



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI

Česká membránová platforma o.s. „Implementační akční plán“

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

Ing. Miroslav Bleha, CSc. a kolektiv členů platformy

Srpen 2011

OBSAH

1	Úvod do problematiky	4
2	Vzdělávání	8
2.1	Úvod	8
2.2	Rozvoj vzdělávání v oblasti membránových procesů na národní úrovni	8
2.2.1	Středoškolské vzdělání	8
2.2.2	Bakalářský stupeň studia	9
2.2.3	Magisterský stupeň studia.....	11
2.2.4	Doktorský stupeň studia	14
2.2.5	Specializované semináře.....	15
2.3	Studijní literatura	16
2.3.1	Základní studijní a informační materiály.....	17
2.3.2	Literatura pro pokročilé stupně studia	19
2.4	Zapojení do širších mezinárodních struktur	20
2.4.1	Bakalářský stupeň studia	20
2.4.2	Magisterský stupeň studia.....	21
2.4.3	Doktorský stupeň studia	23
2.4.4	Celoživotní vzdělávání	25
2.5	Vazba vzdělávání na aplikační sféru.....	25
2.5.1	Zapojení aplikační sféry do výuky	26
2.5.2	Volba témat projektových prací	27
2.6	Význam vzdělávání pro rozvoj oboru membránových procesů	28
3	Výzkum, vývoj a inovace membránových procesů.....	29
3.1	Úvod kapitoly	29
3.1.1	Charakterizace situace v České republice.....	29
3.1.2	Časové horizonty v rozvoji oboru.....	31
3.2	Role základního a aplikovaného výzkumu	32
3.2.1	Materiálový výzkum.....	33
3.2.2	Fyzikálně chemické principy procesů	34
3.2.3	Inovace přístupu ke standartním membránovým operacím.....	35
3.2.4	Výzkum a vývoj netradičních separačních metod	36
3.2.5	Výzkum a vývoj membrán a procesů pro energetiku	37
3.3	Postavení veřejných výzkumných institucí a veřejných vzdělávacích institucí	37

3.4	Priority podpory vědy, výzkumu a vývoje v ČR – projektové preference	37
3.5	Vývoj a inovace membránových technik a technologií.....	38
3.5.1	Vyhodnocení možných inovací současné techniky membránových operací.....	38
3.5.2	Membrány a membránové moduly pro zvýšení účinnosti procesů	38
3.5.3	Vývoj a inovace membránových tlakových operací.....	39
3.5.4	Vývoj a inovace elektromembránových procesů.....	40
3.5.5	Vývoj nových netradičních a efektivních membránových procesů.....	42
3.5.6	Výzkumná konsorcia pro řešení cílených aplikací	43
3.5.7	Komplexní výzkum a vývoj membránových procesů v nových technologiích.....	44
3.6	Mezinárodní kooperace výzkumu a vývoje membrán a membránových procesů.....	46
3.6.1	Spolupráce českých subjektů na projektech v rámci EU programů	46
3.6.2	Zapojení výzkumných a vývojových týmů do Center excellence	47
3.6.3	Podíl výzkumných pracovišť ČR v mezinárodních konsorciích	47
3.7	Závěr kapitoly	48
4	Membránové procesy v odvětvových technologiích i ochraně životního prostředí	49
4.1	Úvod	49
4.1.1	Stav využívání membránových procesů v ČR.....	49
4.1.2	Perspektivní oblasti aplikace membránových technologií	50
4.2	Problematika bezodpadových technologií.....	54
4.3	Charakteristika oborů, ve kterých se využívají membránové procesy v jejich technologickém uspořádání	55
4.3.1	Surová voda jako nástřik technologie.....	57
4.3.2	Zpracování meziproduktů.....	59
4.3.3	Membránové procesy ve zpracování odpadních produktů včetně komunálních odpadních vod.....	62
4.3.3.1	Odpadní vody multikomponentního charakteru	63
4.3.4	Publicita zvolených řešení a jejich zařazení do optimalizovaných postupů	75
4.4	Membránové procesy v enviromentální ekonomice.....	75
4.4.1	Vodní zdroje a příprava vody odlišné čistoty pro technické i komunální použití.....	75
4.4.2	Separace plynů a ochrana ovzduší.....	78
4.4.3	Membránové procesy v technologiích biopaliv druhé generace	80
4.5	Membrány a jejich využití v energetice.....	82
4.5.1	Vodíková energetika.....	82
4.5.2	Membránové přeměny energie a její „skladování“ v bateriových systémech	83
5	Závěry studie	86

1 Úvod do problematiky

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 ty jsou považovány za klíčové otázky dalšího úspěšného rozvoje společnosti.

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 protichůdných 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 tato vzdálená měřítká, od mikro- , resp. nanoúrovně až po celá multifunkční zařízení. Bezpochyby právě syntetické membrány a příslušné technologie jsou tou správnou odpovědí na tyto různorodé požadavky.

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...) a oblastech (chemický, potravinářský, automobilový průmysl, medicína, energetika...) našeho každodenního života. Významnou měrou je to dáno tím, že membrány představují nejprůhodnější koncepci pro trvale udržitelný rozvoj společnosti, jelikož jejich použitím nedochází k vývoji či spotřebě tepla, fázovým přeměnám a odpadá nutnost použití chemických přísad.

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 prů-

myslu 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, kteří jsou členy platformy, je hnacím momentem rozvoje této problematiky a tím i všech souvisejících odvětví.

CZEMP navazuje na činnost Membránové sekce České společnosti chemického inženýrství (MS ČSCHI), která od poloviny 90. let minulého století vyvíjela iniciativu v oblasti popularizace membránového oboru v tuzemsku. Membránová sekce se stala profesním sdružením specializovaných odborníků, 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.

Základní poslání platformy je soustředěno do čtyř směrů:

- propojuje aktivity odborné veřejnosti, akademické sféry a průmyslových výrobců, resp. uživatelů produktů a technologií v oblasti membránové problematiky,
- zajišťuje přenos informací a stabilizaci a aktualizaci informační báze membránové problematiky a podporuje vzdělávání v oboru,
- napomáhá koordinaci aktivit subjektů působících v oblasti výzkumu a vývoje membránových procesů v návaznosti na výzkumné programy a finanční zdroje jak domácí, tak zahraniční,
- 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 je otevřenou organizací, která má v současnosti celkem 23 řádných členů, fyzických a právnických osob a předpokládá vstup dalších subjektů. Členem platformy se mohou stát fyzické i právnické osoby se zájmem o membránovou problematiku. Subjekty, jejichž činnost je spojena s membránovou problematikou nebo membránovými technologiemi v České republice jsou instituce z oblasti vědy, výzkumu a vzdělávání, pracoviště zabývající se vývojem a transferem technologií, výrobci a distributoři membránových technologií a v konečném důsledku i uživatelé těchto technologií.

První uvedenou skupinu představují akademická pracoviště, vysoké školy a ústavy Akademie věd ČR (AV ČR), která se zabývají převážně základním výzkumem přípravy a charakterizace membrán, fyzikálně-chemickými aspekty membránových procesů a jejich aplikačními možnostmi jako základním podkladem k budoucímu rozvoji oboru. Do druhé skupiny je možné zařadit vývojová aplikační pracoviště, řešící komplexně vlastní technologickou realizaci membránového procesu včetně návrhu zařízení, tj. membrán, membránových modulů, technické a regulační vybavy a případně i výroby nebo dodání komplexní technologie. Třetí skupinou jsou pracoviště, na kterých membránové procesy již ve vlastních provozech používají nebo jejich zavedení připravují. Přehled významných subjektů zabývajících se membránovou problematikou je souhrně zpracován v informační databázi

CZEMP, která je pro členské subjekty k dispozici na webových stránkách CZEMP. Informace dosud zpracované a obsažené ve zmíněné databázi představují odrazový můstek pro získání odpovídajících referenčních bodů pro plánování potenciálních nových technologií na bázi membránových procesů, získání jejich národních dodavatelů a o výzkumném potenciálu dosažitelném rovněž na národní úrovni. Výzkumné úkoly řešené v rámci akademické sféry na poli membránových procesů lze rozčlenit do několika základních oblastí, a to na tlakové membránové procesy, membránovou separace plynů, pervaporaci, elektromembránové separační procesy, zdroje elektrické energie, výzkum teoretických základů membránových procesů a na navrhování a optimalizaci procesů. Všechny uvedené oblasti zahrnují vedle studia vlastních procesů rovněž vývoj a charakterizaci s nimi spojených membránových materiálů.

Podstatné jsou také mezinárodní aktivity CZEMP v průběhu prvních etap projektu. Platforma se podílela významnou měrou na organizaci mezinárodní konference *PERMEA 2009*, pořádané v České republice v rámci akcí odborníků zemí Visegrádské skupiny (4 VC) a zařazené do doprovodných akcí Českého předsednictví EU v červnu 2009. Dále byla CZEMP představena na regionálním setkání v Lucembursku *1st European SME Week'09* v rámci workshopu „Výzkum a vývoj pro inovace v ČR“ a na evropském membránovém fóru *EUROMEMBRANE 2009*, v září v Montpellier, Francie. Rovněž pořádala specializované symposium v rámci mezinárodní konference *CHISA-EFCC 2010* v Praze. Aktivně probíhají i jednání s představiteli Evropské membránové společnosti (EMS), v jejímž Výboru má platforma svého zástupce na období 2011-2015 a dále s představiteli European Membrane House (EMH) o účasti CZEMP v celoevropských membránových aktivitách – např. v projektu „MemBridge“.

Výzkum i rozvoj membránových technologií v celosvětovém pojetí byl výrazně podporován nejdříve v technologicky úspěšných zemích, tj. v USA a Japonsku. Základní výzkum na univerzitách a ve výzkumných centrech i navazující vývoj nových technik znamenaly prvenství v zavedení elektrochemických membránových metod v Japonsku a významné úspěchy v materiálovém výzkumu membrán a později i tlakových procesů v USA. I v současném období je možné považovat tyto dvě země za předvoj ve světovém výzkumu membránových procesů a vůdčí země jak v aplikaci dnes běžných separačních metod, tak ve výzkumu a vývoji nových oblastí membránových reaktorů či využití membrán v energetice a zdravotnictví. Je to umožněno zejména koncepční podporou grantových systémů účelově propojených s průmyslovým výzkumem bezprostředně navazujícím na výsledky činnosti akademické sféry. I ostatní 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. Projekt pod acronymem **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 byly vytvořeny pracovní skupiny mapující 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. Byli vyhledáni i zájemci z různých oborů o tuto tematiku a vytvořili tzv. „Club of Interest“. Toto uskupení, sestávající z 18 výrobců membrán a membránových technologií, 7 inženýrských firem v oboru a 17 koncových uživatelů společně se 7 členy NanoMemPro (včetně ČR), v několika tématických skupinách specifikovalo

budoucí potřeby ústící v dokument nazvaný *Strategic Business Research Agenda* (SBRA) a návrh vzniku právního subjektu v rámci EU – **European Membrane House** (EMH). Předpokládaným cílem tohoto snažení je vývoj technologického servisu s vysokou přidanou hodnotou. Technologickým servisem je uspořádání evropských výzkumných jednotek, membránových zařízení a softwarových produktů pro společné využití pro členy a partnery 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. Účast platformy i jejích členů v popsáných aktivitách i v současné činnosti EMH je tak dalším předpokladem rozvoje membránové problematiky v národním i mezinárodním kontextu.

V rámci globalizace světové ekonomiky je velmi obtížné sledovat a definovat stupeň poznání a rozvoje membránové problematiky v jednotlivých průmyslových subjektech a zemích. Za stále membránově prosperující lze považovat společnosti Du Pont, Dow, General Electric v USA a Asahi Chemical, Tokuyama Comp., Toray v Japonsku. Zařazením jejich produktů, tj. membrán a membránových modulů do membránových technologií se zabývá řada inženýrských společností připravujících konstrukce a zařazení aparátů do požadovaných aplikací. Takové společnosti pracují i v Evropě a navazují často na již jmenované výrobce membrán a modulů nebo realizují membránové produkty menších evropských výrobců. Rozvoj membránové problematiky je výrazný i v Číně, zejména výzkum a vývoj vlastních produktů nabývá na významu i v celosvětovém kontextu. Problematika zásobování vodou vyvolává zájem o membránové procesy i v zemích středního východu, které se stávají nejen zájemci o jejich dovoz, ale rozvíjejí i vlastní vzdělávací a výzkumná centra. Z tematického hlediska jsou v současné době globálními prioritními problémy zajištění vodního hospodářství zpracováním zasolených vod (včetně odsolování mořské vody), čištěním brakických a odpadových vod a odstraňováním jejich organických znečištění. V této oblasti je významná i mezinárodní aktivita českých subjektů sdružených v CZEMP a i tímto směrem bude platforma rozvíjet své aktivity. Druhým klíčovým tématem jsou obnovitelné zdroje energie počínaje studiem všech forem nefosilních zdrojů paliv až po jejich přeměnu v elektrickou a tepelnou energii. Tyto úkoly dávají řadu možností k zařazení membránových aplikací do jejich řešení. I v této oblasti vyvíjejí členové CZEMP vlastní aktivity v rámci tuzemských i mezinárodních projektů.

Závažnou otázkou v realizaci inovačních projektů mohou být problémy finančního zajištění inženýrského návrhu technologického provedení i příslušné investiční prostředky pro vlastní technické provedení. Dosud veřejně uznávanou skutečností jsou vyšší investiční náklady při zařazení membránového procesu do libovolného technologického cyklu za současného výrazného snížení potřeby dlouhodobých provozních prostředků, což je často i v odborných hodnoceních pomíjeno. Také ekonomická kritéria užívaná ve státní i veřejné sféře pro hodnocení projektů a výběrových soutěží jsou často nastavena laicky a neumožňují reálný pohled na skutečnou funkční cenu zakázky. Jednou z metod podpory konkurenceschopnosti české ekonomiky je proto nejen dokonalá publicita oboru, ale také zvyšování odborné úrovně a stupně poznání celoživotním vzděláváním pracovníků ve všech úrovních řídicí i specializované činnosti. Také tímto směrem se, i když někdy poněkud obtížně vzhledem k institucionálním bariérám, rozvíjí a bude nadále směřovat své aktivity Česká membránová platforma.

2 Vzdělávání

2.1 Úvod

Současná situace ve vzdělávání v oblasti membránových procesů byla z rozhodující části diskutována v rámci dokumentu Strategická výzkumná agenda a na tomto místě bude tedy uvedeno pouze stručné shrnutí tohoto stavu. Z detailního průzkumu situace mezi jednotlivými vzdělávacími institucemi, které jsou členy České membránové platformy, vyplynulo, že v tomto okamžiku lze vzdělávání charakterizovat jako silně roztržité. Charakteristická je absence uceleného systému a cílené strategie, která by posluchačům poskytla odpovídající teoretický základ, na který by navázaly detailní informace v jednotlivých specifických směrech tohoto širokého multidisciplinárního oboru. Tato situace představuje jednu z významných překážek dalšího rychlého rozvoje tohoto mladého dynamického oboru s velkou perspektivou řešení řady problémů naší technologicky vyspělé společnosti. Proto Česká membránová platforma o.s., která si klade za cíl rozšiřování a propagaci membránových procesů v rámci České republiky, tomuto problému věnuje zaslouženou pozornost.

2.2 Rozvoj vzdělávání v oblasti membránových procesů na národní úrovni

Role CZEMP v oblasti vzdělávání je významná a zasahuje do řady oblastí. Samozřejmě nelze očekávat, že by toto sdružení přímo suplovalo roli vzdělávacích zařízení na různých úrovních. Může jim však poskytnout podporu a koordinovat jejich aktivity. Největší přímou roli CZEMP pak lze spatřovat v oblasti propagace a celoživotního vzdělávání. S využitím expertízy jednotlivých členů platformy, databáze kontaktů a podpory pracovníků platformy jsou plánovány zejména informační návštěvy a semináře na středních školách, orgánech státní a komunální správy a vhodných podnikatelských subjektů. Na vhodně zvolená témata budou rovněž organizovány pravidelné odborné semináře jak pro veřejnost, tak na objednávku pro konkrétní subjekty. Ty by se v budoucnu měly stát základním mechanismem zvyšování kvalifikace pracovníků formou celoživotního vzdělávání. Vedle těchto aktivit však bude i nadále poskytovat podporu institucím terciárního vzdělávání v oblasti zprostředkování studijních materiálů, popř. odborných praxí. Jak je tedy zřejmé, pole působnosti platformy jako koordinátora a podpůrného pracoviště je široká a staví před její pracovníky celou škálu úkolů.

2.2.1 Středoškolské vzdělání

Středoškolský stupeň vzdělání je zdánlivě vzdálen od přípravy specialistů pro membránové procesy. Ale toto zdání klame. Pokud chceme získat dostatečný počet zájemců o studium tohoto oboru, je zapotřebí perspektivní středoškolské studenty získat pro tuto problematiku co nejdříve. To umožní ovlivnit výběr jejich maturitních předmětů a rovněž volbu vysoké školy, na které budou absolvovat své navazující studium, stejně tak jako studijní program, který si pro své studium zvolí. Této skutečnosti jsou si vědomy jak jednotlivé vysoké školy, tak CZEMP. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze (VŠCHT Praha), stejně jako další vysoké školy poskytující vzdělání v oblasti chemie, chemické technologie a materiálového inženýrství, přistupuje k této problematice aktivně již delší dobu a organizuje řadu propagačních akcí napříč středními školami v regionu i v rámci celé ČR. Jedná se však o akce obecné, které sice zahrnují rovněž ukázky vybraných membránových procesů, ale nezdůrazňují jejich význam. To je logické, neboť jednotlivé vysoké školy univerzitního typu

nezbytně propagují veškeré studijní programy, které zajišťují a nezaměřují se obvykle specificky na propagaci jednoho z nich. A zde je nezastupitelná role CZEMP. Ta v nastávajícím období plánuje zintenzívnit svou činnost v tomto směru. První propagační semináře již na vybraných středních školách proběhly a prokázaly jak zájem středních škol o tento typ aktivity, tak živý zájem vlastních studentů. To je povzbudivé zjištění, které je jednoznačně motivační do budoucna. Zároveň je postupem času stále zřejmější, že CZEMP pro tento typ aktivity postrádá odpovídající typ informačních materiálů, které musejí být v nejbližším období postupně doplněny a využity v rámci těchto aktivit. Jednoznačným cílem do nejbližších let je tedy rozšířit tento typ aktivit na co nejrozsáhlejší soubor středních škol, preferenčně ve spolupráci nejen s univerzitami, ale zejména i průmyslovými partnery, kteří mohou studenty informovat o potenciálu jejich profesního uplatnění po ukončení studia. Pro řadu racionálně uvažujících mladých lidí se tato otázka stává stále zásadnější.

2.2.2 Bakalářský stupeň studia

Bakalářské studium představuje velice významnou složku vysokoškolského studia. Posluchači poskytují obecné základy dané oblasti, pro kterou se při volbě vysoké školy a studijního programu rozhodl. Ať již se v navazujícím magisterském studiu rozhodne pro jakoukoliv užší specializaci, ta bude vždy stavět na základech získaných v průběhu tohoto prvního stupně studia. Proto je kvalita a volba těchto základů rozhodující pro výchovu kvalitního a úspěšného specialisty. Z uvedeného tedy opět zdánlivě vyplývá, že v oblasti chemické technologie a chemického inženýrství nezbyvá prostor pro specializaci na užší oblast membránových procesů. To je však pravda pouze částečně a to zejména z jednoho základního důvodu. Předpokladem úspěšného membránového procesu je vedle dobře navržené, zoptimalizované a zkonstruované technologie zejména dostupnost a volba optimální membrány. Stejně tak v případě výchovy membránového technologa je nezbytný kvalitní multidisciplinární základ jeho vzdělání. Na rozdíl od klasického chemického technologa nebo materiálového inženýra má toto vzdělání silně multidisciplinární charakter a to je nezbytné při výchově těchto specialistů zohlednit.

Jak již bylo uvedeno výše, v současné době neexistuje v rámci ČR cíleně zaměřený bakalářský studijní program nebo obor, který by poskytoval cílené a logicky uspořádané vzdělání v této oblasti. Na bakalářském stupni studia neexistuje ani významnější nabídka odborných předmětů, které by studentům poskytovaly cílené teoretické základy, popř. praktickou přípravu v této oblasti. To souvisí zejména s již zmíněnou snahou využít čas studia na tomto stupni k poskytnutí kvalitního teoretického základu. CZEMP si tuto skutečnost uvědomuje a proto ve spolupráci s VŠCHT Praha soustředila svou pozornost na vypracování vhodného studijního oboru, který by zájemcům o studium této problematiky poskytl kvalitní vzdělání. VŠCHT Praha byla zvolena z důvodu dlouhé tradice výzkumu v celé řadě membránových procesů napříč všemi svými fakultami a s tím spojenou schopností pokrýt největší rozsah výuky membránových procesů vlastními silami. Díky realizovanému výzkumu je rovněž schopna nabídnout posluchačům kvalitní témata bakalářských prací, kterými v závěru svého studia posluchači prokáží kvalitu získaného vzdělání.

Jako ideální pro studium membránových procesů byla vybrána forma specializovaného studijního oboru *Vodíkové a membránové technologie* v rámci stávajícího studijního programu *Aplikovaná chemie a materiály*, akreditovaného na Fakultě chemické technologie VŠCHT Praha. Konkrétní struktura tohoto návrhu se základními údaji o jeho cílech a o profilu absolventa jsou uvedeny v příloze č.1 tohoto dokumentu. Struktura návrhu byla motivována právě snahou o multidisciplinaritu a o poskytnutí odpovídajících teoretických základů

chemickotechnologických i nezbytných materiálův-inženýrských základů všem posluchačům. V průběhu prvního roku studia se pozornost soustředí zejména na získání teoretických základů, zejména pak v obecné, anorganické a organické chemii, matematice a fyzice. V průběhu druhého ročníku studia jsou doplněny teoretické základy o fyzikální chemii, analytickou chemii a chemické inženýrství. Na tyto teoretické předměty naváže úvod do chemických technologií a do materiálůvých věd. Specializace se projeví v letním semestru druhého ročníku v rámci povinně volitelných předmětů, kde je chemicko-technologický základ doplněn o prohloubené základy materiálůvých věd. V posledním, třetím, ročníku studia pak vedle závěrečné bakalářské práce a doplnění teoretických základů o pokročilé chemické inženýrství je důraz kladen na prohloubení specializace posluchačů zejména v rámci předmětů zaměřených na membránové procesy, procesy využívající membránové separace a v neposlední řadě popis polymerních membrán jak z hlediska materiálůvých věd, tak transportních vlastností. Polymerní membrány byly zvoleny z toho důvodu, že v praktických aplikacích jsou dosud dominantní skupinou materiálův. Významná je rovněž laboratoř oboru, která poskytne posluchačům první praktické zkušenosti s funkcí membránových materiálův, ale rovněž s výstavbou a provozem membránových zařízení v laboratorním měřítku.

Návrh tohoto studijního oboru byl připraven v průběhu roku 2010 a v jeho závěru byl předložen VŠCHT Praha k akreditaci. Ta byla udělena v prvním čtvrtletí roku 2011. Je zřejmé, že tento termín je příliš pozdní na to, aby byla reálná možnost naplnit první ročník uvedeného oboru posluchači již na začátku akademického roku 2011/12. K tomu nezbyvá odpovídající časový prostor, který by umožnil informovat studenty středních škol o této možnosti. Ta nicméně zůstává otevřená do dalších let a představuje jeden z významných úkolů VŠCHT Praha jako člena platformy a CZEMP jako celku. Jak bylo uvedeno, jedná se zejména o otázku popularizace oboru a propagace, která rozšíří základní informaci o roli membránových procesů v rozvoji technicky vyspělých společností a o perspektivě uplatnění absolventů tohoto konkrétního oboru v praxi. Další významná role platformy do budoucna spočívá v poskytování podpory tomuto vzdělávacímu oboru ve smyslu vzdělávacích materiálův, které vznikají v rámci jejich širších aktivit a ve zprostředkování případných přednášejících pro specializované přednášky, či výukové moduly. A poslední zde uvedenou významnou rolí je zprostředkování vazeb na aplikační sféru, která bude hlouběji diskutována dále.

Bakalářské studium na Fakultě chemicko-technologické Univerzity Pardubice umožňuje studentům studium membránových separačních procesů v rámci studijního programu „Chemie a technická chemie“ v předmětech „Chemické inženýrství I“ (v rozsahu 2 hodin za semestr) a „Moderní technologické procesy“ (rozsah 2 h přednášek/týden). Druhý předmět navazuje na znalosti z chemického inženýrství. Studenti jsou 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.

Název předmětu: ***Moderní technologické procesy***

Sylabus předmětu:

- Klasifikace membránových procesů,
- Tlakové membránové procesy,
- Elektrodialýza,
- Pervaporace, membránová separace plynů, membránová destilace,

- Membránové kontakory a bioreaktory,
- Kombinace membránových a klasických procesů,
- Technologie pro zpracování některých typů odpadních vod,
- Vybrané průmyslové aplikace membránových procesů.

Témata bakalářských prací:

- Využití nanofiltrace v chemickém průmyslu,
- Membránové reaktory,
- Membránové bioreaktory,
- Aplikace membránových bioreaktorů při čištění odpadních vod,
- Zpracování odpadních vod elektrodialýzou,
- Použití elektrodialýzy ve farmaceutickém průmyslu,
- Využití tlakových membránových procesů při čištění a likvidaci odpadních vod,
- Vliv předúpravy nástřiku na membránovou mikrofiltraci,
- Separace kapalných směsí difúzní dialýzou.

Česká membránová platforma bude uvedené programy a postupy dále rozvíjet v součinnosti s jejich autory, členy platformy zejména zaváděním nových poznatků a technologických zkušeností do učebního cyklu bakalářských studií. V horizontu budoucích 3-5 let se platforma také soustředí na využití učebních programů v dalších regionálních univerzitách technického směru, které již jsou nebo se stanou členy platformy. Nemalé úsilí bude věnováno publicitě odborného vzdělávacího procesu pro pracovníky MŠMT či členy akreditačních komisí vedoucí k pochopení jeho významu.

2.2.3 Magisterský stupeň studia

V magisterském stupni studia je již situace do jisté míry odlišná, a to jak vzhledem ke stávající situaci, tak k předpokladům zavedení specializovaného studijního oboru. Věnujme se nejdříve velice stručně současné situaci.

V magisterském stupni studia již dochází ve výuce k posuvu ke konkrétním specializacím a v souvislosti s tím k užšímu provázání jednotlivých přednášených předmětů s výzkumným profilem každého konkrétního pracoviště. Vzhledem k tomu, že membránové procesy jsou součástí výzkumných programů řady laboratoří VŠCHT Praha i Univerzity Pardubice, nezbytně nalézají svůj odraz i v odborných předmětech jimi zajišťovaných. Vesměs se však dosud jedná o útržkovité informace zaměřené na konkrétní problémy, které postrádají systematický přístup a hlubší pochopení celé problematiky. Jistou výjimku představuje předmět *Membránové procesy* přednášený na VŠCHT Praha. Avšak i tento předmět se zaměřuje více či méně na konkrétní typy procesů, ale do značné míry opomíná jejich materiálový základ a hlubší souvislosti mezi strukturou materiálu membrány a její využitelností pro konkrétní aplikaci. Jako typické příklady druhé skupiny odborných předmětů obsahujících dílčí informace o membránových procesech lze uvést mimo jiné *Vybrané procesy potravinářských a biochemických výrob* obsahující jednu přednášku zaměřenou na membránové procesy. Přednášky z předmětu *Separace v biotechnologiích* pak obsahují sérii šesti přednášek věnovaných membránovým procesům v poměrně širokém spektru metod. V oblasti úpravy vod pak obsahuje stručnou informaci o membránových procesech v rozsahu jedné přednášky předmět *Úprava napájecích a užitkových vod*. Více teoreticky pak jsou zaměřeny předměty *Separční procesy v biotechnologiích* a *Fyzikální chemie dějů na fázových rozhraních*. Ty posluchače uvádějí do oblasti teoretického popisu

chemicko-inženýrských a fyzikálně-chemických základů těchto dějů. Ovšem i v těchto případech jsou membránové procesy pouze součástí širšího odborného celku.

Vedle předmětů přinášejících přímou informaci o konkrétních membránových procesech, či o jejich teoretických základech, nelze na tomto místě nezmínit předměty přednášené v rámci materiálově orientovaných studijních oborů. Ty často poskytují odborné znalosti úzce související s přípravou vlastních membrán, a to jak polymerních, tak anorganických, a o jejich charakterizaci či teoretickém popisu jejich vlastností. Zde lze zmínit například předměty *Výroba polymerů*, nebo *Přenosové jevy v materiálovém inženýrství*. Rovněž tento typ předmětů je nezbytné vést v patrnosti a využít jejich potenciál při optimalizaci studijního plánu budoucích specialistů na membránové procesy.

V čem však spočívá role CZEMP, jako instituce, která nemá oprávnění poskytovat přímo vysokoškolské vzdělání? Jak již plyne ze zaměření této organizace, jedná se v každém případě o koordinaci aktivit a podporu jednotlivých členských vysokých škol univerzitního typu v jejich úsilí o nápravu stávající situace. Vzhledem ke stávající situaci v oblasti vzdělávání na bakalářském stupni, která byla tématem předchozí kapitoly, se jako logický postup jeví zavedení magisterského studijního oboru zaměřeného na výchovu odborníků v oblasti membránových procesů na VŠCHT Praha. Struktura tohoto oboru musí být navržena jednak dostatečně flexibilně, aby umožnila přijetí posluchačů, kteří ukončili studium na bakalářském stupni nejen přímo v oboru zaměřeném na membránové procesy, ale i v příbuzných technologických, či materiálově-inženýrských oborech. Je žádoucí, aby absolventi tohoto oboru získali odpovídající základy v materiálových i technologických vědách a specializovali se zejména až v rámci své diplomové práce, kterou studium uzavřou. Dále je žádoucí, aby získali v průběhu studia kvalitní teoretické základy membránových procesů a alespoň základní informaci z co nejširšího spektra v současnosti již realizovaných membránových procesů. V tomto případě se jedná o velmi náročný úkol, neboť uvedené znalosti pokrývají velmi široké spektrum vědních disciplín a není tedy jednoduché zprostředkovat studentům základní informaci při absenci odpovídajících teoretických základů každé z těchto oblastí (např. separace plynů, elektrochemické zdroje proudu, elektrolyza, elektromembránové separační procesy, biomembránové reaktory, membránové separace v potravinářských a biochemických technologiích atd.). Zde lze do budoucna spatřit jednoznačnou roli CZEMP. Ta bude danou aktivitu inicializovat a poskytne fórum jednotlivým odborníkům, na kterém lze diskutovat navrženou strukturu studijního oboru, ve vzájemné komunikaci pracovat na její optimalizaci a na upřesnění obsahů jednotlivých přednášek, seminářů a odborných laboratoří. Platforma zprostředkuje specialisty, kteří v období zavádění studijního oboru podpoří pracoviště koordinující tuto aktivitu v oblastech, kde je jeho expertiza na horší úrovni, než je tomu u jeho partnerů. Tím pomůže zajistit co nejvyšší úroveň kvalifikace absolventů tohoto oboru. Zanedbatelná není ani role CZEMP při zajištění studijních materiálů odpovídající úrovně pro všechny zájemce o studium uvedeného oboru. Této záležitosti se ve větším detailu budeme věnovat v dalším textu.

V tomto kontextu je rovněž významná role prohlubující se spolupráce se zahraničními univerzitami. Tato spolupráce bývá obvykle navázána prostřednictvím dlouhodobějších vztahů v rámci společných výzkumných projektů. Je tedy apriori přínosem pro odbornou úroveň pracoviště. V kombinaci s výukovými aktivitami získávají pracoviště další přidanou hodnotu, tj. kombinaci svých silných stránek a eliminaci stránek slabých. Tato otázka však je náplní samostatné kapitoly.

Obdobná je situace v případě koordinace užší spolupráce mezi vzdělávacími institucemi a komerčními subjekty. Ta je pro obě strany velmi výhodná zejména vzhledem k transferu

poznatků a přizpůsobení se vzdělávání aktuálním potřebám trhu práce. Rovněž na tomto poli vidí CZEMP svou významnou roli a bude se na něm v budoucnosti významně angažovat. I v tomto případě je bližší diskuse konkrétních úkolů tématem jedné z následujících kapitol předkládaného dokumentu.

Fakulta chemicko-technologická Univerzity Pardubice zajišťuje navazující magisterské studium programu „Chemické a procesní inženýrství“ ve studijních oborech „Chemické inženýrství“ a „Inženýrství životního prostředí“ v Ústavu environmentálního a chemického inženýrství výukou předmětů „Membránové procesy“ a „Bioinženýrství“ v rozsahu 2 hodiny týdně přednášek a 2 hodiny týdně cvičení v dále uvedeném rozsahu:

Název předmětu: **Membránové procesy**

Sylabus předmětu:

Principy, fyzikální a fyzikálně-chemické teoretické základy a modely, výroba a vlastnosti membrán, popis zařízení a jeho prvků, výpočty zařízení a aplikace níže uvedených membránových procesů v chemickém, potravinářském, farmaceutickém průmyslu, v biotechnologiích a v technice ochrany životního prostředí.

- Mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace, reverzní osmóza,
- Difúzní dialýza, elektrodialýza,
- Pervaporace, membránová destilace,
- Separace pomocí kapalných membrán,
- Membránová separace plynů,
- Membránové reaktory.

Název předmětu: **Bioinženýrství**

Sylabus předmětu:

- Membránové bioreaktory,
- Enzymové reaktory a membránové fermentory,
- Klasické a netradiční separační metody v biotechnologiích - membránové separace,
- Environmentální inženýrství,
- Technologie pro zpracování některých typů odpadních vod.

Název předmětu: **Moderní technologické procesy**

Sylabus předmětu:

- Klasifikace membránových procesů,
- Tlakové membránové procesy,
- Elektrodialýza,
- Pervaporace, membránová separace plynů, membránová destilace,
- Membránové kontaktory a bioreaktory,
- Kombinace membránových a klasických procesů,
- Technologie pro zpracování některých typů odpadních vod,
- Vybrané průmyslové aplikace membránových procesů.

Témata magisterských prací:

- Využití nanofiltrace v chemickém průmyslu,
- Membránové reaktory,
- Membránové bioreaktory,

- Aplikace membránových bioreaktorů při čištění odpadních vod,
- Zpracování odpadních vod elektrodialýzou,
- Použití elektrodialýzy ve farmaceutickém průmyslu,
- Využití tlakových membránových procesů při čištění a likvidaci odpadních vod,
- Vliv předúpravy nástřiku na membránovou mikrofiltraci,
- Separace kapalných směsí difúzní dialýzou.

Obdobně jako v bakalářském studiu bude Česká membránová platforma uvedené programy a postupy dále rozvíjet v součinnosti s jejich autory, členy platformy zejména zaváděním nových poznatků a technologických zkušeností do učebního cyklu magisterských studií a v budoucnosti se soustředí na využití těchto učebních programů v dalších vzdělávacích centrech.

2.2.4 Doktorský stupeň studia

Nejvyšší ze stupňů vysokoškolského vzdělávání pokračuje v trendu předchozích dvou stupňů. Důraz vlastního studia se přesouvá primárně na výchovu k schopnosti samostatné vědecké práce a rozhodující úsilí jak studenta, tak vedoucího jeho práce, se upírá k řešení vlastního výzkumného projektu. Zkoušky z odborných předmětů slouží zejména k posílení teoretických znalostí studenta v oblasti jeho práce, popř. ke zvýšení jeho předpokladů vyřešit úkoly stanovené definovanými cíly jeho disertační práce. Tato situace je významným způsobem odlišná od předchozích dvou stupňů vzdělávání a vyplývá z ní jedna zásadní konsekvence. V tomto stupni studia není nezbytně nutné v tomto okamžiku zavádět samostatný studijní obor a tímto způsobem soustřeďovat výuku doktorandů v této oblasti na omezený počet pracovišť. Tato otázka se může stát potenciálně významnou v okamžiku, kdy dojde k nárůstu počtu posluchačů předchozích dvou stupňů studia na úroveň, kdy zabezpečí dostatečné obsazení specializovaného doktorského studijního oboru. Ovšem i v takovém případě bude takový studijní obor pokrývat pouze omezené procento disertačních prací zaměřených na problematiku membránových procesů. Jejich značná, a lze předpokládat, že dominantní část, bude i nadále probíhat v rámci zavedených tradičních studijních oborů. To však nemá žádný výraznější negativní dopad na úroveň disertačních prací a přípravy absolventů. V čem tedy spočívá do budoucna role CZEMP?

Hlavní nedostatek v současnosti spočívá v omezeném rozsahu podpůrných odborných předmětů, které by si studenti mohli volit v průběhu realizace svého disertačního projektu. Jako příklady dvou předmětů v současnosti navštěvovaných posluchači doktorských studijních programů VŠCHT Praha lze uvést *Transportní jevy a membránové separační procesy* a dále pak předmět přednášený v rámci spolupráce s Ústavem makromolekulární chemie AV ČR, v.v.i. *Syntetické membrány pro membránové technologie*. Takovýto předmět však je nedostatek a zejména druhý z uvedených je dobrým příkladem role CZEMP v této oblasti, který by měl doznat do budoucna odpovídajícího rozšíření, a to jak v oblasti materiálových aspektů membránových procesů, tak procesních. Za vzájemné spolupráce jednotlivých členů platformy je důležité definovat klíčové oblasti důležité pro vzdělávání odborníků na doktorském stupni studia a zajistit vznik takovýto předmětů. Univerzitní instituce participující v platformě a zejména pak ve výchově doktorandů v oblasti membránových procesů pak mohou podle uvážení tyto předměty zařadit do nabídky a odpovídajícím způsobem jich využívat. Je zřejmé, že tato nabídka musí respektovat časové a geografické možnosti přednášejících. Nicméně to by v rozhodující většině případů nemělo být překážkou realizaci výuky. Rovněž v této záležitosti je role CZEMP nezastupitelná a rozšíření teoretické přípravy doktorandů představuje jeden z významných úkolů.

I v případě doktorských studijních programů je další z klíčových rolí platformy zprostředkování kontaktů na komerční sféru, zejména na konečné uživatele výsledků výzkumu a vývoje. Rovněž v tomto případě však tato záležitost bude diskutována v samostatné kapitole tohoto textu.

Tvůrčí činnost pracovníků oddělení chemického inženýrství Ústavu environmentálního a chemického inženýrství FCHT Univerzity Pardubice, kteří zajišťují výuku v doktorském studijním programu „Chemické a procesní inženýrství“ v obou akreditovaných studijních oborech „Chemické inženýrství“ a „Environmentální inženýrství“, je zaměřena především na řešení úkolů zahrnutých do výzkumného záměru Fakulty chemicko-technologické Univerzity Pardubice MSM 0021627502 s názvem „Pokročilé analytické a separační metody a jejich uplatnění v diagnostice a technologii živých a neživých materiálů“. Publikace, které vznikly za podpory tohoto záměru, jsou výsledkem práce učitelů a jejich doktorandů především z oblasti membránových separačních procesů. Za pozitivní přínos lze považovat zapojení doktorandů do řešení úkolů základního výzkumu. V neposlední řadě lze předpokládat, že zkušenosti učitelů a některých doktorandů budou zhodnoceny při řešení nově získaných projektů zaměřených technologicky.

Odborné zaměření doktorského studia je charakterizováno tématy, kterými jsou:

- Diafiltrace roztoků organických barviv,
- Elektrodialýza organických kyselin,
- Studium mikrofiltrace s dutými vlákny,
- Odsolování organických barviv membránovou diafiltrací,
- Neutralizační dialýza organických kyselin,
- Numerická analýza dialýzy s chemickou reakcí.

Aktivita CZEMP v oblasti doktorského studia se soustředí na dosažení maximální kvality absolventů podporou získávání informačních zdrojů z patentových i standardních publikací a vyhledáváním nových perspektivních témat na srovnatelné mezinárodní úrovni. Také podpora koordinace činnosti jednotlivých vzdělávacích institucí univerzitního i výzkumného sektoru by v budoucích letech měla zajistit národní konkurenceschopnost této oblasti v mezinárodním měřítku.

2.2.5 Specializované semináře

Specializované odborné semináře a workshopy představují jedinou primární aktivitu zajišťovanou přímo CZEMP. Role platformy není koordinační, nebo podpůrná, ale tyto akce jsou organizovány přímo jejími pracovníky. Jejich role je široká. Primárním účelem je informace odborné i laické veřejnosti. Podle typu auditoria se mění i náročnost obsahu seminářů a jejich obsah. Druhotným cílem je tvorba vzdělávacích materiálů. Plné texty přednášek, ať již ve formě učebnicových textů, nebo ve formě prezentací použitých jednotlivými přednášejícími budou vydávány v tištěné nebo elektronické formě a mohou být se souhlasem jejich autorů použity v rámci výuky a nebo propagace membránových procesů. Dalším účelem je zvýšení informovanosti tzv. „policy makers“, zejména tedy orgánů státní správy. A v neposlední řadě pak propagace membránových procesů zejména mezi studenty středních, ale i vysokých škol a laickou veřejností.

Aktivitu v oblasti specializovaných seminářů a workshopů CZEMP zahájila již ve druhém roce realizace projektu „Česká membránová platforma“ v rámci Operačního programu Podnikání a inovace (MPO ČR). Zorganizovány byly dva semináře zaměřené zejména na odbornou veřejnost: celodenní seminář „Úvod do membránových procesů“, konaný

20.10.2010 na Ústavu makromolekulární chemie AV ČR a jednodenní seminář „Membránové procesy ve zpracování průmyslových vod“, konaný 17.5.2011 na půdě VŠB-TU Ostrava. Paralelně s touto aktivitou byly realizovány uzavřené semináře menšího rozsahu jednak pro orgány státní zprávy (CENIA, česká informační agentura životního prostředí, 4.2.2011) a dále pak pro střední školy (Gymnázium Kladno, 10.2.2011, Gymnázium Slaný, 17.2.2011). Podrobné informace o všech seminářích lze nalézt na www.czemp.cz. Veřejné semináře byly hodnoceny formou anonymního dotazníku. Z analýzy obdržených odpovědí vyplynulo, že seminář splnil očekávání účastníků a vzbudil jejich zájem o problematiku membránových procesů. V případě cílených seminářů pro státní správu a pro střední školy bylo možné hodnocení vypracovat společně s jeho účastníky, resp. s pedagogy, kteří se daného semináře rovněž zúčastnili. I v tomto případě bylo hodnocení vesměs velice pozitivní a přináší příslib další spolupráce.

Tyto aktivity a jejich výstupy tedy jednoznačně indikují, jakým směrem se bude ubírat aktivita CZEMP v této oblasti do budoucna. Veřejné informační semináře se budou konat i v nadcházejícím období s frekvencí přibližně dvakrát ročně. Bude vyvinuta snaha získat pro tyto semináře od MŠMT ČR statut kurzu celoživotního vzdělávání. Tato akreditace přispěje k atraktivnosti kurzu a rozšíří okruh potenciálních zájemců. Zároveň i zvýší jeho dopad. Bude vyvinuta cílená snaha o systematické shromažďování učebních materiálů. Rovněž bude pokračovat cílená snaha oslovit orgány státní a komunální správy s nabídkou úvodního informačního semináře, který by měl vyústit v cílené workshopy zaměřené na oblasti, ve kterých jednotlivé orgány cítí významné problémy, či nedostatky a kde membránové procesy nabízejí efektivní řešení. V neposlední řadě se bude zvyšovat intenzita propagačních akcí na středních školách mající za cíl informovat dorůstající generaci a středoškolské učitele o možnostech a perspektivách membránových procesů a dalšího vzdělávání v nich.

Tato oblast představuje těžiště přímo činnosti CZEMP a proto se na ni bude upínat intenzivní pozornost. Lze konstatovat, že kritickou fází vzniku prvních prezentačních a informačních materiálů se již podařilo překonat. Je však zapotřebí investovat značné úsilí do jejich odpovídajícího doplnění a rozšíření, aby pokrývaly co nejširší oblast celého spektra těchto procesů a usnadnily tak realizaci častějších informačních akcí při udržení únosné míry zatížení pracovníků a specialistů.

2.3 Studijní literatura

Dostupnost studijní literatury a informačních materiálů představuje velmi důležitý předpoklad úspěšně řízené propagace a vzdělávání zejména v oblasti kontaktu se středními školami, orgány státní správy, komerčními společnostmi a laickou veřejností. Velký význam má rovněž v bakalářském stupni vysokoškolského studia. S rostoucím stupněm studia univerzitního typu se význam sice poněkud snižuje, avšak dostupnost vhodných studijních materiálů je vždy přínosem.

CZEMP si tento nedostatek uvědomuje a upírá tímto směrem svou pozornost. Za první krok k odstranění uvedeného nedostatku lze považovat vydání Anglicko-českého a česko-anglického výkladového slovníku. Tento počín zdánlivě vybočuje z časové souslednosti vypracování jednotlivých typů materiálů, neboť je cílený zejména na skupinu odborníků již činných v oblasti membránových materiálů a procesů. Zvolená volba pořadí je však nelogická pouze zdánlivě. Motivována byla primárně absencí jednotné terminologie. Ta je nezbytným předpokladem pro vypracování vzdělávacích a propagačních materiálů. Vzhledem k tomu, že autory jednotlivých materiálů budou vždy specialisti v daném oboru a tedy obecně různé osobnosti, hrozilo by nebezpečí používání odlišné terminologie. Důsledkem by bylo výrazné

snížení obecné srozumitelnosti těchto materiálů a tím i jejich využitelnosti. Ustálená terminologie je rovněž jedním z důležitých znaků samostatné vědní a průmyslové oblasti. Jak však již bylo uvedeno, jedná se pouze o první krok na dlouhé cestě, která před CZEMP na tomto poli stojí.

2.3.1 Základní studijní a informační materiály

Tuto oblast lze v současnosti pokládat z hlediska platformy na poli studijních a informačních materiálů za stěžejní. Je zřejmé, že ke splnění cílů platformy je primárním úkolem popularizace problematiky membránových procesů v rámci široké veřejnosti a zároveň přitážení zájmu nových studentů ke studiu této moderní problematiky. V současnosti již za koordinace CZEMP probíhá první významná aktivita na tomto poli. Konkrétně se jedná o vznik knihy *Membránové procesy*. Tato kniha podává poprvé v českém jazyce ucelený přehled membránových procesů, byť rozsahově omezený. Má následující obsahovou strukturu.

- I. Membránové procesy a jejich historie
- II. Transport látek membránami
- III. Membránové materiály
 - polymerní materiály,
 - anorganické materiály,
 - hybridní materiály,
- IV. Tlakové membránové procesy
 - mikrofiltrace,
 - ultrafiltrace,
 - nanofiltrace,
 - reverzní osmóza,
- V. Elektromembránové procesy
 - elektrodialýza,
 - elektrodeionizace,
 - palivové články jako zdroje proudu,
 - membránová elektrolýza (nízko-, středně a vysokoteplotní),
- VI. Separace plynů a par
- VII. Pervaporace
- VIII. Membránové reaktory s kontinuální separací produktů
- IX. Dialýza a její modifikace

Je tedy zřejmé, že se jedná o poměrně tradičně, avšak účelně zvolenou strukturu, jejímž hlavním cílem je poskytnout čtenáři jak potřebné teoretické základy, tak informaci o stávajících materiálech využívaných v membránových procesech, přehled jednotlivých základních membránových technik a příklady jejich praktických uplatnění.

Ačkoliv se jedná o odborně zaměřenou literaturu, lze ji s úspěchem využít rovněž jako studijní materiál pro bakalářský, resp. magisterský stupeň studia, podle odborného zaměření dané univerzitní školy. Tímto krokem bude odstraněn jeden významný nedostatek na poli dostupné odborné literatury a učiněn další krok směrem k rozvoji oboru.

V současnosti rovněž končí příprava vydání graficky zpracované Strategické výzkumné agendy na poli membránových procesů. Jedná se o významný dokument zpracovaný v rámci běžícího projektu „Česká membránová platforma“ poskytující ucelený přehled o situaci v rámci České republiky s nastíněním mezinárodního kontextu. Tento dokument je významný pro styk se státní správou a potenciálními uživateli membránových procesů, popřípadě novými členy CZEMP. Vzhledem ke svému rozsahu není vhodný pro širší distribuci laické veřejnosti.

Jako další významná aktivita nepochybně navazuje tvorba jednoduchých informačních materiálů ve formě skládaček, či krátkých letáků. Ty musí graficky atraktivní formou zprostředkovat základní informaci o membránových procesech jako takových. Z logiky pedagogické práce vyplývá, že prvním krokem bude vznik jednoduché skládačky podávající v grafické formě přehled membránových procesů a jejich stručnou charakteristiku. Po doplnění vhodnou vizuální informací (náčrtky a fotografie materiálů, aparátů, či technologií) se může stát vedle hodnotného přehledného informačního materiálu i materiálem propagačním. Takový materiál nalezne jednoznačně uplatnění při seminářích organizovaných CZEMP nejen pro střední školy, ale i pro širší odbornou a laickou veřejnost. Tento vstupní materiál bude v dalším kroku doplněn sadou krátkých letáků podávajících detailnější informaci o jednotlivých typech membránových procesů (tlakové, elektromembránové, separace plynů a par, atd.). Formát a rozsah umožní vydání tohoto materiálu v relativně vysokém počtu, což umožní jeho širokou distribuci mezi zájemce.

Tyto dvě aktivity pokrývají dvě mezní formy informačních a studijních materiálů pro danou úroveň: na jedné straně odborná kniha a na druhé straně jednoduché informační letáky. Významné vakuum však představují vlastní výukové materiály. Je zřejmé, že tato oblast je kritická z celé řady důvodů, zejména pak z časové náročnosti vypracování ucelené sady takových podkladů. Zde je nezbytné zvolit přístup, který povede k postupnému naplnění vytčeného cíle. Při nejmenším v počáteční fázi představuje nejefektivnější způsob vypracování jednotného vzoru prezentací připravovaných pro informační semináře organizované CZEMP a postupné shromažďování takto vzniklých podkladů. U opakovaně prezentovaných příspěvků již lze ve spolupráci s autorem vypracovat ucelený písemný materiál poskytující detailnější informace o prezentovaném tématu. Čím hlubší bude role zaměstnanců CZEMP v plnění tohoto úkolu a menší zátěž bude kladena na jednotlivé specialisty, tím rychleji se podaří odpovídající materiály shromáždit. Jako primární jsou i v tomto případě potřebné podklady pro výuku v hodinách chemie a případně fyziky na středních školách, včetně prezentací a základního doprovodného informačního textu. Tento přístup poskytuje nejlepší záruky probuzení zájmu studentů a širší propagace oboru. Ve druhém kroku navazuje poskytnutí materiálů institucím terciárního vzdělávání. Zde si nelze klást za cíl zavedení uvedené problematiky jako nového výukového směru na instituci, kde dosud výuka membránových procesů neprobíhala. To je dáno tím, že na vysokých školách univerzitního typu je výuka v jakémkoliv odborném směru vždy velice úzce provázána s výzkumnými aktivitami. V opačném případě nelze zaručit rychlý přenos nejnovějších poznatků z výzkumu do výuky. Ještě významnější problém představuje nabídka a odpovídající vedení výzkumných projektů odpovídající kvality, které by posluchači v daném programu, či oboru, studující realizovali jako semestrální, či závěrečné práce. Využití je předpokládáno pro zvýšení kvality výuky stávající, zejména pak s ohledem na zaplnění mezer v těch dílčích oblastech membránových procesů, které na konkrétní instituci nejsou prakticky zkoumány, či jinak využívány. Tento přístup umožní, na rozdíl od umělého zavádění oboru na pracovištích bez odpovídající tradice, zvýšit kvalitu výuky a následně i odbornou připravenost absolventů.

Celoživotní vzdělávání představuje samostatnou kapitolu na tomto poli. Z provedené analýzy však nevyplývá, že by zpracování samostatných informačních materiálů bylo účelné. Na tomto poli je vhodnější vycházet z materiálů zpracovaných v rámci přípravy jak základních informačních materiálů, tak vzdělávacích materiálů z informačních seminářů. Ty by měly v poměrně krátké době poskytnout potřebné podklady. Navíc lze v tomto případě vycházet z předpokladu, že kurzy celoživotního vzdělávání budou pod patronací CZEMP zajišťovat specialisté na jednotlivé oblasti a ti frekventantům kurzu poskytnou odpovídající studijní podklady.

Z uvedeného textu je zřejmé, že aktivita CZEMP na tomto poli musí být do budoucna značná. Nejen z důvodu absence potřebných materiálů, ale i z toho důvodu, že vzniklé materiály jsou významným vstupem pro řadu dalších plánovaných aktivit.

2.3.2 Literatura pro pokročilé stupně studia

Problém absence českojazyčné literatury se netýká pouze středních škol a nižších stupňů středoškolského studia, popř. laické veřejnosti. Tato literatura zcela chybí i pro vyšší stupně studia, popř. ve sféře aplikační. Jak již bylo uvedeno, v akademické sféře není tento problém natolik palčivý, jako ve sféře komerční. To vyplývá z odlišné úrovně zvyklosti práce s cizojazyčnou literaturou. Na druhou stranu je nezbytné vzít v úvahu rovněž fakt, že mezinárodní literatura dostupná na trhu ne vždy reflektuje potřeby české výzkumné komunity a průmyslové sféry. V těchto oblastech lze identifikovat směry, které nejsou v běžně dostupné otevřené literatuře detailněji zpracovány, neboť stojí mimo sféru odborného zájmu autorů konkrétních knižních publikací. Realizace odpovídající literatury tedy umožní překlenout tyto nedostatky a poskytnout národní komunitě účinný nástroj ve výzkumu a implementaci membránových procesů.

Jak již bylo uvedeno, tento krok bude navazovat na aktivity realizované primárně v oblasti informačních a vzdělávacích materiálů pro nižší stupně studia, jejichž absence je v současnosti nejpalčivější. Tato literatura bude navazovat na v současné době připravovanou knihu *Membránové procesy*. Bude z ní vycházet a dále ji rozvádět. Je tedy zřejmé, že se nezbytně musí jednat o vícesvazkové dílo, které každé z hlavních diskutovaných oblastí poskytne odpovídající prostor. V této etapě se jeví jako účelné rozdělení knihy s pracovním názvem *Pokročilé membránové procesy* do tří svazků s následujícím obsahem:

svazek I.: Tlakové membránové procesy

svazek II.: Elektromembránové procesy

svazek III.: Membránové procesy pro separaci plynů a par a membránové reaktory

Ačkoliv toto vymezení témat nezahrnuje veškeré známé membránové procesy, zaměřuje se na oblasti, které jsou ve středu zájmu české akademické a průmyslové sféry. To je v současnosti určujícím faktorem. Každý díl monografie bude vedle popisu vlastního procesu obsahovat rovněž kapitolu věnovanou syntéze a charakterizaci potřebných membránových materiálů a základní informaci o průmyslové aplikaci těchto technologií. Z prostorových důvodů nebude zřejmě možné přistoupit k zahrnutí základních případových studií dokumentujících jednoznačně výhodnost využití uvedených procesů ve vybraných aplikacích.

Je zřejmé, že tento cíl je poměrně dlouhodobý. Nejen z toho důvodu, že se řadí až na druhé místo za realizaci nezbytných materiálů určených pro nižší stupně studia, ale zejména proto, že vyžaduje poměrně značnou časovou kapacitu autorů, odborníků z akademické i komerční sféry. Tu lze v potřebném měřítku získat pouze v poměrně dlouhém časovém horizontu. Z tohoto předpokladu je nezbytné vycházet při detailnějším časovém plánování této aktivity.

2.4 Zapojení do širších mezinárodních struktur

Dnes je již obecně akceptována skutečnost, že komplexní výzkum v oblasti vysoce progresivních technologií lze již jen se značnými obtížemi realizovat pouze na geograficky omezené národní úrovni. To je dáno jak finanční náročností takového procesu, tak stále zřetelnějším nedostatkem odborníků pokrývajících celou konkrétní odbornou oblast. Odpovědí na tuto skutečnost je narůstající internacionalizace a v jistém slova smyslu již i globalizace vědy. S jistým zpožděním tento přístup proniká i do oblasti vzdělávání. Zde se týká zejména vyšších stupňů studia zabezpečujících výchovu vysoce kvalifikovaných odborníků. V principu zde platí to, co bylo řečeno již o špičkovém výzkumu. Problém se vztahuje zejména k oblasti dostatku vysoce kvalifikovaných odborníků schopných zajistit dostatečně kvalitní výuku celého spektra membránových procesů. Sdílení znalostí v širším mezinárodním týmu představuje v tomto směru významnou přidanou hodnotu. Tuto skutečnost si uvědomuje nejen řada odborníků, ale i politiků. To nachází odraz jak v prvních snahách přizpůsobit národní legislativu větší internacionalizaci a otevřenosti studia, tak například v programech financovaných Evropskou komisí zaměřených na ustavení celých mezinárodních studijních programů garantovaných evropskými univerzitami představujícími lídry ve svém oboru. Následující kapitoly budou ve stručnosti pojednávat o této problematice a cílech CZEMP na tomto poli.

Z hlediska národního a mezinárodního kontextu můžeme jako příklad uvést skupinu membránových separačních metod FCHT Univerzity Pardubice a její velmi bohatou spolupráci s několika zahraničními univerzitami. Základem pro tuto spolupráci byla aktivita v rámci mezinárodního projektu Tempus JEP-4720 a dlouhodobé zahraniční stáže jejich pracovníků. Projekt Tempus koordinovala Katedra chemického a biochemického inženýrstva STU Bratislava v letech 1992-1995. V této době se začala rozvíjet i vzájemná spolupráce především v oblasti pedagogiky. Kontakty jsou dále udržovány především s profesorem Georgesem Belfortem, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, U.S.A., prof. Gunnarem Jonssonem, Technical University of Denmark, DK, a prof. R.J. Wakemanem, Loughborough University, UK. V rámci šestiměsíčního pobytu (1991) na Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, USA získal prof. Mikulášek zkušenosti v oblasti intenzifikace membránových procesů s konkrétní aplikací použití rotující membrány při mikrofiltraci disperzních systémů. Rozvíjí se též spolupráce s prof. R.J. Wakemanem, (Loughborough University, UK), která vyústila v několik kvalitních vědeckých publikací a další vzájemnou výměnu poznatků z oblasti membránových separačních metod. Zanedbatelná není ani spolupráce s institucemi v České republice, z nichž mezi přední patří Ústav makromolekulární chemie AV ČR v Praze, Ústav anorganické technologie VŠCHT Praha, MEGA a.s., Stráž pod Ralskem, SYNTHESIA a.s., Pardubice-Rybitví, VÚOS a.s., Pardubice-Rybitví, které mají rozsáhlé mezinárodní kontakty a mohou tak podpořit mezinárodní kooperaci nejlépe.

2.4.1 Bakalářský stupeň studia

Jak vyplývá z předchozího textu, dopad internacionalizace vzdělávání na tuto oblast studia je pouze omezený. Již bylo uvedeno, že cílem tohoto stupně je zejména vybavit posluchače odpovídajícími teoretickými základy pro další stupeň studia. Tento stupeň nevyžaduje široké spektrum specialistů a lze jej realizovat na jednotlivých pracovištích individuálně. Přínos mezinárodní spolupráce, konkrétně pak absolvování části studia v zahraničí, v tomto případě spočívá z hlediska studenta zejména v získání jazykových dovedností a zkušeností se studiem a prací v mezinárodním kolektivu. Tuto praxi lze do značné míry realizovat v rámci již existujících schémat založených zejména na stávajícím evropském programu Socrates-

Erasmus. Role CZEMP v tomto případě spočívá zejména ve zprostředkování kontaktů. S využitím mezinárodních kontaktů platformy, zejména pak vazby na EMH a EMS, bude zprostředkovávat kontakty na zahraniční pracoviště zabývající se problémy, které spadají do oblasti zájmu českých univerzitních subjektů a umožňovat krátkodobé stáže sloužící k otevření odborné spolupráce a výměně studentů. Širší aktivity nejsou v současné době plánovány.

2.4.2 Magisterský stupeň studia

V magisterském stupni studia, vyznačujícím se již výrazně hlubší specializací, nabývá mezinárodní spolupráce většího významu. Bude jí tedy ze strany platformy věnována větší pozornost. První plánovanou aktivitou je zprostředkování kontaktů na zahraniční pracoviště principiálně shodné s tím, popsáním v předchozí kapitole. V rámci magisterského studia již získává na významu rovněž zprostředkovávání kontaktů na průmyslové partnery, kteří studentům mohou zabezpečit odborné praxe v trvání alespoň několika měsíců. Při zajištění odpovídajících kontaktů lze ve většině případů zajistit financování takovéto praxe přímo na úrovni univerzity.

Výrazně významnější je však podpora tvorby a realizace zvláštních mezinárodních studijních programů. Z tohoto pohledu představuje v současnosti zkušební pilíř realizace magisterského studijního programu *Erasmus Mundus Master in Membrane Engineering (EM3E)*. V tomto programu je Česká republika zastoupena VŠCHT Praha. Jak již plyne z názvu, program je v tomto období financován Evropskou komisí z fondů určených na podporu vzdělávání. Studijní program je určen až pro 30 účastníků, z toho polovina ze zemí Evropské unie a polovina ze zemí mimo unii. Cílem zavedení tohoto magisterského programu je posílit výchovu specialistů v oboru a získat rovněž nové zájemce o tuto problematiku ze zemí mimo Evropskou unii. Vedle výchovy vlastních specialistů je tedy přínosem projektu i získání nových vysoce kvalifikovaných odborníků. Detailní informace o projektu lze získat na jeho webových stránkách <http://em3e.eu/>. Na tomto místě bude uvedena pouze stručná informace s rolí CZEMP v tomto projektu.

Konsorcium zajišťující realizaci tohoto projektu sestává z šesti řádných a tří přidružených členů.

Konkrétně se jedná o následující univerzity:

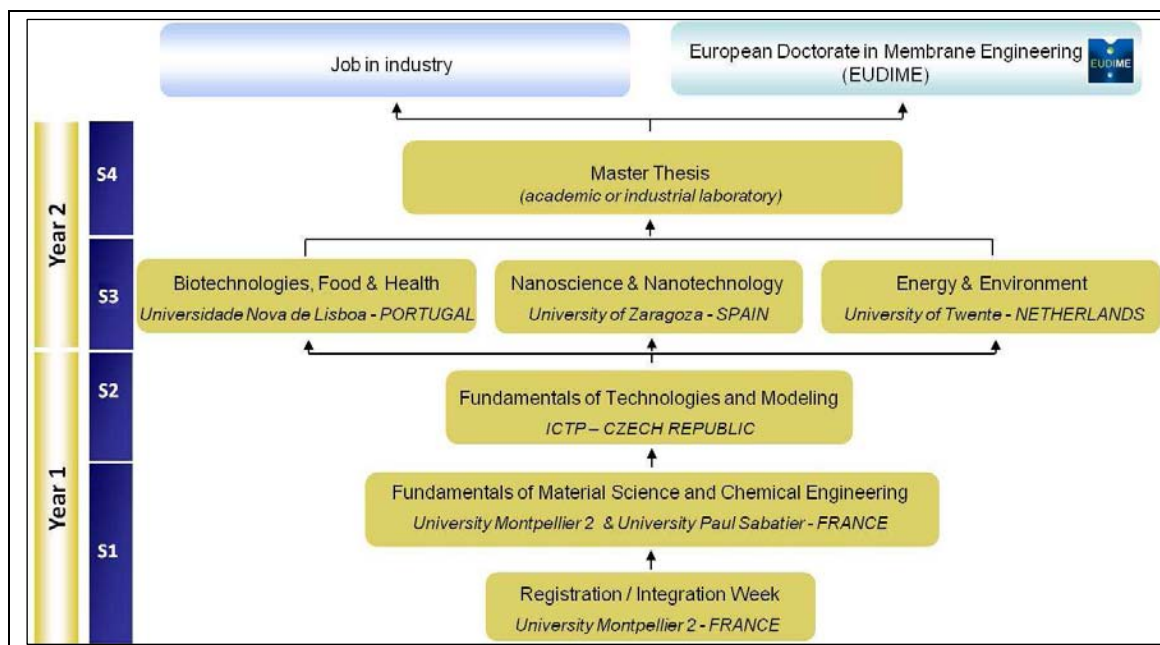
- University Montpellier 2 (Francie), koordinátor projektu,
- University Paul Sabatier (Toulouse, Francie),
- Vysoká škola chemicko-technologická v Praze (ČR),
- University of Lisboa (Portugalsko),
- University of Zaragoza (Španělsko),
- University of Twente (Nizozemí).

Přidruženými univerzitami pak jsou:

- University of Calabria (Itálie),
- Catholic University of Leuven (Belgie),
- University Hassan II of Mohammedia (Maroko)

Řádní členové konsorcia jsou zapojeni přímo v realizaci připraveného studijního programu, přidružení členové pak konsorciu poskytují podporu ve specializovaných oblastech a mohou

garantovat realizaci závěrečných diplomových prací posluchačů za předpokladu splnění podmínek stanovených Evropskou komisí. Vlastní studijní program má strukturu ukázanou na obrázku 1.



Obrázek 1: Struktura magisterského studijního programu EM3E

Jak je z této struktury zřejmé, role VŠCHT Praha v projektu je významná. Jako jediná ze zapojených univerzit garantuje jeden semestr pro celou skupinu posluchačů. Ve všech zbývajících semestrech jsou tyto skupiny rozděleny na menší a každou z univerzit prochází pouze část posluchačů – viz příloha č.2 tohoto dokumentu.

Zatímco první ročník studia v tomto studijním programu poskytuje posluchačům znalosti z rozšířených teoretických základů zaměřených již cíleně na membránové procesy, a to jak z materiálového, tak procesního pohledu, druhý ročník již umožňuje konkrétní specializaci. Jednotlivé partnerské univerzity garantují studijní směry, ve kterých spočívá jejich silná stránka, zejména pak ve výzkumné oblasti. Tím je zaručena všem absolventům tohoto programu maximální aktuálnost získaných informací a dovedností. Zvyšuje se tím nejen jejich šance k uplatnění na trhu práce, ale i potenciál k výraznému posílení oboru membránových procesů v evropském výzkumném a průmyslovém sektoru.

Obecná a populární idea tohoto způsobu internacionalizace vzdělávání však v současnosti naráží na významné problémy v řadě směrů svým poměrně „novátorským“ přístupem, a to hned v několika rovinách. Tou zásadní je stávající národní legislativní rámec. Vysokoškolský zákon v době svého vzniku s možností internacionalizace příliš nepočítal. Klade mu tedy do cesty některé překážky vzhledem k nutnosti absolvování některých zkoušek a jiných povinností. Část problémů se sice podařilo odstranit novelou tohoto zákona, avšak paragraf věnovaný problematice mezinárodních vzdělávacích programů není zcela kompatibilní se zbývajícím částmi zákona a vnáší proto do jeho výkladu stále řadu otázek. Rozhodnou skutečností nicméně je to, že program je nezbytné v této konkrétní podobě podrobit posouzení Akreditační komisí ČR a na základě jeho výsledku pak pokračovat dalšími kroky. Tato

procedura je však značně administrativně náročná i v případě návrhu klasických studijních programů, nebo oborů. V případě mezinárodních programů se situace dále komplikuje potřebou shromáždění všech nezbytných podkladů rovněž od vyučujících garantujících předměty vyučované na zahraničních univerzitách.

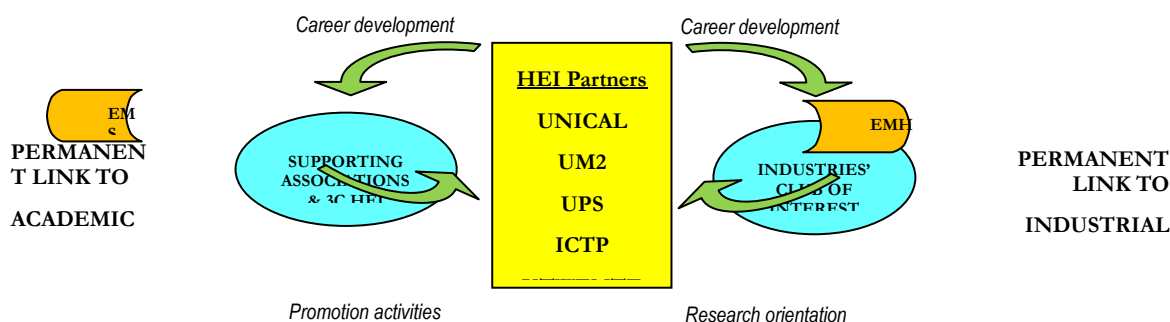
Samostatnou kapitolu představuje imigrační politika uplatňovaná Českou republikou vůči studentům, kteří přijíždějí na naše území studovat v rámci projektu garantovaného Evropskou unií. Současná pravidla do značné míry znemožňují úspěšnou realizaci tohoto cíle.

Ne zcela zanedbatelnou překážkou jsou často postoje pedagogů, popř. představitelů fakult či univerzit, ve vztahu k uznání částí programu absolvovaných v zahraničí za rovnocenné předmětům vyučovaným na domovské univerzitě. Tento poslední problém se však s postupem času podařilo přinejmenším v měřítku VŠCHT Praha eliminovat.

Role CZEMP v této konkrétní oblasti spočívá ve zprostředkování možností odborných exkurzí a praxí pro studenty tohoto oboru. Významným aspektem je rovněž podpora při zabezpečení udržitelnosti tohoto oboru po ukončení financování Evropskou komisí. Dalším důležitým úkolem je analýza získaných zkušeností a jejich využití při návrhu dalších možných společných programů ať již na národní, nebo opět mezinárodní úrovni. Nemalým cílem bude i publicita brzdících faktorů obsažených v české legislativě a snaha o jejich odstranění.

2.4.3 Doktorský stupeň studia

Na doktorském stupni studia se v souladu s předchozím vývojem význam mezinárodní spolupráce dále prohlubuje. Vysoká specializace tohoto stupně studia ve spojení s jeho narůstající náročností na kvalitu studentů a zabezpečení odpovídajícího technického a znalostního zázemí vede k tomu, že vzrůstá snaha založit mezinárodní síť renomovaných pracovišť. Dalším významným aspektem je snaha získat kvalitní kandidáty doktorského studia v zahraničí. To je dáno, jak již bylo uvedeno, vysokými nároky na ně kladenými a zároveň snižující se populační silou ročníků dosahujících nyní věku vhodného pro zahájení doktorského studia. Průmysl zemí Evropské unie však naopak stále naléhavěji potřebuje narůstající počet vysoce kvalifikovaných odborníků, aby zachoval svou konkurenceschopnost v globalizované ekonomice. S touto vizí se VŠCHT Praha zapojila do přípravy projektu *Erasmus Mundus Doctorate in Membrane Engineering (EUDIME)* koordinovaného Università della Calabria. Rovněž v tomto případě byl vznik uvedeného projektu iniciován konsorciem sítě excelence *NanoMemPro*. Cíle projektu jsou identické s výše uvedenými. Organizace tohoto studijního programu je ukázána na obrázku 2. Jak je zřejmé, vedle vlastního konsorcia univerzit program vychází z podpory průmyslových partnerů v projektu, kteří spolupracují s univerzitami jak na volbě vhodných témat disertačních prací, tak na jejich realizaci a uplatnění v praxi. V neposlední řadě pak jsou potenciálními zaměstnavateli úspěšných absolventů programu. Přihláška projektu byla úspěšná a v závěru roku 2010 bylo vypsané výběrové řízení pro kandidáty ke studiu v tomto programu. Vlastní studium prvního ročníku kandidátů bude zahájeno na podzim roku 2011.



Obrázek 2: Schematické znázornění organizace doktorského studia v programu EUDIME

Zakládajícími univerzitami konsorcia jsou následující univerzity:

- Università della Calabria (UNICAL) – koordinátor,
- Université Montpellier 2 (UM2),
- Université Paul Sabatier Toulouse (UPS),
- University of Twente (UTWENTE),
- Vysoká škola chemicko-technologická v Praze (ICTP),
- Katholieke Universiteit Leuven (KULEUVEN).

Struktura vlastního studijního programu pak vychází z tříletého studia finančně podporovaného Evropskou komisí. Případné prodloužení studia již je finančně zabezpečeno domovskou univerzitou každého takového studenta. Membránové procesy jsou pro účel přiřazení posluchačů jednotlivým univerzitám rozděleny do šesti oblastí a výchovu studentů v každé z nich garantuje jeden člen konsorcia. Konkrétní rozdělení přehledně shrnuje tabulka 1. Z této tabulky vyplývá zároveň další informace. Podmínkou úspěšného ukončení studia v rámci tohoto programu je alespoň rok strávený v laboratořích jedné, či dvou partnerských univerzit. Ty jsou u každého okruhu membránových procesů uvedeny jako *Hostující univerzita 1* a *2*. Jak plyne z této tabulky, VŠCHT Praha v rámci konsorcia zodpovídá za problematiku nanostrukturovaných anorganických a hybridních membránových materiálů a jejich charakterizaci. To odpovídá dlouholetému odbornému zaměření skupiny Heterogenních katalyzovaných reakcí Ústavu anorganické technologie a Ústavu polymerů VŠCHT Praha. Další oblasti, ve kterých VŠCHT Praha hraje roli hostitelské univerzity, spadají do oblasti různých způsobů zpracování vody, ve kterých jsou jednotlivá pracoviště VŠCHT Praha rovněž dlouhodobě aktivní. V současné době probíhají jednání o rozšíření tohoto konsorcia o další členy, konkrétně pak o University of Lisboa (Portugalsko) a University of Zaragoza (Španělsko). Tím by se dále rozšířila působnost konsorcia a oblast membránových problematik, které pokrývají tyto dvě univerzity.

Oblasti výzkumu	Domovská univerzita	Hostující univerzita 1	Hostující univerzita 2
Membránové systémy pro odsolení vody a její další zpracování	UNICAL	ICTP	UPS
Membránové reaktory pro zpracování vody	UM2	UNICAL	ICTP
Výroba nanostrukturovaných anorganických a hybridních membrán	ICTP	UPS	KULEUVEN
Polymerní elektrolyty pro palivové články	KULEUVEN	UTWENTE	UM2
Membrány pro separaci plynů	UTWENTE	KULEUVEN	UM2
Membrány pro biomedicínské aplikace	UPS	UNICAL	UTWENTE

Tabulka 1: Rozdělení zodpovědnosti za výchovu studentů v jednotlivých oblastech membránových procesů na členy konsorcia EUDIME

Role CZEMP v oblasti mezinárodní spolupráce na poli výchovy studentů doktorského studijního programu opět spočívá zejména ve zprostředkování kontaktů a v podpoře výměny mladých odborníků, konkrétně pak posluchačů doktorského studijního programu. Klíčová je zejména podpora v navazování kontaktů se subjekty průmyslové sféry s využitím vazeb na zahraniční technologické platformy, popřípadě EMH a další subjekty. Významná je rovněž podpora v získávání kvalitních zájemců o studium v doktorském studijním programu ze zahraničních pracovišť.

2.4.4 Celoživotní vzdělávání

V oblasti celoživotního vzdělávání není mezinárodní spolupráce primárním cílem CZEMP. Jak již bylo uvedeno, pozornost se soustředí na zájemce o zvýšení své kvalifikace v této oblasti zejména v rámci České republiky. Potřeba mezinárodní spolupráce, ať již existující, popřípadě cíleně navazovaná pracovníky platformy, může potenciálně vyjít z požadavku na získání vysoce specializovaných informací z oboru membránových procesů, který není přímo zastoupen mezi domácími specialisty. Taková skutečnost může vzniknout zejména v případě zájmu otevřít v rámci ČR nový obor membránových procesů, a to ať již na poli výzkumném, tak zejména na poli průmyslovém. Další potenciální příčinou může být zájem zejména ze strany pracovníků státní správy o získání informací nezbytných pro jejich rozhodování o problémech a žádostech vznikajících při řešení ekologických zátěží, povolování nových technologií a postupů atd. CZEMP rovněž v tomto případě využije síť svých mezinárodních vazeb, aby zajistila odborníka uvedené specializace a úrovně pro požadované školení, případně konzultace.

2.5 Vazba vzdělávání na aplikační sféru

Tuto oblast aktivit CZEMP lze považovat v oblasti vzdělávání za klíčovou. Platforma představuje organizaci, kde se tyto dva typy subjektů setkávají a vzájemně spolupracují. Toho

je nezbytné využít způsobem výhodným pro obě strany a zdokonalit tak jak kvalitu výuky nových odborníků, tak zvýšit konkurenceschopnost průmyslových partnerů. Tohoto cíle lze dosáhnout více způsoby, které může CZEMP podpořit a v budoucnu podporovat bude. Ty základní z nich jsou uvedeny v následujícím textu.

2.5.1 Zapojení aplikační sféry do výuky

Zapojení aplikační sféry do výuky lze realizovat třemi základními způsoby:

- přímé zapojení do specializovaných částí výuky,
- zabezpečení odborných praxí,
- poskytnutí zpětné vazby.

Přímé zapojení odborníků z praxe do specializovaných částí výuky je v rozvinutých průmyslových zemích, zejména na západ od našich hranic, poměrně častým jevem. Jedná se především o specializační přednášky vyšších stupňů terciárního vzdělávání. Odborníci z praxe mohou studenty seznámit se stávajícím stavem oboru a konkrétními problémy, se kterými se potýká. Vedle seznámení studentů s novinkami oboru je vedlejším efektem skutečnost, že mají možnost vidět návaznost svého studia na konkrétní problémy praxe a zvyšuje se tak jejich motivace k dalšímu studiu. Zároveň je zřejmé, že pouze odborníci z praxe mohou studentům poskytnout řadu poznatků plynoucích z práce v komerční sféře, která se od akademické, v níž se pohybují jejich učitelé, v celé řadě aspektů významně liší. Zatímco v řadě zemí, jak již bylo uvedeno, si komerční subjekty této formy spolupráce váží, neboť jim poskytuje přístup k čerstvým absolventům a umožňuje jim udržovat dlouhodobé vazby k univerzitním pracovištím, v České republice si podnikatelské subjekty výhodnost takového stavu, který nelze budovat na čistě komerčních krátkodobých základech, začínají pouze postupně uvědomovat.

Odborné praxe představují nedílnou součást inženýrského stupně studia technicky orientovaných vysokých škol. Cíle odborné praxe jsou do značné míry shodné s tím, co bylo uvedeno v předchozím odstavci. Studenti v průběhu praxe získají základní informaci o funkci komerčního subjektu a o tom, jak zde mohou uplatnit znalosti nabyté během studia. Pro zaměstnavatele naopak přináší nezbytný kontakt s mladými budoucími odborníky, možnost získat nezaujatý pohled na řešené problémy a v neposlední řadě možnost identifikovat své potenciální budoucí zaměstnance a získat je pro práci ve své společnosti. Stejně jako předchozí aktivita ani tato nepřináší pro komerční subjekty bezprostřední zisk. Z dlouhodobého hlediska je však nepostradatelná a představuje významný přínos. Naštěstí lze konstatovat, že v posledních letech se postoj komerčních subjektů k umožňování odborné praxe posluchačům vysokých škol začíná postupně měnit a v řadě případů lze přístup společností označit za vstřícný. To je spojeno jak s urychlujícím se rozvojem špičkových technologií, tak postupným zvyšováním průměrného věku technických kádrů zabezpečujících hladkou funkci těchto technologií. Oba tyto aspekty vedou ke zvýšené poptávce po mladých absolventech technicky zaměřených studijních programů. To se v konečném důsledku odráží i v ochotě společností poskytovat odborné praxe a získat tak možnost oslovit absolventy ještě před ukončením jejich studia.

Poslední uvedenou možností je poskytnutí zpětné vazby vzdělávacím pracovištím. Ačkoliv se jednotlivá akademická pracoviště vždy snaží přenášet do výuky aktuální poznatky z praxe, ze značné části jsou vždy limitována svým vlastním odborným zaměřením a odborným programem. Transfer poznatků o silných a slabých stránkách znalostí studenta ze strany odborníků z průmyslové praxe proto představuje vítaný impuls k dalšímu rozvoji oboru. Je

samozřejmě, že jednotlivé studijní obory nelze zcela přizpůsobovat potřebám jednoho konkrétního, či pouze úzké skupině potenciálních zaměstnavatelů. Je však zodpovědnost odborného garanta každého z oborů, aby ze vzájemné komunikace vybral body přínosné pro rozvoj konkrétního studijního oboru.

2.5.2 Volba témat projektových prací

Výzkumné projekty realizované studenty v rámci jednotlivých stupňů jejich studia skrývají poměrně významný výzkumný potenciál pracoviště a zároveň mohou významným způsobem ovlivnit konečnou kvalifikaci studentů. Vzhledem k tomu, že se jedná vesměs o vysoké školy technického směru, je nanejvýš vhodné, aby byly tyto výzkumné projekty realizovány ve spolupráci s průmyslem, nebo se věnovaly tématice relevantní k problémům řešeným průmyslovými podniky. Tomuto konstatování však v žádném případě nelze rozumět tak, že jednotlivá univerzitní pracoviště nejsou schopna zadat studentům samostatně témata výzkumných prací. Celá řada průmyslových subjektů vychází z předpokladu, že univerzity zadají studentům jakékoliv výzkumné téma, které jim bude z jejich strany navrženo. To je však mylná představa. V případě bakalářských a v omezeném počtu diplomových prací lze jako téma zvolit konkrétní úzce definovaný problém, který však spadá do expertízy pracoviště. Není to však obvyklé řešení, neboť každé pracoviště má svůj zavedený výzkumný program, který dlouhodobě řeší a který umožňuje udržet základní financování aktivit v jeho rámci realizovaných. Zařazování problémů s ním přímo nesouvisejících představuje rizikový faktor, který tříští soustředění sil na plnění nosných úkolů. Proto vedoucí pracovišť obvykle uplatňují i na tyto dvě nižší úrovně výzkumných projektů kritéria podobná těm, která platí pro práce disertační. Předpokladem pro zadání témat těchto prací cílených na problémy řešené průmyslovým partnerem je dlouhodobá spolupráce mezi subjekty na poli výzkumu a vývoje. Natolik dlouhodobá, že umožňuje považovat tuto spolupráci za jedno z nosných témat a přizpůsobit tomu výzkumnou orientaci pracoviště. Z tohoto předpokladu musejí komerční subjekty vycházet. Je však zřejmé, že pokud se podaří uvedený typ spolupráce navázat a rozvinout, přínos pro obě strany této spolupráce je nesporný.

Role CZEMP, jak již bylo konstatováno, spočívá ve zprostředkování těchto kontaktů mezi jednotlivými členy platformy, i mimo členskou základnu. Na základě shromážděných znalostí může na požádání identifikovat partnery vhodné pro tento typ spolupráce. V některých případech na základě svých informací může daný typ spolupráce i iniciovat a přispět tak k rozvoji oboru. Je zřejmé, že pokud má CZEMP být schopna svým závazkům v této oblasti dostát, je nezbytné, aby pravidelně aktualizovala, doplňovala a rozšiřovala svou databázi subjektů a informace o nich. Pokud vstoupí ve známost tato její silná stránka, může se v budoucnu stát pro daný typ aktivit nepostradatelným partnerem, jak je do budoucna jejím cílem.

Příkladem technologických projektů vedoucích k řešení stávajících problémů využitím membránových procesů jsou následující témata:

- Odstraňování nízkomolekulárních látek z vody pomocí nanofiltrace.
- Odsolování organických barviv membránovou diafiltrací.
- Vliv předúpravy nástřiku na průběh mikrofiltrace vodných suspenzí.
- Studium tlakových membránových procesů při separaci pšeničného hydrolyzátu.
- Studium vlivu elektrokinetických vlastností disperzí na mikrofiltraci.
- Vliv předúpravy nástřiku na mikrofiltraci.

- Čištění odpadních vod s využitím kombinovaných membránových procesů.
- Modelování procesu mikrofiltrace kombinované se sorpcí na aktivním uhlí.
- Nanofiltrace. Modelování procesu diafiltrace.
- Procesní charakteristiky mikrofiltrace využívající ponorné moduly z dutých vláken.
- Studium účinnosti procesu zpětného promývání mikrofiltračních dutých vláken.
- Neutralizační dialýza organických kyselin.
- Elektrodialýza technologických roztoků.
- Elektro-elektrodialýza organických kyselin.
- Vsádková dialýza organických kyselin.
- Kontinuální dialýza.
- Numerická analýza usnadněného transportu membránami.
- Transport vybraných solí kyseliny sírové anion-výměnnou membránou.
- Využití kontaktorů s dutými vlákny pro odstraňování CO₂ z plyných směsí.

2.6 Význam vzdělávání pro rozvoj oboru membránových procesů

Informace uvedené v této části IAP dokumentují význam vzdělávání pro udržení a posílení pozic membránových procesů v ekonomice České republiky a v důsledku toho i v posílení konkurenceschopnosti české ekonomiky na globalizovaném trhu. Je zřejmé, že vzdělávání nelze rozvíjet v uzavřených učebnách českých vysokých škol izolovaných od vnějšího světa. Otevřenost k národním i zahraničním partnerům v akademické i komerční sféře povede ke zvýšení stávající úrovně vzdělávání v oboru a rovněž k nárůstu zájmu o něj. A právě v těchto oblastech spočívá do budoucna zásadní role CZEMP. V souladu s cíli, se kterými byla založena, se jedná zejména o propagaci oboru mezi odbornou i laickou veřejností a mezi studenty na různých stupních studia. Druhým významným úkolem je zprostředkování kontaktů mezi akademickými pracovišti navzájem a rovněž mezi akademickými a komerčními subjekty. V této oblasti je její role jen obtížně zastupitelná. Zároveň ji však poskytuje plné oprávnění k existenci a dalšímu rozvoji. Ten je však možný pouze na základě úzké komunikace s právními subjekty i jednotlivci a pocitu vzájemné prospěšnosti.

3 Výzkum, vývoj a inovace membránových procesů

3.1 Úvod kapitoly

Základní poznatky principu funkce membrány jsou datovány do 19. století, pozdější výzkum a využití poznanych fyzikálních principů umožnil počátek průmyslového rozvoje membrán a techniky membránových procesů v šedesátých letech minulého století. Tehdy byla prvně uvedena do praxe zařízení na odsolení mořské vody na bázi technologie elektrodialýzy a reverzní osmózy. Také použití membrány pro hemodialýzu znamenalo významný pokrok v řešení problémů s nedostatečnou funkcí ledvin. Od těchto pionýrských počátků, kde evropský výzkum i průmysl sehrály význačnou roli, prošly membránové procesy obdobím rozvoje a našly využití v mnoha dalších aplikacích se silným socioekonomickým dopadem na každodenní život obyvatel. K problematice membránových procesů se v tomto historickém období připojily individuálně i některá akademická a průmyslová pracoviště v České republice a začaly vytvářet základy rozvoje tohoto oboru u nás. Mezi zakladatele lze jednoznačně uvést následující subjekty: Ústav makromolekulární chemie AV ČR v.v.i., Vysokou školu chemicko-technologickou v Praze, Fakultu chemicko-technologickou Univerzity Pardubice a Ústřední laboratoře Československého uranového průmyslu, předchůdce dnešní společnosti MEGA a.s.. Té se podařilo převést poznatky společného výzkumu s Ústavem makromolekulární chemie do průmyslové realizace vlastní výroby heterogenních membrán RALEX (r. 1985) a zahájit výrobu membránových technologických celků dodávaných na klíč. Následující text uvádí stručný přehled současného stavu membránových technologií v ČR.

3.1.1 Charakterizace situace v České republice

Přehled současného stavu membránových technologií v ČR vychází z aktuálních materiálů České membránové platformy o.s. zahrnujících oblast vědy, výzkumu a vzdělávání, instituce, výrobce a distributory membránových technologií a v konečném důsledku i uživatele těchto technologií. Databáze je rozdělena do tří typových skupin, přičemž poslední dvě skupiny budou diskutovány v souvislosti s tržním prostředím a potenciálními uživateli výsledků.

První uvedenou skupinou představují akademická pracoviště, vysoké školy a ústavy AV ČR, která se zabývají převážně základním výzkumem přípravy a charakterizace membrán, fyzikálně-chemickými aspekty membránových procesů a jejich aplikačními možnostmi jako základním podkladem k budoucímu rozvoji oboru. Je zde nutno prezentovat aktivity Ústavu makromolekulární chemie AV ČR v.v.i., který představuje výzkumné pracoviště v oblasti polymerní chemie, polymerní fyzikální chemie a polymerní fyziky s více než padesátiletou tradicí. Pracoviště ÚMCH AV ČR se přípravou a studiem separačních membrán pro technologické a medicínské účely zabývá od konce 70 let. Výzkumným podílem se toto pracoviště účastnilo přípravy technologie výroby membrány RALEX v MEGA a.s. a podílelo se na přípravě prototypů membrán pro běžné separační tlakové procesy. Výzkumné programy se nyní soustřeďují na membrány pro energetické účely a membránové procesy v ochraně životního prostředí a technologiích obnovitelných zdrojů.

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze je největší vzdělávací institucí svého druhu ve střední a východní Evropě. Problematikou membránových procesů se jednotlivá pracoviště VŠCHT Praha zabývají již celou řadu let prostřednictvím svých ústavů a vedoucích jednotlivých pracovních skupin. Věnují se výzkumu nízkoteplotních palivových článků,

charakterizací nových iontově selektivních membrán pro palivové články a jejich modifikací vodivými polymery, problematice membránových separací v elektrickém poli a vývoji a testování anorganických membrán pro separační procesy v plynné fázi. Dále řeší oblasti separace plynů a par včetně charakterizace, modelování proudění tekutin, mikroreaktory a membránové bioreaktory řízené elektrickým polem a působí v oblastech mikrobiologie, chemie a technologie mléka, tuků, detergentů a kosmetiky. Součástí je zaměření na mléčnou syrovátku a její zpracování membránovými procesy i využitím produktů zpracování syrovátky. V oblasti polymerních membrán se zabývá především studiem vztahu mezi chemickým složením membrány daným způsobem, jejich syntézy a vlastnostmi membrán na bázi modifikovaných polyimidů.

Fakulta chemicko-technologická Univerzity Pardubice je aktivní od roku 1983 na poli tlakových membránových procesů. V současné době je pozornost zaměřena především na problematiku charakterizace separačních membrán, mikro- a ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmózu. Na jaře roku 2003 vznikla Společná laboratoř membránových procesů (SLMP) MEGA a.s. a Univerzity Pardubice s cílem zajistit průzkum nových možností průmyslových aplikací membránových procesů, a také s cílem přiblížit studentům ústavu environmentálního a chemického inženýrství reálné aplikační problémy.

Na poli membránových procesů jsou v menší míře aktivní Ústav fyzikální chemie Jaroslava Heyrovského AV ČR v.v.i., zabývající se studiem adsorpce a transportu látek v mikro-porézních materiálech, zejména zeolitech, dále Technická univerzita v Liberci, kde se membránová problematika začala ve spolupráci s průmyslovou sférou řešit prostřednictvím dvou fakult, a to na Fakultě mechatroniky, informatiky a mezioborových studií a Fakultě textilní. První z nich působí v oblasti technologií čištění vod a zaměřuje se na in-situ technologie čištění podzemních vod, speciální technologie čištění odpadních a povrchových vod. Druhá fakulta spolupracuje zejména v oblasti speciálních technických tkanin pro mechanické zpevnění laminovaných membrán, jejich charakterizací a technologií výroby. Ačkoliv Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta se výzkumnou činností v oblasti membránových procesů doposud systematicky nezabývá, byla v roce 2008 a následně v roce 2009 navázána spolupráce s řešitelským týmem společnosti MemBrain s.r.o. a se společností MEGA a.s. na poli demineralizace důlních vod. Výuka membránových procesů je nově zahrnuta do předmětů „Technologie vody I” a „Technologie vody III” a je plánován další výzkum v oblasti využití membránových technologií při demineralizace důlních vod, návrh technologie jako technologie bezodpadové, výzkum a vývoj keramických membrán. Bohatou zkušenost v oblasti modelování elektromembránových procesů má zejména VŠCHT Praha, Univerzita Pardubice a společnosti MEGA a.s. a MemBrain s.r.o.

Do druhé skupiny subjektů, které se věnují výzkumným aktivitám, je možné zařadit výrobce a dodavatele membrán a membránových technologií, tedy aplikační pracoviště, řešící komplexně vlastní technologickou realizaci membránového procesu včetně návrhu zařízení, tj. membrán, membránových modulů, technické a regulační vybavy a případně i výroby nebo dodání komplexní technologie. V České republice působí řada zahraničních firem v oblasti nabídky membránových procesů. Tyto společnosti však většinou využívají výzkumné kapacity ve svých mateřských organizacích, které jsou soustředěny mimo ČR.

Třetí skupinou řešící problematiku vývoje či inovací jsou koncoví uživatelé, kteří membránové procesy již ve svých provozech používají nebo jejich zavedení připravují. Jejich vývojové a inovační postupy řeší buď v kooperaci s již zmíněnými akademickými pracovišti nebo prostřednictvím svých dodavatelů membránových technologií. V posledním období

zajišťuje řadu z těchto činností nově založená společnost MemBrain s.r.o. propojená s MEGA a.s., dodavatelem vlastních membránových technologií.

Z uvedeného je zřejmé, že ani Česká republika není imunní vůči progresivní membránové problematice a prosadili se zde spíše ojediněle výrobci membrán a membránových technologií, zejména s procesy jako elektrodialýza, elektroforéza a tlakové membránové procesy v různých průmyslových oborech. Bohužel existuje řada nedostatků a strategicky chybějících oblastí pro stabilizaci oboru a jeho další rozvoj. Zejména lze zmínit následující:

- Absence profesionálního zázemí pro realizaci výzkumných aktivit na poli komplexního membránového programu, propojení a prohloubení partnerských vztahů v národním výzkumném prostředí a vytvoření vazeb na bázi konkrétních projektů vůči průmyslovým partnerům.
- Chybějící vzdělávací systém v membránovém vědním oboru na všech úrovních a nedostatek odborných kádrů.
- Chybějící systém standardů a metodologie v oblasti charakterizace membrán a membránových materiálů.
- Nedostatečné systematické sledování potřeb a zájmů průmyslu a koncových uživatelů výsledků oboru. S tím souvisí potřeba definice skutečných průmyslových problémů a jejich rozbor a tvorba strategické výzkumné agendy oboru.
- Nedostatečný přenos výsledků výzkumu do průmyslové báze a menší aplikovatelnost membránových technologií na našem trhu oproti evropskému nebo světovému trhu.

Aktivity České membránové platformy budou proto v dalším období směřovány k odstranění nebo alespoň zmírnění výše uvedených problémů. I když oblast membránových procesů představuje jedno z odvětví českého průmyslu, kterému se podařilo prosadit v národním i mezinárodním měřítku, jsou v rámci České republiky existující výzkumné kapacity dosud značně roztrženy. Tento fakt významným způsobem snižuje efektivitu prováděného výzkumu založeného převážně na podpoře v rámci grantového systému. Česká membránová platforma bude proto v rámci tvorby národní koncepce výzkumu, vývoje a inovací usilovat o zařazení oboru mezi perspektivní, zajišťující modernizaci českého průmyslu a zvýšení konkurenceschopnosti jeho výrobků.

3.1.2 Časové horizonty v rozvoji oboru

Hlavním úkolem platformy v nejbližším období bude další sblížení subjektů vzdělávání, výzkumu a využití membránových procesů v národním i mezinárodním měřítku. Výrazným příspěvkem v této aktivitě v první periodě, tj. v horizontu let 2011-2015 bude potenciálně významná změna aktuálního stavu na poli výzkumu v ČR realizováním záměru společnosti MemBrain s.r.o na vytvoření výzkumného a transferového Membránového inovačního centra (MIC-MemBrain) v libereckém kraji. Projektový záměr navazuje na dosavadní postavení světového lídra, společnosti MEGA a.s., ve výrobě heterogenních iontovýměnných membrán a jejich aplikací, ze které byl v r. 2008 transformován celý výzkumný tým do společnosti MemBrain s.r.o. a je z něj utvořen základ specializovaného odborného týmu Centra. Předpokladem je aplikace výstupů Centra u výrobců a dodavatelů membrán a membránových technologií, v energetickém, potravinářském, chemickém, farmaceutickém a automobilovém průmyslu a v ochranně životního prostředí.

Projekt výzkumného Centra má významné synergické efekty s již schválenými projekty: Projekt č.5.1PP01/030 „Membránové inovační centrum“, program OPPI - Prosperita, finanční objem cca 50 mil. (žadatel MemBrain s.r.o., zahájeno od 08/2010) a projekt č. 1g3F6P0003 „Akcelerace rozvoje membránových procesů prostřednictvím spolupráce v tematicky

orientované síti“ (ARoMem), program OPVK /2.4, finanční objem cca 19 mil. (žadatel Česká membránová platforma o.s., zahájení od 10/2011).

Největší příležitostí budovaného výzkumného i transferového Membránového inovačního centra je skutečnost, že v současné celosvětové krizi je sázka na intenzivní inovační proces a implementace inovačních technologií prakticky jediným řešením dlouhodobé stability a strategického rozvoje každé perspektivně smýšlející firmy. Většina subjektů z této sféry však na českém trhu nemá v současné době vlastní inovační skupinu, a pokud ano, tak není schopna řešit složité a náročné problémy tohoto multidisciplinárního oboru v takové kvalitě a rozsahu činností, jako nabízí plánované zázemí Centra. Snaha o přímé napojení průmyslového partnera prostřednictvím většinou jednotlivců-inovátorů na jednotlivá výzkumná akademická pracoviště velice často selhává v následné efektivní realizaci inovačního procesu právě proto, že kromě neznalosti tohoto prostředí nedochází i k odborné rovnováze a správnému vzájemnému propojení obou stran. To pak často vede k nedostatečné koordinaci i produktivitě výzkumu a v konečné fázi i k nesplnění očekávání průmyslového partnera vůči výstupu bez požadované garance za výsledek, které většinou vysoké školy i další výzkumné instituce systematicky nenabízí. Je to logické právě z toho důvodu, že odborná pracoviště a vysoké školy s vysokou odbornou erudovaností nemohou nabídnout komplexní inovační proces od základního výzkumu až po průmyslovou realizaci. Tím zůstávají rizika přenosu do průmyslové realizace stále ještě vysoká. Výhodou řešitelů koordinovaných CZEMP budou právě existující znalosti a vazby jak na akademickou sféru, tak zejména na sféru průmyslovou.

Jako další a nezbytný krok rozvoje v dalším časovém období do roku 2020 je zahájení činností na poli inovací s novou strategií profesionálních marketingových aktivit v rámci organizační struktury platformy. Tento proces by měl obecně mapovat a řídit směřování výzkumu k potřebám trhu. Je to logické, protože pokud není vytvořen z jedné strany tlak poptávky a z druhé strany tlak nabídky, nelze průběžně koordinovat správné směřování aplikovaného výzkumu k užitečným výsledkům dle požadavků zadavatele. Pod pojmem „profesionální marketingové aktivity“ je na základě již získaných zkušeností rozuměno nejen vytvoření a implementace vhodných marketingových nástrojů, ale zejména odborná analýza a rozbor získávaných požadavků a potřeb konkrétních subjektů. Lze očekávat, že další rozvoj pokročilých separačních technologií bude vyžadovat nové membránové materiály s optimalizovanými funkčními i aplikačními parametry a předpokládané využití membránových systémů v energetice i jejich vysokou mechanickou a tepelnou stabilitu. Výhled těchto potřeb podle současného stavu poznání spadá do období let 2020 – 2030.

Nové výzkumné zázemí centra MIC-Membrain by mohlo být podpořeno vytvořením dalších konsorcií v rámci programu „Centra kompetence“ Technologické agentury ČR, do kterého se CZEMP jako partner projektu rovněž zařazuje. Tím by vznikl další článek v propojení výzkumu existujících pracovišť v České republice a vytvoření podmínek průniku jednotlivých disciplín v oboru membránových procesů. Byl by posílen záměr nabídnout zkušenosti a schopnosti širší skupině potenciálních partnerů výzkumu a uživatelů výsledků jak v České republice, tak rovněž v rámci EU.

3.2 Role základního a aplikovaného výzkumu

Jak bylo již zmíněno, membránové separační metody nacházejí v posledních letech uplatnění téměř ve všech odvětvích průmyslu a jsou stále více používány v nových progresivních technologiích. Významná oblast aplikací je zvláště v chemickém, potravinářském a farmaceutickém průmyslu, ale také v lékařství a ochraně životního prostředí při čištění

odpadních a oplachových vod. Membránové procesy patří mezi moderní separační metody s uváděným nárůstem objemu aplikací ve světě 10-15% ročně. Hlavní předností membránových separačních metod je jejich jedinečná dělicí schopnost, nízká spotřeba energie a široký rozsah pracovních teplot v závislosti na charakteru separované směsi a materiálu membrány. V mnoha případech je membránová separace jedinou použitelnou separační technikou při dané aplikaci. Ukazuje se však, že i přes dynamický vývoj a vzrůstající použití membránových procesů v průmyslu, jsou znalosti o membránových separačních procesech nedostatečné, což zpomaluje jejich rozšíření v řadě nových aplikací. Překonání tohoto problému je úkolem pro cílený výzkum, který v oblasti materiálové začíná již v základním studiu fyzikálně-chemických vlastností nových struktur a přechází postupně do aplikované fáze výzkumu a vývoje separační techniky a jejího využití v realizované technologii. Vyhledávání perspektivních směrů výzkumu a podpora jejich zařazení do výzkumných plánů bude v této části řešeno úkolem CZEMP.

3.2.1 Materiálový výzkum

Specifickým rysem membránových separačních procesů je využití selektivní, polopropustné (semipermeabilní) membrány jako základního separačního elementu. V každém membránovém procesu je zpracovávána surovina (nástřík) přiváděna tak, aby byla v kontaktu s aktivní vrstvou membrány, přitom některé komponenty membránou procházejí (permeát) a jiné jsou membránou zadržovány (retentát). Základní částí membránového zařízení jsou tedy polopropustné porézní nebo neporézní membrány. Pro účely membránových separačních procesů definujeme membránu obvykle jako tenkou přepážku, v níž je dělení složek dosaženo na základě rozdílné rychlosti transportu složek touto přepážkou uskutečňovaného pomocí různých hnacích sil. Struktura membrány musí být taková, aby zajišťovala odpovídající selektivitu pro separované komponenty a minimální hydraulický odpor vůči toku permeátu membránou. Přitom musí být zajištěna i dostatečná mechanická pevnost membrány. Podle struktury rozlišujeme membrány homogenní (symetrické), nehomogenní (asymetrické) a kompozitní.

Materiál membrány ovlivňuje ve zvýšeně míře proveditelnost procesu, příp. účinnost separace. Pro výrobu membrán lze použít různé polymerní materiály (deriváty celulózy, akryláty, polyamidy, polysulfony, polyestery, polyvinylchlorid, polypropylén, polykarbonát, fluoroplasty apod.). Známe ale také i membrány ze sintrovaných kovů, skla, uhlíku, speciálních typů keramiky, např. na bázi Al_2O_3 , ZrO_2 nebo TiO_2 . Výběr je závislý především na typu separované látky a teplotě, při které separace probíhá. Vzhledem k tomu, že základní výkonová charakteristika membrány, tj. intenzita toku permeátu (množství permeátu získané při daných pracovních podmínkách na jednom metru čtverečném membrány) je relativně nízká (desítky až stovky litrů na čtverečný metr za hodinu), je nezbytné pro zpracování větších množství nástriku zajistit v průmyslových zařízeních velkou aktivní plochu membrán (desítky až tisíce m^2). Proto jsou membrány již při výrobě obvykle zabudovávány do ochranných pouzder, tzv. modulů. Membránové moduly mohou být deskové, spirálově vinuté, trubkové, nebo ve formě svazku dutých vláken či kapilár.

Výzkum a vývoj membránových materiálů a membrán je širokým multidisciplinárním oborem, který je v současné době v České republice zajištěn zejména akademickými pracovišti a jejich případnou kooperací s výrobcem. Oblast základního a aplikovaného výzkumu zahrnuje v hlavním směru ionexové heterogenní membrány a bipolární membrány s komplexním přístupem od materiálového výzkumu funkcionalizovaných iontovýměnných materiálů až po technologii jejich výrob. Dále pak v menším rozsahu zahrnuje nepolární

membrány pro tlakové separace, membrány a materiály využitelné pro separace plynů a doplňkově úvodní studie membrán s potenciálním rozvojem pro technologie umělé ledviny. Součástí aktivit je podpora charakterizace vlastností, studium morfologie, sledování rizika zanášení a otravy membrán s vazbou na regenerační postupy, technologie přípravy a výroby a modelování transportních dějů na membránách. Cílem aktivit platformy je zajistit přenos informací a podporu kooperací při řešení přípravy nových modifikovaných typů heterogenních ionexových membrán pro demineralizaci vod a průmyslových roztoků, pro produkci ultračisté vody a pro potravinářství včetně návrhu technologie výroby. Cílem je také nová nebo modifikovaná heterogenní ionexová membrána pro elektroforézu ve formě bezešvé samonosné trubky včetně technologie její výroby a stabilní bipolární membrána heterogenního typu včetně technologie výroby. Součástí této činnosti je zavedení standardizované metodologie charakterizace ionexových membrán, případně nedestruktivní metodiky charakterizace jejich elektrochemických vlastností. Také standardizovaná metodologie charakterizace nepolárních membrán dosud nebyla deklarována a bude proto řešena v rámci konsorcia platformy. Pro další membránové procesy bude zajišťován výzkum a vývoj materiálů a membrán pro separaci plynů (O_2 , CO_2 , CH_4 , H_2) a jejich charakterizace. Dosahované výsledky budou kromě interních zpráv průběžně diskutovány a oponovány v rámci aktivit odborného garanta CZEMP ustanoveného na další tříleté období. Výsledky každého dílčího cíle budou v případě možnosti chráněny přihláškou patentu nebo užitého vzoru a průběžně publikovány v rámci odborných periodik a ve formě odborných sdělení na mezinárodních i národních konferencích.

3.2.2 Fyzikálně chemické principy procesů

Hnací silou membránového separačního procesu může být rozdíl tlaků, rozdíl koncentrací (aktivit) složek nebo rozdíl elektrických a elektrochemických potenciálů na obou stranách membrány. Rozdělení nejznámějších membránových procesů na základě dominantní hnací síly je shrnuto v tabulce na obrázku 3. Pro informaci je u každého procesu uveden i základní separační mechanismus, skupenství retentátového a permeátového proudu, vhodný typ membrány a typická oblast použití daného procesu. Tento přehled nepřímo charakterizuje spektrum fyzikálních parametrů, které ovlivňují účinnost membránové operace a jejichž stanovení a následná optimalizace v rámci materiálového výzkumu je součástí inovačního mechanismu. Role platformy v budoucím období spočívá v iniciaci kooperace výzkumných, výrobních a inženýrských pracovišť při stanovení jednotných měřicích postupů a určení porovnatelných fyzikálních konstant pro materiálové charakteristiky membrán i procesní konstanty při jejich použití. I v této oblasti výzkumu bude podstatná koordinace národních institucí s partnery v rámci EU, kde se uplatní již navázané spolupráce CZEMP s celoevropskými instituty. V této kapitole nejsou uvedeny jednotlivé metody vzhledem k jejich značnému číselnému rozsahu a mnohdy i odborné komplikovanosti.

hnací síla	proces	retentát	permeát	separační mechanismus	typ membrány	typické použití
 ΔP	mikrofiltrace	kapalina	kapalina	velikost částic, síťový efekt	porézní 0,05-10 μ m	separace částic
 ΔP	ultrafiltrace	kapalina	kapalina	velikost částic, síťový efekt	porézní 2-50nm	separace makromolekul
 $\Delta P - \sigma \pi$	nanofiltrace	kapalina	kapalina	velikost částic, síťový efekt, náboj	porézní 1-2nm	separace nízkomolekul. org. látek
 $\Delta P - \sigma \pi$	reverzní osmóza	kapalina	kapalina	rozpouštění-difúze	neporézní	odsolování
 Δp_i	pervaporace	kapalina	plyn	rozpouštění-difúze	neporézní	dělení azeotropních směsí
 Δp_i	dělení plynů	plyn	plyn	rozpouštění-difúze Knudsenova difúze	neporézní porézní < 50nm	dělení plyných směsí
 Δc_i	difúzní dialýza	kapalina	kapalina	difúze	porézní 0,1-10 μ m	odsolování
 ΔE	elektrodialýza	kapalina	kapalina	velikost částic, náboj	porézní 0,1-10 μ m	odsolování

	tlakový rozdíl	P - tlak	σ - reflexní koef.
	rozdíl koncentrací	p - parciální tlak	E - el. Potenciál
	rozdíl elektrických potenciálů	π - osmotický tlak	

Obrázek 3: Základní rozdělení membránových separačních procesů

3.2.3 Inovace přístupu ke standartním membránovým operacím

Průběh membránových procesů, které se již běžně používají je řízen základními, teoreticky prověřenými fyzikálními a fyzikálně-chemickými principy. Optimalizační úsilí vedoucí k jejich dalšímu zlepšení, případně technickému zjednodušení je motivováno snahou o snížení energetické náročnosti a zvýšení separační účinnosti. K dosažení takových výsledků je základní cestou náhrada mnohdy zastaralých analytických metod a měřících technik pokročilou diagnostikou využívající moderní vysoce citlivé detektory s kvalitní výpočetní technikou. Získané hodnoty s dostatečnou vypovídací kvalitou jsou použitelné i pro vytváření matematických modelů jednotlivých operací a následně i k posouzení jednotlivých kroků membránové separace včetně jejich kritických míst. Příkladem mohou být opět tlakové membránové procesy a specifikace problémů jejichž řešení povede k sledovaným parametrům separace. Je to studium a vývoj nových metod pro charakterizaci filtračních přepážek a mikrofiltračních membrán, spočívající ve stanovení distribuce velikosti pórů, testu integrity, či průtokových charakteristik tekutin. Stanovení a studium procesních charakteristik mikrofiltrace a ultrafiltrace sleduje intenzifikační metody, např. vliv rotace membrány, fluidní vrstvy, statických vestaveb, dvoufázového toku kapalina-plyn a zpětného promývání membrány na retenci membrány a intenzitu toku permeátu. Matematické modelování procesu se zaměřuje na separaci ve vícekanalových keramických membránách. Elektromembránové procesy, jejichž výzkumný i výrobní standart je v České republice na vysoké světové úrovni, vyžadují samozřejmě kontinuální sledování inovačních možností. I v této oblasti lze navázat organizací kvalifikovaného komplexního výzkumu na dosavadní spolupráci českých pracovišť základního a aplikovaného výzkumu. Pozornost platformy bude zaměřena na

materiálový výzkum vedoucí k membránám se zvýšenou selektivitou a zároveň ke snížení energetické náročnosti membránových operací. Inovace v aplikačních směrech se soustředí na separace kyselin a zásad z jejich solí, separace anorganických kyselin ze směsí obsahujících anorganické kyseliny a jejich soli, stanovení základních jejich transportních charakteristik, matematické modelování difuzní dialýzy a studium transportu organických kyselin iontově-výměnnými membránami.

3.2.4 Výzkum a vývoj netradičních separačních metod

Vzhledem k tomu, že membrány a membránové separace patří mezi multidisciplinární vědní problematiku, jsou navržené aktivity zaměřeny na komplexnost k přístupu řešení vlastního výzkumu a propojení jednotlivých vědních oborů. Disciplinárně jsou zahrnuty v rámci témat programových aktivit obory jako materiálové inženýrství, procesní inženýrství, matematické modelování, konstrukce a design modulů, zařízení a v neposlední řadě procesní technologie. Z našeho pohledu komplexnosti jsou programové aktivity navrženy tak, aby pokud možno vždy byla strategicky sledována vazba od vlastní syntézy membránových materiálů až po technologickou aplikaci. Zjednodušeně ji lze shrnout do těchto souhrnných kroků:

- výzkum a optimalizace odpovídajících materiálů a membrán (včetně jejich charakterizace a technologie jejich výroby),
- provedení detailní studie jednotlivých membránových modulů, zařízení a následně procesů z chemicko inženýrského hlediska, popř. vývoj odpovídajících matematických modelů, umožňujících hlubší pochopení podstaty dějů,
- návrh a realizace laboratorních a pilotních membránových jednotek a zařízení, umožňujících ověřit poznatky získané v průběhu laboratorních experimentů a validaci vyvinutých matematických modelů,
- poslední krok výzkumu je pak zaměřen na výzkum technologií s potenciálním aplikačním zaměřením a zároveň je využíván k posouzení průmyslové realizace výsledků s ohledem na jeho ekonomickou i technickou konkurenceschopnost a uplatnitelnost.

Na tomto místě je nutno opětovně zdůraznit, že v navrhovaných aktivitách je preferována integrace typových membránových procesů do vyšších společných technologických celků. Předpokladem je synergie jednotlivých membránových technik, nikoliv ještě dnes často uplatňovaný konzervativní přístup jejich vzájemné konkurence a „adice“. Vzhledem ke snaze realizovat výzkum ve vazbě od membrány až k technologii je velice důležité zmínit skutečnost, že důrazem na tvorbu jednotlivých projektů napříč všemi aktivitami dojde k automatickému provázání odborných skupin. V jednotlivých aktivitách také jednoznačně zdůrazňujeme současnou pozici matematického modelování a simulace, která vede nejen k hlubšímu poznání a prohloubení některých experimentálních poznatků, ale zejména velice efektivně zvyšuje jak kvalitu a rychlost dosahovaného řešení, tak zejména snižuje nákladovost výzkumu.

Vedle popsaného způsobu řešení bude platforma podporovat i základní výzkum fyzikálních principů, které jsou možným základem dosud aplikačně nepoužívaným procesům. Patří k nim např. membránová destilace či membránová krystalizace, které jsou ve stadiu pilotních experimentů.

3.2.5 Výzkum a vývoj membrán a procesů pro energetiku

Výzkum membrán pro energetiku nabyl svého významu v návaznosti na propagaci problematiky obnovitelných zdrojů energie. Jedná se o proton-výměnné membrány využitelné v palivových článcích, iontovýměnné membrány pro přípravu vodíku elektrolýzou nebo membrány pro separace plynů. Vlastní možné aplikace jsou uvedeny v dalších kapitolách. Platforma bude i nadále sledovat vývoj odborných i společenských názorů na tuto problematiku, kterou považuje za závažnou a bude se zabývat výzkumem a vývojem této podstatné materiálové problematiky. Dostatečnou erudici a odbornost stávajícího stavu prokazuje účast členů platformy VŠCHT Praha, ÚMCH AV ČR a ÚCHP AV ČR v národních projektech i mezinárodních programech podporujících tyto výzkumné směry.

3.3 Postavení veřejných výzkumných institucí a veřejných vzdělávacích institucí

Členové platformy představující akademickou sféru jsou v současné době veřejnými institucemi vzdělávacího nebo výzkumného typu s výjimkou výzkumné společnosti MemBrain s.r.o.. Postavení veřejných institucí je definováno příslušnými českými zákony a z hlediska výzkumné a vývojové činnosti jsou podstatné jejich dotační podmínky v grantových systémech. Platforma bude tuto situaci sledovat zejména při tvorbě výzkumných konsorcií nebo řešitelských týmů na projektech vyžadujících finanční spoluúcast řešitelů a bude sledovat případné legislativní úpravy modifikující tento princip. Nedostatek vlastních neveřejných zdrojů často výrazně komplikuje účast veřejných institucí v řešení projektů, protože nejsou schopny svoji účast v projektu podpořit finančně. Úkolem platformy bude proto také podporovat konsorcionální dohody podporující účast vynikajících odborníků v řešení projektů bez ohledu na zmíněný problém jejich instituce. Složitější bude řešení těchto problémů v rámci programů EU, kde jsou principy národní spoluúčasti zavedeny rovněž. Řešením je pro členy platformy v 7. RP forma grantové dotace MŠMT. Pokud by byl tento přístup v rámci úsporných opatření české ekonomiky pozastaven, znamenalo by to komplikovaný vstup českých subjektů do evropských řešitelských konsorcií.

3.4 Priority podpory vědy, výzkumu a vývoje v ČR – projektové preference

V návaznosti na předchozí odstavec je nutné zmínit jak obecně deklarovanou podporu vědy, výzkumu a vzdělávání v České republice, tak reálný stav vyjádřený nejen počtem a výší dotačních titulů, ale také postavením těchto oborů v hodnotové stupnici společnosti. Tuto situaci nepovažuje CZEMP za vyváženou nejen obecně, ale také oborově ve vztahu k membránové problematice. Platforma bude proto pokračovat i nadále ve svém úsilí o erudované vzdělávání veřejnosti na všech úrovních, počínaje středními školami až po pracoviště vládní úrovně. Také popularizační činnost v období diskuze o environmentálních problémech i obnovitelných zdrojích energie povede ke zvýšené informovanosti společnosti a tím i rychlejšímu zavádění membránových procesů do každodenní praxe. Očekávaným výsledkem je plánované vytvoření národní vědní a výzkumné koncepce, která by měla jednoznačně určit priority českého základního i aplikovaného výzkumu s ohledem na ekonomické možnosti státního rozpočtu a na postavení jednotlivých oborů v mezinárodní konkurenci. Multidisciplinární obor membránové problematiky, užívající běžně mezinárodní název „membrane science“, si rozhodně zaslouží významné postavení v budoucích letech na tuzemské i mezinárodní úrovni a platforma svojí aktivitou bude přinášet vhodné projektové náměty řešící jak inovační pokrok tak dobrý standart životního prostředí. Vznik regionálních center i Center kompetence by měl být zdárným počátkem tohoto snažení.

3.5 Vývoj a inovace membránových technik a technologií

3.5.1 Vyhodnocení možných inovací současné techniky membránových operací

Předpokladem úspěšné realizace každé technologie je její technická úroveň odpovídající současnému stavu vědeckého poznání. Z toho vyplývá nejen možnost, ale přímá potřeba inovačních kroků v určitých časových periodách. Výzkum podporující tyto aktivity bude především sloužit při zavádění membránových separací:

- do nových výrobních technologií,
- do stávajících technologií jako náhrada za energeticky náročné a ekologicky nevhodné procesy,
- do procesu zpracování odpadních vod s možností návratu cenných složek zpět do výrobního procesu,
- do oblastí, ve kterých doposud nebylo experimentálně ověřeno, je-li daná směs dobře dělitelná na membráně.

Samozřejmě i tato část membránové problematiky bude vyžadovat aktivity platformy jak v organizační oblasti při přípravě výzkumných konsorcií, tak při vyhledávání inovačních témat v kontaktu s aplikační sférou i trendy světového vývoje. Modifikované či vylepšené prvky membránových zařízení budou z materiálové oblasti membrán, aktuální jsou a zřejmě budou i v budoucnosti problémy snižování výkonu membrán jejich zanášením – „fouling“, zlepšení se budou týkat i membránových modulů a armaturní výbavy zařízení v návaznosti na obecný pokrok vyráběných prvků.

3.5.2 Membrány a membránové moduly pro zvýšení účinnosti procesů

Výzkum v oblasti membrán a membránových modulů považujeme za klíčovou část optimalizace a inovace v membránových procesech užívaných v řadě separačních technologií. Na výzkumných projektech pro tuto oblast se musí podílet jak výzkum základní, uskutečňovaný převážně na akademických pracovištích, tak aplikační výzkum s navazujícím vývojem prováděný v kooperaci s výrobcem, méně často s uživatelem membránového procesu. Sledované problémy budou zahrnovat studium transportu látek membránou, hydrauliky a přenosu hmoty v membránových modulech, optimalizaci a design modulů i jejich uspořádání v membránovém zařízení. Perspektivní je i matematické modelování procesů pro následný návrh technologií. Z hlediska kategorizace membránových procesů se jedná o elektromembránové procesy – elektrodialýza (ED), elektrodialýza s bipolárními membránami (EDBM), elektroforéza (EFC), elektrodeionizace (EDI), dále o tlakové membránové procesy – reverzní osmóza (RO), nanofiltrace (NF), ultrafiltrace (UF), mikrofiltrace (MF) a výhledově membránové moduly pro separace plynů a par, kde lze očekávat výrazný nárůst poptávky vhodných technologií. Výstupem řešení budou funkční prototypy nových modulů a typů zařízení včetně jejich charakterizace. V nejbližším období se jedná o nové návrhy hydraulických rozdělovačů pro různé ED moduly dle aplikačního potenciálu či zjednodušený 2-rozměrný a přesnější 3-rozměrný matematický model pro studium vlivu konstrukce elektrody na provozní charakteristiky elektrodialyzéru. Znalostní báze procesních charakteristik modulů tlakových membránových procesů postrádá dosud řešení složitějších, vícesložkových systémů v návaznosti na předpokládaný aplikační potenciál. Matematický popis transportu ve zvolených modulech pro následný design technologií bude tedy jejich podstatným příspěvkem. Totéž v určité modifikaci platí i pro návrh modulů pro separaci plynů a par včetně jeho validace. Výsledky řešení budou

platformou průběžně sledovány, např. formou případových studií, které se osvědčily v průběhu řešení projektu „Česká membránová platforma“, iniciací oponentních zasedání či publikováním v odpovídajících mezinárodních i národních impaktovaných časopisech.

3.5.3 Vývoj a inovace membránových tlakových operací

Názvem tlakové membránové procesy se zpravidla označují čtyři typy separačních technik: mikrofiltrace (MF), ultrafiltrace (UF), nanofiltrace (NF) a reverzní osmóza (RO). Jejich společným znakem je kromě použití polopropustné membrány jako separačního elementu využití tlakového rozdílu jako hnací síly transportu membránou. Vzájemná odlišnost spočívá ve velikostech používaných tlakových rozdílech, vlastnostech membrán (zejména velikosti pórů) a převažujícím transportním mechanismu. Separační účinek mikrofiltračních a ultrafiltračních membrán se zjednodušeně vysvětluje jako dělení částic na základě různých velikostí a tvaru separovaných částic a pórů membrány. Částice, které mají velikost větší než je velikost pórů membrány jsou membránou zachytávány, zatímco částice menší membránou procházejí. Při nanofiltraci a reverzní osmóze je již situace složitější; kromě velikosti nabývají na významu i náboj povrchu membrány a náboj a difuzivita separovaných částic. Dochází pak například k odpuzování stejně nabitých povrchů (a tím k zabránění průniku některých menších částic póry membrány) nebo k přednostní difúzi některých komponent materiálem membrány. Při mikrofiltraci jsou membránou zachytávány velmi jemné heterogenní částice o velikosti v rozmezí od 0,05 do 10 μm . Ultrafiltrací se separují makromolekulární látky o relativní molekulové hmotnosti 1 až 1000 kDa. Nanofiltrační membrány zadržují částice o relativní molekulové hmotnosti v rozmezí 0,2 – 1 kDa. Reverzně osmotickými membránami lze navíc z vody odstranit i většinu částic iontového charakteru.

Současná problematika výzkumu a vývoje tlakových membránových procesů se zaměřuje na studium a matematický popis procesů kombinujících membránovou separaci s klasickými dělicími operacemi, jako jsou adsorpce, iontová výměna nebo koagulace. Tyto hybridní membránové procesy umožňují dosáhnout vyšší účinnosti separace, odstranění rozpuštěných organických látek, těžkých kovů a dalších škodlivin z testovaných vodných systémů. V neposlední řadě přídavky některých aditiv zabraňují zanášení membrán. Na pracovištích tlakových membránových procesů tak jsou realizovány experimenty s modelovými systémy i reálnými vzorky znečištěné vody na cross-flow zařízení s keramickou mikrofiltrační membránou a na „dead-end“ jednotkách s dutými vlákny. Proces iontové výměny ve vodných systémech je studován pro přírodní i syntetické ionxy (zeolit, bentonit a lewinit), na kterých jsou zachycovány těžké kovy a amonné ionty. Adsorpce kombinovaná s mikrofiltrací je rovněž prováděna na práškovém aktivním uhlí, kdy je sledováno odstranění organických barviv z vodných systémů. Hlavní náplní činnosti v oblasti nanofiltrace je studium vlivu významných parametrů, jako např. počáteční koncentrace barviva a soli, tlakový rozdíl nad a pod membránou a typ membrány, na základní charakteristiky tohoto tlakového membránového procesu (intenzita toku permeátu a rejekce). Na základě provedených experimentů jsou navrhovány matematické modely studovaných procesů. Výzkumně i vývojově jsou sledovány tlakové procesy již zařazené v potravinářských, farmaceutických či speciálních biotechnologických provozech. Pozornost bude v dalších etapách věnována i vhodným metodám intenzifikace membránového procesu, které spolu s experimentálně stanovenými chemicko-inženýrskými (procesními) charakteristikami budou rozhodující při optimalizaci všech provozních veličin s cílem ekonomicky dosáhnout maximálních hodnot intenzity toku permeátu a selektivity dělení při vlastním průmyslovém nasazení membránového separačního procesu. Detailní experimentální studium všech dílčích dějů spojené s jejich teoretickým rozbohem umožní jednoznačně specifikovat jak přednosti, tak i omezení studovaných procesů.

V oblasti tlakových membránových procesů bude hlavním cílem výzkumu a vývoje získání většího množství jak experimentálních, tak i teoretických poznatků v oblasti využití membránových separací při čištění a likvidaci odpadních vod zatěžujících životní prostředí (včetně metod likvidace výstupních proudů kontaminovaných např. těžkými kovy, rozpouštědly apod.), úpravě procesní a pitné vody (odstranění anorganických solí a nečistot z důvodů aplikačních a ekologických) a při biologických a biotechnologických procesech využívající tyto separační metody. Obecným cílem řešení této, stejně jako dalších oblastí membránových separačních procesů, bude jejich začlenění do složitějších technologických celků, návrhy zařízení, jejich ekonomické zhodnocení a vypracování metodiky pro nalezení optimálních provozních parametrů membránových separačních procesů v příslušných technologiích. Široké spektrum proměřovaných systémů pak umožní vyšší míru zobecnění získaných výsledků. V těchto oblastech se bude výrazně uplatňovat angažovanost České membránové platformy přenášením a publicitou výsledků v souladu se zachováním autorských, případně dalších práv řešitelů i řešitelských organizací.

3.5.4 Vývoj a inovace elektromembránových procesů

Elektromembránové procesy jsou nejrozvinutějším z membránových oborů v České republice. Jejich dalšímu rozvoji včetně inovací stávající výroby membrán a i separačních technologií bude proto v následujícím období věnována maximální pozornost v rámci aktivit platformy. V této oblasti aplikovaného výzkumu dochází k jednoznačnému provázání programů napříč jejím profilem (vazba membrána-zařízení-technologie a aplikace) dle aplikačních segmentů. Aplikační těžiště bude zaměřeno na segmenty voda (pitná, speciální a průmyslová), separace a purifikace průmyslových roztoků a médií v oblastech potravinářství, automobilový průmysl, energetika, farmacie a medicína a kategorie speciální aplikace. Tento program bude koordinován s oblastí integrovaných systémů a hybridních membránových procesů, integrující různé typové membránové procesy ve strategii vzájemné synergie nebo kombinující interně v jednom modulu např. proces elektro dialýzy s ionexovými technologiemi apod. Na tomto místě je možno konstatovat, že právě finální technologické řešení v konkrétní aplikaci vytváří specifické požadavky na vlastnosti a uspořádání všech hlavních komponent, včetně jejich optimalizace nebo modifikace. Dříve byla snaha vědců i technologů předložit maximálně univerzální membránu nebo modul pro různé aplikace. Preferovaný trend je připravit technologii „na míru“. Znamená to například, že iontovýmenná membrána pro elektro dialýzu musí splňovat jiné požadavky než iontovýmenná membrána pro elektroforézu. Dokonce lze jít ještě hlouběji, tedy například elektro dialýza, resp. její ED modul a technologické uspořádání bude zcela odlišné při demineralizaci vod, oproti třeba demineralizaci mléčné syrovátky nebo pro farmaceutické účely.

Platforma i v této oblasti předpokládá, že získané výsledky budou přehledně zpracovávány a budou předkládány odborným membránovým skupinám a nezávislým odborníkům a po jejich pilotním provozním odzkoušení převáděny do výrobní a aplikační praxe.

Těžiště uvedené problematiky směřuje do následujících technologií dle aplikačních segmentů:

segment voda (průmyslová, speciální) v energetice

- technologie kontinuální výroby ultračisté vody na bázi elektrodeionizace (EDI) s nově vyvinutými moduly a membránami,
- integrovaná membránová technologie pro přípravu demineralizovaných nebo ultračistých vod pro energetiku tj. kombinace RO/ED/ED-konzentrátor/EDI dle vstupního vodního zdroje a vazba na výzkum v problematice předúpravy vstupních médií,

- technologie recyklace kyselin a louhů z odpadních vod z regenerace ionexových pryskyřic pomocí elektrodialýzy s bipolárními membránami EDBM,
- integrovaná membránová technologie pro zpracování důlních vod (zejména po těžbě černého uhlí) s využitelností jak demineralizovaného proudu, tak produkovaného koncentrátu.

segment voda (odpadní voda) - ochrana životního prostředí

- membránová technologie terciálního čištění municipálních vod s nízkou koncentrací rozpustných látek (do 5g/l) na bázi elektrodialýzy v kombinaci s tlakovými membránovými procesy,
- membránová technologie zpracování odpadních vod z výroby hnojiv na bázi NH_4NO_3 pomocí elektrodialýzy a elektrodeionizace,
- dále pak technologické specifikace procesu mikrofiltrace (MF) a ultrafiltrace (UF) za použití systému s dutými vlákny jako součást technologického celku předúpravy, resp. úpravy průmyslových vod a roztoků před následnou separací pomocí elektrodialýzy. Dutá vlákna jsou technologií, kterou lze kombinovat s dalšími fyzikálně-chemickými procesy jako je adsorpce, iontová výměna, koagulace, flokulace apod. Kombinace těchto procesů by mohla vést k ekonomicky výhodnému snížení některých polutantů (např. těžkých kovů). Výzkum bude také směřován na oblast metodiky procesní charakterizace dutých vláken, která je nezbytnou pomůckou při výběru optimálního materiálu i stanovení technologických parametrů a provozních režimů.

segment potravinářství

- pozornost bude soustředěna na technologie výroby organických kyselin z jejich korespondujících solí pomocí elektrodialýzy s vyvinutými bipolárními membránami EDBM. Výběr konkrétního systému bude zvolen na základě dosažených charakteristik vývojových heterogenních membrán a ve vazbě na konkrétní požadavky potenciálních uživatelů,
- technologie recyklace kyselin a louhů z odpadních vod z regenerace ionexových pryskyřic pomocí elektrodialýzy s bipolárními membránami EDBM,
- technologie zpracování mléčné syrovátky na bázi integrovaných membránových systémů (RO, NF, UF, ED(R)) pro naturální a zhuštěné formy syrovátky, směřované na následující kvalitu stupně demineralizace (50%, 70%, 90%). U této technologie bude těžiště výzkumu řešitelského týmu směřováno zejména k doplňkové technologii zpracování odpadního koncentrátu po demineralizaci syrovátky, z důvodu snížení provozních nákladů primární demineralizační technologie. Zde pravděpodobně nelze nalézt jedno univerzální řešení, ale dle odborných předpokladů se bude jednat o soubor různých technologických přístupů dle typu syrovátky a požadovaného produktu. Tato technologie bude novinkou, celosvětově dosud neznámou.

segment farmacie

- technologie přímé konverze organických solí ve vícekomorovém elektrodialyzačním modulu,
- technologie purifikace organických roztoků na bázi elektrolyt-neelektrolyt pomocí elektrodialýzy. Výběr konkrétního systému bude zvolen na základě dosažených charakteristik vyvinutých heterogenních membrán a ve vazbě na konkrétní požadavky potenciálních uživatelů.

segment automobilový průmysl

- technologie elektroforetického lakování. Těžiště bude zaměřeno jak na primární lakovací proces ve vazbě na aplikace nově vyvinutých elektroforetických modulů, tak na produkci vstupní vody do této technologie.

Široké spektrum budoucích úkolů v této části lze shrnout do společného programu aplikace nových typů iontovýměnných membrán (včetně bipolárních) v elektrodialýze a elektrodeionizaci pro ekonomizaci a ekologizaci odpadních produktů v chemickém a energetickém průmyslu. Těžiště výzkumného zaměření bude na počátku položeno do oblastí elektromembránových procesů, kde je možné v plné míře využít řešitelský tým MemBrain s.r.o., včetně jeho spolupracovníků z řad akademické sféry. Toto řešitelské sepětí má v současnosti vybudovanou prestižní pozici minimálně v evropském rozměru. Současně s tím platforma vytvoří dobrou odbornou pozici v ostatních oblastech membránového oboru, tedy na poli tlakových membránových procesů, separace plynů, energetických systémů atd. s cílem dosáhnout prezentované komplexnosti programu a možnosti prioritní realizace integrovaných systémů a technologických celků i na mezinárodní úrovni.

3.5.5 Vývoj nových netradičních a efektivních membránových procesů

Membránové separační procesy je možné studovat nejen izolovaně, ale i jako součást větších celků. V tomto směru se nabízí možnost separace za současného průběhu chemické reakce. Cílem těchto procesů, které se nazývají reaktivní separace, je posunout chemickou rovnováhu ve prospěch tvorby produktů a nebo zabránit nežádoucím vedlejším reakcím. Mezi tyto procesy je možno zahrnout reaktivní dialýzu, v níž membrána separuje složky a celý proces je urychlen chemickou reakcí. Jinou formou tohoto fyzikálně-chemického principu jsou membránové reaktory v různých konstrukčních i funkčních variantách. Jejich výzkum a vývoj je v samém počátku a platforma se bude podílet na rozvoji jak technického a technologického designu této aplikace membrán v návaznosti na vytypované, v současné době převážně biologické výroby. Cílem v této oblasti výzkumu je experimentální studium transportu hmoty, katalytických systémů, jsou-li, a matematické modelování. Lze předpokládat i rozšíření na reaktivní separaci za průchodu elektrického proudu.

Jednou z cest jak dosáhnout úspěchu i v tomto směru je vytvoření specializovaného pracoviště - technologického vědeckého parku (TVP), který by plnil funkci inkubační a inovační. Z tohoto pohledu se jedná o pracoviště pro mladé inovátory nebo odborné pracovníky partnerů, podporující rozvoj tzv. „spin off“ a začínající malé a střední podniky, popř. podporující rozvoj inovačních procesů již existujících partnerů v oboru. Takové pracoviště bude schopno s potenciálními partnery, zákazníky a uživateli spolupracovat na inovačním procesu v oblasti přenosu technologií do reálných průmyslových zařízení, provádět demonstraci procesů a technologií formou pilotních zařízení a prototypů, realizovat průmyslové pilotáže procesů a technologií s cílem jejich validace a snížení rizik při transferu a obecně know-how do jejich výrob. Rovněž umožní naplnit požadavky vlastního odzkoušení navržených procesů a technologií odbornými pracovníky zákazníka nebo partnera v rámci zázemí takového centra. Současně bude plnit roli tzv. transferového pracoviště, které umožní intenzifikaci přenosu vlastních nebo partnerských výsledků inovačních aktivit do průmyslové realizace. To je spojeno s marketingovou podporou a fází rané komercializace těchto činností. Pozornost bude věnována také administrativní podpoře transferové činnosti, zejména formou licenčních smluv, patentové ochrany pro zachování autorských práv duševního vlastnictví všech partnerů nebo zákazníků. Vznik pracoviště TVP je ve výhledu přidružen k budovanému membránovému centru ve Stráži pod Ralskem.

3.5.6 Výzkumná konsorcia pro řešení cílených aplikací

Za významné lze považovat sjednocení vysoce aktuálního výzkumu na poli membrán navázaného na celou škálu progresivních technologií v rámci České republiky. Vybudování a provoz odborného pracoviště MIC-MemBrain evropské úrovně se špičkovým technologickým a přístrojovým vybavením výrazně posílí také pozici libereckého regionu, přispěje k jeho rozvoji a podpoří přísun jak odborných kádrů a kvalitních lidských zdrojů, tak potenciálně tvorbu nových pracovních míst i následně přísun finančních prostředků. Napojení Centra ve vzájemné synergii na Technickou univerzitu Liberec má strategický význam pro tvorbu vědeckých kádrů a odborníků v regionu. Odborné a vědecké kvality budou garantovány úzkou spoluprací Centra s výzkumnými skupinami na dalších univerzitách České republiky i příslušných pracovištích Akademie věd. Jejich vedoucí pracovníci osobní angažovaností v přípravě výzkumných programů budou zárukou jak dostatečné vědecké úrovně, tak atraktivitou pracoviště pro mladé pracovníky.

Do plnění úkolů vytyčených v návrhu projektu Centra budou zapojeni studenti magisterského i doktorského studijního programu, ať již v rámci svých studijních povinností (např. semestrální projekt, diplomová práce), tak i v rámci práce s částečným úvazkem ve svém volném čase. Především z důvodu plnění studijních povinností studentů magisterského studijního programu předpokládáme intenzivnější zapojení studentů doktorského studijního programu, kteří v rámci svých disertačních prací budou řešit jednotlivé dílčí problémy tvořící náplň Centra a významným způsobem tak budou přispívat ke splnění jeho cílů. Založení Centra bude také přínosem i pro studenty a doktorandy, kteří budou jeho členy. Důvodem je zejména připravenost MIC-MemBrain a jeho zaměstnanců realizovat odborné praxe a stáže studentů, tréninkové programy a spolupracovat na jejich vzdělávání. Přestože vybrané membránové technologie představují komerčně úspěšné odvětví českého průmyslu, neexistuje v současné době jednotný vysokoškolský studijní akreditovaný program zaměřený tímto směrem. Tematické sjednocení v rámci Centra otevře posluchačům zúčastněných vzdělávacích institucí nové možnosti. Jednou je rozšíření spektra dostupného vzdělání v problematice membránových procesů dané skutečností, že jednotlivá pracoviště smluvně zapojená do projektu se vzájemně doplňují svou specializací v této oblasti. Sjednocení těchto specializací umožní studentům jednotlivých vysokých škol, zúčastněných v Centru, získat výrazně rozšířené a komplexnější vzdělání v této problematice a navíc společnou realizaci výzkumu přispějeme k tvorbě nových vědeckých kádrů. Druhá možnost spočívá v připravenosti MIC-MemBrain organizovat pro studenty zúčastněných organizací pravidelné tréninkové programy a především odborné praxe a stáže. Jedná se o faktor, který vede k významnému prohloubení odborné přípravy studentů technických oborů. Vedle odborné činnosti spatřuje platforma v centru svou roli v oblasti šíření informací, a to jak na odborných, tak i na veřejných fórech. Těžiště této činnosti spočívá především v rámci pravidelných odborných konferencí organizovaných platformou v rámci svého členství v České společnosti chemického inženýrství (ČSCHI). Přínosem bude rovněž zvýšení publikační činnosti a přenos znalostní membránové báze širší veřejnosti.

Druhou cestou k vytvoření kvalitních výzkumných a vývojových center je program „Centra kompetence“ vyhlášený TA ČR. Za definovaných podmínek programu jsou členy konsorcia výzkumné organizace a průmyslové podniky. Tím je zajištěna programová náplň konsorcia směřující k potřebným inovačním krokům v zúčastněných podnicích a tím předpokládanému zvýšení jejich konkurenceschopnosti v mezinárodním měřítku. CZEMP se účastní jednoho z navrhovaných konsorcií do tohoto programu a podporuje i aktivity svých členů v přípravě dalších, zatím jen registrovaných projektů.

CZEMP neopomíjí ani význam mezinárodních kooperací v cílených výzkumných projektech a podporuje účast svých členů v mezinárodních konsorciích při řešení oborových i komplexních projektů v programech EU.

Výchozím bodem pro vznik multidisciplinárních konsorcií jsou i současné spolupráce řady partnerů v rámci řešení cílených projektů. Příkladem je skupina spolupracujících subjektů při Univerzitě Pardubice. Patří k nim EIDOS s.r.o., Zlín, EKOL s.r.o., Ledec nad Sázavou, GREEN-TECH a.s., Valašské Meziříčí, MEGA a.s., Stráž pod Ralskem, MIKROPUR a.s., Hradec Králové, OSTACOLOR a.s., Pardubice-Rybitví, PARAMO a.s., Pardubice, SYNPO a.s., Pardubice, VÚOS a.s., Pardubice-Rybitví, SYNTHESIA a.s., Pardubice-Rybitví. Takové uskupení je schopné komplexního řešení technologického i environmentálního problému vodního hospodářství podniku nebo regionu.

3.5.7 Komplexní výzkum a vývoj membránových procesů v nových technologiích

Úspěšná realizace výzkumu či vývoje je vždy výsledkem komplexní činnosti jak v odborné části projektu, tak při jeho realizaci v technologické praxi. Platforma proto podporuje vznik subjektů vytvářejících podmínky pro propojení potřebných vědních disciplín v oblasti membránových materiálů s následnými vazbami na inovace zařízení a technologické aplikace. Prvním krokem k dosažení těchto cílů je vznikající centrum MIC-MemBrain vytvářející podmínky propojení vazeb od vývoje a návrhu vlastní syntézy membránových materiálů až po vývoj a návrh technologických aplikací, včetně sledování a vyhodnocování provozních zkušeností. Výsledkem takového snažení by mělo být splnění následujících úkolů:

- Založit multidisciplinární tým českých i zahraničních pracovníků a specialistů „membranologů“ pracujících v jednom centru MIC-MemBrain, které zajistí požadovanou kvalitu a rozsah již dlouhodobě provozované výzkumné činnosti současného odborného týmu společnosti MemBrain s.r.o. a jeho partnerů v komplexní membránový program.
- Vybudovat a provozovat kvalitní prestižní evropské a profesionální zázemí v libereckém kraji pro realizaci výzkumných aktivit na poli komplexního membránového programu prostřednictvím laboratorních a technologických pracovišť centra MIC-MemBrain, vybaveném nejmodernějšími přístroji a technologiemi.
- Provádět systematický výzkum, vývoj nových nebo modifikovaných membrán pro perspektivní technologie membránových procesů na poli separace stejně tak jako energetiky. Výsledky výzkumu a vývoje aplikovat do praxe. Realizace nových membránových modulů, zařízení a technologií, včetně jejich modelování, které umožní inovovat stávající a navrhnout nové membránové technologie připravené pro průmyslovou realizaci.
- V rámci membránové laboratoře Centra přispět k vytvoření inženýrských standardů a metodologie v oblasti charakterizace membrán a membránových materiálů.
- Zefektivnit využití získaných znalostí v aplikovaném výzkumu oboru transferem výsledků do komerční sféry, zejména v energetickém, potravinářském, chemickém, farmaceutickém a automobilovém průmyslu a v ochranně životního prostředí.
- Přispět ke zkvalitnění odborného vzdělávání a výchově odborníků „membranologů“ a podpořit možnost odborného růstu studentů bakalářského a magisterského studia s ohledem na inovace, inženýring a znalostní ekonomiku oboru.
- Zvýšit úroveň a rozsah spolupráce centra MIC-MemBrain s výzkumnými centry, vysokými školami, akademickými pracovišti a dalšími výzkumnými organizacemi jak v ČR, tak v zahraničí.

- Zaměstnávat vysoce kvalifikované odborníky a poskytovat jim podporu a zázemí v jejich dalším profesním růstu, jejichž prostřednictvím následně budou zajišťovány činnosti centra MIC-MemBrain.
- Přispívat k popularizaci a rozvoji oboru prezentační a publikační činností nejen v tuzemsku, ale i v zahraničí prostřednictvím aktivního členství v evropských organizacích podobného zaměření (European Membrane House apod.).

Jedním z cílů projektu s názvem „Membránové inovační centrum – MIC-MemBrain“ je vybudování specializovaného membránového zázemí označováno (**MIC-II**), které podpoří inovační činnosti partnerů a zákazníků, optimalizaci, demonstraci a ověřování nových prototypů a technologií na poli membránových procesů a následný transfer inovačních výsledků do průmyslové realizace. Toto pracoviště synergicky doplňuje investiční záměr budování výzkumného MIC-MemBrain, které je realizováno v rámci programu VaVPI. To je prioritně zaměřeno na tvorbu výzkumné a znalostní báze včetně vzdělávacích aktivit oboru. Oba projekty tak nesporně umožní komplexní nabídku všech inovačních činností a služeb oboru od výzkumu až po realizaci výsledků na poli produktů a technologií s vysokou přidanou hodnotou, mezi něž membránové procesy nesporně patří.

Jak již bylo uváděno, projekt doplňuje komplexnost pohledu na inovační membránový proces od zpracování inovačních podnětů, realizaci výzkumu až po uplatnění a přenos získaných výsledků do průmyslové realizace. Pro lepší pochopení je nutno popsat nejprve i vlastní výzkumné aktivity, které chceme podpořit v rámci programu VaVPI s cílem vybudovat špičkové výzkumné Membránové inovační centrum-MemBrain. Bez systematické činnosti tvorby know-how a znalostní báze nelze následně realizovat plánované činnosti na podporu aplikace jeho výsledků. Pro efektivní zajištění základního a aplikovaného výzkumu v oboru membránových separačních procesů je základní organizační struktura postavena jak na vlastních výzkumných aktivitách prostřednictvím vlastních specialistů a odborných řešitelů MemBrain, tak na strategickém partnerství se zástupci akademické sféry (např. VVŠ, AV ČR, TC AV ČR, atd.). Vzájemná spolupráce je motivována nabídkou řešit požadovaná témata a podněty trhu s možností jejich následné komercializace. Tato síť bude propojena se zástupci průmyslové sféry (ať výrobců nebo koncových zákazníků), kterým je zprostředkováván transfer výrobků a technologií s vysokou přidanou hodnotou. Pro požadované inovační činnosti tak platforma doplňuje chybějící propojení pro přenos aplikovaného výzkumu do praxe a nepřímo i chybějící přístrojové vybavení takové virtuální laboratoře využíváním kapacity stávajících funkčních pracovišť, která dlouhodobě prokazují efektivní činnost v oboru. Je nutno poznamenat, že i budoucí špičkově vybavené výzkumné pracoviště MIC-MemBrain bude poskytovat řadu služeb v oblasti smluvního výzkumu dle svých zákonných možností.

Další formou vývoje netradičních technologií může být využití standardních membránových operací v novém uspořádání využitím optimalizovaných a sofistikovaných postupů. Příkladem je ověření technologií pro čištění zaolejovaných vod na různých typech membrán a zjištění jejich vhodnosti z hlediska materiálových vlastností rozvíjené na pracovišti Univerzity Pardubice. Ověřením techniky použití přídavné látky (látek) a jejího vlivu na odstranění uhlovodíků, doporučením optimální dělicí schopnosti (velikosti pórů) a následně pak i způsobu regenerace (kontinuálního čištění) membrán se vytvoří vzorová metoda s celospolečenským významem v rámci řešení dobrého stavu vod v ČR. Paralelně s těmito kroky by pokračovalo vyhodnocování problematiky hygienického zabezpečení hodnocení kvality čistícího procesu pomocí špičkových analytických technik, testování či zavádění orientačních kontrolních, příp. detekčních, měření v blízkosti provozního pracoviště (příp. přímo na provozním pracovišti) a možné zvyšování účinnosti čistícího procesu předúpravou

čištěné vody. Podle prvních odhadů by použití navrhované technologie nenavýšilo ani pořizovací a provozní náklady. Pokud by tomu tak bylo, bylo by toto navýšení spolehlivě vyváženo vyšší účinností procesu a úsporami v množství vod.

Pro realizátora tohoto projektu, ASIO spol. s.r.o., by realizace technologie znamenala jak zvýšení prestiže firmy, tak i významný dopad do jejího hospodaření.

3.6 Mezinárodní kooperace výzkumu a vývoje membrán a membránových procesů

3.6.1 Spolupráce českých subjektů na projektech v rámci EU programů

Mezinárodní spolupráce v oblasti výzkumu membránových procesů měla a má často charakter dvoustranných spoluprací partnerů z výzkumné a realizační sféry. Změnou tohoto schématu jsou v posledních letech účasti českých partnerů na řešení programů vyhlašovaných a financovaných EU. Této spolupráce se řada českých subjektů, včetně členů CZEMP účastní. Z nových přístupů je nutno zmínit účast českých partnerů v evropských kontaktech s ruskými pracovišti (projekt MemBridge) a spolupráci společností MEGA a.s. a MemBrain s.r.o. s ruskými pracovišti jako je Severokavkazský národní technický institut ve Stavropolu při řešení zpracování mléčné syrovátky nebo Kubáňská technická univerzita v Krasnodaru, spolupracující na poli elektromembránových procesů. Spolupráce se západní Evropou je souhrnně realizována prostřednictvím organizace European Membrane House (EMH). Spolupráce je u všech subjektů prováděna zejména na základě společných výzkumných projektů, podpoře vzdělávání a popularizaci oboru a lze konstatovat, že jsou vytvořeny velice silné partnerské vazby. Hlubší koordinace výzkumných a ostatních odborných aktivit na národní úrovni je také nezbytným předpokladem k účelnému využití možností poskytovaných sjednocujícím se evropským výzkumným prostorem a členstvím platformy v těchto strukturách. Výsledky výzkumu směřují do oblastí nových materiálů, zařízení i technologií. Ty budou aplikovány zejména do nových výrobních technologií, do stávajících technologií jako náhrada za energeticky náročné a ekologicky nevhodné procesy, do uváděných prioritních průmyslových oborů i do oblastí, ve kterých doposud nebylo experimentálně jejich použití ověřeno. To povede k zapojení širšího spektra průmyslových partnerů do inovačního procesu. Propojení vědecké a průmyslové sféry a vytvoření základních vazeb a systému efektivnější spolupráce při řešení inovačních projektů jednoznačně umožní rychlejší a kvalitnější aplikovatelnost špičkových technologií na tuzemský trh, což jednoznačně zvýší konkurenceschopnost řady průmyslových výroby, zvýší počet pracovních příležitostí odborným kádrům a v neposlední řadě prestiž výzkumu i průmyslu České republiky.

Existence již dříve uvedených rozvíjených center včetně MIC-MemBrain na špičkové úrovni v uváděném oboru a rozsahu aktivit v současnosti dle dostupných informací v České republice ani ve střední a východní Evropě neexistuje. Na druhou stranu jsou od roku 2009 v ČR budována nová výzkumná centra, která synergicky doplňují membránovou problematiku. V této oblasti je nutno zmínit projekt Technické univerzity Liberec „Centrum pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace“ nebo projekt „Polymerní centrum Otty Wichterle“ na ÚMCH AV ČR Praha, jejichž mezinárodní kontakty budou výrazným přínosem i membránové problematice. Existující evropská centra, konkrétně zaměřená na membránovou problematiku jako je VITO (www.vito.be) a KEMA (www.kema.be) z Belgie, UTWENTE (www.tnw.utwente.nl) z Nizozemí, CNRS (www.cnrs.fr) z Francie, GKSS (www.gkss.de) z Německa a ITM-CNR (www.itm.cnr.it) z Itálie nebo membránové pracoviště evropských univerzit lze vnímat jako potenciální partnery, jejichž prostřednictvím bude prováděna integrace českého výzkumu do evropských struktur. Ve spolupráci s evropskou

organizací European Membrane House (EMH), kde je již CZEMP zapojená včetně některých uváděných subjektů, chceme společně vytvářet „evropský výzkumný prostor“ (ERA - European Research Area) a podporovat jeho prosazování v rámci společných projektů a sítí elitních pracovišť. Také podíl na organizačních, konferenčních a vzdělávacích aktivitách Evropské membránové společnosti prostřednictvím delegáta CZEMP v jejím řídicím výboru na období 2011 – 2015 je pozitivním faktorem v mezinárodních aktivitách české strany. Je na místě konstatovat, že je nutno sdružovat národní i evropské aktivity a vytvářet stejnou podporu a zázemí membránovým procesům, jako se dnes snaží enormními finančními prostředky i zázemím Saudská Arábie, Čína, J. Korea nebo USA a Japonsko.

3.6.2 Zapojení výzkumných a vývojových týmů do Center excellence

Významná výzkumná pracoviště jsou v několika posledních letech transformována do Center excellence, většinou s finanční podporou ze státních či veřejných zdrojů. Pravděpodobně prvním takovým pracovištěm bylo vybudování výzkumného střediska Tsukuba v Japonsku před řadou let následované výstavbou několika národních výzkumných středisek v USA s podporou federálních institucí. Program Center excellence vyhlásila také EU a v současné době je v přípravě několik center v České republice. Výzkumné programy preferující komplexní řešení problémů jsou směřovány k moderním progresivním směrům s převažujícím akcentem na biologii, medicínu a informační technologie. Problematika membránových technologií je na této úrovni sledována v Japonsku a USA a zvýšená pozornost je věnována zajištění vodních zdrojů v oblasti Středního východu budováním vlastní výzkumné základny s podporou specialistů z řady světových membránových pracovišť.

Z tohoto úhlu pohledu je budování výzkumného centra MIC-MemBrain progresivním krokem a CZEMP se bude podílet jak aktivitami svých členů, tak jeho mezinárodní publicitou na úspěšném rozvoji membránové vědy, výzkumu a vývoje v ČR. Připravované smluvní vazby již nyní zaručují účast předních českých i zahraničních specialistů v orgánech centra a určitým podílem i na jeho výzkumných aktivitách. Účast českých výzkumných skupin v Centrech excellence jiných zemí je komplikována řadou faktorů vnitřních i vnějších a omezuje se na pracovní pobyty jednotlivců motivované jejich profesní kvalitou.

3.6.3 Podíl výzkumných pracovišť ČR v mezinárodních konsorciích

Rozvoj mezinárodní spolupráce výzkumných pracovišť je úzce vázán na obsah řešených projektů i na způsob jejich ekonomického zajištění. V období posledních 20 let proto řada českých výzkumných skupin pracovala na cílených projektech, které byly financovány průmyslovými podniky nebo národními grantovými zdroji. Výsledky řešení takové kooperace byly využity hlavním řešitelským pracovištěm. Další možností byly mezinárodní grantové systémy (EU, NATO), do kterých se výzkumné skupiny či pracoviště zařazovaly ve spolupráci s hlavními řešiteli na základě svých, v odborné veřejnosti známých, pracovních úspěchů. To umožnilo i současným členům platformy postupně proniknout do mezinárodních řešitelských kolektivů. Mezi takto úspěšné patří univerzitní pracoviště VŠCHT Praha a Univerzity Pardubice a akademické subjekty ÚMCH AV ČR a ÚCHP AV ČR.

Základem pro rozvoj těchto aktivit Českou membránovou platformou je jednak účast výzkumných skupin svých členů v projektech 6. a 7. Rámcového programu EU a členství platformy v evropských strukturách EMH a EMS. Oba tyto směry jsou přínosem jak pro publicitu kvality českého výzkumu a perspektivu vstupu do dalších řešitelských konsorcií, tak v pokračování účasti České republiky ve vytváření mezinárodních sítí excellence zahájené

účastí svých nynějších členů v síti NanoMemPro následované vstupem platformy do celoevropské struktury European Membrane House. Platforma bude i nadále usilovat o širší uplatnění svých členů při přípravě řešitelských konsorcií ve všech směrech membránové problematiky, v kterých dosahují vysoké odborné úrovně.

3.7 Závěr kapitoly

Podstatou výzkumného programu České membránové platformy je realizace základního a aplikovaného výzkumu na poli komplexního membránového programu se strategií účelného a efektivního propojení požadovaných vědních disciplín, zahrnující oblast membránových materiálů s následnými vazbami na zařízení a vlastní technologické aplikace. Návazným programem je využití získaných poznatků v technickém a technologickém vývoji a řešení inovačních kroků. K dosažení těchto cílů je nezbytné, aby pokud možno vždy byla strategicky sledována vazba od vlastní syntézy membránových materiálů až po technologickou aplikaci. Řešení operací a procesů jednoznačně preferuje novou koncepci integrovaných technologií pro cílené aplikace, která nahradí tradiční myšlenku „adice“. Úkolem především chemického inženýrství je poskytnout ty nejvhodnější nástroje jak propojit tuto vzdálená měřítko, od mikro- , resp. nano-úrovně až po celá multifunkční zařízení a technologické celky. Mezi hlavní vědecké programové aktivity lze uvést tyto prioritní oblasti:

- výzkum a vývoj membrán a membránových materiálů včetně jejich charakterizace a výroby,
- výzkum v oblasti membránových modulů, zařízení a membránových procesů,
- výzkum membránových technologií a jejich aplikace.

V poslední aktivitě z oblasti aplikovaného výzkumu dochází k jednoznačnému propojení již zmíněných předchozích aktivit (membrána-zařízení-technologie-aplikace) s řešením podle aplikačního zaměření na skupiny - voda (pitná, průmyslová a odpadní), potravinářství, automobilový průmysl, energetika, farmacie a medicína a kategorie speciální aplikace.

4 Membránové procesy v odvětvových technologiích i ochraně životního prostředí

4.1 Úvod

Membrány hrají dnes klíčovou roli v moderním průmyslu i řadě medicínských terapií a přímo ovlivňují kvalitu života člověka i lidské společnosti. Směřují do výrobních procesů v různých aplikačních směrech, umožňují zpracování technologických odpadů s možnou realizací bezodpadových technologií a jsou to i energetické systémy s vazbou na problematiku obnovitelných zdrojů. Nezanedbatelná oblast je péče o člověka, ať již z pohledu péče o jeho zdraví nebo zajištění kvalitních vodních a potravinových zdrojů. Mezi hlavní přednosti membránových procesů ve srovnání s klasickými postupy patří vysoká účinnost separace látek, obvykle při teplotě okolí, bez použití přídavných chemikálií, takže druhotně nekontaminují odpadní vody. K tomu dále přistupuje snadná kontinualizace, automatizace a prostorová nenáročnost. Navíc tyto procesy vykazují výrazně nižší spotřebu energie oproti klasickým „tepelným“ postupům, protože při nich nedochází k fázovým změnám (s vyloučením procesu vypařování přes membránu - membránová destilace) a umožňují dokonalejší využití surovin s možností zpracování druhotných surovin a realizaci máloodpadových technologií i případně materiálově uzavřených bezodpadových okruhů.

Nejsou však univerzální, proto nelze ani na ně pohlížet jako na tzv. černou skříňku, kterou lze vždy uplatnit při zpětném zpracování jakéhokoliv multikomponentního odpadního systému na původní vstupní surovinu. V některých případech vyžadují odstranění tzv. membránových jedů předúpravou roztoků, dále jsou citlivé na vytváření povlaků špatně rozpustných látek na povrchu membrán a na jevy tzv. koncentrační polarizace. I když tyto skutečnosti do určité míry zhoršují ekonomickou stránku membránových procesů a brání v některých případech jejich ještě širší využitelnosti, jedná se o vysoce ekologické a z hlediska ochrany přírody vysoce atraktivní postupy. Pro lepší pochopení a zdůvodnění oborového potenciálu a rozsahu je nutné blíže specifikovat membránové procesy z pohledu jejich technické podstaty a základních technologických principů.

Následující kapitoly obsahují výčet existujících nebo projektovaných instalací membránových procesů v ČR zmapovaných v rámci dosavadní činnosti platformy. Vytvářejí portfolio informací využitelné v navazujících aktivitách platformy, propagace a publicity oboru jak pro veřejnou, tak odbornou sféru. V aplikační oblasti se platforma v budoucím období soustředí na „diseminační“ činnost a podporu zvyšování konkurenceschopnosti a prosperity české společnosti účelným využitím předností, které membránové procesy poskytují.

4.1.1 Stav využívání membránových procesů v ČR

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

elektromembránových procesů s vlastní výrobou membrán značky RALEX), ProMinent Dosiertech CS s.r.o. (dominantní postavení v dodávkách tlakových membránových procesů v segmentu vod), VWS Memsep s.r.o., (významný výrobce a dodavatel tlakových membránových procesů), Watek, s. r. o. (dodavatel reverzní osmózy a elektrodeionizace v segmentu voda), KEMIRA (dodavatel chemikálií a technologií v segmentu vod), Eurowater spol. s.r.o, Culligan s.r.o. (dodavatelé komplexních technologií úpravy vody, včetně aplikace membránových procesů-RO), INTREL a.s. (dodavatel komplexních technologií, včetně aplikace membránových procesů-RO), ASIO, spol. s.r.o. (dodavatel technologií pro úpravy surové a odpadní vody), Mikropur, s.r.o. (výrobce a dodavatel speciálních membránových zařízení), MEGA-TEC s.r.o. (s působností v průmyslu povrchových úprav), IRCON s.r.o. (technologicko inženýrská činnost v oblasti vodohospodářských systémů), Chemcomex Praha a.s., TRACTEBEL Engineering a.s. a další. Rovněž na našem trhu působí řada zahraničních firem v oblasti nabídky membránových procesů, mezi které lze zařadit firmy resp. světové hráče na poli membrán a membránových procesů jako je General Electric, Koch, Dow Chemicals (zn. FilmTech), Toray, Hydranautics a řada dalších.

Největšího aplikačního potenciálu dosáhly membránové procesy v oblasti zpracování vod. Zde jsou využívány pro přípravu vod pitných, speciálních (demi-vody, ultračistá voda) a také při zpracování vod odpadních (čističky odpadních vod, odpadní průmyslové vody apod.). Mezi nejvýznamnější membránové procesy v této aplikační kategorii uvádíme reverzní osmózu (RO), elektrodialýzu (ED), ultrafiltraci (UF) a v menší míře mikrofiltraci (MF), elektrodeionizaci (EDI) a membránové bioreaktory (MBR). Dalším významným aplikačním segmentem českého trhu se jeví aplikace membránových procesů v automobilovém průmyslu. Zde hovoříme o procesu elektroforézy (EFC), která využívá speciální membránové cely v lakovacích láních a proces ultrafiltrace (UF), který nabízí možnost rekuperace vynášených složek lakovacích lání. Neméně důležitou aplikační oblastí je potravinářský průmysl. Zde se prosadila elektrodialýza (ED) v kombinaci s tlakovými procesy na bázi nanofiltrace (NF) a ultrafiltrace (UF) v mlékárenství. Stále populárnější pozici si vytváří cross-flow mikrofiltrace v ovocnářství a vinařství. Aplikační prostor pro realizaci nabídkového programu je dosud v České republice poměrně široký. Většina provozních aplikací průmyslového charakteru je stále soustředěna do oblasti přípravy technologické vody o požadované kvalitě, např. při úpravě podzemní a povrchové vody pro napájení technologie výroby alkoholických nápojů (piva, likérů, apod.), pro napájení technologií s vyššími kvalitativními požadavky např. v chemickém a farmaceutickém průmyslu. Proces využívají i jiné obory jako je sklářský a textilní průmysl, průmysl povrchové úpravy kovů a energetický průmysl. Vedle průmyslového využití se nesmí zapomenout na drobné uživatele, především z pohledu kapacitních požadavků. Do této skupiny patří laboratoře, medicínské provozy, soukromí uživatelé pro zajištění pitné vody, apod. Modelem aplikace mohou být koncoví uživatelé, kteří membránové procesy již ve svých provozech používají nebo jejich zavedení připravují. Ty je možno rozdělit naspolečnosti dle aplikačního zaměření. Z oblasti segmentu vod jsou to regionálně nejvýznamnější DIAMO, s.p., zejména pak jeho odštěpný závod GEAM v Dolní Rožince, Chemkomex (všichni s vazbou na energetiku), KEMIFLOC, a.s. (nadmárodní společnost). V oblasti potravinářství jsou to zejména InerlactoGroup s.r.o., Moravia Lacto a.s., Mlékárna Olešnice, Plzeňský Prazdroj a.s., v oblasti farmacie LONZA Biotec Kouřim a v oblasti automobilového průmyslu ŠKODA Auto, a.s. Mladá Boleslav a Benteller s.r.o.

4.1.2 Perspektivní oblasti aplikace membránových technologií

Technologie s využitím membránových procesů již řadu let vykazují velký progres, s čímž je spojen i prudký rozvoj jejich inovací, včetně úplně nových produktů a aplikačních zařízení.

Znamená to nejen zásadní rozšíření aplikačních technologií, ale především průmyslových oborů s potenciálním požadavkem na jejich využití. Výchozím bodem pro aktuální a perspektivní oblasti aplikace membránových procesů je skutečnost světového požadavku na obecnou ekologizaci a ekonomizaci průmyslu. Zvyšující se požadavky na snižování negativní zátěže životního prostředí a optimalizaci stávajících technologií s cílem zvýšení objemu recyklovatelných složek různých odpadních produktů, dávají široké pole uplatnění. Nezanedbatelná je samozřejmě snaha všech producentů o snižování provozních nákladů, tedy včetně různých ekologických poplatků.

Z hlediska využití membránových technologií je zásadní moment jejich ideální variabilita nejen mezi sebou, ale i v napojení na standardní fyzikálně-chemické postupy a procesy. Tak jako jiné technologie, není membránový proces černá skříňka a vyžaduje při procesní formulaci na požadavky uživatele cílenou kombinaci různých postupů. Vzniká tak kombinovaná, hybridní, technologie zajišťující nejen požadavky producenta na cílený produkt, ale i ekologické a ekonomické řešení jak nakládat ze sekundárními, resp. odpadními produkty.

Znamená to, že u membránových procesů lze pod pojmem „perspektivní“ hledat podtitul „bezodpadové“. Tedy ty, které umožňují umístit vlastní produkty do recipientu bez negativních kvalitativních dopadů, nebo je vrátit zpět do technologie na sekundární využití. Příkladem může být:

- zpracování odpadních vod a kondenzátů z výroby průmyslových hnojiv,
- selektivní frakcionace mineralizovaných vod se zaměřením na toxické složky, jako jsou dusičnanové ionty,
- komplexní přepracování odpadní syrovátky se zaměřením na produkci probiotických a prebiotických přípravků,
- stabilizace potravinářských produktů z hlediska dlouhodobého skladování a transportu, jako je např. tartrátová stabilizace vína,
- sanace starých hydrometalurgických zátěží formou přepracování multikomponentních odpadních vod,
- recyklace vody v energetických systémech postižených nedostatkem zdrojové vody, např. v jaderném průmyslu,
- náhrada standardně používaných technologií produkujících velké množství odpadní vody, jako je např. ionexová technologie přípravy napájecí vody energetického průmyslu,
- membránové reaktory aplikované při optimalizaci technologie mikrobiologického čištění splaškových odpadních vod,
- dočišťování výstupů mikrobiologického čištění splaškových vod s cílem zajištění výtoku do suchotečí, apod.

Charakter vymezených oborových oblastí je uveden v následující části této kapitoly. Ta si klade za cíl zdůvodnit potřebnost membránových procesů v prioritních směrech.

Membrány a membránové materiály

Membrány jsou srdcem membránových procesů, zásadně ovlivňují jejich podstatu i výkonnost a jsou nepostradatelnou součástí všech aplikací: produkce pitné vody, energie, regenerace tkání, balící technika, pivovarnictví, separace nutné pro výroby chemického, automobilového, elektronického průmyslu, atd. Vedle jejich tradiční separační funkce se objevují další požadavky pro specifická užití, např. při reakcích (katalýza, bipolární membrány), fázovém kontaktu (membránové stykače), se značně rozdílnými vlastnostmi

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 transportu membránou, použitelné ve standardních základních modulech apod. Odpovědí na všechny tyto rozdílné požadavky je škála materiálů (polymery, kovové, keramické či hybridní), stejně tak různé metody jejich přípravy a technologie výrob. Významným prostředkem pro pochopení mechanismu a předpovídání jejich vlastností a výkonu za daných pracovních podmínek jsou modelování a simulace. Nemalou pozornost je nutno věnovat také vytvoření standardů a metodologie pro charakterizaci a garanci jejich vlastností. Všechny uvedené faktory jsou důvodem zařazení problematiky významu a inovace membrán do aplikačních souvislostí.

Chemické výroby v různých průmyslových oborech

Membrány se dnes již částečně prosadily v tomto odvětví a nabízejí atraktivní vyhlídky pro chemický, petrochemický, ale také například pro automobilový průmysl. Především díky své schopnosti separace s možností regenerace, recyklace nebo valorizace vedlejších produktů (např. rozpouštědel, drahých kovů nebo jiných cenných složek) vedou k procesům více zhodnotitelným a příznivým pro životní prostředí. Prostřednictvím nových konceptů membránových reaktorů, které kupříkladu rozšiřují oblast homogenních operací v důsledku snadné recyklace volného katalyzátoru nebo využití membrány jako jejich nosiče, mohou tyto soutěžit s tradičními operacemi, jako jsou např. destilace a extrakce, a otevírají tak nové cesty pro intenzifikaci procesů. Při všech výrobcích s požadavkem na efektivní separaci, zkoncentrování nebo naopak demineralizaci médií nabízí membránové procesy nebo jejich integrované systémy neocenitelné technologické řešení. Rovněž v automobilovém průmyslu je to dnes zcela nenahraditelná technologie elektroforetického lakování, která je využívána k účinné antikorozi ochraně jednotlivých dílů nebo aplikace tlakových membránových procesů pro rekuperaci vynášených složek lakovacích lázní do oplachových vod. Přesvědčivá odborná kvalifikace v chemickém a procesním inženýrství by měla napomáhat rozvoji průmyslového odvětví, 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 bude hrát velkou roli kromě vlastního výzkumu také 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 strategickou důležitost zavedení technologií, které zajistí trvale udržitelný rozvoj lidské společnosti. Očekává se, že membránové technologie proniknou do tří hlavních oblastí energetiky: zachytávání CO₂, úspora energií a membránové energetické systémy s vazbou na obnovitelné zdroje energie. Membránová separace plynů hraje vůdčí roli v technologii zachytávání CO₂ (separace CO₂, H₂ a O₂). Rovněž podstatná úspora energie je možná prostřednictvím intenzifikace procesů právě za použití membránových technologií. Taková intenzifikace má široký rozsah, od eliminace fázových proměn při energeticky náročných procesech jako je destilace a evaporace až po energetické konverze u teplotních a elektrochemických postupů. Samostatnou a neméně důležitou problematiku energetiky tvoří systém vodního hospodářství. Ten lze principiálně

rozdělit na oblast vstupní vody, vodu technologickou a nakonec vodu odpadní. Jednotlivé oblasti lze dále dělit do několika kategorií dle zdrojů vod, kvalitativních požadavků, technologického místa aplikace a složení a charakteru vod odpadních. Další oblast lze zmínit vody důlní, které vznikají při těžbě surovin pro energetiku. Jedná se jak o těžbu hnědého a černého uhlí, tak i těžbu uranu a jeho následného zpracování. Jako příklad použitelnosti membránových procesů slouží energeticky výkonná produkce pitné vody pomocí reverzní osmózy nebo aplikace integrovaných systémů na bázi elektrodialýzy a reverzní osmózy, popř. elektrodialýzy a elektrodeionizace, tedy kombinací procesů v této oblasti.

Membrány odkrývají rovněž nové možnosti a zvyšují účinnost technologií pro výrobu energií z obnovitelných zdrojů. Výroba elektrické energie pomocí tzv. reverzní elektrodialýzy, využívající energii z koncentračního gradientu vodních zdrojů, je v popředí zájmu předních evropských pracovišť (UTWENTE, VITO, KEMA), dále výroba bio-paliva z bioplynových stanic nebo membránové palivové články, pro transformaci chemické energie vodíku na elektrickou energii jsou případy, kde membrány a membránové procesy hrají klíčovou roli.

Životní prostředí

Membrány jsou vysoce konkurenceschopné v porovnání s klasickými, 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 neefektivnímu užívání. Pouze 1% světových vodních zdrojů je k dispozici v čisté formě jako voda pitná, 97% představuje slaná voda a 2% jsou polární ledovce. Také na celý způsob zpracování odpadních vod se až do nedávné doby většinou pohlíželo jako na proces neutralizace (i dnes jsou čistírny odpadních vod běžně nazývány neutralizačními čistírnami). V důsledku toho byly také navrhovány reaktory se zaměřením pouze na co nejrychlejší a nejúčinnější odstranění škodlivin z odpadních vod a jejich likvidaci. V první fázi úpravy po přidavku zvoleného neutralizačního činidla dochází vlivem změny pH ke vzniku hydratovaných oxidů a hydroxidů těžkých kovů ve formě kalu, který je dále odstraněn běžnými separačními metodami (sedimentace, filtrace, flotace) a následně většinou ukládán na uložišť odpadů. Je tedy zcela patrné, že tento způsob zpracování odpadních vod řeší pouze likvidaci těchto složek, neumožňuje však zpětné využívání tohoto potenciálního zdroje vod nebo v některých případech cenných surovin.

Následkem výše uvedené situace v oblasti vodních zdrojů 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 – integrované membránové systémy kombinující různé typové membránové procesy, membránové reaktory a membránové stykače – jsou součástí intenzivního úsilí výzkumu a implementace těchto řešení, vynakládaného celosvětově v této oblasti. Co se zpracování plynů týče, aktuálním tématem souvisejícím s klimatickými změnami, je zachytávání a skladování CO₂ (sekvestrace). 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. Na tomto místě je nutno konstatovat, že nejenom inovační úsilí, ale rovněž ekologické a ekonomické regulace a tlak legislativního prostředí proces zavádění či užívání membránových aplikací výrazně urychlí.

Potravinářství

Membránové technologie jsou využívány v řadě aplikací v potravinářském průmyslu již déle než 30 let. Tyto procesy zahrnují demineralizaci odpadní mléčné syrovátky, popř. separaci a zahušťování složek syrovátky (proteinů, laktózy) a vytváření produktů s vyšší přidanou hodnotou (posilování imunitního systému, produkce mléčných výrobků s nižší energetickou hodnotou a látky pro farmacii), separaci mléčné sušiny, vyčeřování a demineralizaci ovocných šťáv, studenou sterilizaci, odsolování nebo zpracování odpadů. Důležitou pozici zaznamenaly v pivovarnictví při přípravě požadované kvality vody. Nejběžnějšími membránovými operacemi využívanými v této oblasti jsou obě základní skupiny membránových procesů, tedy tlakové (reverzní osmóza, ultrafiltrace a nanofiltrace) a elektromembránové (elektrodialýza). Poptávka je i po dalších technologiích: pervaporace pro dealkoholizaci vína a piva, elektrodialýza při odstraňování tartrátů z vína a při snížení kyselosti (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.

Zdravotnictví a farmacie

Ve farmacii se prosadily elektromembránové procesy nebo integrované membránové systémy při produkci speciálních farmaceutických roztoků. Jedná se zejména o čištění organických médií na základě selektivní separace elektrolyt-neelektrolyt nebo o tzv. elektromembránové reaktory (vícekomorové nebo s použitím speciálních bipolárních membrán) pro přímou konverzi látek přímo v membránovém modulu. Ty lze aplikovat pro produkci organických kyselin z korespondujících solí nebo přímo pro výrobu farmaceutik. Stejně jako v jiných již prezentovaných oblastech i separační a reakční procesy ve farmaceutické výrobě (down stream 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. Membrány mají vzrůstající úlohu také ve zdravotnictví prostřednictvím bio-separací a umělých orgánů. Časově řízené podávání léků, hormonů a dalších léčivých látek lze provádět pomocí membrán určujících rychlost účinku: náplasti, tablety nebo kapsle složené z centrálního léčivého jádra obaleného membránou. V souvislosti s nárůstem průměrného věku populace a rostoucí přístupností medicíny pro stále větší 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. V současnosti všechny tyto nástroje nabývají na důležitosti v souvislosti se snahou zaručit zdraví lidí a redukovat společenské náklady spojené s péčí o zdraví.

4.2 Problematika bezodpadových technologií

Nelze zpochybnit, že základním cílem aplikace každé technologie, tedy včetně té membránové, je dosažení produktu požadované kvality za ekonomicky výhodných podmínek. Současně musí být jednoznačnou součástí ekonomické bilance technologie i logistika vznikajících sekundárních produktů. To znamená vedle minimalizace negativních dopadů na

životní prostředí, maximum těchto produktů vrátit zpět do technologie nebo jinde alespoň částečně komerčně využít. Optimálním výsledkem těchto záměrů je bezodpadová technologie. Není obvyklé, aby technologie byla ze 100 % bezodpadová. Snahou je však objem odpadů minimalizovat. I dílčí recyklací sekundárních produktů technologie lze např. snížit zatížení vodohospodářského systému provozovatele, resp. výstupní neutralizační či mikrobiologické čistírny odpadních vod. Např. zahuštěné produkty lze lépe a účinněji chemicky zpracovat, demineralizované odpadní vody lze částečně recyklovat jako technologickou vodu pro rozpouštění a oplachy, složené vody s obsahem organických látek lze oddělit od minerální báze a oddělené proudy účinněji upravit před vypuštěním do dalších zpracovatelských uzlů, apod.

Vedle nesporných výhod bezodpadových technologií vznikají některá rizika, která mohou negativním způsobem ovlivnit účinnost a kapacitu dané technologie. Např. recyklací může dojít k postupnému nárůstu některých minoritních nebo stopových složek, které se pak mohou srážet do podoby kalů či šlemů a negativně ovlivňovat kapacitu zařízení. Stejně tak mohou překročit limitní hranice pro umístění produktu do recipientu (např. do povrchové vody).

Z obecného hlediska lze jednoznačně považovat bezodpadové technologie a tedy i technologie s aplikací membránových procesů za perspektivní jak z hlediska ochrany životního prostředí, tak i postupné ekonomizace některých průmyslových odvětví. Je však nutné přistupovat k různým projektům a úkolům diferencovaně a často i akceptovat alespoň částečné a dílčí řešení, nemající plný charakter bezodpadové technologie. Tato koncepce významně zasahuje do celosvětové snahy o ochranu životního prostředí a efektivního využívání surovinových zdrojů.

4.3 Charakteristika oborů, ve kterých se využívají membránové procesy v jejich technologickém uspořádání

Membránové procesy nacházejí uplatnění v široké oblasti použití. Aplikační obory lze rozdělit do několika základních skupin:

- požadavky na malou kapacitu membránového zařízení
 - soukromí uživatelé,
 - instituce nevýrobního charakteru,
 - provozy výrobního charakteru s požadavkem na vysokou kvalitu produktu,
- požadavky na větší kapacitu membránového zařízení
 - uživatelé průmyslového charakteru,
 - příprava vody technologického charakteru
 - pro nástřik do technologie,
 - zpracování meziprojektu,
 - zpracování odpadního produktu (vody, roztoku, apod.).

Aplikační technologie jsou koncipovány podle současných technicko technologických standardů. To znamená, že zařízení je vyráběno v podobě malých kompaktních jednotek, které lze spojovat pro požadavky větších kapacit. Jednotky jsou plně autonomní a plně automatické s minimálními požadavky na obsluhu. Většinou nabízí i komfort dálkové obsluhy a kvalitních archivů procesních parametrů. Díky své konstrukční jednoduchosti nabízí i rychlý a nekomplikovaný servis (např. výměnou celých membránových modulů).

Soukromí uživatelé

Řada zdrojů pitné vody nevykazuje potřebnou kvalitu, zejména v některých rekreačních objektech, starých domech, na vesnicích, samotách, apod. Jedná se konkrétně o zápach, nerozpuštěné látky, vyšší obsah Fe a dusičnanů, celkově vyšší mineralizaci, apod. Proto je nezbytné nekvalitní vodu upravovat. Obvykle je používána kombinace klasických fyzikálně chemických postupů, ale periodicky se vyskytují případy, kde je nutné aplikovat náročnější technologii. Zde se často uplatňují malé jednotky reverzní osmózy, případně v kombinaci s nanofiltrací s kapacitou cca 20 – 30 l/den. V této oblasti jsou velmi úspěšnými dodavateli např. společnosti Culligan s.r.o. a WATEK s.r.o.

Instituce nevýrobního charakteru

V rámci nevýrobní sféry je často nutné nejen zajišťovat kvalitní pitnou vodu, ale i vodu vyšší kvality z pohledu obsahu minerálního zatížení. První skupina spíše patří do již zmíněné skupiny malých odběratelů. Do druhé skupiny patří instituce vyžadující vodu vyšší kvality pro technologické účely, jako je např. napájení klimatizačních systémů (s kapacitou 1x10 l/h). Základem těchto úpraven jsou jednotky reverzní osmózy, kombinované s dalšími klasickými, nebo membránovými procesy. Aktivní jsou v této skupině opět např. společnosti Culligan s.r.o. a WATEK s.r.o. Ukázky některých jednotek jsou na obrázcích 4 a 5.



Obrázek 4: Kompaktní RO-Culligan s.r.o.



Obrázek 5: DEMIWA-zařízení s RO-WATEK s.r.o.

Malé kapacity – vysoká kvalita produktu

Výraznou aplikační skupinou membránových procesů jsou provozy s požadavkem na sice malou kapacitu, ale vysokou kvalitu. Jedná se konkrétně o medicínské instituce, laboratoře, farmaceutický a elektrotechnický průmysl a speciální výroby, jako je např. výroba kosmetických přípravků či zásobníků pro inkoustové tiskárny, apod. V této oblasti se používají membránové jednotky již s vyšší kapacitou, a to v poměrně velkém rozpětí, od 1x100 až 1x 1000 l/h. Majoritním procesem této aplikační skupiny je opět reverzní osmóza, doplňovaná dalšími procesy podle požadavku dané technologie, jako je např. elektrodeionizace, ultrafiltrace, filtrace, iontová výměna, apod. V této skupině lze nalézt provozní projekty

společností Culligan s.r.o., WATEK s.r.o., ASIO s.r.o., EUROWATER, CHEMCOMEX a.s., apod. Ukázky některých jednotek jsou na obrázku 6.



Obrázek 6: Reverzní osmóza pro hemodialýzu – Culligan s.r.o.

4.3.1 Surová voda jako nástřik technologie

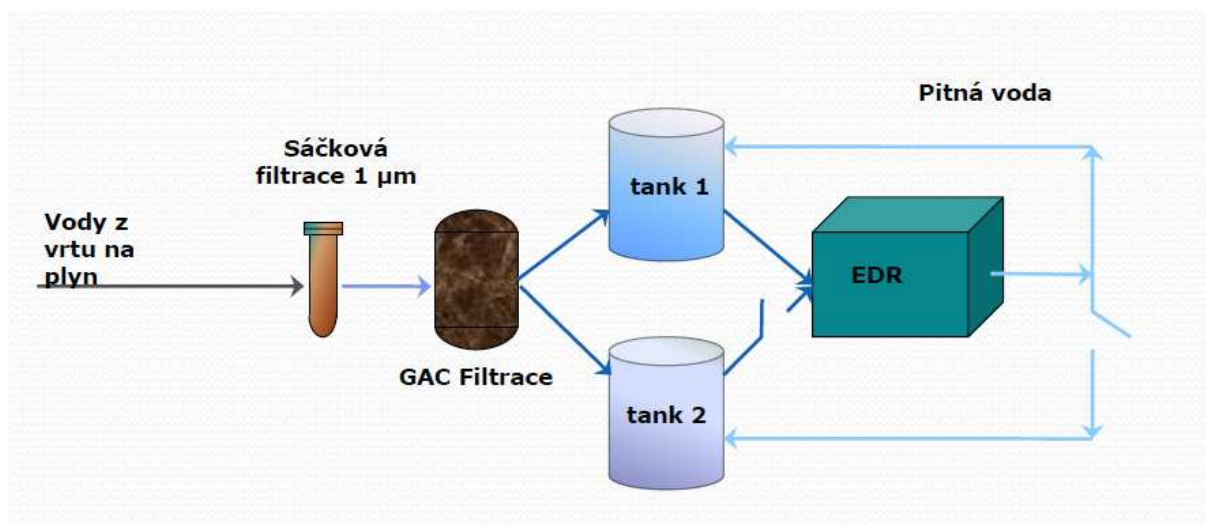
Většina průmyslových výroby v dnešní době má jednoznačně specifikované požadavky na kvalitu technologické vody. Zdrojem může být podzemní voda, voda povrchová, pitná voda, voda recyklovaná, apod. Z přehledu je zřejmé, že se jedná o poměrně velký sortiment, charakteristický velkými rozdíly ve složení. A to nejen z pohledu koncentrace, ale i sortimentu obsažených iontů. Znamená to, že je nezbytné při designu technologie přistupovat ke každému zdroji individuálně a dílčí procesy koncipovat tak, aby výsledná hybridní technologie splnila požadavky uživatelského provozu. Již v této chvíli každý provozovatel uvažuje nejen o zajištění potřebného zdroje technologické vody, ale i o provozně přijatelných nákladech a minimalizaci sekundárních odpadů. A právě z výše uvedených důvodů jsou kombinované technologie s využitím membránových procesů tak výhodné a jednoznačně perspektivní.

Tato aplikační skupina je velmi široká. Je charakteristická širokým sortimentem specifických technologií a instalovaných kapacit (od 1x100 až 1x 10 000 l/h). Kombinované technologie klasických fyzikálně chemických a membránových procesů lze nalézt ve farmaceutickém průmyslu, při přípravě chladicí vody, v potravinářském průmyslu (výroba alkoholických a nealkoholických nápojů, výroba čokoládových produktů), v chemickém, elektrotechnickém a sklářském průmyslu, apod. Ze skupiny klasických postupů se objevuje dechlorace, iontová výměna, písková filtrace, adsorpce, dezinfekce, apod. Membránové procesy jsou zastoupeny reverzní osmózou, elektrodeionizací a elektrodialýzou. V této skupině lze nalézt provozní projekty společností Culligan s.r.o., WATEK s.r.o., ASIO, spol. s.r.o., EUROWATER, MEGA a.s., VWS Memsep s.r.o., apod. Ukázky technologických linek jsou na obrázcích 7 a 8.



Obrázek 7: DEMI jednotka RO - WATEK s.r.o. Obrázek 8: Jednotka RO - VWS Memsep s.r.o.

Zajímavou aplikací pro přípravu užitkové, resp. pitné vody je membránová jednotka na úpravu vody z vrtu na plyn. Společnost MEGA a.s. dodávala tuto technologii s využitím elektrodialýzy pro zákazníka v Kanadě. Jednotka s kapacitou 40 m³/den zajišťovala demineralizaci nástřiku s obsahem TDS 10 000 - 18 000 mg/l na úroveň 500 mg/l. Získaný produkt je používán pro napájení venkovních chovů. Schematické znázornění technologie je na obrázku 9.



Obrázek 9: Schema a fotografie membránové technologie firmy MEGA a.s. pro úpravu technologické vody z vrtu na plyn.

4.3.2 Zpracování meziproduktů

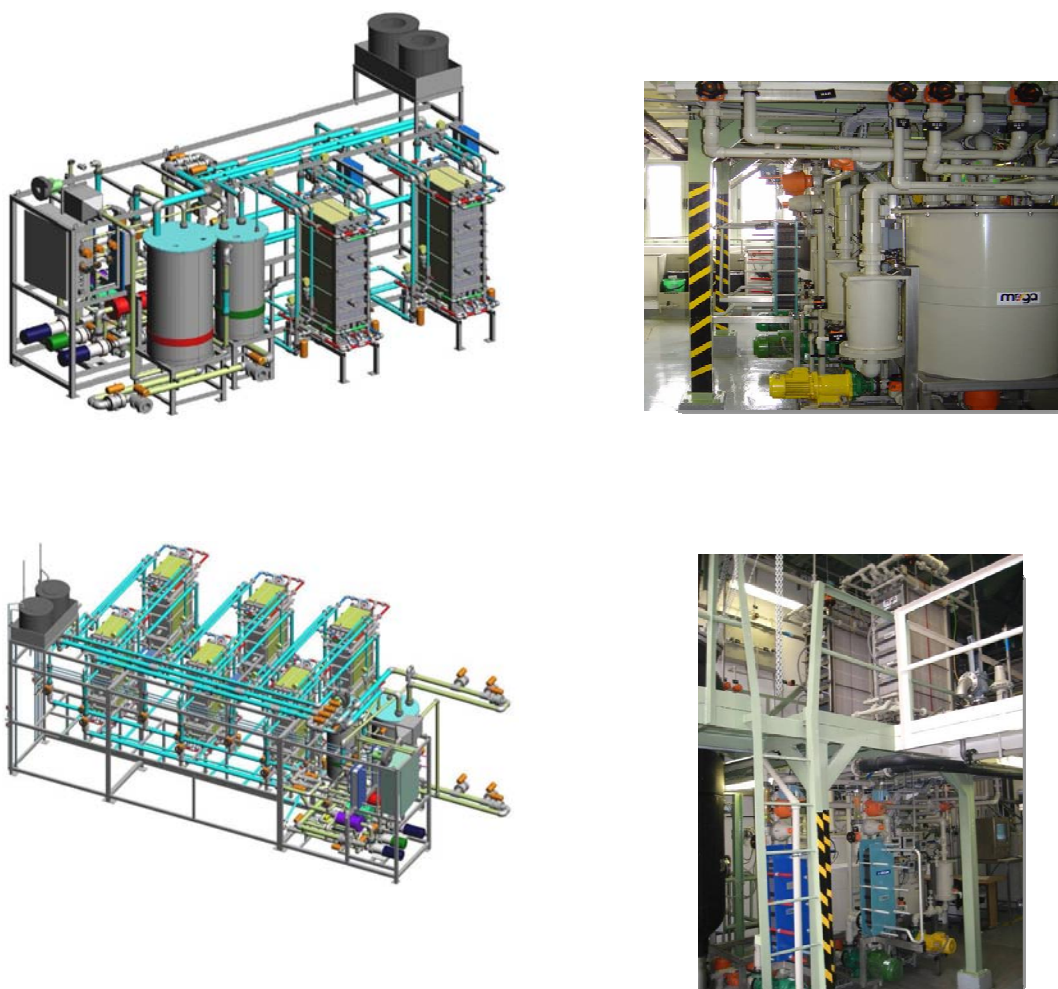
Membránové procesy nemusí technologický proces pouze začínat (nátokové surové vody) a končit (zpracování odpadních vod). Velmi často se membránové procesy v kombinaci s dalšími technologiemi používají jako standardní technologicko-výrobní operace. Ve většině případů pro čištění meziproduktů, frakcionaci, zahuštění, apod. Příkladem může být např. aplikace elektrodialýzy pro separaci minerálních složek z organických systémů (farmaceutický a potravinářský průmysl), nanofiltrace a reverzní osmóza (potravinářský průmysl), apod. Stejně jako předchozí, i tato skupina se vyznačuje širokým sortimentem specifických technologií a instalovaných kapacit (od 1x100 až 1x10 000 l/h). Provozní projekty mají např. společnosti EUROWATER a MEGA a.s. Ukázky technologických linek jsou na obrázku 10.



Obrázek 10: Jednotky ED - farmaceutický a potravinářský průmysl - MEGA a.s.

Elektrodialýza při čištění organických roztoků

Konkrétním příkladem uvedeného oboru aplikace je technologie elektrodialýzy společnosti MEGA a.s. aplikovaná na čištění organických roztoků ve farmaceutickém průmyslu. Nástríkem je směs organických látek, nežádoucích minerálních příměsí (sole, kyseliny nebo zásady - NaCl, NaOH) a organické příměsí (sekundární produkty výroby a suroviny - ethanol, 4-hydroxykrotonová kyselina, apod.). Produkt elektrodialýzy může být diluát, nebo koncentrát podle iontové mobility hlavního produktu. Realizovány byly projekty pro společnosti LONZA Biotec a ALIACHEM (SYNTHESIA) v České republice a v Číně na zpracování butyrobetainu (15 t/den), carnithinu (3 t/den), thymidinu (10 t/den) a dihydroxyacetonu. Technologická linka obsahuje od jednoho do čtyř paralelně zapojených membránových modulů. Vertikální uspořádání hydraulického systému je výhodné nejen z důvodu zastavěné plochy, ale i procesu čištění v místě realizace (CIP). Typickým systémem těchto technologií je přetržitý – šaržový proces. Ukázky technologických uspořádání jsou na obrázku 11.



Obrázek 11: Fotografie membránové technologie firmy MEGA a.s. pro zpracování meziproduktů farmaceutického průmyslu v České republice

Elektrodialýza při demineralizaci syrovátky

Nezastupitelnou úlohu hraje použití membránových procesů při zpracování mléčné syrovátky. Kombinací reverzní osmózy, nanofiltrace, ultrafiltrace a elektrodialýzy je možné zajistit čištění a frakcionaci této suroviny na produkty, mající velký význam v řadě odvětví, zejména v potravinářském a farmaceutickém průmyslu. V tomto segmentu nabízí své služby řada světových membránových firem, jako je NOVASEP, Ionics-GE Water, Eurodia, ale také česká firma MEGA a.s. Ta nabízí v segmentu zpracování syrovátky technologii elektrodialýzy.

Elektrodialýzou lze demineralizovat syrovátku sladkou, kyselou i kaseinovou. Stejně tak i speciální druhy, jako je syrovátka slaná. Stupeň demineralizace, v rozmezí 50 – 90 %, je závislý na kvalitativních požadavcích na produkt a jeho následné použití. Nízká úroveň demineralizace je postačující pro aplikaci při výrobě pečiva, masa, zmrzliny, čokolády, apod., vyšší zase při aplikaci jako náhrada mateřského mléka. Řada firem používá pro střední úroveň demineralizace systémy jednorůchodového zapojení membránových modulů. Pro nejvyšší účinnost demineralizace více jak 90 % se používá šaržovitý způsob provozu membránové jednotky. Ukázky technologických linek jsou na obrázku 12.



Obrázek 12: Fotografie jednotek elektrodialýzy na demineralizaci syrovátky společnosti MEGA a.s. v Rusku a v České republice

Pozitiva aplikace membránového procesu jsou částečně snižována jevy, provázejícími obecné použití membrán. Vzhledem ke kombinovanému účinku iontovýmenné membrány jako iontovýmenné přepážky, částečně i jako filtračního a sorpčního materiálu, dochází na jejím povrchu k záchytu a kumulaci nerozpuštěných látek. Ty je nutné periodickou regenerací za použití slabých hydroxidů a kyseliny odstranit.

Řada průmyslových projektů demineralizace syrovátky byla pozastavena z důvodu nevyjasněné logistiky koncentráту membránového procesu. Při poměru 0,8 – 1,0 t koncentráту na tunu zpracované suroviny je způsob nakládání s koncentrátem zásadní pro konečnou realizaci technologického záměru. Mineralizovaný roztok s obsahem menšího množství organických látek je velmi obtížné výhodně a komerčně zpracovat. Většinou je vypouštěn do systému odpadních vod provozovatele. Existují technologie, které jsou schopny kombinací několika stupňů membránových procesů (nanofiltrace, reverzní osmóza a elektrodialýzy) zajistit téměř bezodpadovou technologii, ale investiční a provozní cena je komerčně neúnosná.

Čištění odpadních vod

Této aplikační oblasti membránových procesů bude věnována samostatná kapitola. Ve většině případů se jedná o technologie umístěné na výstupu odpadních proudů z místa jejich vzniku. Často jsou však využita až po kumulaci odpadních vod z různých zdrojů. V současné době je maximální snaha tyto technologie podřídit přísným požadavkům legislativy ochrany životního prostředí a vedle minimalizace zátěže recipientu co nejvíce upravených produktů vracet zpět do technologie vzniku odpadní vody.

4.3.3 Membránové procesy ve zpracování odpadních produktů včetně komunálních odpadních vod

V současné době je jednoznačnou podmínkou úspěšného provozu libovolné technologie (výrobního i nevýrobního charakteru) plné zajištění nakládání s odpadními produkty, resp. vodami, v limitech daných národní a evropskou legislativou. V konečném důsledku to znamená, že v případě nezajištění limitního zpracování odpadních vod není výrobní technologie či zařízení realizováno, případně dojde k jejímu zastavení.

Membránové procesy téměř v žádném provozním projektu nepracují samostatně. Vždy se jedná o technologii kombinovanou, schopnou zajistit zpracování médií s tak širokým zastoupením polutantů jako jsou odpadní vody a roztoky a zajistit tak požadovanou limitní kvalitu výstupů. Charakter technologie bývá podřízen typu a složení zpracovávaného média. V případě průmyslových odpadních vod mohou být nasazeny čistící kapacity založené pouze na kombinaci fyzikálně chemických postupů s membránovými procesy, nebo v kombinaci s technologií mikrobiologického čištění. U splaškových a komunálních vod, obecně vod s vysokým obsahem BSK₅, technologie mikrobiologického zpracování tvoří majoritní část kombinované technologie. Obě varianty se využívají především u odpadních vod směsného charakteru, tedy s širokým sortimentem polutantů. Obecně je však doporučováno odpadní vody zpracovávat před smícháním, což umožňuje zaměřit čistící kapacitu na vybrané složky a zvýšit na jedné straně účinnost čištění, na druhé straně snížit investiční a provozní náklady. Je obecně známo, že čištění směsných vod je náročné a často díky interakcím obsažených složek pouze s omezenou účinností a s vysokými náklady.

Aplikační oblast membránových procesů při zpracování odpadních vod lze rozdělit následujícím způsobem:

- vody multikomponentního charakteru s obsahem minerálních složek bez organického zatížení
 - vody z odkališť a kalových jímek,
 - podzemní kontaminované vody,
 - směsné vody průmyslového charakteru (vody z povrchové úpravy kovů),
- vody se sníženým obsahem minerálních složek a s nízkou hodnotou BSK₅
 - vody z koupališť a veřejných vodních ploch (tzv. „grey water“),
 - průmyslové odpadní vody s omezeným sortimentem složek,
- vody s majoritním obsahem BSK₅
 - splaškové a komunální vody.

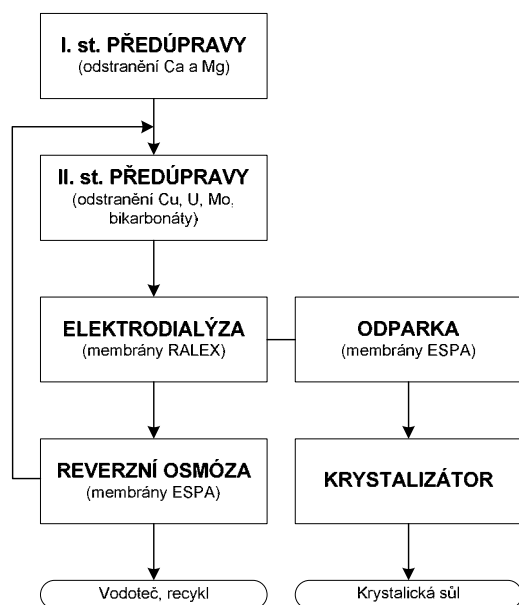
4.3.3.1 Odpadní vody multikomponentního charakteru

Do této skupiny odpadních vod lze zařadit odpadní vody z odkališť, které jsou charakteristické nejen širokým sortimentem obsažených polutantů, ale i velkými rozdíly v koncentracích, podzemní vody kontaminované některými polutanty jako jsou organická rozpouštědla, nebo těžké kovy a také i směsné odpadní vody z povrchových úprav vody. Základem technologie musí být vždy specifický a diferencovaný postup, podřízený nejen potřebě dosažení produktů umístitelných do recipientu (nebo recyklovatelného), ale i minimalizaci vznikajících odpadů. Právě proto zde mají membránové procesy nezastupitelnou roli. Většinou se zase jedná o tzv. hybridní procesy, kombinující různé procesy klasické, ale i různé postupy membránové. Příkladem může být aplikace elektrodialýzy při zpracování odkalištní vody hydrometalurgických provozů, konkrétně výroby uranu a hliníku.

Zpracování odkalištní vody uranového závodu

Pro řadu chemických výroby i jiných průmyslových odvětví je zajímavé využití elektrodialýzy z hlediska schopnosti zahustit roztoky elektrolytů bez nutnosti fázových přeměn. Konvenčním postupem zahušťování roztoků je (vakuová) odparka, jejíž provozní náklady jsou často neúnosně vysoké (spotřeba elektrické energie ~12 až 325 kWh.m⁻³ odpařené vody). Zatímco provozní náklady odparky se odvíjejí od množství odpařené vody, provozní náklady elektrodialýzy souvisí s množstvím elektrolytu převedeného iontovýměnnými membránami. Zahuštěním roztoků elektrodialýzou lze podstatně snížit objem roztoku vstupujícího do vakuové odparky a tím snížit energetickou náročnost celého procesu. Protože je častým požadavkem současná produkce zředěného diluátu, který lze opětovně využít jako procesní vodu, jeví se elektrodialýza, popř. elektrodialýza kombinovaná s reverzní osmózou, jako velmi výhodná alternativa/doplňek konvenčních postupů, zvláště při zpracování relativně zředěných roztoků.

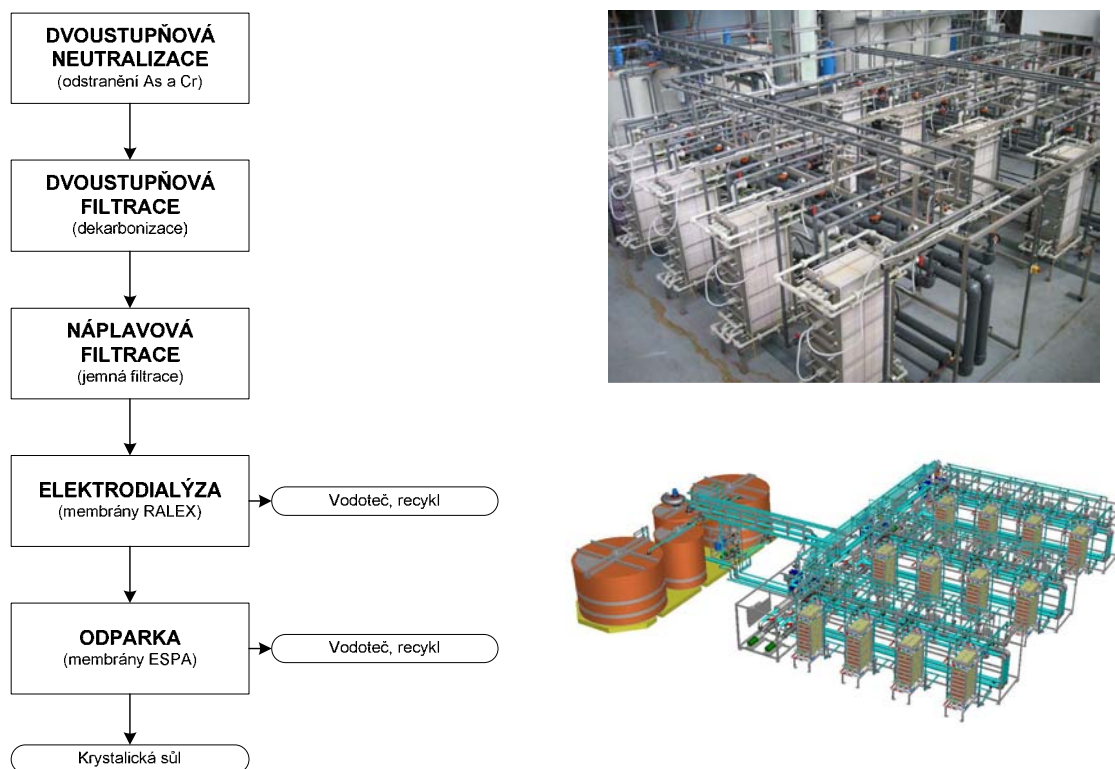
Příkladem této skupiny a prezentovaného procesu demineralizace je technologické řešení síranové a objemové nadbilance odpadních vod z těžby uranu v DIAMO s.p., odštěpný závod GEAM Dolní Rožínka, Česká republika. Jedná se o bezodpadovou integrovanou technologii konvenční odpařovací stanice (s roční kapacitou 210 000 m³ čistých vod a cca 8 000 t Na₂SO₄) a membránových procesů elektrodialýzy a reverzní osmózy, zprovozněnou firmou MEGA a.s. a DIAMO s.p. od r. 2007. Pro ochranu potrubí před tvorbou inkrustů a pro ochranu membrán proti jejich otravě těžkými kovy (Mo, U, Cu), tvorbě úsad apod. je celý systém doplněn o úpravu a předúpravu vstupního roztoku. Zpracováváný roztok lze charakterizovat jako multikomponentní odpadní roztok s TDS cca 35 g/l. Jediným výstupem z této technologie je na jedné straně permeát z reverzní osmózy, který je při částečném zpětném využití nebo po úpravě vypouštěn do vodoteče a na straně druhé krystalický síran sodný, který je používán ve výrobě pracích prášků. Schematické znázornění technologie je na obrázku 13.



Obrázek 13: Blokové schéma a fotografie bezodpadové integrované technologie firmy MEGA a.s. pro zpracování kalištních síranových vod z těžby uranu v České republice

Zpracování odkalištní vody provozu výroby hliníku

Analogickou technologií je zpracování odpadní vody ze skládky červeného kalu v závodě ZSNP ve Žiaru nad Hronom, SR. Cílem projektu bylo komplexní řešení rekultivace skládky červeného kalu, jejíž součástí bylo i čištění alkalických vod z odkaliště. Bylo realizováno zařízení na úpravu těchto vod v kapacitě 15 m³/h. Na základě studie efektivity byla vybrána kombinovaná technologie, jejímž základem je elektrodialýza a odpařování. Aplikovaná technologie se skládá ze čtyř základních bloků. Předúprava skládkové vody spočívající ve dvoustupňové neutralizaci, předúprava sedimentačního slivu před elektrodialýzou, vlastní elektrodialýza a výroba krystalického produktu z koncentrátu elektrodialýzy na odpařovací stanici. Jedná se tedy opět o bezodpadovou technologii, spojující ekologický efekt rekultivace s minimalizací zátěže recipientu a částečnou ekonomizací sanace odbytem vedeného krystalického zbytku. Schematické znázornění technologie je na obrázku 14.



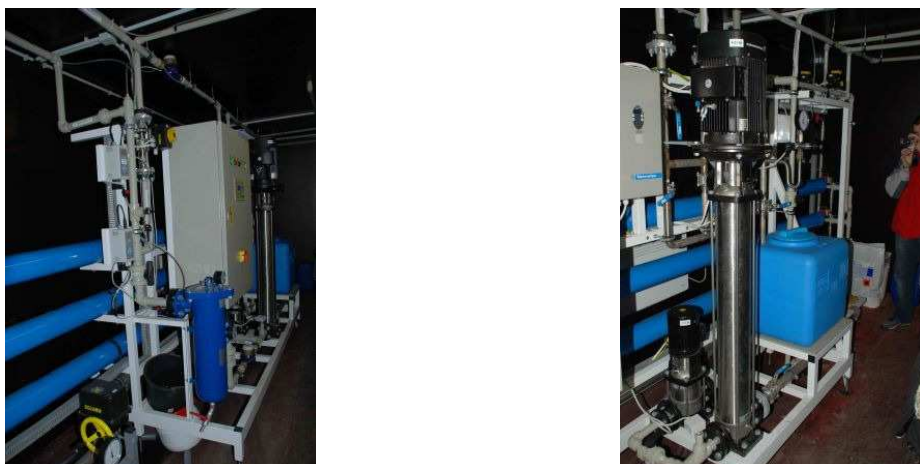
Obrázek 14: Blokové schéma a fotografie bezodpadové integrované technologie firmy MEGA a.s. pro zpracování kalištních síranových vod z výroby hliníku ve Slovenské republice

Zpracování odpadní vody ze skládky

Cílem zpracování průsakových skládkových vod je zabránit dalšímu znečišťování životního prostředí, především podzemním a povrchovým vod se zřetelem na zachování kvality zdrojů pitné vody. Aplikované technologie jsou většinou založeny na použití klasických fyzikálně chemických postupů, případně postupů mikrobiologického čištění, což může být komplikováno často specifickým složením průsakových vod.

Ve skládkových vodách ze skládek průmyslového odpadu většinou převažuje anorganická část složek nad organickou. Proto je velmi obtížné aplikovat standardní metody biologického čištění, a to ani při rozšíření standardní sestavy o speciální postupy, jako je oxidace, sorpce, apod. Variantou zpracování podobných odpadních vod je použití nebiologických postupů, zahrnujících i postupy membránové. S výhodou zde lze aplikovat mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci i reverzní osmózu. Tyto postupy aplikuje dnes řada firem, v ČR jsou to např. společnost VWS Memsep s.r.o. a BONTE intes-EU s.r.o.

Příkladem aplikace membránového procesu při čištění odpadních podzemních vod je projekt VWS Memsep s.r.o. na úpravu kontaminované podzemní vody pod skládkou nebezpečných odpadů s využitím reverzní osmózy. Technologie je znázorněna na obrázku 15.



Obrázek 15: Ukázka technologického zařízení firmy VWS Memsep s.r.o.

Negativní stránkou použití membránových procesů, a tedy i reverzní osmózy, je fakt, že vedle upraveného produktu, permeátu, vzniká i koncentrovaný podíl, koncentrát. V řadě projektů je jeho zpracování realizováno zpětnou infiltrací do tělesa skládky. Je zjevné, že tento způsob při postupném zakoncentrování má omezenou dobu životnosti a musí se řešit sekundární zpracovatelská technologie vznikajících koncentrátů.

Zpracování odpadní vody petrochemického průmyslu

Řada průmyslových objektů trpí nedostatkem technologické vody. Proto je maximální snaha odpadní vody recyklovat zpět do výroby. Analogickým projektem se zabývala společnost MEGA a.s. pro společnost ARAK PETROCHEMICAL CORPORATION instalovala jednotku elektrodialýzy v Iránu na zpracování odpadních vod po mikrobiologickém a fyzikálním předčištění. Kapacita 210 m³/h je zajišťována sestavou velkokapacitních modulů, zapojených v jednorůchodovém systému. Nástřiková vodivost 1800 μS/cm je snižována při „water recovery“ 85 % na 200 - 250 μS/cm. Ukázky technologické linky jsou na obrázku 16.



Obrázek 16: Fotografie technologie firmy MEGA a.s. pro zpracování odpadní vody petrochemického průmyslu

Odpadní vody se sníženou solností a s nízkou hodnotou BSK₅

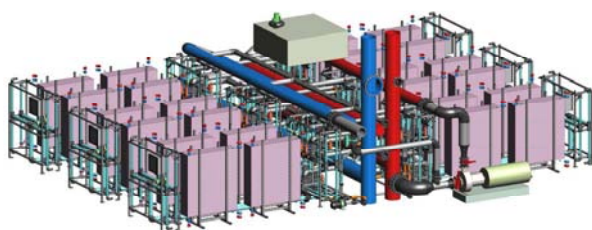
Pro odsolování vod s celkovou vstupní koncentrací rozpuštěných látek (TDS) do max. 8 000 mg/dm³, kterým nejčastěji odpovídají některé odpadní komunální vody z čistírny odpadních vod (ČOV), brakické nebo i vody říční se prosadila jednorůchodová elektrodialýza s reverzací polarity (EDR). Je určena pro 40 až 90 %-ní odsolení vstupní vody. Technologii EDR samostatně nebo v kombinaci s elektrodeionizací, popř. s ostatními membránovými procesy lze použít pro tyto procesy:

- příprava pitné vody z brakické vody,
- odstraňování dusičnanů z pitné vody,
- příprava užitkové vody z komunální odpadní vody z ČOV (terciální čištění) nebo říční vody,
- příprava kotelní vody (integrace EDR+EDI),
- příprava vody pro chladicí věže a okruhy (integrace EDR+EDI).

Předúprava před vlastním procesem elektrodialýzy se neobejde bez pískové filtrace a použití pojistných, např. svíčkových filtrů. Ve zcela ojedinělých případech je nutné do vstupní vody dávkovat kyselinu nebo látky potlačující srážení a usazování špatně rozpustných solí, tzv. antiscalanty, popř. je třeba zajistit její dechloraci. V návrhu technologie je obvykle počítáno se stupněm odsolení v rozmezí 40 až 60 % (nejčastěji 50 %) v jednom hydraulickém a elektrickém stupni, pohybuje-li se koncentrace rozpuštěných látek ve vstupní vodě do daného stupně do cca 2 000 až 3 000 mg/dm³. Při vyšší solnosti vstupní vody stupeň odsolení klesá. Požadavek na vyšší stupeň odsolení lze však splnit zařazením dalších hydraulických a elektrických stupňů, což je ekvivalentní zvětšení efektivní délky membrány. Linka s elektrodialyzéry EDR může v současnosti obsahovat až 3 hydraulické a elektrické stupně. Běžný požadavek na 75 %-ní redukci TDS je většinou dosahován již ve dvou hydraulických a elektrických stupních technologie EDR.

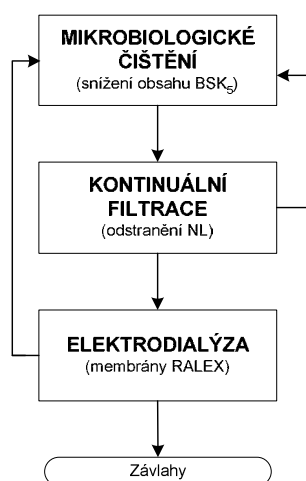
Provozní náklady EDR jsou závislé na množství elektrolytu odstraněného ze zpracovávaného roztoku v diluátových komorách. V případě 75 %-ní demineralizace vstupní vody s TDS 2 000 mg/dm³ a o teplotě 25°C ve 2-stupňové lince s jednorůchodovými elektrodialyzéry EDR při zisku vody 85 % se celková energetická náročnost procesu pohybuje v rozmezí 0,8 až 1,0 kWh.m⁻³ vyprodukovaného diluátu (TDS 500 mg dm⁻³). Při úplné demineralizaci vstupní vody s max. TDS (8 000 mg/dm³) může energetická náročnost procesu činit kolem 4 kWh/m³. Naopak pro vstupy s nižší solností energetická náročnost procesu klesá. Z důvodu použití čerpadel pro vstupní vodu a pro recirkulaci koncentráту však pravděpodobně nikdy neklesne pod 0,3 až 0,4 kWh/m³. V oblasti přípravy pitné a užitkové vody se elektrodialýza stává konkurenceschopnou reverzní osmóze z hlediska provozních nákladů, jestliže je TDS vstupní vody nižší než cca 2 000 až 3 000 mg/dm³. Oproti RO má EDR navíc řadu dalších výhod. Jedná se zejména o nižší nároky na předúpravu, vyšší životnost membrán (7 až 10 let) a zejména vyšší zisk vody.

Provoz elektrodialýzy obvykle nevyžaduje dávkování chemikálií. Ve vyjimečných případech je do koncentrátového okruhu dávkována kyselina nebo antiscalanty jako prevence srážení CaCO₃. Hlavní spotřeba chemikálií tak připadá na periodické čištění systému roztoky zředěných kyselin (HCl, H₂SO₄ nebo HNO₃) a hydroxidů (NaOH), které se provádí jednou za cca 4 až 8 týdnů v místě provozu, tzv. systémem cleaning-in place (CIP). Pro tyto účely se vytvářejí celky sdružující více technologických linek s velkokapacitními elektrodialyzéry EDR, obsahujícími až 600 membránových párů. Popsaná technologie je znázorněna na obrázku 17. Největších komerčních úspěchů v této oblasti dosáhly firmy Ionics (nyní GE Inc.) a MEGA a.s.



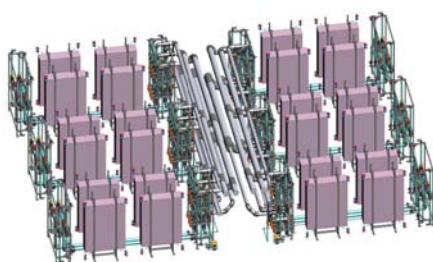
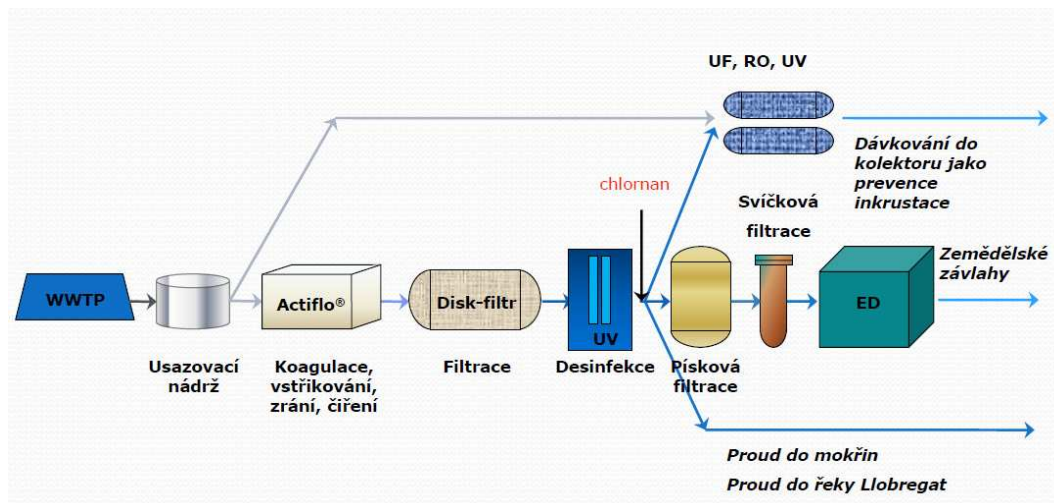
Obrázek 17: Technologie EDR firmy MEGA a.s. pro zpracování zasolených říčních vod v oblasti Depurbaix (Španělsko)

Do skupiny aplikace membránových procesů patří příprava užitkové vody z komunální čistírny odpadní vody (terciální čištění). Příkladem je instalace tří technologií MEGA a.s. s kapacitou od 1 500 do 3 000 m³/den zpracované vody (tzv. „grey water“) na Kanárských ostrovech. Elektrodialýza zpracovává médium předupravené v mikrobiologické stanici. Výstup ze stanice je před elektrodialýzou filtrován na speciálních vícevrstvých kontinuálních pískových filtrech. Diluát je používán k zavlažování banánových plantáží, koncentrát se vrací zpět do technologie čistící stanice. Schematické znázornění technologie je na obrázku 18.



Obrázek 18: Blokové schéma a fotografie technologie firmy MEGA a.s. pro zpracování odpadní vody určené pro závlahy na Kanárských ostrovech

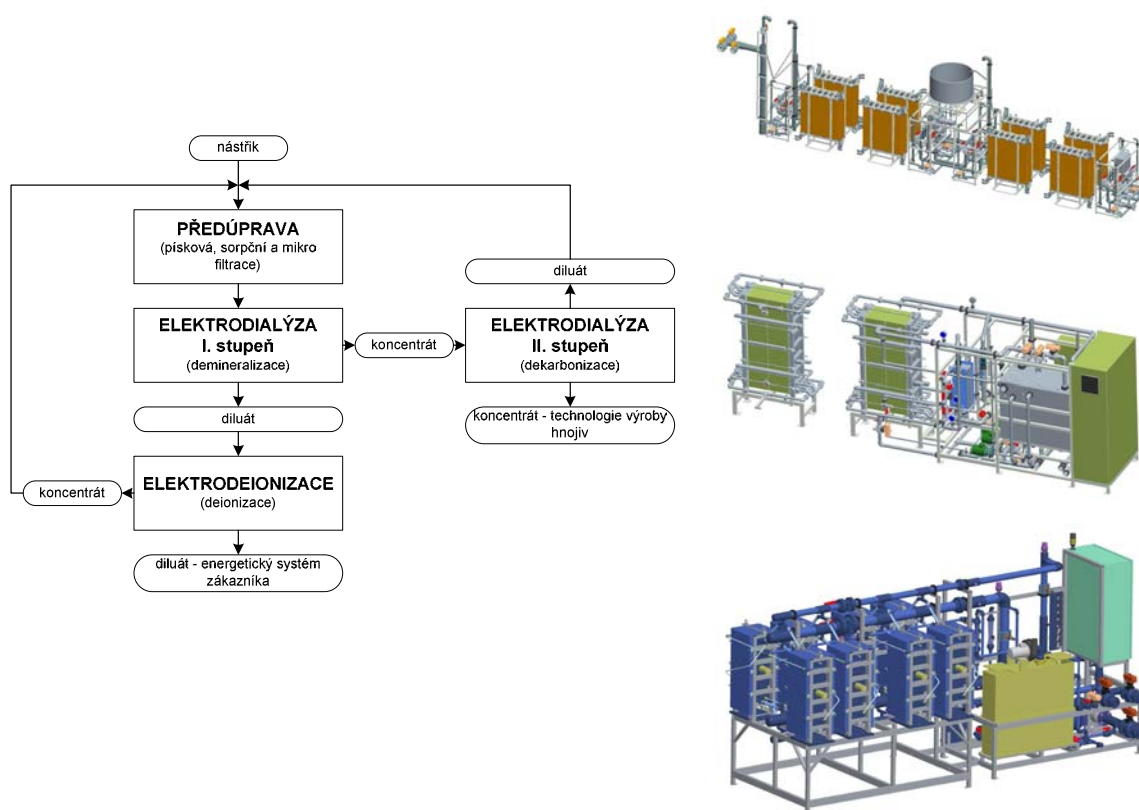
Podobný projekt realizovala společnost MEGA a.s. ve Španělsku. V rámci technologie zajištění užitkové vody pro město Barcelona byla instalována stanice elektrodialýzy na demineralizaci odpadních vod po mikrobiologickém a fyzikálním předčištění. Kapacita 4 x 500 m³/h je zajišťována sestavou 99 velkokapacitních modulů, zapojených v jednorůchodovém systému. Nástržková vodivost 3 200 μS/cm je snižována při návratnosti 86 % vody na 750 μS/cm. Schematické znázornění technologie je na obrázku 19.



Obrázek 19: Schéma a fotografie technologie firmy MEGA a.s. pro demineralizaci vody určené pro užitkové účely

Velmi zajímavou aplikací hybridního membránového procesu při zpracování odpadní vody s nízkou mineralizací a obsahem omezeného počtu složek je odpadní voda z výroby dusičnanu amonného (NH₄NO₃), kde vznikají tzv. brýdové páry, které po kondenzaci obsahují řádově jednotky g/l NH₄NO₃. Tento kondenzát nelze v technologii výroby ekonomicky využít a je nutné jej likvidovat na provozně nákladných ionexových kolonách. Proces, který by umožňoval zpracovat tento roztok, by musel být schopen produkovat na jedné straně diluát se zbytkovým obsahem soli řádově v mg/l, který lze recyklovat jako technologickou vodu, a zároveň koncentrát o solnosti 100-200 g/l, který lze opětovně využít k výrobě NH₄NO₃. Zmíněným procesem, který za určitých podmínek umožňuje splnění obou požadavků, je právě elektrodialýza. Současně produkce velmi zředěného diluátu a velmi koncentrovaného

koncentrátu však nelze v elektrodialýze dosáhnout jednoduše. Příčinou jsou ztrátové elektrické proudy, zpětná difúze a hydraulické přetoky mezi diluátem a koncentrátem. Proto je daleko výhodnější aplikace integrované technologie na bázi ED-C+ED+EDI. Tato technologie je provozně uplatňována společností MEGA a.s. na ruském trhu. 3D modely dílčích membránových jednotek jsou pro technologickou kapacitu 60 m³/h znázorněny na obrázku 20.



Obrázek 20: Blokové schéma a fotografie bezodpadové integrované technologie firmy MEGA a.s. pro zpracování odpadních vod provozu výroby hnojiv v Ruské federaci

Odpadní vody s majoritním obsahem BSK₅

Do této skupiny odpadních vod lze zařadit vody splaškového charakteru, tedy i vody komunálního sektoru. Ve srovnání s předchozí charakteristikou (grey water) se jedná o vody s výrazně vyšším obsahem BSK₅. Pro zpracování tohoto typu vody se používají klasické technologie mikrobiologického čištění. Z důvodů zvýšení její účinnosti, snížení provozních nákladů a případně snížení zastavěné plochy se do klasického schématu implementují různé inovační prvky, mezi které patří i membránové procesy. V tomto segmentu s využitím membrán nabízejí své produkty firmy ASIO, spol. s r.o., Abess s.r.o., HUBER CZ s.r.o., SBH WATER s.r.o., aj.

Jedním ze základních důvodů pro inovační snahy v této oblasti je postupně se zpřísnující legislativa pro umístění upravené vody do recipientu. U centralizovaných systémů (přes centrální ČOV) je starost za dodržení limitů převáděna na jiný subjekt, ale to v konečném důsledku při technologických změnách znamená zvýšení stočného. U decentralizovaných systémů je možné úzce podřídit technologii lokální ČOV kvalitě surové odpadní vody i

požadavkům na umístění do recipientu. Znamená to však velké investice a také hrozí riziko obtížně udržitelného provozu tak velkého množství lokálních stanic bez negativního dopadu do životního prostředí (otázka kontroly, operativnosti při haváriích, apod.). Je jasné, že nejvhodnější bude určitý kompromis a akceptace specifického přístupu k lokálním potřebám při použití obou systémů.

V tomto rozhodovacím systému hrají velkou úlohu i membránové procesy, jako inovační a intenzifikační opatření v rámci stávajících technologií, nebo jako technologie nové.

Konvenční systémy pracují v principu ve třech základních krocích. Prvním je primární usazování pro odstranění usazeného znečištění, za vzniku tzv. primárního kalu. Ve druhém kroku probíhá biodegradace za použití mikroorganismů v prostředí kyslíku (aerace) za vzniku aktivovaného kalu. Posledním krokem je usazování a návrat aktivovaného kalu zpět do technologie (biodegradace) za současného odvádění kalu přebytečného. Tento systém díky vlivu různých faktorů vykazuje rizika zejména v oblasti usazování. To se promítá nejen do kvality výstupní vody, ale zpětně i do čistící technologie. Rizika se dají eliminovat vytvořením dostatečného prostoru na dosazování, ale to zvyšuje nároky na prostor, kapacitu a v konečném důsledku na investiční a provozní náklady. Nebo použitím intenzifikační technologie, zahrnující i membránové procesy.

U centrálních systémů, kde se počítá s intenzivnějším zpříšňováním legislativy, nacházejí membránové systémy čím dál tím větší uplatnění. Schopnost dosažení kvality vody pro recyklaci dává řadu možných variant řešení. Existují pilotní projekty, kde určité sídlištní lokality mají již dva rozvody vody, pitné a užitkové. Ještě větší variabilitu vykazují systémy decentralizovaného zpracování komunálních odpadních vod, což umožňuje optimalizovat čistící kapacitu nejen po stránce kapacitní, ale i kvality výstupu a požadavkům recyklace ovlivněné úzce lokálními podmínkami instalace. Zde je však proces aplikace membránových procesů výrazně pomalejší.

Aplikace membrán v tomto oborovém segmentu přináší řadu výhod:

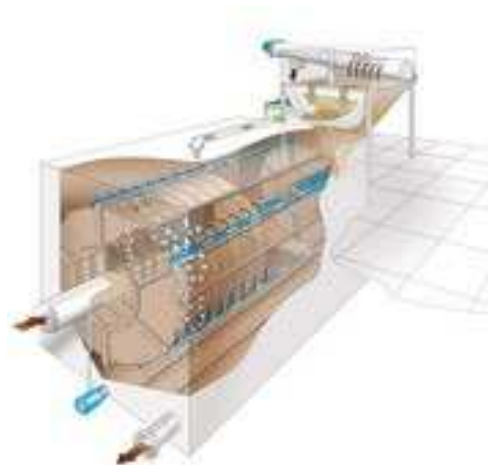
- nasazení v oblastech s nízkou intenzitou povrchových vod, nebo se zvýšenou citlivostí vůči polutantům ve vodním hospodářství,
- využití pro balené čistírny, intenzifikace stávajících technologií, apod., tedy tam, kde je požadavek na malou zastavěnou plochu,
- implementace do stávajících technologií ve formě intenzifikace s přímým dopadem na zvýšení kvality výstupu i kapacity čistící jednotky,
- dochází ke snížení množství kalu, který pak nevyžaduje zvýšenou akumulaci,
- kvalita produkované čisté vody nemá přímou závislost na vlastnostech kalu,
- upravenou vodu je možné umístit do suchoteče, nebo ji využít ve formě užitkové vody pro závlahy, oplachy, apod.,
- dochází ke snížení zápachu a zvýšení hygienické kvality jak technologie, tak i produktů.

Membrány jsou používány v podobě tzv. membránových reaktorů – MBR. Kombinují proces ultrafiltrace a proces aktivovaného kalu. Tím odpadá potřeba sedimentačních nádob a terciárního čištění, protože se směs rozdělí na pevnou fázi a vysoce čistou odpadní vodu. Póry membrány mívají velikost cca 0,04 mikronu, což umožňuje odstranění pevných částic anorganických živin (fosfor, dusík) a také patogenních organismů, včetně *Giardia* a *Cryptosporidium*. Vlastní membrány jsou sestavovány do modulů a následně do různých sestav podle potřeb dané realizace. Ty jsou pak ponořeny do aktivačních nádrží. Sekundární aplikací membrán mohou být další intenzifikační stupně s cílem zvýšit kvalitu upravené vody. To znamená např. reverzní osmóza, elektrodeionizace, apod.

Provozně aplikované technologie lze tedy dělit do skupin, charakteristických především požadovanou kapacitou, konkrétně podle počtu pokrytých ekvivalentních obyvatel (EO), resp. podle způsobu sběru odpadní vody (centralizované, decentralizované). Velké aglomerace sbírají spádovými kanalizacemi vody do centrálních čistíren. V případě menších sídlišť s řídkým osídlením tato možnost z řady důvodů není často akceptovatelná. Proto jsou vyvíjeny systémy umožňující pro podobné potřeby instalovat technologii, jejímž výstupem je voda s vysokou kvalitou, umožňující její užitkovou aplikaci, např. pro závlahy, výtoky do suchoteče, apod. Tento decentralizovaný způsob zpracování odpadních vod je založen na použití malých kompaktních stacionárních, nebo mobilních jednotek.

Aplikace MBR reaktorů

Příkladem použití malé zpracovatelské kapacity (150 – 500 EO) s použitím membrán je systém BioMem[®] společnosti HUBER CS s.r.o. Komplexní zařízení pro decentralizované čištění odpadních vod se skládá z mechanického předčištění, biologické části (aktivační reaktor) a ze speciální filtrační sekce s jednotkou HUBER VRM[®]. Základem filtrační části jsou ponořené ultrafiltrační membrány s cílem separovat všechny pevné částice, bakterie a zárodky větší než 38 nm. Dosažená kvalita vody umožňuje její další použití. Stavebnicový charakter jednotky zajišťuje variabilitu při řešení lokalit s různým počtem ekvivalentních obyvatel. Jednotka je znázorněna na obrázku 21.



Obrázek 21: 3D model a fotografie kompaktní jednotky firmy HUBER CS s.r.o. - BioMem[®]

Pro potřeby vyšších kapacit (výše jak 1 500 EO) a vody s vysokým zatížením (až 10 g/l BSK₅) je možné využít systém biologického zpracování komunálních splaškových vod intenzifikovaný membránovými postupy Mitsubischi RAYON Sterapore nabízený společností SBH WATER s.r.o.

Základem uvedeného systému jsou membránové moduly využívající dutá vlákna. Dílčí vlákna jsou spojována do svazků a následně do membránových modulů, ponořených do aeračních nádrží čistící stanice. Moduly jsou vybaveny tak, že umožňují nepřetržité čištění membrány a přívod kyslíku pro proces biodegradace. Výhodou tohoto systému je především vysoká čistota vody na výstupu. Současně však možnost použití pro výrazně vyšší koncentrace kalu, než je obvyklé (až 5x). Další výhodou je malá zastavěná plocha, malá spotřeba energie (0,35 kW/m²) a dlouhá procesní životnost.

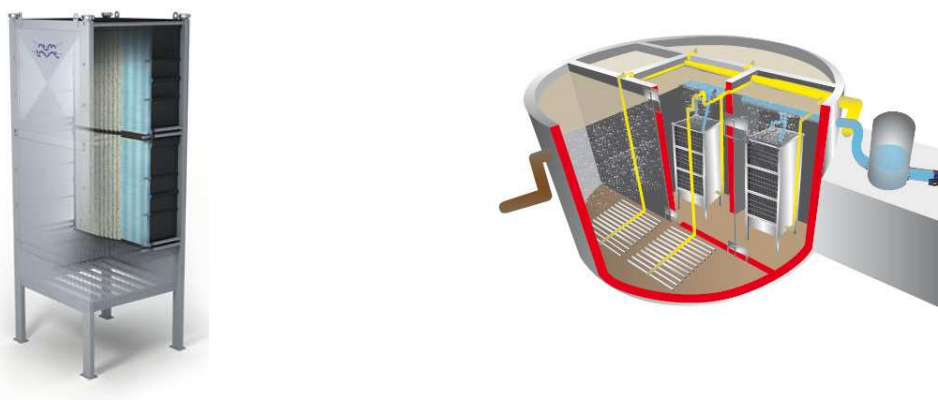
Voda na výstupu z čistící jednotky obsahuje 0,5 – 1,0 mg/l nerozpuštěných látek, což analogicky zajišťuje i nízké hodnoty $CHSK_{Cr}$ a BSK_5 . Systém je znázorněn na obrázku 22.



Obrázek 22: Systém MBR Mitsubischi RAYON Sterapore nabízený společností SBH WATER s.r.o.

Obecně jsou v současné době používána dutá vlákna („hollow fibre“), nebo ploché archy („flat sheet“). Dutá vlákna umožňují zpětné proplachování a vykazují vysoký filtrační objem na čtvereční metr instalované plochy. Ploché membrány zase umožňují provoz při relativně nízkých hodnotách transmembránového tlaku a výrazně snižují zanášení membrán. Průchod upravované vody membránou pouhou gravitací nevyžaduje instalaci čerpacích zařízení.

Jak již bylo uvedeno, alternativou dutých vláken je aplikace dutých deskových membrán. Společností Alfa Laval ČR s.r.o. nabízí pro technologie MBR při čištění splaškových komunálních odpadních vod kombinaci těchto dvou typů membrány v podobě tzv. duté deskové membrány. Moduly jsou znázorněny na obrázku 23.



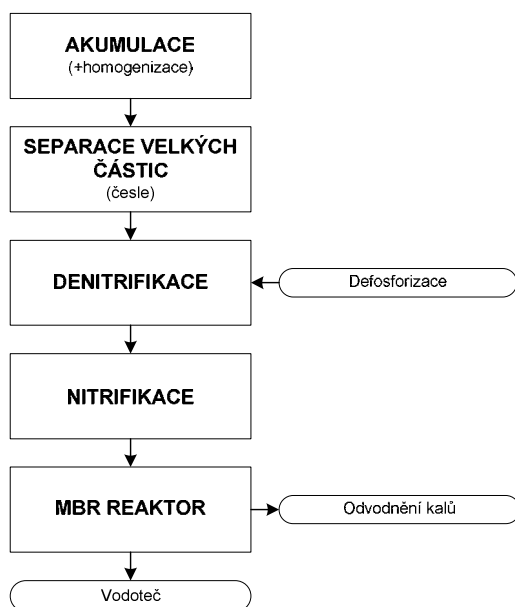
Obrázek 23: Membránový filtrační modul a reaktor s membránovými moduly nabízený společností Alfa Laval ČR s.r.o.

Uvedený systém umožňuje velkou technologickou variabilitu a výrazně zvyšuje účinnost čištění zajišťující kvalitu výstupní vody pro další využití. Jedna s prezentovaných provozních aplikací zajišťuje souběžné využití vody pro závlahy golfového hřiště a vypouštění do

povrchového toku s vysokou intenzitou sportovních aktivit. Současně s tím tato technologie umožňuje snížení provozních nákladů (klasický MBR reaktor 0,8 – 1,2 kWh/m³, prezentovaný systém méně jak 0,8 kWh/m³ zpracovaného objemu), snížení kalového zanášení membrán, nízký zastavěný prostor proti instalované membránové ploše a dlouhodobou stabilitu membrán z důvodu použití chemicky odolných materiálů (polyvinylidenfluorid). Velmi zajímavá je skutečnost, že díky své konstrukci umožňuje tento typ membrány práci při nízkých pracovních tlacích, což v konečném důsledku znamená omezené ulpívání nerozpuštěných látek na povrchu a tedy stabilitu kapacity technologie a prodloužení životnosti membrán.

Dalším příkladem čistící jednotky s vyšší kapacitou a za použití membrán je projekt společnosti ASIO, spol. s r.o. pro zpracování splaškových odpadních vod bytového souboru v lokalitě hlavního města Prahy s kapacitou cca 1900 EO. Jedná se opět o systém MBR – membránových bioreaktorů, umožňujících určitou variabilitu při aplikaci membránových modulů. V tomto projektu je použito několik modulů s deskovými membránami s ultrafiltrační charakteristikou. Moduly mohou být umístěny přímo v aktivačních nádržích, případně separátně. Technologie je zobrazena na obrázku 24.

Splaškové vody jsou na vstupu do čistící stanice akumulovány a hrubé nečistoty zachyceny na česlích. Biologická část stanice se skládá z aktivačních nádrží (denitrifikace, nitrifikace) a nádrží s membránovými filtry. Vyčištěná voda odtéká do recipientu, do povrchového toku.



Obrázek 24: Blokové schéma a fotografie technologie aplikace MBR reaktoru firmy ASIO s.r.o. v České republice

Aplikace MBR je velmi perspektivní. Ve světě se již používá, a má za sebou úspěšné projekty pro zpracování odpadních vod pro lokality s počtem obyvatel až 1x 10 000. V České republice je tato technologie aplikována pozvolněji, v současné době pro projekty v rozsahu 1x 10 až 1x 100 EO. Samozřejmě není aplikace membránových procesů omezena pouze na systémy a použití MBR reaktorů. Obecně je lze velmi výhodně kombinovat s dalšími membránovými procesy. Konkrétně tam, kde je požadavek na speciální uplatnění výstupu z čističky. Vhodnou

kombinací reverzní osmózy, ultrafiltrace, nanofiltrace, aj. je možné zvýšit účinek využitelnosti produktu. Např. lze dosáhnout kvality vody umožňující napájení kotelních okruhů. Nebo vedle vody získat jiné suroviny, jako jsou hnojiva (bioplynné stanice), farmaceutické složky, apod.

Obecně lze tedy aplikaci membránových procesů v segmentu zpracování splaškových odpadních vod považovat za jednoznačně inovativní a progresivní, s přímým dopadem do úsilí o ochranu životního prostředí a šetření cenných surovin a snižování provozních a energetických nákladů. Důležitá je skutečnost, že vysoká variabilita umožňuje přesné zaměření na specifické požadavky dané aplikace za současného dosažení vysoké technologické účinnosti.

4.3.4 Publicita zvolených řešení a jejich zařazení do optimalizovaných postupů

Na tomto místě je nutno konstatovat, že právě v této oblasti leží hlavní těžiště budoucí činnosti platformy a jejích členů v rámci jejich společných i jednotlivých aktivit včetně budování navrhovaných specializovaných Center. Základní úlohou je propojit vztahy mezi výzkumem a akademickou sférou s průmyslem na bázi konkrétních projektů výzkumu a realizačních činností, což má umožnit nejprve budované technické zázemí transferového centra MIC II, které MemBrain s.r.o. hodlá realizovat projektem č. 5.1 PP01/030 v rámci OPPI-program PROSPERITA - výzva I v blízkosti výzkumného centra MIC-MemBrain. Prioritou je plánované rozvíjení následující strategie. Jako první a nezbytný krok je realizace profesionálních marketingových činností. Tento proces by měl obecně kontrolovat směřování inovací k potřebám trhu, srovnat úroveň stavu se zahraničím a přispívat ve spolupráci s CZEMP k implementaci „Strategické výzkumné agendy“ a „Implementačního akčního plánu“. Dalším nezbytným krokem je snaha o propojení vědecké sféry a sféry průmyslové. Preferována je tvorba odborných skupin složených průřezově přes všechny sféry. Zde je také třeba zmínit roli platformy a realizovanou partnerskou spolupráci CZEMP a HYTEP v ČR, nebo členství v EMH a EMS (EU), které se primárně zaměřují na tyto aktivity. Dle našich zkušeností je nezbytné již v určité fázi realizace výzkumu navázat aktivní spolupráci s potenciálními průmyslovými partnery, začlenit je do řešitelského konsorcia a směřovat výstup aplikačního výzkumu k jednoznačným potřebám koncového uživatele. Konceptně rovněž preferujeme strategii budování jakýchsi klastrů průmyslových partnerů, kde jim chceme nabídnout komplexní nabídku odborných služeb v rámci zázemí transferového centra. Nemalou pozornost věnujeme také zachování diskrétnosti v oblasti ochrany duševního vlastnictví u všech našich smluvních partnerů a uživatelů výsledků, ovšem s maximální snahou rychlé implementace výsledků do realizace.

4.4 Membránové procesy v enviromentální ekonomice

4.4.1 Vodní zdroje a příprava vody odlišné čistoty pro technické i komunální použití

Samostatnou a v nadcházejícím 21. století velice důležitou problematiku trvale udržitelného rozvoje lidského společenství tvoří systém vodního hospodářství. To lze principiálně rozdělit na oblast vstupních vod, vody pitné a užitkové, vody technologické až velmi čisté a nakonec vody odpadní. Jednotlivé oblasti lze dále dělit do několika kategorií dle zdrojů vod, kvalitativních požadavků, technologického místa aplikace a složení a charakteru vod odpadních. Pokud se zaměříme na technologie přípravy nebo zpracování vod, převažují již v současnosti postupy využívající membránové procesy.

O konkrétním typu membránové technologie nebo rozsahu požadavků na předúpravu rozhoduje zejména charakter vstupní-zdrojové vody. Ta může být říční, studniční nebo lze využít vody odpadní, kterou lze vhodnou kombinací membránových technologií přepracovat na vodu znovu použitelnou s využitím některých cenných složek původních odpadních vod.

Aplikační potenciál membránových technologií v aplikační oblasti „voda“ lze kromě oblasti zpracování odpadních roztoků s možností zpětného využití mnohdy cenných komponent rozšířit na oblast výroby kvalitní demineralizované vody. Použití kvalitní demineralizované vody pro řadu průmyslových výrob se dnes stalo v moderních provozech nezbytným požadavkem. Důvod je zřejmý hned z několika příčin. Moderní výrobní technologie jsou většinou velmi citlivé na řadu nečistot, které nepříznivě ovlivňují životnost zařízení a kvalitu produktů. Rovněž řada optimalizačních kroků u oplachovacích systémů, ve snaze maximálně snížit spotřebu vody (ekonomické oplachy, způsob oplachování atd.), klade důraz na kvalitu vstupní oplachové vody, aby nedocházelo ke zbytečné kontaminaci funkčních lázní popř. k celkovému zhoršení kvality oplachu. Proto bez kvalitní demineralizované vody už si dnes nelze představit např. pokovování drahými kovy, kataforézní lakování nebo povrchové úpravy, kde se kladou vysoké požadavky na konečný vzhled pokovovaného výrobku. V minulosti byly hlavním zdrojem demineralizované vody jednak destilační zařízení s vysokými energetickými nároky, později pak ionexové technologie s nutnou regenerací ionexových pryskyřic, při kterých vzniká nemalé množství silně zasolených odpadních vod. S rozvojem a rozšiřováním membránových procesů našla dnes v této oblasti uplatnění zejména reverzní osmóza a v menší míře, zatím výhradně v USA, proces elektrodeionizace. Nejmodernější technologie přípravy ultračisté vody se vyvíjejí na bázi kombinace procesu reverzní osmózy (RO) a elektrodeionizace (EDI) nebo elektrodialýzy s reverzací (EDR) a EDI. Velmi čistá voda s rezistivitou nad 5 M Ω .cm nachází upotřebení v řadě průmyslových odvětví, především však v energetice jako voda chladicí, popř. do turbín. Každé z těchto aplikačních odvětví má specifické požadavky na kvalitu vody, jako je rezistivita, která je mírou čistoty vody z hlediska obsahu silných elektrolytů, obsah zbytkového SiO₂, bakteriální nezávadnost atd. Donedávna byla jediným ekonomicky schůdným způsobem přípravy velmi čisté vody s uvedenými vlastnostmi iontová výměna na chemicky regenerovaných kolonách vyplněných ionexy. Nevýhodou ionexů je jejich postupné vyčerpávání během procesu. Jakmile dojde k průniku nežádoucích iontů, je nutné proces úpravy vody přerušit a ionexy zregenerovat. S tím je spojena nutnost manipulace s agresivními chemikáliemi – kyselinami a louhy, neutralizace jejich přebytků a následné likvidace značně zasolených odpadních vod. V posledních letech jsme svědky trendu snižování závislosti na klasických iontovýmenných systémech. Příčinou je nejen snaha o ekonomické úspory s ohledem na značnou spotřebu kyselin a louhů, ale také zpřísnování norem a předpisů v oblasti bezpečnosti práce a ekologie.

Aplikační potenciál membránových procesů s možností jejich vzájemných kombinací spadá i do oblasti odpadních vod z energetiky. Na celý způsob zpracování odpadních vod v energetickém průmyslu se až do nedávné doby většinou pohlíželo jako na proces neutralizace (i dnes jsou čistírny odpadních vod běžně nazývány neutralizačními čistírnami). V důsledku toho byly také navrhovány reaktory se zaměřením pouze na co nejrychlejší a nejúčinnější odstranění škodlivin z odpadních vod a jejich likvidaci. V první fázi úpravy po přidávku zvoleného neutralizačního činidla dochází vlivem změny pH ke vzniku hydratovaných oxidů a hydroxidů těžkých kovů ve formě kalu, který je dále odstraněn běžnými separačními metodami (sedimentace, filtrace, flotace) a následně většinou ukládán na uložistiště odpadů. Je tedy zcela patrné, že tento způsob zpracování odpadních vod řeší pouze likvidaci těchto složek, neumožňuje však zpětné využívání tohoto potenciálního zdroje vod nebo v některých případech cenných surovin.

Proto je nyní pozornost zaměřena spíše na rekuperaci složek z oplachových vod s možností jejich dalšího využití. Zde je další výzkum i nové aplikace směřovány do hybridních membránových procesů, což znamená kombinaci tlakových membránových procesů a elektromembránových procesů, někdy doplněných fermentační technologií. Pro účely přípravy doplňovací vody pro parní kotle zpracovává většina elektráren v ČR na ionexech přímo surovou vodu předupravenou filtraceí a čiřením. To má značný dopad na spotřebu regeneračních chemikálií (kyselin a louhů), přestože současný stav v oblasti ionexových technologií umožňuje dosahovat nízkých nadbytků regeneračních dávek, které dosahují už jen 30-50% nad stechiometricky nutné množství. Vzhledem ke kvalitě upravované vody jsou odpadní vody z demi-stanic značně zatíženy solemi, což má negativní vliv na životní prostředí. Snaha o snížení spotřeby regeneračních chemikálií a tím úsporu provozních nákladů je proto hlavním důvodem pro hledání alternativních technologií. Hlavním zdrojem odpadních vod v energetice jsou však odluky z chladících okruhů. Vzhledem k technologii elektráren obsahují tyto odpadní vody cca trojnásobnou koncentraci rozpuštěných látek oproti vstupní surové vodě. Vypouštění těchto odpadních vod zpět do řeky zejména při nedostatečném průtoku korytem řeky se projeví zvýšením solnosti vody v řece. Vyšší teplota odpadních vod pak může přispívat k rozvoji nežádoucí biologické činnosti některých mikroorganismů. Aktuálnost řešení problematiky odpadních vod v energetice vyplývá např. ze současné situace v JE Dukovany, kde v souvislosti s předpokládaným rozšířením o pátý blok dojde v budoucnu k výraznému zvýšení odběru chladící vody z vodní nádrže Mohelno. Nedostatečný průtok korytem řeky Jihlavy přitom dosud představoval zásadní technický problém pro rozšíření elektrárny. V souvislosti s tím je vedena diskuze o možnosti zpracování odluhů z terciárního chladícího okruhu, dosud vypouštěných zpět do nádrže Mohelno, pomocí membránových separačních procesů s cílem dosáhnout maximálního zpětného využití této vody pro účely chlazení. Důsledkem bude snížení spotřeby surové vody a minimalizace kapalných odpadů elektrárny.

Pozornost je nyní zaměřena také na rekuperaci složek z odpadních nebo oplachových vod s možností jejich dalšího využití. Myšlenka zpětného rozdělení znečištěné oplachové vody na elektrolyt, který se vrátí do funkční elektrolytické vany a na čistou vodu, znovu použitelnou pro oplachování, je velice atraktivní. Stala se základem řady máloodpadových technologií až po materiálově uzavřené okruhy technologických procesů, které neprodukují žádný odpad. Dále je třeba poznamenat, že není vždy nutné a účelné použít všechny rekuperované složky přímo v prvovýrobě, ale velmi často se jejich využití najde také v jiné technologii, čímž se celý proces stává levný a efektivní. Realizace plně materiálově uzavřených okruhů je však vždy technicky komplikovanější a většinou investičně a provozně nákladnější než popisované neutralizační postupy, proto jejich realizace i v průmyslově vyspělých státech zatím stále není samozřejmostí. K dělení znečištěné oplachové vody, případně dalších odpadů (nefunkční vypotřebované lázně, úkapů, lázně stržené do odsávání a oddělené ze vzdušiny na odlučovači apod.) se používá pestrá paleta fyzikálních a fyzikálně-chemických procesů. V poměrně nedávné době se k těmto metodám zařadila také velká skupina membránových procesů zahrnující jak elektromembránové, tak tlakové membránové technologie.

Mezi již zmíněné hlavní přednosti membránových procesů ve srovnání s klasickými postupy patří vysoká účinnost separace látek, obvykle při teplotě okolí, bez použití přídavných chemikálií, takže druhotně nezasolují odpadní vody. K tomu dále přistupuje snadná kontinualizace, automatizace a prostorová nenáročnost. Navíc tyto procesy vykazují výrazně nižší spotřebu energie oproti klasickým „tepelným“ postupům, protože při nich nedochází k fázovým změnám (s vyloučením procesu vypařování přes membránu-membránová destilace) a umožňují dokonalejší využití surovin s možností zpracování druhotných surovin a

realizaci máloodpadových technologií i případně materiálově uzavřených bezodpadových okruhů.

Nejsou však univerzální a v některých případech vyžadují odstranění tzv. membránových jedů předúpravou roztoků, dále jsou citlivé na vytváření povlaků špatně rozpustných látek na povrchu membrán a na jevy tzv. koncentrační polarizace. I když tyto skutečnosti do určité míry zhoršují ekonomickou stránku jejich využití, jedná se o vysoce ekologické a z hlediska ochrany přírody vysoce atraktivní postupy.

4.4.2 Separace plynů a ochrana ovzduší

Membránové procesy průmyslově postupně pronikly i do separace plynů a par. Obecně, lze pro separaci plyných směsí využít celou řadu technologických postupů, mezi něž je možno zařadit speciální membránové technologie. Jedná se o nové a dynamicky se rozvíjející procesy, jejichž největší předností je výrazná energetická úspornost v porovnání s klasickými termálně řízenými procesy (absorpce, adsorpce, kryogenní metody). Plyné směsi se dělí membránami především tehdy, když má být produkt obohacen o jednu nebo více složek a není požadována velká čistota produktu. Té se dosáhne následným zkapalněním nebo rektifikací složek při nízkých teplotách. Výhoda dělení membránami spočívá v tom, že se dá provést při teplotách blízkých atmosférické teplotě.

V průmyslu jsou dnes aplikovány membránové technologie hlavně v následujících případech:

- separace CO₂ a CH₄ z bioplynu a zemního plynu;
- získávání H₂ při syntéze amoniaku, methanolu, hydrogenaci olefinů;
- odstraňování H₂S z přírodních plynů;
- čištění vzduchu - separace N₂ a O₂ (potravinářské a medicínální využití);
- sušení plynů – odstraňování vody;
- výroba helia ze zemního plynu atd.

V posledních letech jsou stále více předmětem zájmu technologie vhodné pro separaci plyných směsí obsahujících methan, některé lehké uhlovodíky, oxid uhličitý a dusík. Jedná se hlavně o zemní plyn a bioplyn, resp. skládkový plyn, který je využíván jako obnovitelné palivo pro výrobu elektřiny a tepla v tzv. kogeneračních jednotkách. Pro další zpracování tohoto plynu v chemických technologiích nebo pro energetické účely je třeba oddělit uhlovodíky od CO₂ a N₂, přičemž odstraňování CO₂ je velmi důležitým průmyslovým a ekologickým problémem.

Problematika separace je blíže charakterizována uvedením charakteristiky zpracovávaných plynů.

Zemní plyn

Zemní plyn je vysoce výhřevný přírodní plyn složený z plyných uhlovodíků a nehořlavých složek (N₂ a CO₂), jehož charakteristickým znakem je vysoký obsah CH₄. Těží se ze země nebo z mořského dna a podle místa těžby se liší i jeho složení. Podle místa výskytu lze zemní plyn dělit na tzv. naftový (vyskytuje se v ropných ložiscích) a zemní plyn tzv. karbonský (vyskytuje se v ložiscích uhelných). Průměrné složení zemního plynu je pro ilustraci uvedeno v tabulce 2.

	CH ₄	vyšší uhlovodíky (ethan, propan, butan)	inerty (CO ₂ , N ₂)
ČR naftový (%)	97,7	1,7	0,6
ČR karbonský (%)	92,5	2,2	6,3
Rusko (%)	98,4	0,8	0,8
Norsko (%)	93	4,9	2,1

Tabulka 2: Příklady složení zemního plynu

Před samotným využitím plynu tzn. jeho distribucí do rozvodného systému je jej třeba řádně upravit (sušit, zbavovat mechanických nečistot, nežádoucích příměsí apod.). Energie získaná ze zemního plynu se hojně využívá např. k výrobě elektrické energie, k topení či pohonu motorových vozidel.

Bioplyn, skládkový plyn

Bioplyn, jehož hlavními složkami jsou CH₄ a CO₂ vzniká anaerobním rozkladem organických látek obsažených v odpadních materiálech jako např. v odpadní biomase, zbytcích z potravinářského průmyslu, odpadních kalech, exkrementech hospodářských zvířat, průmyslovém odpadu atd. Vedle dvou majoritních složek obsahuje bioplyn i složky minoritní jako jsou H₂O, H₂S, NH₃, H₂, N₂, které je nutné při zpracování plynů odstranit. Poměrné zastoupení všech složek bioplynu závisí nejen na složení výchozího substrátu, ale také na způsobu výroby.

	bioplyn	skládkový plyn
CH ₄ (obj.%)	60-70	35-65
Uhlovodíky (obj.%)	0	0
H ₂ (obj.%)	0	0-3
CO ₂ (obj.%)	30-40	15-50
N ₂ (obj.%)	~0,2	5-40
H ₂ S (ppm)	0-4000	0-100
NH ₃ (ppm)	~100	~5

Skládkový plyn vzniká obdobným způsobem jako bioplyn a vykazuje i velmi podobné složení. Od bioplynu se může lišit zejména obsahem nežádoucích příměsí jako např. halogenových sloučenin, organických sloučenin křemíku (ve formě siloxanů) atd. V tabulce 3 je pro ilustraci a porovnání uvedeno průměrné složení bioplynu a skládkového plynu.

Tabulka 3: Průměrné složení bioplynu a skládkového plynu

Příklady využití bioplynu:

- přímé spalování a ohřev, tj. spotřeba pro energetické účely v místě vzniku na výrobu tepla a elektrické energie převážně v kogeneračních jednotkách, případně výroba chladu (trigenerace),
- úprava na plyn srovnatelný kvalitou a čistotou se zemním plynem, na tzv. biomethan, který lze obdobně využít jako zemní plyn transportovaný z ruských nebo norských

nalezišť. Hlavní předností biomethanu je možnost jeho dodávání do stávající plynovodní sítě a následná distribuce až k místům jeho lepšího využití. Rovněž jej lze využít jako motorové palivo (v ČR zatím není příliš rozšířeno).

V současnosti je v České republice téměř veškerý vyprodukovaný bioplyn využíván pro energetické účely v kogeneračních jednotkách pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Tento způsob využití bioplynu v místě produkce nevyžaduje odstraňování CO₂ a dalších nežádoucích složek a je výrazně podporován dotačními programy či povinným výkupem elektrické energie. Přitom úprava bioplynu na biomethan ať už pro účely vtlačení do plynárenské sítě nebo pro pohon motorových vozidel je mnohem efektivnější způsob využití bioplynu, při kterém se získá skladovatelný produkt, než je výroba tepla a elektřiny v kogeneračních jednotkách. Tento způsob využití je zvláště vhodný tam, kde není plně využito odpadního tepla. Veškeré snahy upravovat bioplyn na kvalitu zemního plynu dosud narážejí na nedostatečnou legislativu a mizivou podporu ze strany státu. Využití bioplynu v dopravě závisí ve značné míře na rozvoji zemního plynu v dopravě, především na vybudování sítě čerpacích stanic pro CNG a výrobu a prodej vozidel na CNG.

V oblasti separace par je již průmyslově známý proces pervaporace. Bohužel na českém trhu není dosud realizována žádná průmyslová reference.

4.4.3 Membránové procesy v technologiích biopaliv druhé generace

S prvními úvahami o nutnosti postupné náhrady fosilních zdrojů energie se vytvořil program výroby a využití biopaliv. Biopaliva první generace jsou předurčena k přímé spotřebě na výrobu energie ať už spalováním nebo jednoduchým zušlechtěním na alkoholy, „zelenou“ naftu a jejich směrované využití, především v dopravě. Využívané technologie zpracování biologických surovin však v mnohém nerespektují moderní trendy zavádění efektivních výrobních postupů. Pro biopaliva druhé generace jsou proto vyvíjeny principy výroby zušlechtěných vstupních materiálů přibližujících se svými vlastnostmi v současné době používaným produktům ze zpracování fosilních zdrojů. Jsou to především modifikace chemických a biochemických technologií, v kterých nacházejí membránové procesy řadu uplatnění.

S ohledem na rostoucí význam využití obnovitelných zdrojů energie roste tudíž poptávka po zhodnocení bioplynu. V současné době je bioplyn po jednoduché předúpravě buď spalován v kotlích nebo využíván v kogenerátorech za současné produkce tepla a elektrické energie. Ekonomicky výhodnější je však provést složkovou separaci bioplynu s cílem získat čisté produkty jako např. methan nebo CO₂. Většímu zájmu o tuto separaci v současnosti brání vyšší pořizovací náklady na výstavbu separační linky a dále relativně nízké výkupní ceny těchto plynů, zvláště pak methanu. S rostoucí cenou energií lze ale očekávat, že porostou i výkupní ceny methanu a tím začne být i vyšší zájem po zhodnocení bioplynu. V České republice je v současnosti několik desítek bioplynových stanic, přičemž jejich počet se každým rokem výrazně zvyšuje. V současnosti není známa ani jedna bioplynová stanice, jež by využívala membránových procesů pro čištění bioplynu. Perspektiva rozšíření membránových technologií s použitím nejrůznějších separačních membrán je založena na skutečnosti, že tyto technologie v porovnání s jinými separačními postupy jsou mnohdy účinnější a energeticky i prostorově méně náročné. Umožňují jednak kontinuální recyklaci cenných složek z „odplynů“ tak, že mohou být ve velké míře opětně použity ve stejném nebo jiném chemickém procesu, jednak regulaci složení cirkulujících plyných směsí a také odstranění škodlivých či nežádoucích látek z plyných směsí (např. ze vzduchu), což je významné z ekologického hlediska.

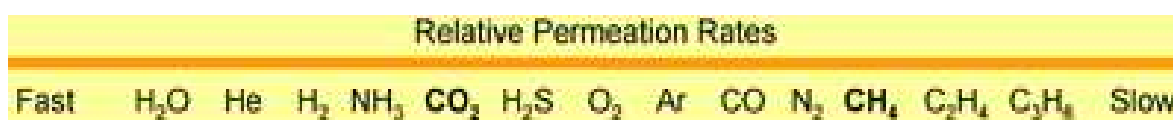
Dříve než lze vyrobený bioplyn použít jako náhradní zemní plyn, musí být zbaven nežádoucích složek. Existuje celá řada technologií umožňujících zvýšit v produkovaném bioplynu podíl energeticky hodnotného metanu, tj. oddělit z něj nežádoucí příměsi. Jedná se o odstranění CO₂, vodní páry, H₂S, NH₃, H₂ a vzduchu (tj. N₂, O₂), které jsou v bioplynu obsaženy v malých množstvích.

Jednotlivé technologie se liší v principu separace, komplexnosti (odstraňují jen některé nežádoucí složky v bioplynu) a kapacitních možnostech. Před vlastním oddělováním CO₂ obvykle předchází vyčištění surového bioplynu od stopových látek, především síry, která by negativně ovlivňovala další proces obohacování. Postupy oddělování CH₄ a CO₂ (a příp. dalších nežádoucích složek) lze rozdělit do čtyř hlavních skupin, jež se liší principem činnosti a technologickým řešením:

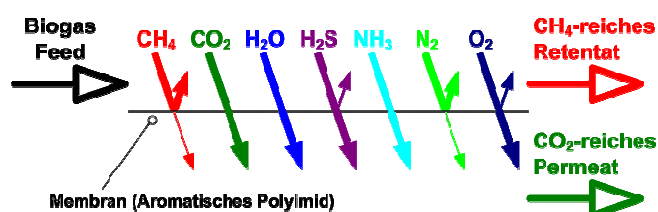
- adsorpce – technologie PSA (Pressure Swing Adsorption) – bioplyn je ochlazen, čímž je zbaven velké části H₂O; následně je veden do adsorbérů naplněných jemně mletým uhlíkem, který zachycuje CO₂, zbytek H₂O a H₂S.
- absorpce – tlaková (fyzikální) vypírka - technologie využívá rozdílné rozpustnosti plynů v kapalinách, nejčastěji ve vodě (water scrubbing); tato technologie však neodstraňuje zbytky N₂ a O₂; místo vody se používají i organická rozpouštědla na bázi polyethylenglykolu a/nebo chemická vypírka – sorbentem, nejčastěji monoethanolaminem.
- membránová separace – využívá rozdílné průchodnosti složek bioplynu membránou; „rychlé plyny“ prochází membránou a jsou odváděny jako permeát, „pomalé plyny“ membránou neprochází a jsou odváděny jako retentát. Schematické znázornění permeace a membránové separace je uvedeno na obrázcích 25 a 26.

„rychlé plyny“

„pomalé plyny“



Obrázek 25: Schematické znázornění porovnání permeace plynů polymerní membránou



Obrázek 26: Princip membránové separace bioplynu

- nízkoteplotní rektifikace – kryotechnologie – využívá rozdílnosti bodu varu jednotlivých složek bioplynu (CO_2 -78°C, CH_4 -161°C); bioplyn se ochlazuje na velmi nízkou teplotu, čímž dochází ke zkapalnění složek; výhodou je vysoká čistota produktů, nevýhodou velká energetická náročnost a vysoké investiční a provozní náklady.

Největšího uplatnění v reálném provozu doposud doznaly, s jistými modifikacemi, v zásadě dvě technologie: proces tlakové adsorpce označovaný jako „PSA“ nebo fyzikální či chemická absorpce vodou či jiným roztokem. Slibnou technologií z pohledu energetických i prostorových nároků je membránová separace, která má již první komerční nasazení. Za podobně perspektivní je považováno i využití kryogenní metody separace, její praktické uplatnění pro úpravu bioplynu je však zatím ve stádiu vývoje a ověřování. V tabulce 4 je uvedeno technické a energetické srovnání jednotlivých separačních metod.

Parametr	vodní vypírka	Aminová vypírka	PSA	Membránová separace	Kryogenní metody
Spotřeba energie ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$)	0,3 - 0,6	0,67	0,23		0,8 - 1,8
Plyn výstup - CH_4	98,5 %	99 %	97 % - 99 %	90 %	99 %
Provozní teplota (°C)	-	160	-		- 80
Provozní tlak (MPa)	0,4 – 0,7	atmosférický	0,4 – 0,7	vysokotlaké > 2 nízkotlaké 0,8 - 1	
Částečné odstranění H_2S	možné	ano	ne	možné	možné
Odstranění kapalné vody	ano	kontaminant	kontaminant	ne	ano
Odstranění vodní páry	ne	ano	ano	ne	ano
Odstranění N_2 a O_2	ne	ne	částečně	částečně	N_2 - možné

Tabulka 4: Srovnání metod úpravy bioplynu

4.5 Membrány a jejich využití v energetice

Problematika hledání nových energetických zdrojů je motivací k využití specifických vlastností membrán i v této oblasti. Membrány jsou využívány jako separační medium v procesech přípravy a čištění zdrojových materiálů, jejich novou funkcí je použití v „membránových energetických reaktorech“ při přeměně forem energie.

4.5.1 Vodíková energetika

Využití vodíkové energie, resp. vodíkové ekonomiky, představuje komplexní přístup, který nelze v žádném případě omezovat pouze na aplikace v dopravě. Je nezbytné brát v úvahu i další potenciální oblasti uplatnění. V souladu s tímto stanoviskem se dnes pozornost

výzkumných pracovišť soustřeďuje na otázku kompenzace nesouladu v příkonech a odběrech v elektrické rozvodné síti. Tento problém nabývá na význam v posledních letech, kdy se zvyšuje podíl energie, dodávané do rozvodné soustavy z obnovitelných zdrojů. Ty jsou na rozdíl od klasických zdrojů a od energie získávané z vodních elektráren velmi obtížně predikovatelné a není možné zvyšovat jejich výkon v době zvýšené spotřeby energie v kombinaci s nepříznivými povětrnostními či slunečnými podmínkami. Řešením může být instalace nadbytku produkčních kapacit. Nadprodukce pak může být průběžně ukládána a využita zpětně v dobách nedostatečné produkce energie. V současnosti je řešena důležitá otázka uchování energie v období nadprodukce. Klasické řešení představují přečerpávací vodní nádrže. Toto řešení je však omezené s ohledem na nedostatek vhodných lokalit. S tím vyvstávají i problémy související s životním prostředím, s volbou velikosti přečerpávacích nádrží a s přizpůsobením elektrické rozvodné sítě.

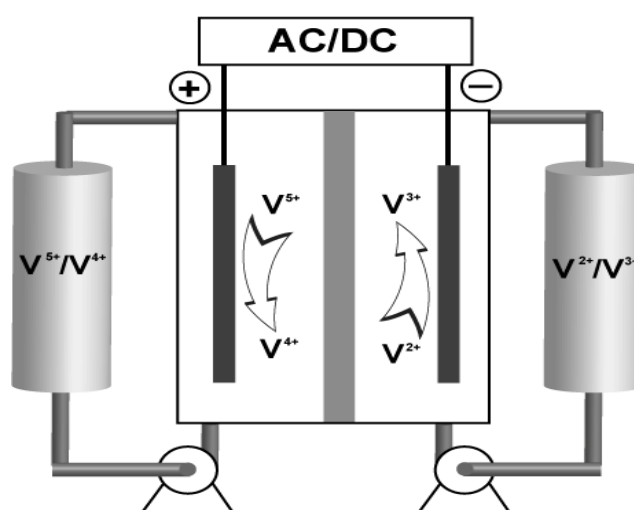
Proto je sledována řada dalších možných řešení. Jedno z nich představuje právě vodíková ekonomika. V období nadprodukce je podle tohoto přístupu nadbytečná energie spotřebována při elektrolýze vody. Tímto způsobem je nadbytečná elektrická energie uložena ve formě chemické energie vodíku a může být v případě potřeby získána zpět, ať již prostřednictvím tepelného stroje pohánějícího generátor elektrické energie, palivového článku, nebo jiným způsobem. Takto vyprodukovaný vodík může být rovněž využit jako palivo pro mobilní aplikace, či k jiným účelům, ke kterým je dnes vyráběn z fosilních paliv. V této souvislosti vzniká řada dalších otázek vyžadujících optimalizaci celého systému. Jedná se zejména o optimální velikost zařízení a o míru decentralizace těchto vyrovnávacích jednotek. Vyšší míra decentralizace klade vyšší nároky na logistické zabezpečení funkce. Zároveň však eliminuje část problémů spojených například se skladováním vyrobeného vodíku a omezuje nezbytnost vybudování vysokokapacitních linek zabezpečujících přívod odpovídajícího výkonu na místo uložení a zpětnou redistribuci rekuperované energie. Další otázkou představuje optimální technologie jak elektrolýzy vody, tak následného zpětného zpracování vodíku. Z energetického hlediska jsou jednoznačně výhodnější vysokoteplotní procesy. Na druhou stranu jsou však nejméně flexibilní. Lze očekávat, že univerzální řešení nebude nalezeno, ale výsledkem bude kombinace více technologií podle velikosti a způsobu využití dané aplikace.

4.5.2 Membránové přeměny energie a její „skladování“ v bateriových systémech

Spektrum membránových procesů zaměřených na konverzi energie je širší než je uvedeno v předchozím textu. Do této kategorie je možné zahrnout průtočné baterie, reverzní elektrodialýzu (nezaměňovat s elektrodialýzou s reverzací polarity) a membránové superkondenzátory. Ačkoliv těmto procesům byla dosud věnována značně menší pozornost, výzkum i průmyslový zájem na tomto poli začíná v posledních letech nabývat na intenzitě. Některé ze studovaných procesů se zaměřují primárně na kompenzaci výkyvů příkonu a odběru v elektrické distribuční síti, část se zaměřuje přímo na výrobu elektrické energie.

Průtočné baterie představují systém ke kompenzaci výkyvů v produkci, resp. spotřebě elektrické energie, popřípadě k zálohování zdroje energie pro zařízení, která mohou být výpadkem elektrického proudu poškozena. Princip je blízký akumulátorům, tj. bateriím umožňujícím opakované nabití a vybití bez výměny aktivní náplně. Současně je možné tento typ zařízení považovat za blízký palivovým článkům. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že do palivového článku vstupují elektroneutrální látky a ve většině případů není toto zařízení navrhováno jako regenerativní. Díky tomu může dosahovat relativně vysokou hustotu energie na jednotku hmotnosti paliva. V případě průtočných baterií jsou používány roztoky elektrochemicky aktivních redukčně-oxidačních párů. V důsledku toho je k uložení

odpovídajícího množství energie zapotřebí většího objemu roztoku dané látky. Problémem je rovněž volba vhodného elektrochemického systému. Největšího rozšíření doznala baterie založená na různých oxidačních stavech vanadu. Rovnovážné napětí mezi elektrodami dosahuje v prostředí roztoku kyseliny sírové jako nosného elektrolytu 1,41 V. Výhodou je skutečnost, že tyto reakce jsou reverzibilní na povrchu grafitické plsti využívané jako elektroda pro obě strany galvanického článku. Schéma průtočné baterie vanadového typu je ukázáno na obrázku 27. Role membrány v článku je nezastupitelná z důvodu nutnosti oddělovat roztoky a zabránit tak zkratu vlastního článku. Separační přepážka musí být propustná pro protony zabezpečující uzavření elektrického obvodu. Protonová vodivost přepážky musí být proto vysoká, aby ohmické ztráty napětí byly minimální.



Obrázek 27: Schéma průtočné baterie vanadového typu

Vedle průtočných baterií na bázi solí vanadu jsou studovány další varianty. Patří mezi ně zejména tzv. systém „Regenesys“ využívající reakce polysulfidu a polybromidu sodného. Výhodou tohoto způsobu ukládání energie je především vysoká flexibilita systému a minimální tendence k samovybití daná tím, že jednotlivé elektrodové roztoky jsou skladovány odděleně. Vlastní baterie je navíc konstruována z běžně dostupných materiálů. Nevýhodou jsou značné objemy roztoků, s čímž souvisí prostorová náročnost instalace. Kromě toho je nutné počítat i s energií nutnou na přečerpávání velkých objemů roztoků. Ačkoliv v praxi již bylo instalováno několik demonstračních jednotek o výkonu 100 kW až 15 MW a o kapacitě až 120 MWh (Little Barford, Anglie), nebylo dosud dosaženo většího aplikačního rozšíření.

Reverzní elektrodialýza je opakem elektrodialýzy, při níž dochází ke generování elektrického proudu postupným vyrovnáváním koncentrací mezi zředěným a koncentrovaným roztokem soli. Aby nedošlo ke „zkratu“ článku a bylo možno uvolněnou elektrickou energii využít ke konání užitečné práce, je zapotřebí oddělit oba roztoky iontově výměnnými membránami a umožnit selektivní průchod iontů. Uspořádání jednotky pro reverzní elektrodialýzu je totožné s jednotkou pro elektrodialýzu. Hnací silou reverzní elektrodialýzy je koncentrační gradient elektricky nabitých iontů vzniklý mezi dvěma roztoky oddělenými membránou. Ten generuje jednak rozdíl Galvanioho potenciálu na obou stranách membrány, tj. elektrické napětí na

jednotlivých membránách uspořádaných sériově ve svazku a zároveň způsobuje tok iontů membránou a tím i průchod elektrického proudu svazkem. Aplikační potenciál tohoto systému je směřován zejména do přímořských oblastí, kde se nacházejí přírodní koncentrační články - ústí sladkovodních toků do moří, či oceánů. Praktické využití této technologie je však spojeno s některými problémy. První z nich vyplývá z podstaty procesu. Napětí generované na jednom membránovém páru dosahuje řádově desítek mV. Systémem však prochází poměrně značný elektrický proud. To indikuje velké ohmické ztráty napětí na iontově výměnných membránách a zejména pak v komoře s nízkým obsahem solí. Již ohmická ztráta řádově jednotky mV znamená procentuálně značný pokles účinnosti procesu. Druhým problémem je nutnost kontroly kvality roztoků vstupující do zařízení. Membrány i elektrody jsou citlivé na usazování mechanických nečistot, biologického materiálu a v některých případech i na přítomné ionty. Při reverzní elektrodialýze jsou zpracovávány značné průtoky jak mořské vody s vysokou salinitou, tak vody sladké. Ty mohou dosahovat až stovek metrů krychlových za sekundu. Na druhé straně je zřejmé, že v případě uspokojivého řešení uvedených problémů je potenciál této technologie z hlediska množství produkované energie v případě přímořských států obrovský.

Další velice zajímavou oblastí jsou elektrochemické superkondenzátory, resp. ultrakondenzátory dosahují až 200× vyšších kapacit ve srovnání s klasickými kondenzátory. Základem jsou dvě elektrody s vysokým povrchem propojené iontově vodivým prostředím. Vložení vnějšího napětí se na povrchu elektrod vytvoří molekulární elektrická dvojrůžstva podle polaritě elektrody a tím se uloží elektrický náboj, který je možné následně opět uvolnit. Při nabíjení a vybíjení nedochází k žádné elektrodové reakci. Pro zvýšení kapacity se používají tzv. redox-kondenzátory (pseudokondenzátory), v nichž probíhá elektrodová reakce spojená se změnou oxidačního stavu rutenia. Tímto způsobem je možné řádově zvýšit kapacitu. V obou případech jsou používány pro oddělení elektrod iontově výměnné polymery.

5 Závěry studie

Česká membránová platforma naplňující své základní poslání posilovat vzdělávání v oboru, podporovat inovační procesy v širokém spektru technologií a tím i zvyšování konkurenceschopnosti české ekonomiky, předkládá Implementační akční plán, nejen svým členům, jako základní ideu dalšího rozvoje membránových technik a zařazení jejich stávajících i vyvíjených postupů do strategických plánů dalšího vývoje společnosti. Vyhodnocení současného a budoucího postavení membrán a membránových technologií v podmínkách snižování energetické náročnosti výroby a zvýšených požadavků na kvalitu životního prostředí by se mělo stát nejen součástí odborného posouzení, ale mělo by být reflektováno i v širších společenských souvislostech. Základem pro takové postupy je především porozumění a pochopení principů oboru. Proto je věnována v Implementačním akčním plánu pozornost výuce oboru ve všech stupních pedagogického cyklu. Česká membránová platforma na základě svých dosavadních aktivit pořádáním informativních seminářů na středních a vysokých školách, ve veřejné i podnikové sféře a odborně zaměřených seminářů pro zainteresované se ve své další činnosti zaměří na rozšíření této popularizační i vzdělávací činnosti. V této činnosti se jistě osvědčí noví regionální členové platformy z akademické sféry, kteří vstoupili do platformy v průběhu stávajícího projektu. Nedílnou součástí pokroku v oboru, udržení a také zlepšení jeho současného postavení v evropském i ve světovém měřítku, je zajištění koordinované výzkumné a vývojové činnosti. Platformou zpracované studie ukázaly značný erudovaný potenciál výzkumných institucí, který v dosavadních podmínkách organizace podpory vědy, výzkumu a inovací hledal obtížně prostor pro komplexní řešení projektů. Nově tvořená Centra výzkumu v řadě institucí, příprava konsorcií pro soutěž Centra kompetence vyhlášenou Technologickou agenturou ČR a zejména Membránové inovační centrum připravované s podporou evropských dotací jsou aktivitami, které vytvoří dostatečně široký základ pro účelné propojení a zvýšení efektivity při získávání nových poznatků a jejich využití v inovačních krocích. Vedle rozvíjení a podpory těchto aktivit se platforma dále soustředí i na své propojení s evropskými centry členstvím v European Membrane House a European Membrane Society, kde má své zastoupení v řídicím výboru na nadcházející čtyři roky. Spolupráce na této úrovni umožní nejen prezentaci české membránové komunity v mezinárodním měřítku, ale zajistí i úzký kontakt s informační a výzkumnou sférou oboru. Předpokládáme také využití těchto vazeb k širší kooperaci a lepšímu přístupu do konsorcií řešících výzkumné a vývojové projekty v rámci programů EU. Neposledním bodem pozornosti v další činnosti platformy je výrobní a aplikační sféra membránových technologií. Také v této oblasti působí v České republice řada podniků různé velikosti. Jsou to jak výlučně české subjekty tak společnosti zastupující zahraniční firmy. Platformě se podařilo zmapovat a prostřednictvím případových studií vzorově prezentovat již v našem prostředí pracující technologie. Diseminace těchto informací v rámci dalšího působení platformy v národním měřítku i v programu trvale udržitelného rozvoje společnosti zajistí dostatečnou intelektuální základnu pro implementaci moderních membránových technologických postupů do výrobních i enviromentálních procesů.

Příloha č. 1

Struktura bakalářského studia na Fakultě chemické technologie VŠCHT Praha

Studijní program: Aplikovaná chemie a materiály
Studijní obor: Vodíkové a membránové technologie

Profil absolventa

Tříleté bakalářské studium nabízí univerzální chemické a technické vzdělání, které poskytne absolventovi dobrý základ pro další pokračování v magisterském studiu nejen na domovské fakultě, ale i na fakultách příbuzných v rámci ČR i zahraničí. V průběhu studia získají studenti vedle základního vzdělání v aplikované chemii a materiálech navíc informace o vysoce progresivních membránových technologiích. Tato problematika je sledována jak z hlediska přípravy membrán, jejich charakterizace a využití, tak z pohledu vlastních již existujících či v současnosti rychle rozvíjených technologií. Součástí studia je zároveň úvodní seznámení s perspektivní problematikou zásobování energií na bázi vodíkového hospodářství, která má s membránovými technologiemi celou řadu styčných bodů. Tato oblast zahrnuje informace nejen o různých způsobech výroby a skladování vodíku, ale také o jeho využití např. v palivových člancích. Absolventi tohoto bakalářského oboru mohou pokračovat v magisterském studiu např. v oborech Vodíkové a membránové technologie, Základní a speciální anorganické technologie, Technologie organických látek a chemické speciality, Anorganické nekovové materiály nebo Polymerní materiály.

Charakteristika oboru

Studijní obor je zaměřen na získání základních znalostí perspektivních technologií spojených s membránovými procesy, včetně procesů využívajících vodíku jako nositele energie. Membránové procesy obecně procházejí v současnosti prudkým rozvojem a řada z nich již našla významné průmyslové uplatnění. Jejich potenciál však zdaleka nebyl vyčerpán a v nejbližší době lze očekávat rychlý nárůst realizovaných, na nich založených, technologií. Vodíkové technologie pak představují zvláštní skupinu procesů zaměřených na řešení narůstajících problémů spojených s bezpečným zásobováním lidstva energií. Jejich významná část spadá rovněž do oblasti procesů membránových. Základem studia tohoto oboru jsou aplikované teoretické předměty umožňující získání odpovídajícího teoretického základu zejména v chemických, chemicko-inženýrských a materiálových vědních disciplínách. Ty jsou vhodně doplněné výukou prakticky zaměřených předmětů. Předkládané studium je výrazně mezioborové a jedinečným způsobem spojuje základy materiálového a procesního inženýrství. Získané teoretické znalosti mohou studenti dále rozvinout v oblasti výroby a charakterizace membrán a vývoje a provozu membránových technologií, stejně tak jako v oblasti energetiky a vodíkových technologií. Studenti získají praktické zkušenosti v týmové práci při řešení výzkumných projektů zaměřených na odpovídající technologie a s nimi související aspekty. V průběhu studia se posluchači profilují v rámci volitelných předmětů a práce v laboratořích v oblastech orientovaných na membránové procesy a vodíkové technologie pro energetiku.

1. ročník - zimní semestr

Povinné předměty

<i>Název předmětu</i>	<i>Ústav</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>Zakončení</i>	<i>Kredity</i>
Obecná a anorganická chemie I	101	3	2	0	z,Zk	8
Matematika I	413	3	4	0	z,Zk	10
Toxikologie a ekologie	111	2	0	0	Zk	3
Aplikace výpočetní techniky	445	0	3	0	kz	3
Chemické výpočty	101	0	2	0	z	2
Historie chemie	832	2	0	0	kz	3
Úvod do studia	150	1	0	0	z	1

P - přednáška, C - cvičení, L -laboratoře, z – zápočet, kz – klasifikovaný zápočet, Zk – zkouška

1. ročník - letní semestr

Povinné předměty

<i>Název předmětu</i>	<i>Ústav</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>Zakončení</i>	<i>Kredity</i>
Organická chemie I	110	2	2	0	z,Zk	6
Fyzika I	444	3	2	0	z,Zk	7
Laboratoř anorganické chemie I	101	0	0	4	kz	3
Matematika II	413	3	3	0	z,Zk	8
Obecná a anorganická chemie II	101	2	2	0	z,Zk	5
Jazyk I	834	0	2	0	z	1
Volitelné předměty pro 2. semestr						

2. ročník - zimní semestr

Povinné předměty

<i>Název předmětu</i>	<i>Ústav</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>Zakončení</i>	<i>Kredity</i>
Fyzikální chemie I	403	3	2	0	z,Zk	6
Organická chemie II	110	3	2	0	z,Zk	6
Základy chemických technologií	105	2	0	0	Zk	3
Úvod do studia materiálů	108	2	0	0	Zk	3
Laboratoř organické chemie I	110	0	0	4	kz	3
Laboratoř fyziky	444	0	0	3	kz	3
Jazyk II	834	0	2	0	Z, Zk	2
Povinně volitelný předmět I						
Fyzika II	444	2	2	0	z,Zk	5
Laboratoř anorganické chemie II	101	0	0	4	kz	4
Bezpečnost a legislativa v chemii	101	2	0	0	Zk	3
Základy marketingu chem. výrobků	437	2	0	0	Zk	3
Volitelné předměty pro 3. semestr						

2. ročník - letní semestr

Povinné předměty

<i>Název předmětu</i>	<i>Ústav</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>Zakončení</i>	<i>Kredity</i>
Chemické inženýrství I	409	2	3	0	z,Zk	6
Analytická chemie I	402	2	2	0	z,Zk	5
Fyzikální chemie II	403	3	2	0	z,Zk	7
Laboratoř fyzikální chemie I	403	0	0	4	kz	3
Procesy v ochraně živ. prostředí	111	2	1	0	z,Zk	4
Povinně volitelné předměty II, III						
Anorganické nekovové materiály	107	2	0	0	Zk	3
Makromolekulární chemie	112	2	1	0	z,Zk	4
Alternativní zdroje energie	218	2	0	0	Zk	3
Výroba a skladování vodíku	105	2	0	0	Zk	3
Volitelné předměty pro 4. semestr						

3. ročník - zimní semestr

Povinné předměty

<i>Název předmětu</i>	<i>Ústav</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>Zakončení</i>	<i>Kredity</i>
Chemická informatika	143	0	2	0	kz	2
Chemické inženýrství II	409	2	3	0	z,Zk	6
Laboratoř chemického inženýrství	409	0	0	3	kz	2
Laboratoř analytické chemie I	402	0	0	5	kz	4
Chemicko-inženýrský projekt	409	0	1	0	kz	2
Základy membr. a vodíkových procesů	105	2	0	0	Zk	3
Laboratoř vodíkových a membr. technologií	105	0	0	6	kz	4
Povinně volitelné předměty IV, V						
Elektrochemické procesy	105	2	0	0	Zk	3
Základy počítačových simulací	105	2	2	0	z,Zk	5
Technologie výroby bioplynu a biovodíku	217	2	0	0	Zk	3
Fyzika polymerů	112	2	1	0	z, Zk	4
Volitelné předměty pro 5. semestr						

3. ročník - letní semestr

Povinné předměty

<i>Název předmětu</i>	<i>Ústav</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>Zakončení</i>	<i>Kredity</i>
Bakalářská práce	963	0	0	12	z	15
Povinně volitelné předměty VI, VII						
Aplikované chemické procesy	105	2	1	0	z,Zk	4
Základy energetiky	218	2	1	0	z,Zk	4
Technologie zpracování polymerních materiálů	112	2	0	0	Zk	3
Polymerní membrány a jejich transportní charakteristiky	112	2	1	0	z.Zk	4
Volitelné předměty pro 6. semestr						

Státnicové okruhy:

- Fyzikální chemie
- Chemické inženýrství
 - a) Membránové materiály a procesy
 - b) Základy energetických procesů a vodíkové technologie

Příloha č. 2

Struktura magisterského studia Fakulty chemické technologie VŠCHT Praha

Studijní program: Chemie a chemické technologie
Studijní obor: European Master in Membrane Engineering

Profil absolventa

Dvouleté magisterské studium nabízí v rámci oboru „European Master in Membrane Engineering“ kvalitní odborné vzdělání na pomezí materiálového a procesního inženýrství. V průběhu studia získají studenti vzdělání v pokročilých teoretických základech membránových technologií a v navazujících procesech podle zvoleného zaměření. Volitelná zaměření zahrnují následující tři hlavní směry: (i) membránové technologie pro zdraví, (ii) nanotechnologie a (iii) energie a životní prostředí. Studium bude zakončeno diplomovou prací na téma odpovídající zvolené specializaci. Významnou výhodou studia představuje absolvování jeho převážné části na renomovaných zahraničních partnerských univerzitách, kde získají posluchači nejen odpovídající odborné znalosti, ale rovněž mezinárodní zkušenost a jazykovou dovednost. Absolventi tohoto magisterského oboru mohou pokračovat v doktorském studiu jak na Fakultě chemické technologie VŠCHT Praha (např. v oborech Anorganická technologie, Organická technologie, Technologie makromolekulárních látek nebo Materiálové inženýrství), tak na fakultách příbuzných v rámci ČR i v zahraničí.

Charakteristika oboru

Studijní obor „European Master in Membrane Engineering“ je zaměřen na získání pokročilých znalostí širokého spektra perspektivních technologií spojených s membránovými procesy. Membránové procesy obecně procházejí v současnosti prudkým rozvojem a představují široký obor zahrnující pestré spektrum potenciálních aplikací ve stádiu od základního výzkumu po optimalizaci stávajících průmyslových realizací. Jedná se o obor ze své podstaty multidisciplinární, zahrnující vedle materiálového rovněž procesní inženýrství. Navrhovaný obor ve své struktuře těží ze skutečnosti, že je zabezpečován mezinárodním konsorciem renomovaných univerzitních pracovišť aktivních v této oblasti a spolupracujících v rámci evropského projektu typu Erasmus Mundus. To umožňuje jedinečným způsobem využít silných stránek jednotlivých partnerů v rámci konsorcia a díky takto dosaženému synergickému efektu poskytnout posluchačům vzdělání špičkové úrovně v celoevropském měřítku. Posluchači nezískají pouze špičkové teoretické vzdělání, ale rovněž zkušenosti z týmové práce v mezinárodním prostředí pod vedením mezinárodně uznávaných odborníků. V průběhu dvou prvních semestrů studia bude posluchačům poskytnut společný teoretický materiálový a procesní základ doplněný laboratorními cvičeními. Na základě prvních dvou semestrů studia si zvolí svou další specializaci, kterou budou prohlubovat v rámci třetího semestru teoretického studia a v rámci svého diplomového projektu. Výuka v jednotlivých specializacích – (i) membránové technologie pro zdraví, (ii) nanotechnologie a (iii) energie a životní prostředí – bude zajišťována na různých univerzitách podle jejich výzkumného profilu a zavedené výuky.

1. ročník - zimní semestr

Povinné předměty

<i>Název předmětu</i>	<i>Ústav</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>Zakončení</i>	<i>Kredity</i>
Characterization of Porous Materials	UM2-UPS	1	2	1	z, Zk	3
Individual Project 1	UM2-UPS	0	0	10	kz	6
Safety, Health and Environment	UM2-UPS	1	1	0	z, Zk	2
Quality Assurance and Laboratory Practice	UM2-UPS	1	1	0	z, Zk	2
International and European Working Law	UM2-UPS	1	1	0	z, Zk	2
*French Language and Culture	UM2-UPS	2	1	0	kz	-
Povinně volitelný blok I						
<i>směr: Materiál Science</i>						
Inorganic Materials	UM2	2	1	1	z, Zk	3
Polymer Materials	UM2	1	2	1	z, Zk	3
Hybrid and Composite Materials	UM2	1	2	1	z, Zk	3
Materials for Chemical Reactions/ Heterogeneous Catalysis	UM2	2	1	1	z, Zk	3
<i>směr: Chemical Engineering</i>						
Transport Phenomena	UPS	1	1	2	z, Zk	3
Thermodynamics, Kinetics and Reactivity	UPS	2	1	1	z, Zk	3
General Chemistry and Physico-Chemical Methods for Analysis	UPS	1	1	1	z, Zk	3
Separation Science	UPS	2	1	1	z, Zk	3
Povinně volitelný blok I						
Colloid and Surface Engineering	UPS	2	1	1	z, Zk	3
Structural and Microstructural Characterisation of Solids	UM2	1	1	1	z, Zk	3

Poznámky: *Během 1. až 3. semestru musí student povinně absolvovat alespoň jeden jazykový kurz a v příslušném jazyce připravit a přednést prezentaci individuálního projektu.

Vysvětlivky: UM2 - University Montpellier 2, Francie
UPS – University Paul Sabatier Toulouse, Francie

1. ročník - letní semestr (zajišťuje Vysoká škola chemicko-technologická v Praze)

Povinné předměty

<i>Název předmětu</i>	<i>Ústav</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>Zakončení</i>	<i>Kredity</i>
Membrane Processes	105	2	1	0	z,Zk	4
Process Design	111	3	1	0	z,Zk	5
Applied Reaction Kinetics	105	2	2	0	z,ZK	4
Separation Technology	409	2	1	0	z,Zk	5
Individual Project 2	105	0	0	10	kz	6
Intellectual Capital Management	437					3
Valorisation, Commercialisation and Entrepreneurship	437					3
*Czech Language and Culture	834					-

2. ročník - zimní semestr

specializace (i) - Membránové technologie pro zdraví

Povinné předměty

<i>Název předmětu</i>	<i>Ústav</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>Zakončení</i>	<i>Kredity</i>
Membrane Contactors and Bioreactors	UNL	2	2	0	Zk	6
Membranes in Downstream Processing	UNL	2	2	0	Zk	6
Barrier Membranes for Food Applications	UNL	2	2	0	Zk	6
Membranes in Regenerative Medicine	UNL	2	2	0	Zk	6
Individual Project 3	UNL	0	0	10	kz	6
*Portuguese Language and Culture	UNL				kz	-

specializace (ii) – Nanotechnologie

Povinné předměty

<i>Název předmětu</i>	<i>Ústav</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>Zakončení</i>	<i>Kredity</i>
Fundamental Properties of Nanostructured Materials	UNIZAR	3	0	0	z, Zk	6
Preparation of Nanostructured Materials	UNIZAR	3	0	3	z, Zk	6

Assembly and Fabrication of Nanostructures	UNIZAR	3	0	3	z, Zk	6
Case Studies of Industrial Applications	UNIZAR	1	1	1	kz	6
Individual Project 3	UNIZAR	0	0	10	kz	6
*Spanish Language and Culture	UNIZAR	3	1	0	kz	-

Vysvětlivky: UNL – Universidade Nova de Lisboa, Portugalsko
UNIZAR – Universidad de Zaragoza, Španělsko

specializace (iii) - Energie a životní prostředí

Povinné předměty

Název předmětu	Ústav	P	C	L	Zakončení	Kredity
Batteries, Fuel Cells and Electrolysers	TWENTE	2	2	1	z, Zk	5
Membranes for Gas Separation	TWENTE	1	2	3	kz	5
Multi-component Mass Transport in Water Treatment	TWENTE	1	2	3	z, Zk	5
Membrane Process Plant Design	TWENTE	2	6	0	kz	5
Microdevices and Sensors	TWENTE	1	2	1	z, Zk	4
Individual Project 3	TWENTE	0	0	10	kz	6
*Dutch Language and Culture	TWENTE	2	1	0	kz	-

Vysvětlivky: TWENTE – University of Twente, Nizozemí

2. ročník - letní semestr

Povinné předměty

Název předmětu	Ústav	P	C	L	Zakončení	Kredity
Diplomová práce	dle výběru	0	0	30	z	30