkum. Fakulta se může pochlubit mnohými unikátními projekty realizovanými ve spolupráci s průmyslem, rozsáhlou publikační činností, každoročním pořádáním řady vědeckých konferencí, vědeckými školami, mezinárodními projekty a významnými osobnostmi, které působily a působí na její půdě. Svými vědeckovýzkumnými aktivitami si fakulta a její pracoviště trvale udržují vysoké renomé v mezinárodní akademické a vědecké obci. Absolventi fakulty jsou žádanými odborníky v chemických, potravinářských, textilních, polygrafických, papírenských, dřevozpracujících a dalších průmyslových a obchodních společnostech, českých i s mezinárodní účastí. Řada z nich působí ve výzkumných ústavech a vzdělávacích institucích.

**ÚSTAV ENVIRONMENTÁLNÍHO A CHEMICKÉHO INŽENÝRSTVÍ,
ODDĚLENÍ CHEMICKÉHO INŽENÝRSTVÍ** (www.upce.cz/fcht/uechi.html)

Studiu membránových procesů se pracoviště Oddělení chemického inženýrství (dříve Katedra chemického inženýrství, Univerzita Pardubice), jenž v současnosti reprezentuje jeden z nejucelenějších týmů zabývajících se problematikou membránových procesů v České republice, věnuje od roku 1983.

V rozmezí let 1988-1990 byl katedrami chemického inženýrství a fyzikální chemie řešen v rámci vyhledávacího základního a aplikovaného výzkumu fakultní úkol F881 „Membránové procesy“, jehož cílem bylo testování fyzikálně-chemických a chemicko-inženýrských vlastností membrán pro mikro- a ultrafiltraci, reverzní osmózu a dialýzu a popis mechanismů ultrafiltrace a dialýzy. V současné době je výzkum realizován v rámci výzkumného záměru Fakulty chemicko-technologické Univerzity Pardubice „Pokročilé analytické a separační metody a jejich aplikace v diagnostice a technologii živých a neživých materiálů“.

Skupina tlakových membránových procesů se zaměřuje na studium a mate-

matický popis čištění modelových i reálných odpadních vod s cílem nalézt vhodné podmínky pro začlenění membránových separačních procesů do komplexního systému. Pozornost je rovněž věnována popisu a matematickému modelování dílčích dějů, verifikaci modelů a vytváření složitějších, tzv. hybridních, separačních systémů včetně vhodných metod intenzifikace membránového procesu. Probíhá rovněž studium rovnováhy roztok/membrána a matematické modelování vsádkové a kontinuální dialýzy, kdy jsou pomocí vypracovaných modelů z experimentálních dat určovány transportní charakteristiky binárních (kyselina – voda) a ternárních roztoků (kyselina – sůl – voda) v aniontově výměnných membránách.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, FAKULTA MECHATRONIKY, INFORMATIKY A MEZIOBOROVÝCH STUDIÍ (www.fm.tul.cz)

Technická univerzita v Liberci je pokračovatelem Vysoké školy strojní, která byla v Liberci založena v roce 1953 a nabízela studium na jediné fakultě strojní. V roce 1960 následovalo ustanovení fakulty textilní a změna názvu na Vysokou školu strojní a textilní v Liberci. Tím získala tehdejší VŠST jedinečnost ve výchově vysokoškolsky vzdělaných odborníků pro textilní obory, kterou si udržuje Technická univerzita v Liberci dodnes.

Technická univerzita v Liberci se postupně přeměnila z řadové ryze technicky zaměřené vysoké školy na uznávanou univerzitu, která spojuje formy technického vzdělávání s formou humanitního a přírodovědného vzdělávání. K původním dvěma fakultám přibýly v letech 1990 – 1995 další čtyři fakulty: Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická, Ekonomická fakulta, Fakulta umění a architektury, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií. V roce 2004 byl založen Ústav zdravotnických studií jako samostatná jednotka při TUL. Významně se tak rozšířilo spektrum nabídky studijních programů.

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií je typickou mezi-

oborovou fakultou, která spojuje pracovníky základního výzkumu a aplikovaného výzkumu v oblastech od mechanických a elektrických systémů až po oblast přírodních věd.

ÚSTAV NOVÝCH TECHNOLOGIÍ A APLIKOVANÉ INFORMATIKY

(www.nti.tul.cz)

Ústav Nových technologií a aplikované informatiky vznikl při reorganizaci Fakulty mechatroniky a mezioborových inženýrských studií v r. 2007 integrací bývalých kateder modelování procesů, aplikované informatiky a výzkumného centra Pokročilé sanační technologie a procesy. Výzkumná a vzdělávací činnost ústavu je zaměřena především na aplikaci technologií v oblasti přírodních věd a technických věd ve vztahu ke studiu a poznání přírodních procesů jako jsou sanační technologie, modelování procesů migrace látek v přírodě, databázovými systémy pro shromažďování dat z oblasti monitoringu a jejich GIS vykreslováním, apod. V oblasti technologií čištění vod se činnost ústavu zaměřuje na in-situ technologie čištění podzemních vod, speciální technologie čištění odpadních a povrchových vod. Vzdělávací činnost zahrnuje předměty strukturovaného studijního programu zaměřené na numerické metody, stavbu počítačových modelů, programování, webové technologie a experimentální techniky a postupy.

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA (www.hgf.vsb.cz)

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava je veřejná vysoká škola, kde v bakalářských, magisterských a doktorských studijních programech studuje více než 24 tisíc studentů na sedmi fakultách (Ekonomická fakulta, Fakulta stavební, Fakulta strojní, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Hornicko-geologická fakulta, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Fakulta bezpečnostního inženýrství).

VŠB-TU Ostrava navazuje v přímé kontinuitě na činnost montánního učiliště, Báňské akademie a VŠB v Příbrami. V roce 1945 byla přestěhována do Ostravy a začátkem padesátých let se začala členit na jednotlivé fakulty (dnešní Ekonomická fakulta, Fakulta stavební, Fakulta strojní, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Hornicko-geologická fakulta, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Fakulta bezpečnostního inženýrství). Univerzita je historicky spjata s rozvojem těžby nerostů a jejich zpracováním. VŠB se tradičně opírala o průmysl a postupně ve svém vývoji reagovala na společenské a ekonomické změny. Na prahu 21. století prochází dynamickým vývojem, který zasahuje jak do vzdělávací oblasti, tak do vědy a výzkumu i do součinnosti s průmyslovou a podnikatelskou sférou. Ctižádostí univerzity je přispět v nejvyšší míře k ekonomickému a sociálnímu rozvoji moravskoslezského regionu a k řešení nelehkého transformačního období spojeného s konverzí průmyslu z jeho tradiční podoby svázané s uhlím a železem.

Hornicko-geologická fakulta VŠB-TU Ostrava je moderní fakultou, ve které se zcela unikátním způsobem propojují přírodovědné disciplíny s technickými a ekonomickými obory. V rámci prezenčního nebo kombinovaného studia v současné době nabízí více než 35 studijních oborů, které se specializují na životní prostředí, geologii, geodézii, biotechnologie, geovědní a montánní turismus, hornické inženýrství, geoinformatiku, ekonomiku, automatizace a řízení v oblasti surovin nebo aplikovanou fyziku. HGF VŠB-TU Ostrava jako jediná fakulta v rámci České republiky umožňuje vysokoškolské studium vybraných hornických oborů.

INSTITUT ENVIRONMENTÁLNÍHO INŽENÝRSTVÍ, HGF, VŠB-TU OSTRAVA (www.hgf.vsb.cz/instituty-a-pracoviste/cs/okruhy/546/)

Výzkumná a odborná činnost Institutu environmentálního inženýrství je zaměřena do následujících oblastí: prosazování čistší produkce do všech oblastí průmyslu, posuzování vlivů na životní prostředí podle EIA (Environmental Impact

Assessment), posuzování vlivů antropogenních polutantů v zemědělství, posuzování ukládání odpadů na skládkách, výzkum vlastností odpadových produktů hornictví a energetiky z hlediska jejich ukládání v karbonských podmínkách OKR, výzkum technologií ukládání pastovitých hmot do podzemí, výzkum biotechnologických metod odstraňování anorganických polutantů, posuzování kritických zátěží v povrchových vodách, provádění garančních zkoušek jednotlivých úpravnických zařízení a technologických celků, technologické zkoušky upravitelnosti nerostných a druhotných surovin, technologie úpravy a čištění vody – čiření, flokulace, filtrace, flotace, flotoflokulace, komplexní výzkum jemnozrnných hutních odpadů, ve spolupráci s ústavem neželezných kovů FMMI, elementární analýza uhlí a stanovení výhřevnosti, optimalizace technologických procesů úpravy primárních a sekundárních surovin, využití metalurgických odpadů ve stavebnictví, výzkum v oblasti minerálních pigmentů.

Výzkumnou činností v oblasti membránových procesů se pracoviště doposud nezabývá. Je plánován výzkum v oblasti využití membránových technologií při demineralizace důlních vod, návrh technologie jako technologie bezodpadové, výzkum a vývoj keramických membrán.

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI - VÝZKUMNÉ CENTRUM NOVÉ TECHNOLOGIE (www.zcu.cz/ntc/)

Výzkumný tým, jehož podstatnou částí jsou vědečtí pracovníci Ústavu termomechaniky Akademie věd České republiky, řeší výzkumný program „Pokročilé technologie na bázi polymerních materiálů“ v rámci projektu „Centrum nových technologií a materiálů“. Tento tým se zabývá problematikou membránových procesů jak z hlediska základních fyzikálně chemických procesů, tak i dalším využitím elektrolytických membrán.

VÝZKUMNÉ SMĚRY V AKADEMICKÉ SFÉŘE

Výzkumné úkoly řešené v rámci akademické sféry na poli membránových procesů lze rozčlenit do několika základních oblastí:

- a) tlakové membránové procesy
- b) membránová separace plynů
- c) pervaporace
- d) elektromembránové separační procesy
- e) zdroje elektrické energie
- f) výzkum teoretických základů membránových procesů
- g) navrhování a optimalizace procesů.

Všechny uvedené oblasti zahrnují vedle studia vlastních procesů rovněž vývoj a charakterizaci s nimi spojených membránových materiálů. Do jednotlivých oblastí spadají následující výzkumné projekty.

a) Tlakové membránové procesy

- charakterizace separačních membrán pro tlakové procesy (distribuce velikosti pórů, integrity, nástřikové testy, průtokové charakteristiky tekutin, retence membrán)
- studium procesních charakteristik mikro a ultrafiltrace, intenzifikační metody, studium vlivu odstraňovaných částic a mikroorganismů na zanášení membrán
- studium základních procesních charakteristik nanofiltrace a reverzní osmózy, zpracování roztoků organických barviv, příprava velmi čisté vody
- matematické modelování procesů se zaměřením na separaci ve vícekanálových keramických membránách
- tlakové membránové procesy v zpracování a likvidaci odpadů z potravinářských, biotechnologických, zemědělských a dalších výrobních



Výzkumná laboratoř, VŠCHT Praha

- testování a ověřování aplikačních možností membránových procesů pro čištění a separaci nejrozličnějších materiálů a surovin z potravinářského průmyslu a zemědělství:
 - testování parametrů nanofiltračních membrán
 - testy v poloprovozním měřítku
 - rozbor pro zjištění separačního účinku membrán, měření výkonu, návrh technologických postupů,
- tlakové membránové procesy (UF, MF, výhledově NF) a elektrodialýza v mlékárenském průmyslu:
 - demineralizace syrovátky
 - hydrolýza, příprava a vlastnosti galaktooligosacharidů,
- integrace tlakových membránových procesů do složitějších technologických celků.

b) Membránová separace plynů

- polymerní membránové materiály pro separace plynů a par:
 - stanovení koeficientů propustnosti, difuzivity a sorpčních charakteristik
 - vývoj membrán na bázi polyimidů a PPO, popř. nanostrukturovaných membrán s usnadněným transportem plynů
 - charakterizace polymerních pěn jako materiálů pro čištění a nízkotlakového skladování plynů,
- kompozitní membrány se zvýšenou permeabilitou pro plyn a zvýšenou selektivitou:
 - příprava membrán na bázi polymer s mikroporézními inkluzemi
 - studium vztahu mezi strukturou vlastnostmi membrány,
- příprava a charakterizace anorganických membrán:
 - příprava nosičů membrán na bázi keramických materiálů
 - studium růstu zeolitické fáze na povrchu keramických nosičů
 - syntéza vrstev na povrchu nosičů na uhlíkatých nosičích
 - vícevrstvé aplikace pro separace plynů
 - příprava kompozitních membrán na bázi ocelových nosičů a zeolitických aktivních vrstev
 - studium propustnosti hranic zrn ve vrstvácha domén v individuálních krystalech
 - studium mechanických vlastností zeolitické fáze
 - studium procesu separace CO₂ z plyných směsí, aplikace na chemické membránové reaktory,
- teoretický výzkum membránových procesů pro separaci plynů:
 - výzkum porézních (mikro-, nano-) struktur a jejich modifikace pro specifické separace plynů a par
 - popis transportu látek a separační funkce membrán a jejich nosičů a jejich souvislost s texturou
 - modelování transportu plynů a par pomocí fenomenologického přístupu.

c) Pervaporace

- vývoj nových membrán pro pervaporaci na bázi polymerem nesených iontových kapalin.

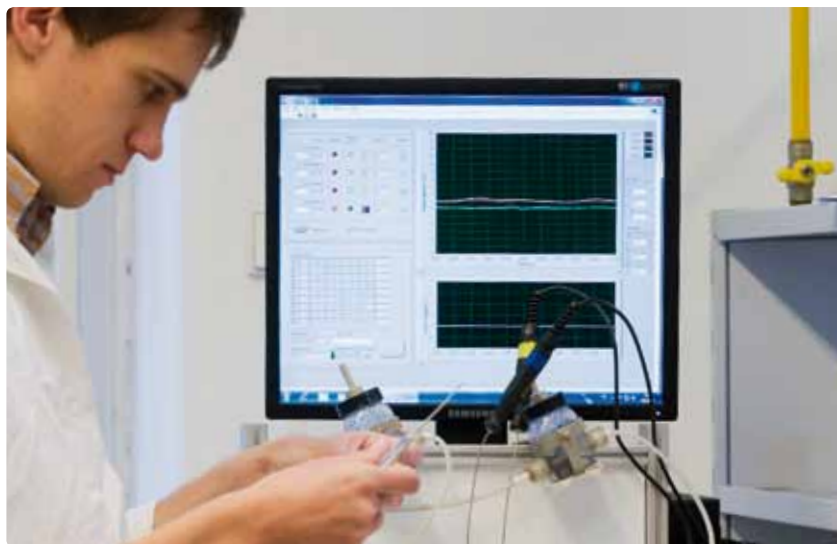
d) Elektromembránové separační procesy

- vývoj heterogenních membrán s optimalizovanými elektrochemickými vlastnostmi pro elektromembránové separační procesy,
- vývoj a optimalizace procesu elektrodialýzy:
 - elektrodialýza v separaci, izolaci a purifikaci produktů potravinářských a biochemických výrob
 - separace kyseliny tereftalové z recyklovaného PET
 - odsolování technologických a odpadních průmyslových roztoků
 - zpracování oplachových vod z galvanického zinkování
 - čištění technické karboxymethylcelulózy na úroveň potravinářské čistoty podle normy WHO
 - problematika zanášení a otrav membrán při zpracování odkalištních vod,
- elektrodeionizace pro přípravu velmi čisté vody a hluboké odsolení odpadního glycerolu z výroby bionafty,
- teoretické studium procesu elektrodialýzy:
 - matematické modelování hydrodynamiky toku a přenosu hmoty v proudově zatížených systémech s iontově selektivní membránou
 - popis chování procesu elektrodialýzy při podmínkách koncentrační polarizace v oblasti limitních proudových hustot.

e) Zdroje elektrické energie

- vývoj nových typů polymerních elektrolytů pro palivové články:
 - vývoj alternativních membrán pro nízkoteplotní palivové články typu PEM
 - vývoj polymerních elektrolytů pro vysokoteplotní články typu PEM funkčních za zvýšené teploty a při nízkém parciálním tlaku vody

Výzkumná laboratoř, VŠCHT Praha



- vývoj a optimalizace plynově difúzních elektrod pro nové typy membrán,
- vývoj polymerního elektrolytu pro proces elektrolytického štěpení vody:
 - polymerní elektrolyt pro kyselou elektrolýzu vody
 - polymerní elektrolyt pro alkalickou elektrolýzu vody.

f) Výzkum teoretických základů membránových procesů

- morfologie a morfogeneze nano-meso-mikro strukturovaných látek,
- návrh a výroba mikrozařízení pro studium lokálních charakteristik membránových procesů,
- studium multifunkčních chemických a biochemických mikrosystémů,
- studium možností kombinací membránových technologií a nanotechnologií (nanovlákná, nanočástice).

g) Navrhování a optimalizace procesů

- návrh a optimalizace membránových technologií a integrovaných systémů za pomoci metod matematického modelování a simulace.

SKUPINA 2

Výzkum, vývoj a výroba technologie membránových procesů

MEGA a. s. (www.mega.cz)

Společnost MEGA a.s. byla založena v roce 1992, ale její profil a tradice se vyvíjejí od roku 1975, kdy zahájil činnost samostatný výzkumný ústav v rámci Československého uranového průmyslu (ČSÚP) zaměřený na problematiku související s řešením dopadů uranového průmyslu na životní prostředí. Dále zde vznikly laboratoře, které se soustředily především na analýzy vod, vzduchu, zemin a odpadů. V roce 1991 se ústav stal samostatným státním podnikem a o rok později se formou kupónové privatizace transformoval na akciovou společnost. V současné době je MEGA a.s. flexibilním privátním subjektem s pevným místem na trhu. Nabídku jejich komerčních služeb lze rozdělit do tří oborů zahrnující komplexní membránový program, obor povrchových úprav materiálů a technologií s vazbou na americkou firmu PPG a samostatný ekologický program.

V oboru membránových technologií nabízí MEGA a.s. komplexní program zahrnující výzkum, vývoj a výrobu membrán značky RALEX - hlavní komponenty elektromembránových procesů, výrobu membránových zařízení a dodávku kompletních technologických celků včetně zprovoznění, garancí a servisu.

Jako hlavní současné tržní segmenty lze označit mlékárenský průmysl (zpracování mléčné syrovátky), potravinářský průmysl (dodávky technologií přípravy vstupních nebo odpadních vod), automobilový průmysl (elektroforéza a její komponenty) a segment voda, který zasahuje do všech průmyslových oblastí - možnosti řešení pitných, demineralizovaných a ultra-čistých vod i problematika vod průmyslových a odpadních.

Výzkumnou, vývojovou a inovační činnost pro MEGA a.s. zajišťuje její dceřiná společnost MemBrain s.r.o.

MEMBRAIN s. r. o. (www.membrain.cz)

Společnost MemBrain s.r.o. byla založena v r. 2008. Její profil a reference však mají dlouhodobější historii, která vychází z inovačních aktivit managementu a membránových specialistů společnosti MEGA a.s., která cca před deseti lety zahájila systematickou činnost na poli aplikovaného průmyslového výzkumu prostřednictvím své Divize výzkumu a vývoje. Rozvoj této činnosti a stále narůstající rozsah řešených témat oboru logicky vyústil v transformaci do samostatné dceřiné společnosti.

Cílem založení společnosti MemBrain s.r.o. s virtuální sítí kooperujících národních a evropských pracovišť je dosáhnout spojením vybraných vědecko-výzkumných kapacit průmyslových partnerů a dalších subjektů zejména akademické sféry (např. VVŠ, AV ČR, TC AV ČR, atd.) efektivního zajištění základního a aplikovaného výzkumu v oboru membránových separačních procesů. Tento cíl zahrnuje realizaci nových technologií a konkurenčních výrobků s vysokou přidanou hodnotou a klade důraz zejména na transfer výsledků výzkumu a vývoje v oblasti membránových technologií do průmyslové praxe.

Rozsah výzkumných a inovačních činností vychází z inovační strategie společnosti, která zahrnuje spoluúčast při realizaci investičních projektů a procesní součinnost s ostatními útvary MEGA a.s. Řešená témata postihují jak oblast funkcionálních materiálů a heterogenních iontově selektivních membrán, tak oblast elektromembránových i tlakových technologií. V neposlední řadě lze zmínit samostatnou oblast alternativních zdrojů energie - palivových článků.

MEGA-TEC s. r. o. (www.megatec.cz)

MEGA-TEC s.r.o. je dceřinou společností firmy MEGA a.s. Jako montážně-výrobní společnost využívá bohatých zkušeností svých zakladatelů v oblasti povrchových úprav, čištění odpadních vod, instalaci průmyslových rozvodů médií a opracování plastových materiálů a materiálů z korozivzdorné oceli. Mezi hlavní

současné aktivity společnosti patří inženýrsko - dodavatelská činnost pro technologie povrchových úprav (návrh, výroba, montáž a servis zařízení kataforéz-ních lakoven pro automobilový průmysl, výrobu bílé elektroniky, strojírenskou výrobu) a obchodní činnost (plastové potrubní systémy, filtrační moduly, butyl-kaučukové pásy, emulze a lubrikanty).

V rámci membránové problematiky se MEGA-TEC s.r.o. zabývá projektováním, výrobou, dodávkami a instalací filtračních modulů pro elektroforézní lakovací zařízení využívajícími ultra-, mikro- a nanofiltraci. Zaručuje rovněž servis, opravy, přestavby a repase ultrafiltračních zařízení

VWS MEMSEP s. r. o. (www.memsep.cz)

Společnost VWS MEMSEP s.r.o. je součástí mezinárodní skupiny Veolia Water Solutions & Technologies. Její činnost je zaměřena na průmyslové úpravy vod, úpravy pitných vod a čistírny průmyslových a komunálních odpadních vod. Odběrateli jsou zejména energetický, chemický, farmaceutický, potravinářský a elektronický průmysl. Nabídka služeb společnosti zahrnuje všechny činnosti od prvních konzultací až po realizaci investice a její následný servis.

Technologická zařízení jsou vyráběna v několika výrobních závodech mateřské firmy, a to jak v typových standardních řadách, tak na míru dle požadavků zákazníka.

Membránové separační technologie (tlakové - MF/UF, NF/RO - a EDI/CEDI) jsou nabízeny a využívány jako jedinečné nebo komplementární technologie pro výrobu průmyslových procesních vod, energetiku, chemický, petrochemický průmysl, potravinářství, lihovary, nápojařský průmysl (nealkoholické nápoje, pivo) atd., výrobu pitné vody ze standardních zdrojů a ze zdrojů různým způsobem kontaminovaných. Speciálním odvětvím je výroba pitné vody z vody mořské. V poslední době jsou rozvíjeny projekty ZLD - koncept úplného zpětného využití odpadní vody v komunálním i průmyslovém sektoru s odpady pouze v suchém stavu.



Technologie ED, Moravia Lacto a.s.



Technologie ED, Moravia Lacto a.s.

ASIO, spol. s r. o. (www.asio.cz)

ASIO, spol. s r. o., je inženýrsko-dodavatelská firma, pracující především v oboru dodávek, vývoje a návrhu technologií pro čištění odpadních vod. Firma spolupracuje s celou řadou výzkumných ústavů a vysokých škol při vývoji nových technologií a zpracování materiálů, vyvíjí činnost v rámci skupiny pro čistírny a odlučovače při CzWA (Asociace čistírenských expertů v rámci Czech Water Association) a v AVKT (Asociace výrobců konstrukcí z termoplastů). Má vybudovanou síť odběratelů a zajištěnou kvalitní výrobní základnu - specializované výrobní vybavené moderní technikou. Spolu s obchodními postupy firmy dle ISO 9001 je ASIO, spol. s r. o., zárukou kvality výrobků a poskytovaných služeb. Síť odběratelů a dodavatelů tvoří sdružení ASIOGROUP. Firma je činná i v zahraničí. V roce 2008 společnost dodávala do 24 zemí.

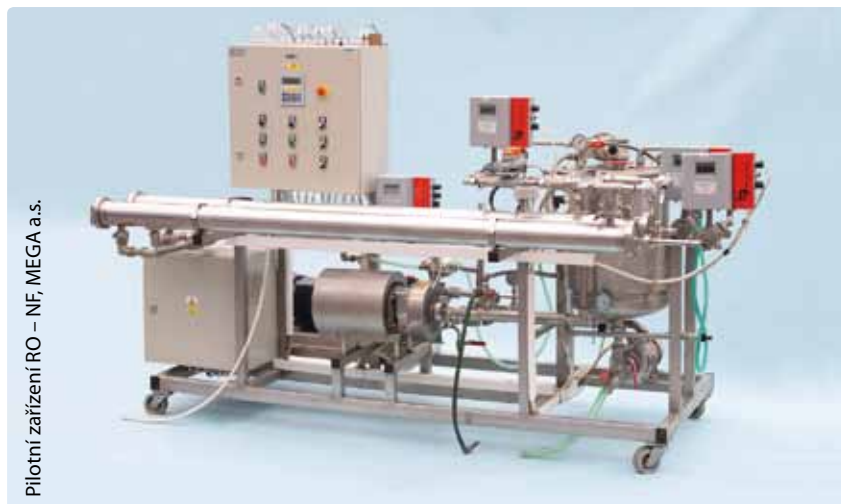
Relevantní technologie v oblasti membránových procesů představují MBR – deskové membránové moduly včetně jejich použití při biologickém čištění

odpadních a šedých vod a FMX – zařízení s membránami pro průmyslové použití s možností aplikace různých membrán s originálním způsobem čištění membrán umožňující filtraci i látek s vysokým obsahem sušiny

MIKROPUR, s. r. o. (www.mikropur.cz)

Mikropur, s.r.o., je výrobcem laboratorních a zkušebních zařízení pro membránové separace. Vyrábí komplexní zkušební jednotky na principu reverzní osmózy, ultra- a nanofiltrace na míru podle požadavků zákazníka. Vyrábí rovněž vakuová a tlaková filtrační membránová zařízení pro přípravu vzorků vod za účelem analýzy rozpuštěných a nerozpuštěných látek.

Ve firmě je prováděn základní a aplikovaný výzkum procesu membránových separací, tenkých vrstev a nanovrstev přechodných kovů a fotokatalytické destrukce organických látek.



EUROWATER spol. s r. o. (www.eurowater.cz)

Eurowater spol. s r.o. je dceřinou společností mezinárodní sítě Silhorko-Eurowater A/S. Vyvíjí, vyrábí a dodává zařízení pro úpravu a čištění vody. Nabízí komplexní řešení pro úpravu vody pro průmyslové využití, instituce i pro privátní sektor. Charakteristické jsou standardizované modulové jednotky s automatickým provozem. Výrobní program pokrývá široké spektrum možností nasazení při úpravě např. kotelní, chladicí, pitné, technologické nebo oplachové vody, popř. vody pro zvlhčování či dálkové vytápění. Zařízení jsou nasazována ve velkém množství průmyslových odvětví (pivovary, potravinářský a nápojový průmysl, teplárny, elektrárny, vodárny, elektronický, strojírenský a sklářský průmysl, průmysl povrchových úprav, zemědělství a zahradnictví, nemocnice a laboratoře apod.).

Mezi aplikované membránové technologie patří jednotky reverzní osmózy pro demineralizaci vody (odstraní 98–99% minerálních solí a více než 90% organických látek), nanofiltrační jednotky sloužící ke snižování obsahu organických látek, zabarvení, síranů, chloridů, fluoridů, bakterií a virů, částečné změkčování, EDI jednotky pro dočištění permeátu z procesu reverzní osmózy, příprava demineralizované vody nejvyšší kvality, o nízké vodivosti a s nízkým obsahem křemičitanů.

ENVI-PUR, s. r. o. (www.envi-pur.cz)

Společnost ENVI-PUR, s.r.o., je českou společností zabývající se vývojem, výrobou a dodávkami zařízení pro ekologické aplikace, zaměřené zejména na oblast čištění a úpravu vody a vzduchu. Svou vysokou odborností získává dominantní postavení na českém trhu a její výrobky jsou oceňovány i v zahraničí, kam úspěšně exportuje. Pracuje s velmi silným vývojovým oddělením, spolupracuje s vysokými školami a významnými odborníky v oblasti čištění a úpravy vody.

Ve svém výrobním programu v rámci čištění odpadních vod společnost nabízí kompletní technologie membránových bioreaktorů (MBR) s polymerními membránami jak pro komunální, tak pro průmyslové aplikace. Rozsahová řada komunálních i průmyslových čističek odpadních vod (ČOV) s MBR pokrývá všechny velikostní kapacity. Dále nabízí terciární dočištění odtoků z ČOV pomocí membránových systémů. V úpravě pitných a procesních vod nabízí ENVI-PUR kompletní technologie úpravy vod na keramických i polymerních membránách (aplikace pro vodárny a chemické úpravny vod), z dalších membránových technologií pak dodávky technologických celků pro NF a RO. Uvedené technologie pokrývají veškeré průtokové kapacity.

WATEK, s. r. o. (www.watek.cz)

Firma Watek, s.r.o., je předním výrobcem a dodavatelem zařízení pro přípravu ultračisté vody pro laboratorní i technologické účely a technologických celků na přípravu vody pro průmysl, pitné vody pro malé aglomerace a malé objekty. Poskytuje kompletní služby, od návrhu technologie přes výrobu až po dodávku jednotlivých zařízení, případně technologické sestavy zařízení a rovněž veškerý záruční i pozáruční servis.

Watek nabízí laboratorní přístroje pro přípravu velmi čisté a ultračisté vody z pitné vody (RO jednotky, EDI jednotky ve spojení s RO) a průmyslová zařízení pro přípravu technologické demineralizované vody na bázi reverzní osmózy.

SKUPINA 3 uživatelé membránových technologií

Tato kapitola poskytuje stručný přehled vybraných příkladů již realizovaných technologií zahrnujících membránové procesy v konkrétních průmyslových provozech. Uvedené příklady dokumentují možnosti využití membránových procesů v praxi a nastiňují jejich široký potenciál (zpracování procesních i odpadních a komunálních vod, potravinářský, farmaceutický, kosmetický průmysl, energetika apod.). Nekladou si za cíl podat vyčerpávající přehled všech membránových aplikací realizovaných v ČR.

Podrobné studie popisující dané technologie v kontextu dalších alternativních možností řešení problémů i v kontextu ekonomickém jsou majetkem CZEMP a příslušných vlastníků a provozovatelů technologií. Přístupné veřejnosti jsou na vyžádání u pracovníků CZEMP.

DIAMO, státní podnik, odštěpný závod GEAM (www.diamo.cz)

DIAMO, státní podnik se sídlem ve Stráži pod Ralskem, je organizací, která realizuje vládou vyhlášený program útlumu uranového, rudného a části uhelného hornictví v České republice a zajišťuje produkci uranového koncentráту pro jadernou energetiku.

Koncepce provádění likvidačních a sanačních prací vychází z usnesení vlády a pro jednotlivé lokality je konkretizována technickými projekty likvidace a sanace. Zahlazování následků po průzkumu, těžbě a úpravě uvedených surovin je prováděno v souladu s přísnými požadavky na ochranu a tvorbu zdravého životního prostředí.

Odštěpný závod GEAM Dolní Rožínka zajišťuje těžbu a úpravu uranové rudy z posledního otevřeného ložiska Rožná, likvidační práce po těžbě uranu, ostatních rud a uhlí v oblasti Moravy a Východních Čech. K využívaným membrá-



Letecký snímek odkaliště, Diamo s.p., o.z. Geam



Zařízení RO, Diamo s.p., o.z. Geam

novým technologiím patří elektrodialýza při odsolení technologických roztoků vznikajících při zpracování uranové rudy a reverzní osmóza při finálním odsolení diluátu (na hodnoty vodivosti menší než 0,5 mS/cm).

PLZEŇSKÝ PRAZDROJ a. s. (www.prazdroj.cz)

Plzeňský Prazdroj je součástí nadnárodní společnosti SABMiller, jednoho z největších výrobců piva na světě. Je vedoucí pivovarnickou společností ve střední Evropě a největším českým exportérem piva do více než 50 zemí celého světa. Na českém trhu je Plzeňský Prazdroj se svými značkami Pilsner Urquell, Gambrius, Radegast a Velkopopovický Kozel na prvním místě v objemu prodeje piva. Společnost Plzeňský Prazdroj, a.s., se sídlem v Plzni tvoří tři pivovary – v Plzni, Velkých Popovicích a Nošovicích, a také třináct vlastních tzv. obchodně-distribučních center, které svými obchodními a marketingovými aktivitami pokrývají celé území České republiky.

V Plzeňském Prazdroji jsou membránové technologie používány ke dvěma účelům: při úpravě vody pro výrobu piva, kde je technologií reverzní osmózy dosaženo konstantní kvality upravené vody, bezproblémového provozu, a téměř bezodpadové technologie a dále při filtraci piva na bázi cross flow filtrace (aplikace v pivovaru v Plzni - zařízení je ve zkušebním provozu a nahradilo tzv. křemelinovou filtraci), díky které je dosaženo zlepšení chuťové stability piva, snížení objemu odpadů při jeho filtraci a odpadá potřeba přírodního materiálu (křemeliny) při výrobním procesu.

INTERLACTO GROUP (www.interlacto.cz)

INTERLACTO, spol. s r.o. působí na českém trhu od r. 1991 v oblasti mlékárenského průmyslu a zahraničního obchodu. Od samého počátku její existence byl nosnou činností společnosti export mlékárenských výrobků, zejména sušených mlék a másla. Tento trend zůstal zachován, ale sortiment byl rozšířen o sýry



Technologie výroby piva,
Plzeňský prazdroj a.s.



a kondenzovaná mléka, sušenou syrovátku, UHT mléka, cisternové zboží, kojenickou dětskou výživu, sušené směsi a konzumní výrobky. Mlékárenskou divizi společnosti tvoří firmy Moravia Lacto a.s. Jihlava, závod Bohemik a.s. Opočno a Mlékárna Olešnice, RMD.

MORAVIA LACTO a. s. (www.moravialacto.cz)

Společnost Moravia Lacto a.s., Jihlava, se na domácím trhu profiluje jako dodavatel základních čerstvých mléčných výrobků, polotvrdých a tvrdých sýrů. V oblasti zahraničního obchodu je společnost zaměřena na výrobu a export sušeného mléka, sušené syrovátky, sýrů, zahuštěného mléka a zahuštěné syrovátky. Roční objem 100 milionů litrů vykoupeného surového mléka řadí mlékárnu mezi jeho



šest největších zpracovatelů v České republice. Moravia Lacto a.s. se vzhledem k situaci na trhu s mléčnými výrobky a komoditami již delší dobu snaží o rozvoj technologií, které by zajistily vyšší zhodnocení mléčné suroviny. Jako výrobce sýrů řeší společnost i problém většího zhodnocení syrovátky, která po usušení jako komodita podléhá značně nejistému pohybu cen na světových trzích. Moravia Lacto a.s. se rozhodla k zásadnímu kroku v řešení této otázky. V 1. pololetí r. 2009 zde byla realizována investice zaměřená na demineralizaci syrovátky (90 %) na bázi elektrodialýzy. Takto upravená syrovátka má podstatně širší spektrum uplatnění, neboť oblast jejího využití se rozšiřuje zejména o farmaceutický průmysl a nabízí se také její využití při výrobě dětské a kojenecké výživy.

Použití demineralizované syrovátky v mlékárenské technologii otevírá možnost k rozšíření stávajícího sortimentu čerstvých mléčných výrobků. Tento trend

může vést i ke zcela novým typům mléčných výrobků, které budou svými vlastnostmi reagovat na požadavky spotřebitelů s ohledem na zásady zdravé výživy.

MLÉKÁRNA OLEŠNICE, RMD (www.ole.cz)

Mlékárna Olešnice, rolnické mlékařské družstvo - je ryze českou soukromou firmou. Jejím majoritním vlastníkem je česká společnost Interlacto, s.r.o., podnikající v oboru zpracování mléka. V současné době patří společnost k významným výrobcům másla, speciálních tvarohů, sýrových specialit, čerstvého mléka a bílých sýrů akawi. Akawi tvoří také rozhodující podíl z realizovaných exportů. Pro maloobchodní trh jsou určeny tradiční výrobky - čerstvé mléko, zakysané ochucené i neochucené nápoje, kořeněné varianty bílého sýru.

Mlékárna Olešnice, RMD plánuje rovněž realizovat investici do zařízení na demineralizaci syrovátky.

CONTIPRO GROUP spol. s r. o. (www.contipro-group.cz)

Společnost Contipro Group zastřešuje dvě společnosti. Nejstarší firma z holdingu, Contipro C, se zaměřuje na výrobu finálních produktů a substancí pro farmaceutický průmysl. V roce 1997 byla založena společnost CPN. Centrum její aktivity tvoří produkce substancí pro využití v kosmetice a výživě. Produkty obou firem jsou založeny zejména na bázi kyseliny hyaluronové. Kyselina hyaluronová je získávána fermentací a při jejím čištění diafiltrací je spotřebováváno velké množství vhodně upravené vody.

Rozšíření produkce zaměřené na farmaceutickou výrobu s sebou přineslo výraznou změnu požadavků na kvalitu procesní vody. Jestliže pro kosmetiku vyhovovala RO voda (permeát z reverzní osmózy) s měrnou elektrickou vodivostí do 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pro farmacii již požadavek na kvalitu vody zní pod 3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ při současném splnění všech požadavků lékopisu pro čištěnou vodu (PW).

V roce 2000 byla instalována jedna stanice reverzní osmózy (RO) s kapaci-

tou 9 m³/h permeátu. Pro její návrh byl limitující poměrně vysoký obsah barya ve zdrojové vodě. S přechodem na farmaceutickou výrobu byla přidána druhá stanice RO, která dále dočišťuje permeát z první stanice.

STROJMETAL KAMENICE s. r. o. (www.strojmetal.cz)

Společnost Strojmetal Kamenice je v současnosti největším představitelem kovářenského průmyslu v oblasti zápusťového kování hliníku v České republice. Specializuje se na výrobu výkovků ze slitin hliníku, které se dále povrchově upravují kalením, tryskáním a mořením.

Při poslední jmenované povrchové úpravě dochází k produkci průmyslové

odpadní vody, která je nejdříve upravována neutralizací na vhodné pH. Při ní dochází k vysrážení hydroxidu hlinitého v optimální formě následovanému flokulací sraženiny, odfiltrování sraženiny na kalolisech a odsolení filtrátu reverzní osmózou. Vyčištěná voda se vrací zpět do výroby. Největší přínos představuje ukončení vypouštění průmyslových odpadních vod do recipientu. Při čištění odpadní vody vznikají dva odpady, původně zařazené do skupiny nebezpečných odpadů. Kapalný odpad lze využít jako hnojivo. U neutralizačního kalu byly vyloučeny nebezpečné vlastnosti a po podrobnějším zhodnocení jeho vlastností bylo zjištěno, že jej lze rovněž dále využít.

Tento způsob čištění průmyslových odpadních vod ve společnosti Strojmetal Kamenice byl pro odpadní vody z první mořící linky zaveden v roce 2005, a protože se osvědčil, odpadní vody z dalších dvou mořících linek jsou od prosince 2010 čištěny rovněž tímto způsobem.

Komunální biologická čistírna odpadních vod na principu biologického membránového reaktoru, lokalita Hostivice (Chýně), realizace ASIO, spol. s r.o.

Využití membránových technologií pro účely čištění komunálních vod je jednou z možností, jak řešit požadavky na vysokou kvalitu vyčištěné vody v případě málo bohatých toků nebo jak minimalizovat prostorové nároky na stavbu čistírny. Obecně platí, že investiční i provozní náklady jsou srovnatelné s dosud používanými klasickými technologiemi. V případě řešení ČOV pro lokalitu Hostivice (Chýně) se nároky na potřebnou plochu stavby zmenšily na 50 % ve srovnání s původně navrženou klasickou technologií při zachování obdobné výše investičních nákladů.

Po stránce technologické je tato ČOV realizována v sestavě: denitrifikace, nitrifikace, membránová sekce a prostor pro regeneraci.

Zařízení RO, Strojmetal Kamenice s.r.o.



Originální je způsob odtahu a zpracování přebytečného kalu využitím spirálového dehydrátoru. Výhodou pro investora je i možnost zvyšování výkonu ČOV v závislosti na nárůstu počtu napojených bytových domů využitím variability biologického membránového reaktoru.

TriHyBus - využití protonvýměných membrán v palivovém článku pro trojitě hybridní vodíkový autobus *(www.h2bus.cz)*

V rámci projektu FCZ H2Bus realizovaného ve spolupráci Ministerstva dopravy ČR a ÚJV Řež, byl vyvinut městský autobus s obchodním názvem TriHyBus, který využívá palivový článek typu PEM (s polymerní protonově vodivou membránou) jako hlavní zdroj elektrické energie pro pohon autobusu.

Palivový článek je v systému kombinován se dvěma akumulacími prvky elektrické energie – baterií a ultrakapacitorem. Kombinací jednoho energetického zdroje, dvou akumulací prvků s velmi odlišnými parametry a sofistikovanou strategií řízení distribuce energie v pohonném systému bylo dosaženo velmi

nízké spotřeby autobusu a to přibližně 8 kg H₂/100 km. Vysoká účinnost pohonu je výsledkem využití palivového článku s vysokou účinností přeměny energie obsažené v palivu na elektrickou energii a schopností rekuperovat brzdovou energii zpět do systému.

Ve srovnání s obdobným diesellovým autobusem má TriHyBus při zachování podobných dynamických parametrů vyšší účinnost pohonu a tedy nižší spotřebu paliva. Provoz autobusu je lokálně bez emisí. Jediným produktem reakce v palivovém článku je vodní pára. Další odpadní voda vzniká při kompresi vzduchu. Oproti diesellovému autobusu se přestavbou významně snížila hladina hluku vně i uvnitř vozu.

Autobus je v současné době provozován na příměstské lince v Neratovicích. Pro danou oblast a typ provozu je navržený koncept plně vyhovující. Časté staničení a městský provoz jsou ideální podmínky pro využití hybridního konceptu s možností rekuperace energie. V porovnání s běžným autobusem je účinnost pohonu větší až o 50 %.



Palivový článek typu PEM



Vodíková čerpací stanice

6 | Historie a současnost membránových technologií v EU a ve světě |



Zleva: A. Nollet, T. Graham, W. R. Grove, A. E. Fick, A. R. Zsigmondy, F. G. Donnan, J. H. van 't Hoff, W. J. Kolff

Membránové procesy nelze označit za módní záležitost několika posledních let, ani desetiletí. Historie snahy o jejich bližší pochopení a využití zasahuje do poměrně dávné minulosti vzhledem k modernímu věku vývoje lidské společnosti. Chceme-li však být úplně důslední, je nutné hledat počátky membránových procesů v dobách počátku života na Zemi, který by bez biologických membrán tvořících buněčné stěny nebyl vůbec možný.

S teoretickým popisem první permselektivní membrány a osmózy založené na experimentálním pozorování se setkáváme již v polovině 18. století (Abbé Nollet, 1748). V následujícím století je poprvé popsán princip permeace plynů membránou a dialýzy (T. Graham, 1829). Byl rovněž objeven princip funkce palivových článků (W. R. Grove, 1839). Autora těchto experimentů lze označit za průkopníka v oblasti vratné konverze elektrické a chemické energie a tím i v oblasti uchovávání elektrické energie. V následujícím období konce 19. a začátku 20. století došlo k prudkému rozvoji teoretického popisu membránových procesů. Ten se stal základem dnešního rozmachu tohoto typu technologií. Do tohoto období spadá popis difúze (A. E. Fick, 1855), osmotického tlaku (J. H. van't Hoff, 1885), zákonitostí toku plynů malými póry (M. Knudsen, 1909) a rovnovážných dějů na rozhraní membrána roztok (F. G. Donnan, 1911). Pokračující první polovina 20. století přináší vedle poznatků v oblasti ultrafiltrace (A. R. Zsigmondy, 1923) a reverzní osmózy (Manegold, Michaelis, 1926) první rozsáhlou praktickou aplikaci membránových procesů. Jedná se konkrétně o zavedení procesu hemodialýzy (W. J. Kolff, 1944). Tento krok znamená zahájení aplikace éry umělých orgánů, které zvyšují kvalitu lidského života, popřípadě umožňují jeho zachování.

Z předchozího odstavce vyplývá, že základní principy membránových procesů jsou známy již přibližně jedno století. Zdá se tedy, že membránové procesy se tedy po poměrně dlouhou dobu jeví jako neperspektivní a nemohly nalézt odpovídající průmyslové uplatnění. Skutečnost je však jiná. Jako v mnoha jiných

případech, hlavní překážku představovala po dlouhá desetiletí absence materiálů, které by splňovaly nezbytné požadavky. Tomu odpovídá i ta skutečnost, že první průmyslové uplatnění našly membránové procesy, jak již bylo uvedeno, v medicíně. Zde ekonomické nároky hrají ve většině případů až druhořadou roli. Až 60. léta minulého století přináší první zásadní průlom v této oblasti. Syntéza prvních výkonných membrán ze syntetických materiálů znamená rychlý rozvoj reverzní osmózy a jejího masového nasazení při odsolování mořské vody. Postupně pak navazují rovněž další tlakové membránové procesy. Rozvoj funkcionalizovaných polymerních membrán ve druhé polovině 20. století přináší významný průlom rovněž v oblasti elektromembránových procesů, jako jsou membránová elektrolyza, elektrochemické senzory, elektromembránové separační procesy a palivové články. Jak je zřejmé, membránové technologie zahrnují jak již dobře zavedené průmyslové procesy (např. reverzní osmóza, separace plynů, membránová elektrolyza atd.), procesy ve fázi experimentálního vývoje, popř. čekající na první velké průmyslové uplatnění (elektrodeionizace, palivové články atd.), tak procesy, které se nacházejí spíše ve fázi základního výzkumu (membránové reaktory atd.). Nabízejí tedy dosud velkou řadu výzev k řešení a většímu využití jejich nesporných výhod v budoucnosti.

Je pochopitelné, že výzkum i rozvoj membránových technologií jako vysoce inovativních procesů s vysokým potenciálem úspěšné komercializace byl primárně podporován zejména v technologicky úspěšných zemích, tj. v USA a Japonsku. Základní výzkum na univerzitách a ve výzkumných centrech i navazující vývoj nových technik vedly k prvenství těchto zemí v zavedení membránových procesů do průmyslové praxe. To se týkalo zejména elektromembránových procesů v Japonsku a tlakových procesů v USA. I v současnosti lze tyto země považovat za průkopníky ve světovém výzkumu membránových procesů, aplikaci dnes běžných membránových separačních metod, ale i ve výzkumu a vývoji nových oblastí uplatnění membrán. Sem spadá zejména problemati-

ka membránových reaktorů, či využití membrán v energetice a zdravotnictví. Tuhle skutečnost umožňuje zejména koncepční podpora grantových systémů účelově propojených s průmyslovým výzkumem bezprostředně navazujícím na výsledky činnosti akademické sféry.

I evropské průmyslově vyspělé země zaznamenávají v posledních 20 letech zvýšený zájem o membránové operace v rámci intenzifikace průmyslových výroby při současném snižování ekologických zátěží životního prostředí. Evropské společenství se přihlásilo k membránové problematice v rámci 6. Rámcového programu (6FP) podporou sítě excelence NanoMemPro, na které se svými aktivitami podílela i Česká republika zastoupená VŠCHT Praha ve spolupráci s ÚMCH AV ČR. Schválením tohoto projektu Evropská komise potvrdila membránové procesy jako samostatnou vědní disciplínu a přiznala jí značný význam pro další rozvoj evropské ekonomiky. Projekt pod akronymem NanoMemPro představuje náplň splňující pracovní název tématu „Expanding membrane macroscale applications by exploring nanoscale material properties“. V rámci integrační činnosti 13 partnerů ze zemí EU bylo vytvořeno několik pracovních skupin mapujících situaci ve výzkumu a využití membrán. Pozornost byla věnována vytvoření znalostního potenciálu o komplexu problémů od materiálového zajištění membrán a technologické výbavy procesů až po jejich úspěšnou realizaci ve vhodné aplikaci. Projekt NanoMemPro vyústil vznikem právního subjektu v rámci EU – European Membrane House (EMH, www.euromemhouse.com). Cílem tohoto snažení je vývoj technologického servisu s vysokou přidanou hodnotou, tj. uspořádání evropských výzkumných jednotek, membránových zařízení a softwarových produktů pro společné využití pro členy partnerů EMH, vytvoření společných pravidel pro přístup k technice i databázím a určení mechanismu výchovy techniků i výzkumníků v oboru. Součástí společných projektů je i tvorba nových softwarů pro modelování a simulace procesů a rozšiřování databází informujících o různých membránových materiálech a procesech. CZEMP je členem EMH v jeho „Club of Interest“ a aktivně se účastní řady partnerských aktivit.

Nelze nezmínit, že v posledním desetiletí nabývá na významu rovněž role Číny jako nastupující světové ekonomiky. Tato země se dnes vyznačuje zejména obrovským lidským potenciálem, který při vhodné koordinaci a zacílení svých aktivit dokáže dosáhnout velice rychlého rozvoje v oblastech svého zájmu. Na poli membránových procesů se pozornost této země zaměřila zejména na odsolování vody metodami elektrodialýzy a reverzní osmózy. Později se sféra hlavního zájmu rozšířila o proces ultra- a mikrofiltrace, následované studiem kapalných membrán. V poslední době se pak pozornost zaměřila rovněž na oblast separace plynů, pervaporace, membránové destilace a extrakce, anorganických membrán a membránových reaktorů. V současnosti si Čína vzhledem k narůstajícím požadavkům souvisejícím se zvyšující se životní úrovní plně uvědomuje nutnost a význam rozvoje membránové vědy a technologií a klade důraz na vlastní základní a aplikovaný výzkum i mezinárodní kooperaci.

Překotný rozvoj membránových technologií a náklady s ním spojené vyvolávají stejně jako v jiných oblastech intenzivního výzkumu snahu o sdílení informací a jistý stupeň koordinace v oblasti jejich výzkumu a vývoje. S tímto cílem vznikla na národních i nadnárodních úrovních řada uskupení sdružujících výzkumné, vzdělávací a průmyslové instituce zabývající se membránovou problematikou (např. Belgian Membrane Group, Club Français des Membranes, apod.). Subjekty aktivními v této oblasti na celoevropské úrovni jsou kromě již výše jmenovaného EMH také European Membrane Society (EMS, www.emsoc.eu) a Section on Membrane Engineering of the European Federation of Chemical Engineering (EFCE, www.efce.info/home.html). Tyto spolu úzce propojené instituce vedle membranologů sdružují i tzv. nemembranology, především inženýry a výzkumníky působící v oborech s membránovou vědou souvisejících. Toto propojení vyplývá z již mnohokrát zmiňované multidisciplinarity membránové problematiky. Cílem těchto uskupení je rozvíjet strategickou evropskou spolupráci a profesionální aktivity v oblastech chemického inženýrství a oborů silně zasahujících do oblastí využití a potenciálního využití membránových technologií.

Aktuální stav membránové problematiky v jednotlivých zemích Evropy,

jehož podrobný popis není cílem této přehledové kapitoly, lze stručně charakterizovat následovně: úroveň poznání, výzkumu a průmyslového využití membránových technologií v jednotlivých zemích zrcadlí jak celkový vývoj a současný stav jednotlivých ekonomik, tak situaci v průmyslových odvětvích pro ně charakteristických a stěžejních. Klíčové oblasti a výzkumné priority byly přehledně diskutovány v kapitole 2.

Významným aspektem, který nelze opomíjet, je dostupnost kvalifikovaných odborníků jak v řadách vědecko-výzkumných pracovníků, tak mezi představiteli průmyslu, odborně vzdělaným a informovaným managementem počínaje,

přes technology, až po obsluhu technologických zařízení. Otázkou vzdělávání, šíření osvěty a propagace celého membránového oboru, kdy tyto aspekty představují jeden ze základních předpokladů úspěšného rozvoje membránového oboru, se zabývá následující kapitola, kde jsou zmíněny kromě jiného stávající situace v oblasti výchovy specialistů pro oblast membránových procesů, výhled do budoucna a v závěru pak rovněž stručná informace o mezinárodních aktivitách v této oblasti dokumentovaných na příkladu mezinárodního vzdělávacího magisterského studijního programu typu Erasmus Mundus.

Pilotní zařízení EDI, MEGA a.s.



Spirálový modul pro mlékárenství,
Koch Membrane Systems™

7 | Terciární vzdělávání v oblasti membránových procesů |



Ilustrační foto – VŠCHT Praha

Ilustrační foto – Univerzita Pardubice

Rozvinuté terciární vzdělávání ve všech jeho stupních představuje základní nezbytnou podmínku rozvoje jakéhokoliv průmyslového odvětví. Tento požadavek vystupuje dále do popředí v případě vysoce technologicky vyspělých, někdy též populárně nazývaných „high tech“ technologií s vysokou přidanou hodnotou produkce. Tyto technologie tvoří páteř ekonomiky průmyslově rozvinutých států. Je to dáno vysokou konkurencí nově nastupujících ekonomik, zejména pak v oblasti Středního a Dálného Východu, které mohou konkurovat průmyslově rozvinutým zemím svou extrémně nízkou cenou lidské práce a nižšími nároky na ochranu životního prostředí. Membránové procesy rozhodně patří do této skupiny technologií.

Úroveň a typ vzdělávání v této oblasti je navázán na způsob jejich uplatnění a stupeň rozšíření v průmyslové praxi. Rozlišit lze čtyři základní oblasti:

- návrh a vývoj základních materiálů, zejména membrán, a vlastních zařízení;
- vývoj a optimalizace procesů;
- výroba zařízení a jejich instalace;
- provoz membránových zařízení.

Zatímco v posledních dvou oblastech je obvykle zcela postačující dosažený stupeň vzdělání magisterské úrovně následovaný pravidelně organizovanými vzdělávacími kurzy určenými k doplnění a případnému rozšíření dosaženého vzdělání, v prvních dvou oblastech je situace významně odlišná. U pracovníků zapojených v těchto oblastech je předpokládáno nejvyšší dosažitelné vzdělání včetně vědecké výchovy. Je to dáno charakterem náplně práce zahrnující zejména samostatnou výzkumnou a organizační činnost spojenou s vývojem nových materiálů, zařízení a technologií a jejich uvedení do praxe. Rovněž v tomto případě je nezbytné zabezpečit kontinuální vzdělávání pracovníků. To však bude mít významně odlišný charakter od předchozí skupiny. Vyrůstá váha samostudia ve formě sledování odborných periodik a konferencí zaměřených na prezentaci

nejnovějších výsledků v oboru. Role externích učitelů je v tomto okamžiku snížena.

Jaká je ale **skutečná situace na poli membránových procesů v rámci ČR**, jako jedné z mála zemí, na jejímž území se aktivně rozvíjí vývoj a výroba membrán a membránových technologií a jejich aplikace? Při prvním pohledu je tato problematika zdánlivě téměř zcela opomíjena. Tento povrchní poznatek je vzhledem k dlouhé a rozvinuté tradici technického vysokého školství v ČR a zejména pak na poli aplikované chemie a chemického a materiálového inženýrství značně zarážející a vyžaduje proto detailnější rozbor.

Jak plyne z odborného zaměření veřejných vysokých škol v ČR, nejbližší k dané problematice svým odborným zaměřením spadají **Vysoká škola chemicko-technologická v Praze a Fakulta chemicko-technologická Univerzity Pardubice**. Obě tyto školy ve svých studijních a výzkumných programech pokrývají oblast materiálového i procesního inženýrství. Tématem přehledu stávajícího stavu v oblasti terciárního vzdělávání na poli membránových procesů budou tedy zejména tyto dvě instituce.

První přiblížení ukazuje, že v případě Fakulty chemicko-technologické Univerzity Pardubice je vzdělávání v problematice membránových procesů koncentrováno do předmětů zajišťovaných **Ústavem environmentálního a chemického inženýrství** v rámci **bakalářského studijního programu Chemie a technická chemie**. Jedná se konkrétně o předměty *Chemické inženýrství I a Moderní technologické procesy*. Studenti jsou seznamováni jak se základními typy membránových separačních metod (tlakové membránové procesy, elektrodialýza, pervaporace, membránová separace plynů, membránová destilace, membránové kontakory a bioreaktory), tak i s kombinovanými membránovými procesy včetně vybraných průmyslových aplikací membránových procesů a technologií pro zpracování některých typů odpadních vod.

V navazujícím **magisterském studijním programu** Chemické a procesní inženýrství jsou přednášeny specializované předměty zaměřené přímo na problematiku membránových procesů. Jedná se konkrétně o předměty *Membrá-*



nové procesy a Bioinženýrství, v rámci nichž jsou studenti seznamováni s principy, fyzikálními a fyzikálně-chemickými základy biotechnologických procesů, se způsoby provozování bioreaktorů a jejich nejběžnějšími typy a s aplikacemi biotechnologií při ochraně životního prostředí. Druhá část přednášek je věnována moderním separačním procesům a jejich aplikacím v chemickém, potravinářském a farmaceutickém průmyslu, v biotechnologiích a při zpracování odpadních vod. Do větší hloubky je pak problematika membránových procesů studována v rámci doktorského studijního programu Chemické a procesní inženýrství, v rámci kterého je realizována celá řada doktorských disertačních prací bezprostředně se týkajících membránových separačních procesů. Lze tedy konstatovat, že svým zaměřením je výuka cílena na komplexní studium membránových procesů a zabývá se i jejich vybranými aspekty v přímém vztahu k dílčím problémům řešeným v rámci konkrétních předmětů.

V případě **Vysoké školy chemicko-technologické v Praze** (VŠCHT Praha) je situace do jisté míry shodná. Ani zde neprobíhá vzdělávání v problematice membránových procesů cíleně a koordinovaně. Díky svému narůstajícímu významu pro průmyslovou praxi je součástí celé řady učebních programů a jednotlivých předmětů, avšak v žádném z uvedených případů není tematika sledována komplexně. V případě VŠCHT Praha je situace komplikovanější vzhledem k rozsahu specializací pokrytých jejími jednotlivými pracovišti.

Na **bakalářské úrovni** studia jsou posluchači seznámeni s vybranými elektromembránovými separačními procesy v rámci studijního programu Aplikovaná chemie a materiály v rámci předmětu *Procesy v ochraně životního prostředí a Elektrochemické procesy*. V několika dalších předmětech jsou membrány příležitostně uvedeny jako příklad materiálu, ale nelze je uvést jako předmět systematického zájmu. Jako příklad lze jmenovat předmět *Produktové inženýrství I*. Tato skutečnost logicky vyplývá z cílů bakalářského stupně studia, které se zaměřuje zejména na seznámení posluchačů se základními informacemi daného oboru a v omezeném časovém rozsahu neumožňuje věnovat se hlouběji pokročilým technologiím.

Značně odlišná situace nastává v případě **magisterského stupně studia**, které poskytuje již významně větší prostor pro specializaci posluchačů a z toho důvodu i pro hlubší studium pokročilejších technologií, včetně membránových procesů. Tento fakt již na první pohled odráží počet studijních programů zahrnujících některé aspekty membránových procesů. Jako hlavní z nich lze uvést programy Chemie a chemické technologie; Chemie materiálů a materiálové inženýrství; Biochemie a biotechnologie; Technologie potravin; Technická fyzikální a analytická chemie a Chemické inženýrství, bioinženýrství a matematické modelování procesů. Uvádět na tomto místě detailní seznam předmětů, z nichž alespoň část je věnována problematice membránových procesů, je kontraproduktivní. Již z uvedeného seznamu magisterských studijních programů je zcela zřejmé, že v rámci VŠCHT Praha se setkáváme s jednou velmi silnou výhodou a zároveň nevýhodou vzdělávání v oblasti membránových procesů. Za klíčovou

Ilustrační foto



výhodu lze považovat nesmírně široký rozsah problematik pokrývaných pracovníky školy. Ten sahá od základních principů výroby a charakterizace materiálů až po detailní studium vysoce specializovaných membránových separačních technologií. Tato šíře odborných tematik je ale zároveň hlavní příčinou nejzávažnějšího současného nedostatku vzdělávání na poli membránových procesů v rámci VŠCHT Praha, kterou je absence významnější koordinace a cílené orientace výuky. V rámci jednotlivých studijních programů jsou informace o membránových procesech prezentovány především v rámci předmětů zaměřených na specifické problémy chemické a biochemické technologie a inženýrství. Membránový proces je pojímán jako používaný nástroj, popř. jako předmět výzkumu prostřednictvím prezentované techniky. Výjimku představuje předmět nazvaný shodně s Univerzitou Pardubice *Membránové procesy*, který je zaměřený výhradně na tento typ chemických a chemicko inženýrských problémů.

V rámci **doktorských studijních programů** se situace stává z vnějšího pohledu ještě méně přehlednou. Příčinou je zejména vysoká specializace témat řešených prací, z nichž pouze malá část se zaměří na zkoumání principů a materiálů pro membránové procesy. Rozhodující část tyto techniky využívá spíše jako nástroje, popř. k vývoji a optimalizaci procesů. Obdobná situace panuje v předmětech nabízených v rámci teoretické části doktorského studia.

Lze tedy konstatovat, že v současnosti je v rámci VŠCHT Praha věnována problematice membránových procesů značná pozornost na magisterské a doktorské úrovni studia, stejně tak jako v rámci výzkumných projektů. Tyto aktivity však do značné míry trpí právě **roztříštěností jednotlivých aktivit**. To se týká jak vzdělávání, tak výzkumu. Ve vzdělávání lze hlavní nevýhody roztříštěnosti aktivit spatřovat v již zmíněné skutečnosti, že posluchači jsou seznamováni s membránovým procesem či procesy pouze z jistého úhlu pohledu bez hlubšího pochopení vzájemných souvislostí. Jejich vzdělání v této oblasti je tedy pouze jednostranné. Je tím omezena jejich schopnost nalezení optimální cesty řešení problému v případě odchylky z pole původní specializace. Dílčí problémy lze spatřovat také v terminologii používané v rámci vývoje i popisu tohoto typu procesů. Může to nadále komplikovat komunikaci uvnitř vlastní komunity. Právě tato situace se ještě více prohlubuje díky značné šíři problematik pokrytých v rámci VŠCHT Praha. Shodná situace panuje v celonárodním měřítku. Přírodní cestou však v minulosti došlo k separaci zaměření obou institucí. Zatímco Univerzita Pardubice se primárně zaměřuje na problematiku charakterizace membrán, tlakové membránové separační procesy a difúzní dialýzu, VŠCHT Praha je aktivní zejména v oblasti přípravy polymerních a anorganických membrán, jejich charakterizaci a potenciální uplatnění v chemickém a potravinářském průmyslu. Zároveň se intenzivně zaměřuje na elektromembránové separační procesy včetně elektrodialýzy, palivových článků a membránové elektrolýzy. Aktivity obou pracovišť však probíhají prakticky odděleně.

Uvedený stručný přehled současného stavu se vztahuje na současnou situaci v rámci dvou uvedených VŠ. V současném propojujícím se světě je však

nutné tento problém nazírat rovněž z širšího hlediska mezinárodní spolupráce a zejména pak celoevropské integrace. Z hlediska národního a mezinárodního kontextu měla a má velmi bohatou spolupráci také skupina membránových separačních metod Univerzity Pardubice, která spolupracuje s několika zahraničními univerzitami. Základem pro tuto spolupráci byla aktivita v rámci **mezinárodního projektu Tempus JEP-4720** a dlouhodobé zahraniční stáže našich pracovníků.

Prvotní zájem VŠCHT Praha byl iniciován vznikem bližšího partnerství s předními evropskými institucemi aktivními na poli membránových procesů v rámci **evropské sítě excelence NanoMemPro**. V rámci této sítě vznikla **celoevropská iniciativa zaměřená na vypracování jednotného studijního programu využívajícího silné stránky každé ze zúčastněných institucí**. Takto sjednocený program umožní budoucím potenciálním absolventům dosáhnout vysoce kvalitního vzdělání magisterského a následně postgraduálního stupně zaměřeného na membránové procesy. K realizaci celého programu jsou nyní zásadní dva kroky. Prvním z nich je získání odpovídajícího financování, které by poskytlo základní sociální zabezpečení studentům v průběhu jejich zahraničních pobytů a v ideálním případě studium umožnilo rovněž nadaným posluchačům ze zemí mimo Evropskou unii. S tímto cílem byly podány dvě přihlášky projektu typu Erasmus Mundus, které byly v roce 2010 Evropskou komisí schváleny a nyní jsou ve fázi implementace.

Druhý významný problém představuje **akreditace uvedeného studijního programu**. Jak vyplynulo z výše uvedeného textu, ta v současnosti chybí v rámci ČR i na nadnárodní úrovni. Tento problém představuje klíčovou otázku budoucího efektivního rozvoje oboru a je hlavním předmětem tzv. strategické agendy. VŠCHT Praha si dlouhodobě uvědomuje tento nedostatek a zároveň svůj vysoký potenciál v jeho řešení na národní úrovni a zároveň svou zodpovědnost vůči zahraničním partnerům.

Druhá oblast zodpovědnosti vůči členům evropského konsorcia, týkající se návrhu a akreditace odpovídajících studijních programů v českém i anglickém

jazyce, je úzce provázána i s národními zájmy. Jedná se o poměrně komplexní problém vyplývající z **interdisciplinarity a širše uvedené problematiky**. Je zapotřebí si uvědomit, že tato problematika zasahuje do oblasti **materiálového inženýrství**, kde vyžaduje vzdělání v odpovídajících základech nauky o kových, keramických a polymerních materiálech, základy syntézy speciálních materiálů jako jsou například zeolitické membrány, vzdělání v problematice **fyzikální chemie** mezifázových rozhraní, transportních dějů v porézních materiálech a v **procesním inženýrství**. Zároveň je zapotřebí obsáhnout poměrně širokou aplikační oblast ať již z hlediska hnacích sil, tak nejrozšířenějších aplikací membránových procesů a to jak již existujících, tak nastupujících. Tato otázka je významná např. vzhledem k potravinářské a biotechnologické sféře, které kladou významně jiné nároky na předchozí vzdělání posluchačů, než zbývající oblasti. **Aby bylo možno dosáhnout optimálního využití stávající expertízy dostupné v rámci ČR, je nezbytné koordinovat aktivity prostřednictvím nestranné organizace**. To umožní dosáhnout optimálního personálního zabezpečení studia. V této oblasti je opět nezastupitelná role CZEMP. V současné době jsou první návrhy odpovídajících nových studijních oborů v přípravě a lze očekávat, že budou v krátké době postupně uváděny v život.

Tuto spolupráci nelze oddělit ani v případě **celoživotního vzdělávání**. Celoživotní vzdělávání ve formě kurzů zaměřených na zvýšení kvalifikace účastníků, či jejich rekvalifikaci, jsou dalším předpokladem úspěšného zavádění pokročilých membránových technologií do praxe. Je to způsobeno zejména tím, že jejich rozšíření je podmíněno získáním **odpovídající kvalifikace obsluhy**, která s uvedenými technologiemi dosud nepřišla do přímého kontaktu. Druhou příčinou je dynamický rozvoj na tomto poli charakteristický častým zaváděním vylepšených technologií stávajících či zaváděním jejich nových verzí. Ty jsou podmíněny odpovídajícím zvýšením kvalifikace obsluhy. Na pozadí těchto mimořádných požadavků zůstává potřeba soustavného **doplňování a obnovování znalostí specialistů** pracujících přímo v rámci obsluhy, či v oblasti řízení těchto technologií. Ta je uspokojována zejména pravidelnými

kurzy organizovanými v rámci běžného celoživotního vzdělávání odborných pracovníků. Tato aktivita představuje základ udržování a zvyšování kvalifikace pracovníků realizované všemi vyspělými průmyslovými podniky v rámci Evropské unie. Rovněž v této oblasti je zcela logicky žádoucí dosáhnout co nejvyšší efektivity uvedeného vzdělávání. V případě jejich zabezpečení jednou individuální akademickou institucí je tato efektivnost do jisté míry ohrožena. Zde se opět ukazuje jako **klíčová role CZEMP. Platforma v současné době shromažďuje veškeré dostupné relevantní informace o kompetenci jednotlivých partnerů působících na poli membránových procesů.** Pozornost je mimo jiné zaměřena na kompetence jednotlivých partnerů ve vzdělávání. Takto získané údaje budou využívány CZEMP pro **sestavení kurzů šitých na míru podle požadavků zájemců** o vzdělávání. Tyto kurzy mohou být následně personálně zajištěny specialisty z různých institucí s odpovídající expertízou, kteří zájemci (zákazníkovi) zajistí nejúčinnější dosažení cíle kurzu.

Poslední činnost spadající, byť částečně, do oblasti vzdělávání představuje **popularizace membránové problematiky** nejdříve mezi odbornou veřejností a následně rovněž mezi veřejností laickou. Oba tyto stupně představují rovněž významnou podmínku dalšího rozvoje membránových technologií. Nedostatek informací mezi odbornou veřejností je jednou z překážek nárůstu počtu jejich aplikací, resp. jejího pronikání do nových průmyslových oblastí. Uvedená situace je podporována tradiční konzervativností managementu výrobních jednotek provozujících technologie vhodného typu. Ta je pochopitelná z důvodu značných nákladů a zároveň možných extrémně vysokých škod způsobených potenciálním selháním nové, dosud neověřené technologie. **Osvěta, prezentace známých referencí funkčních instalací membránových technologií a informace o výhodách získaných jejich zavedením** ve srovnání se stávajícím stavem představují jedinou cestu ke změně současné situace.

V případě laické veřejnosti je popularizace nezbytným předpokladem podpory těchto technologií veřejností, ale především získání potenciálních budoucích specialistů. Tento **zájem je nezbytné budit již na úrovni základního**

a středního školství. Pouze to může motivovat budoucí technické zaměření žáků a jejich následnou volbu odpovídajícího vzdělávacího programu.

Závěrem lze konstatovat, že ačkoliv je vzdělávání i výzkum v oblasti membrán a membránových procesů v rámci ČR poměrně široce rozšířen, jeho účinnost výrazně snižuje **absence jeho hlubší koordinace** a alespoň jednoho odpovídajícího specializovaného studijního programu. Dřívější častou námitku proti zavedení takového programu, že se jedná o příliš úzkou a specifickou průmyslovou oblast, lze již dnes odmítnout s tím, že **membránové procesy dnes postupně pronikají do stále širšího spektra průmyslových odvětví.** Požadavky jak na počet, tak na úroveň kvalifikace obsluhujícího personálu, ale zároveň i výzkumných a vývojových pracovníků, rostou úměrně míře této penetrace. V současné době dozrává situace, kdy je nezbytné dosáhnout změny stávajícího stavu. V tomto úkolu hraje **CZEMP klíčovou koordinační roli.** S její pomocí a s využitím potenciálu členských institucí lze této změny v horizontu jednotek let dosáhnout. Otázkou delšího časového horizontu však je **vypěstování obecného povědomí o membránových technologiích a získání dostatečného zájmu mezi budoucími studenty.** S cílem zintenzivnění aktivit platformy byla v roce 2010 podána přihláška **projektu „Akcelerace rozvoje membránových procesů prostřednictvím spolupráce v tematicky orientované síti (ARoMem)“** v rámci Výzvy MŠMT v Operačním programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost, Prioritní osy 2 - Terciární vzdělávání, výzkum a vývoj, Oblast podpory 2.4 - Partnerství a sítě. Tento projekt byl začátkem roku 2011 schválen k financování. V jeho rámci budou posíleny interní vazby mezi členy konsorcia, koordinovány a posíleny vzdělávací a výzkumné aktivity a propagace oblasti membránových procesů jako moderní technologie perspektivní v řešení řady problémů současné společnosti mezi širokou laickou i odbornou veřejností.

8 | Strategie pro výzkum, zavádění a využívání membránových technologií |

Ilustrační foto - Honda FCX Clarity s vodíkovým pohonem



Strategická výzkumná agenda České membránové platformy je orientována na dosažení hlavního cíle činnosti platformy spočívajícího v **zavádění membránových technik a technologií do průmyslové praxe a jejich využití v dalších oblastech lidské činnosti**. Motivací je ta skutečnost, že membránové procesy představují špičkové technologie nabízející řešení řady problémů současné technologicky vyspělé společnosti.

Sem patří například náhrada některých energeticky náročných technologických kroků alternativními, energeticky výrazně úspornějšími, realizace uzavřených cyklů procesních proudů s minimalizací odpadů, a realizace technologických postupů dosud neuskutečnitelných např. z důvodu nutnosti selektivní separace složek systému. Zároveň je zřejmé, že v současnosti je průmyslově využívána pouze velmi malá část potenciálně širokého spektra membránových procesů. Příčin tohoto stavu je hned několik. Jako dvě základní uvedme dosud omezený stav poznání v této oblasti a dále pak konzervatismus průmyslu jako celku. Ten pouze velmi pomalu opouští zavedené a ověřené postupy a technologie a nahrazuje je novými, progresivnějšími.

Z prvotního pohledu dělíme membránové technologie do tří základních skupin:

- technologie, které již našly uplatnění v praxi;
- technologie nacházející se ve fázi průmyslového výzkumu a vývoje, popř. ty, které čekají na své první významné průmyslové uplatnění;
- procesy ve fázi základního výzkumu.

Typickým představitelem první skupiny procesů jsou tlakové membránové procesy, především mikrofiltrace, ultrafiltrace a reverzní osmóza, popř. membránová separace plynů. Tyto technologie již našly své průmyslové uplatnění a to často ve velkém měřítku. Představiteli druhé skupiny jsou například membránové zdroje elektrické energie, jako jsou palivové články, nebo elektrodeionizace jako specifická varianta elektromembránových separačních procesů. Do posled-

ní skupiny pak spadají například membránové reaktory, membránové krystalizátory a další.

Úsilí vyvíjené ve vztahu k uvedení těchto technologií do průmyslové praxe se vztahuje nejen na optimalizaci vlastní membrány jako srdce membránových procesů, ale rovněž na optimalizaci konstrukce a provozních parametrů celého systému, která by umožnila udržet dostatečnou životnost membrány při zachování jejích požadovaných vlastností a zároveň učinila proces konkurenceschopným vzhledem k tradičním a zavedeným technologickým postupům. Jak je z uvedeného zřejmé, pozornost je zapotřebí soustředit na **výzkum a vývoj membránových materiálů i procesů konkrétních cílených technologií**. To však samo o sobě rozhodně není postačující. Srovnatelnou pozornost je zapotřebí věnovat **vzdělávání** odpovídajících odborných kádrů a široké **osvětě** jak v oblasti managementu průmyslových subjektů působících v oblastech, kde je uplatnění membránových procesů perspektivní, tak v oblasti orgánů státní správy, ale rovněž široké laické veřejnosti. Jen tak lze dosáhnout razantnější změny přístupu k této oblasti a přiblížení se České republiky vyspělým průmyslovým státům, které jsou v této oblasti již dlouhodobě aktivní. Bohužel, na rozdíl například od Evropské unie, **v České republice dosud neexistuje jednotná strategie výzkumu ani implementace membránových metod** jako moderních separačních procesů s perspektivou využití membrán v katalyzovaných operacích nebo v energetice ani na národní úrovni a v důsledku toho ve většině případů ani na úrovni jednotlivých resortních ministerstev.

Výchozím bodem pro vytvoření úspěšného strategického rozhodnutí je dokonalé **zmapování stávajícího stavu, jeho silných stránek a potřeb dalších směrů řešení**, které zajistí konkurenceschopnost národního průmyslu v celosvětovém měřítku. Proto je prvním krokem pro začlenění membránových procesů do mnoha směrů výrobních i jinak užitečných aktivit v ČR zpracování stávajícího stavu poznání a aplikace. Základem Strategické výzkumné agendy je proto **studie současného stavu problematiky** vypracovaná v prvních etapách činnosti CZEMP. Jejím pokračováním je vytvoření **databáze subjektů**,

jejichž činnost je spojena obecně s membránovou problematikou. V dosavadní fázi je průběžně zpracováván ucelený souhrn informací nejen o řádných členech platformy, ale o stavu membránové problematiky v ČR obecně. Databáze subjektů, která je součástí www.czemp.cz, podává základní přehled a charakteristiku specializovaných akademických i průmyslových pracovišť, přehled řešených výzkumných projektů základního nebo aplikovaného výzkumu strukturovaný dle typových problematik oborů, i souhrn relevantní publikační činnosti. Obsahuje i detailnější popis strojového vybavení a expertízy těchto pracovišť v obecném rozsahu. Tento přehled umožňuje efektivní vyhledávání partnerů pro spolupráci při řešení nových inovačních podnětů. Databáze je průběžně aktualizována a doplňována a představuje tak unikátní soubor informací o stavu řešení membránové problematiky v České republice.

Vedle uvedené databáze subjektů jsou na patřičné odborné úrovni zpracovávány rovněž případové studie řady výrobků a technologií již implementovaných na českém území. Forma případových studií popisující dané technologie v kontextu dalších alternativních možností řešení problému, ať již klasických nebo membránových, i v kontextu ekonomickém a ekologickém, byla zvolena s cílem umožnit čtenáři identifikovat silné a slabé stránky popisovaných membránových technologií a oblasti podmínek, za kterých poskytuje jejich uplatnění jednoznačnou konkurenční výhodu, popř. za kterých umožňuje řešit problémy dosud řešitelné pouze s neúnosně velkými ekonomickými náklady. Snahou CZEMP je vytvořit **soubor případových studií** postihujících co nejširší spektrum průmyslových aplikací a poskytujících tak ucelený přehled informací o možnostech řešení spektra problémů pro zájemce z řad odborné veřejnosti, státní správy a v konečném důsledku i pro potenciální uživatele těchto technologií. Odborné studie slouží jako argumentace pro zdůvodnění relevance zavádění a používání membránových technik a technologií. Stejně jako databáze subjektů jsou i výše uvedené případové studie součástí www.czemp.cz. Do budoucna je nezbytné rozšířit tyto studie o marketingové zhodnocení jednotlivých technologií, které již dosáhly stupně průmyslového vývoje.

V budoucím období je nezbytné stávající dokumenty doplnit o další studie. Ty lze rozdělit do dvou základních oblastí:

- podpora výzkumu, vývoje a transferu technologií,
- podpora implementace membránových technologií v průmyslové praxi.

V rámci první oblasti se aktivita CZEMP zaměří na **posouzení potenciálu České republiky ve výzkumu moderních membránových procesů a materiálů**. Budou identifikovány oblasti, ve kterých lze předpokládat dosažení významných pokroků a při odpovídající podpoře výzkumu a vývoje má Česká republika potenciál stát se konkurenceschopným producentem. V této etapě lze na základě dosud dostupných informací předpokládat, že se bude mimo jiné jednat zejména o procesy separace a čištění plynů a par, pervaporaci, elektromembránové separační procesy a membránové procesy v energetice. Stranou nezůstanou ani membránové procesy uplatňované v péči o zdraví člověka a umělé náhrady orgánů. Výzkumné skupiny akademických pracovišť (ÚCHP AV ČR, ÚMCH AV ČR, VŠCHT Praha, Univerzita Pardubice) i ostatních členů (MemBrain s.r.o.) se angažují ve studiu uvedených směrů na úrovni národní i ve spolupráci se zahraničními partnery, zejména pak v rámci EU projektů.

V druhé oblasti představuje nejdůležitější úkol **zavedení standardizované metodiky hodnocení stávajících i plánovaných implementací membránových technologií**, která umožní srovnání se stavem v rámci Evropské unie i v měřítku celosvětovém. Toto porovnání poskytne vodítko pro hodnocení pozice České republiky v širším měřítku a může sloužit jako návod při rozhodování o modernizaci stávajících či výběru nových technologií. Tyto studie budou k dispozici státní správě a Radě vlády pro výzkum a vývoj, případně dalším zájemcům z průmyslové sféry, zejména pak členským organizacím CZEMP. Závěry budou průběžně zveřejňovány na webových stránkách, popř. publikovány jinou formou. Tím bude zaručen efektivní transfer aktuálních informací oborů co nejširší odborné veřejnosti. Hlavním důsledkem bude **návrh koordinované politiky podpory výzkumu v oblasti membránových procesů** z veřejných prostředků, který v současnosti trpí významnou roztržitostí. Tato roztržitost dnes

významným způsobem komplikuje koncepční práci v jednotlivých navazujících krocích inovačního procesu zahrnujících základní výzkum, aplikovaný výzkum, vývoj a na závěr pak realizaci. Dosavadní úspěchy svých členů v mezinárodních kooperacích hodlá proto CZEMP rozvíjet i nadále a současně vytvářet podmínky pro silnou tuzemskou profesní základnu. Platforma tak vytvoří podmínky pro koncentraci poznatků ze základního výzkumu a v rámci spolupráce partnerů jejich další využití v optimalizovaném řešení vývojových a realizačních projektů. V oblasti aplikační poskytne vzniklý materiál podpůrný informační zdroj pro veřejnou správu, pro její rozhodování zejména v oblasti nejlepších dostupných technologií (BAT – Best Available Techniques), o nastavení standardů pro nově instalované technologie, pro kontrolu a obnovu životního prostředí. Pro průmyslové podniky pak tento materiál představuje důležitý informační zdroj při rozhodování o inovačním procesu a dalším rozvoji instalovaných technologií.

V **oblasti vzdělávání a popularizace** je závažným úkolem CZEMP oslovit co nejširší spektrum subjektů. Konkrétní problémy identifikované na základě informací získaných v rámci členské základny platformy i od externích subjektů budou zpracovány a prezentovány formou odborných seminářů. Na tyto semináře bude zvána široká veřejnost prostřednictvím běžně používaných komunikačních kanálů. Sborníky vzniklé jako výstup seminářů budou představovat další informační bázi s trvalejší hodnotou.

Významnou aktivitu představuje vydání výkladového slovníku odborných pojmů v oblasti membránové problematiky (Anglicko-český a česko-anglický výkladový membranologický slovník, 2010). Tato aktivita má dva dopady. V oblasti membránových procesů dosud chybí v českém jazyce jedno-

značně definovaná a obecně uznávaná odborná nomenklatura. Uvedený slovník představuje významný pokrok v tomto směru. Druhým dopadem této publikace je pak propagace a popularizace oboru. Dalším problémem vzhledem k propagaci membránových procesů je úplná absence českojazyčné literatury poskytující ucelený přehled o membránových procesech využitelné jako vhodný učebnicový a informační materiál. Proto se na publikačním poli pozornost CZEMP zaměřuje rovněž na tuto oblast. Na nejbližší období je plánována publikace knihy Membránové procesy, která tento nedostatek odstraní.

CZEMP při plnění svých úkolů nemůže působit individuálně. Nezbytná je spolupráce s dalšími obdobně zaměřenými subjekty, zejména pak s odbornými organizacemi a sítěmi, se kterými si mohou poskytnout vzájemně výhodnou podporu (Technologická agentura ČR, národní technologické platformy v ČR, ČSCHl a další). S tímto cílem se CZEMP jako právnický subjekt již stal členem několika organizací uvedeného typu, zejména pak ČSCHl a European Membrane House. Aktualizace stavu oboru v ČR po třiletém působení CZEMP a definice přínosu platformy a jejich členů za uplynulé období povede k sestavení **implementačního akčního plánu** pro průmyslová odvětví na další období. Tímto dokumentem se bude řídit práce CZEMP v dalším období.



9 | Závěr |



Ilustrační foto, Koch Membrane Systems™

Předkládaná Strategická výzkumná agenda shrnuje základní informace o oboru membránových procesů, jejich současném stavu v České republice a roli České membránové platformy v dalším rozvoji oboru. Nastiňuje rovněž strategii další činnosti platformy zaměřené na úspěšný rozvoj membránové problematiky v ČR.

V mnoha ekonomicky rozvinutých zemích jsou membrány považovány za „dominantní technologie“. Membránové inženýrství se stává součástí technických řešení a nalézá propojení s dalšími velkými strukturami prezentovanými Evropskou technologickou platformou nebo Společnými technologickými iniciativami v rámci již zmiňovaných témat životního prostředí, energetiky, zdraví, chemie a biotechnologie. Rozvoj membránových technologií a jejich postupné

zavádění do praxe tedy napomůže zachování pozice ČR mezi technologicky vyspělými zeměmi a zvýší její konkurenceschopnost v mezinárodním měřítku. To se týká nejen průmyslové výroby, ale i inovačních aktivit. Zpětné ohlédnutí na činnost platformy za dobu její existence ukazuje, že přes komplikované období zahájení odborných aktivit bylo dosaženo významného pokroku. Byla zformována stabilní členská základna a vytvořeny základní vazby mezi jednotlivými členskými subjekty, které umožňují účinné řešení vznikajících problémů a plnění cílů, které si platforma vytyčila. Na nejbližší roky byla rovněž vytvořena odpovídající finanční základna, která platformě poskytuje nezbytnou stabilitu do příštího období.

Cíle platformy lze shrnout do myšlenky „nemají perspektivu ti, kteří nepřipravují svoji budoucnost“.

Česká membránová platforma o. s.

STRATEGICKÁ VÝZKUMNÁ AGENDA

Zpracováno v rámci projektu

„Česká membránová platforma“ - 5.1SPTP01/007,
program OPPI Spolupráce - Technologické platformy

Autoři:

Ing. Darina Bouzková

Prof. Dr. Ing. Karel Bouzek

Ing. Miroslav Bleha, CSc.

Grafická úprava: Dana Husníková

Vydala CZEMP v roce 2011