

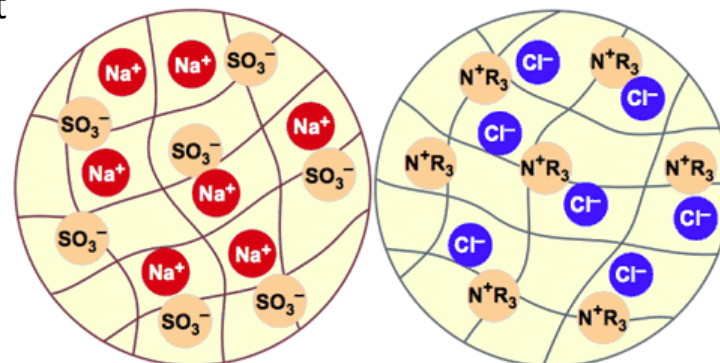
# Iontově selektivní membrány

Ing. Jan Křivčák

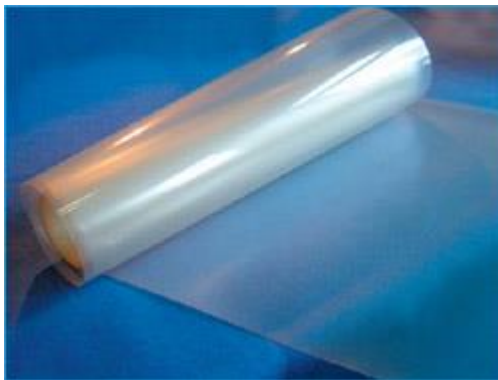
- Úvod
- Co to jsou iontově selektivní membrány
- Hlavní výrobci membrán
- Vývoj nových typů membrán – fáze přípravy
  - Požadavky dané technologie
  - Analýza stávajícího stavu
  - Určení klíčových parametrů
  - Limity výroby a vlastností jednotlivých typů membrán
- Současné směry vývoje iontově selektivních membrán
  - Zlepšení užitečných vlastností stávajících membrán
  - Vývoj nových typů membrán
- Závěr

- Iontově selektivní membrány (IM) jsou základní komponentou pro proces elektroodialýzy.
- Kromě ED nacházejí IM uplatnění i v EDI, EDBM, ED metateze, supresory pro chromatografii a v posledních několika letech i v palivových článcích typu PEM.
- Iontově selektivní membrány lze dělit dle následujících kritérií:
  - Charakter iontovýměnné složky: homogenní, heterogenní
  - Je-li ve struktuře kombinováno více typů materiálů (např. armující textilie), pak můžeme hovořit o tzv. kompozitní membráně.
- Hlavní funkcí IM je selektivní separace iontů z roztoku.
- Volba vhodného typu IM vždy závisí na konkrétní aplikaci
  - Doposud neexistuje univerzální membrána pro všechny aplikace.

- Ionově selektivní membrána je typ membrány, která dokáže transportovat ionty se stejným typem náboje, tj. kladné nebo záporné.
  - Tento typ membrány nedokáže aktivně transportovat neutrální molekuly či samotné rozpouštědlo.
- Princip IM vychází z běžného iontoměníče.
  - Jedná se o polymer na bázi akrylátu nebo styren-divinylbenzenu (S-DVB), na kterém jsou navázány funkční skupiny různého typu.
  - Ionoměniče ve formě kuliček pouze vychytávají ionty z roztoku, tj. nedochází k žádané separaci roztoku na diluát a koncentrát.
- IM je ve zjednodušeném přiblížení iontoměníč ve formě fólie.
  - Může být tvořena čistě z polymeru stejného nebo podobného klasickému iontoměníči. Takovýto polymer se poté často nazývá funkcionalizovaný.
  - Nebo může být tvořena jako jiný běžný kompozit smícháním jemně mletého funkcionalizovaného polymeru s vhodným typem pojiva.
- Pro zvýšení mechanické pevnosti jsou IM často vyztuženy textilií.
  - Armování buď jedno nebo oboustranné.

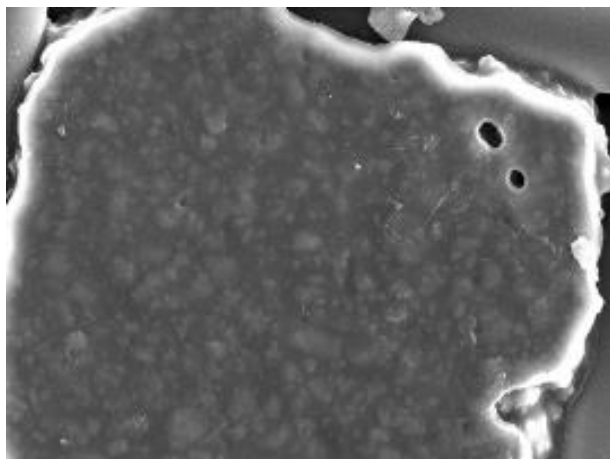


# Co to jsou iontovýměnné membrány

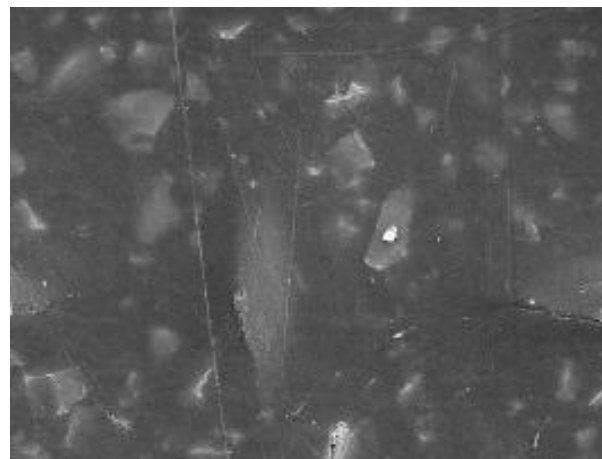


**Ukázky iontovýměnných membrán, vlevo homogenní membrány Eurodia (nahore) a Fumatech (dole), vpravo heterogenní membrány Ralex.**

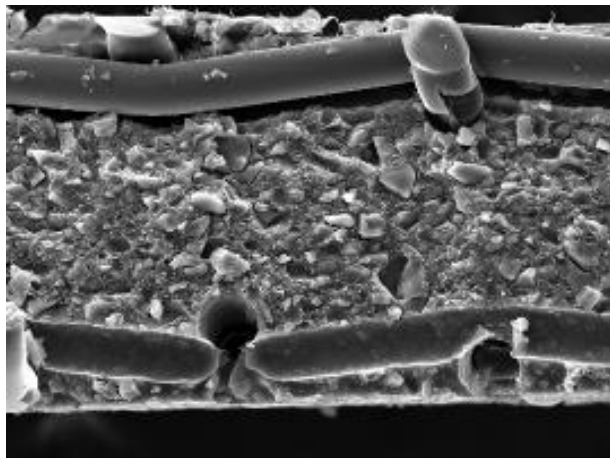
# Co to jsou iontovýměnné membrány



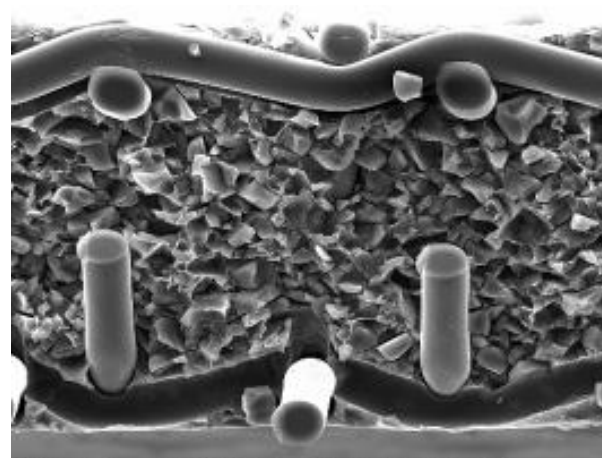
SEM MAG: 1.00 kx DET: SE Detector  
HV: 30.0 kV DATE: 06/20/08 100 um Vega ©Tescan  
VAC: HV/ac Device: 5135 Digital Microscopy Imaging



SEM MAG: 1.00 kx DET: SE Detector  
HV: 30.0 kV DATE: 06/24/08 100 um Vega ©Tescan  
VAC: HV/ac Device: 5135 Digital Microscopy Imaging



SEM MAG: 500 x DET: SE Detector  
HV: 30.0 kV DATE: 06/20/08 200 um Vega ©Tescan  
VAC: HV/ac Device: 5135 Digital Microscopy Imaging



SEM MAG: 500 x DET: SE Detector  
HV: 30.0 kV DATE: 06/20/08 200 um Vega ©Tescan  
VAC: HV/ac Device: 5135 Digital Microscopy Imaging

**Optické porovnání heterogenních membrán: AM(H)-PES vlevo, MA-41 vpravo**

- Homogenní:
  - GE
  - Eurodia
  - Fumatech
  - PCA (Polymerchemie Altmeier GmbH)
  - Fuji
- Heterogenní:
  - Ralex
  - Scheckinoazot
  - Shanghai Shanghua
  - Linanwindow
  - Membrane International
  - Purolite
  - Excellion (pro EDI)
  - Ionpure (pro EDI)

- Neexistuje univerzální membrána použitelná pro všechny aplikace.
  - I v rámci jednoho aplikačního segmentu jsou různé požadavky na vlastnosti IM.
- Při vývoji nových typů membrán je vždy nutné vycházet z požadavků dané technologie.
  - Vývoj membrán se specifickými požadavky pro danou aplikaci.
  - Důležitost konkrétního parametru je dána prioritami dané aplikace.



- Ve většině případech je hlavním parametrem vodivost (resp. odpor) membrány a její permselektivita resp. selektivita.
- Tyto požadavky mohou být dále kombinovány s dalšími požadavky jako jsou teplotní či chemická odolnost apod.

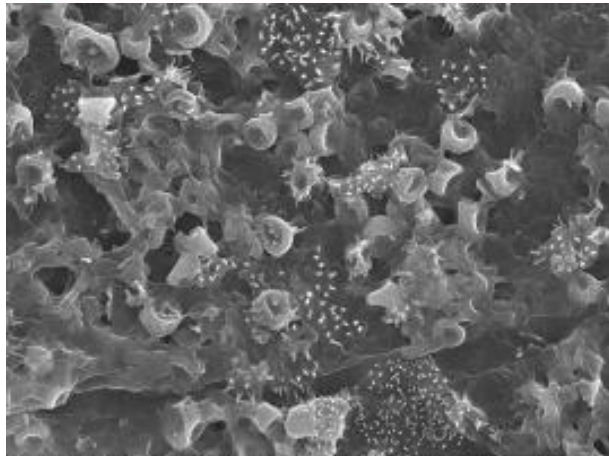
Aplikace		Parametr			
		Plošný odpor	Permselektivita	Selektivita	Ostatní
Voda	Zředěné roztoky	N	N	P	
	Vyšší solnost	D	D	N	
	Selektivní odsolování	P	P	P	Cílená selektivita pro daný typ iontu.
Energetika (EDI)		N	N	N	Minimální permeabilita a zpětná difúze
Syr ovátka		D	D	P	Chem. odolnost., odolnost vůči foulingu.
Víno		N	D	D	Vysoká selektivita odstraňování určitých iontů.
EDBM		D	D	P	Požadavek na tzv. proton blocking anexovou membránu.
EFC		N	N	N	Mechanická pevnost

Legenda: D – důležitý, N – nedůležitý, P – podmíněně důležitý (dle konkrétní aplikace)

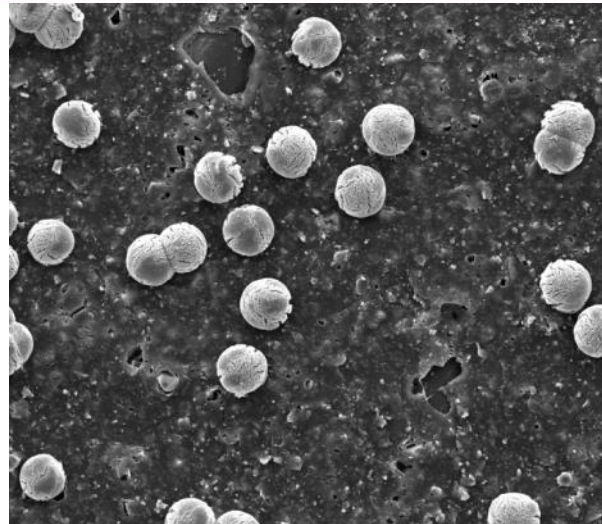
- Neexistuje univerzální membrána použitelná pro všechny aplikace.
  - I v rámci jednoho aplikačního segmentu jsou různé požadavky na vlastnosti IM.
- Při vývoji nových typů membrán je vždy nutné vycházet z požadavků dané technologie.
  - Vývoj membrán se specifickými požadavky pro danou aplikaci.
  - Důležitost konkrétního parametru je dána prioritami dané aplikace.
- **Před zahájením vývoje nového typu IM je nutný rozbor dané aplikace**
  - **Určit kritická místa stávající nebo nově zamýšlené technologie.**
    - Složení zpracovávaných roztoků.
    - Fouling a scaling
    - Analýza možných poškození v důsledku nevhodných provozních podmínek.
    - Požadavky na čištění, sanitaci, skladování apod.

- Mléčná syrovátka je typickým příkladem roztoku s vysokým obsahem bioaktivní složky. Toto ve spojitosti s požadavky na vlastnosti produktu generuje mnohé technologické problémy a rizika.
- Biologická aktivita syrovátky
  - Nutnost zpracovávat roztok při co nejnižší teplotě, co nejkratší dobu a frekventovanou sanitací.
  - Přidávky biocidních prostředků jsou v mnohých případech vyloučeny nebo značně omezeny (restrikce potravinářského průmyslu).
- Vysoký obsah organické složky
  - Generuje nutnost častého chemického případně i mechanického čištění.
- Neúměrné zvyšování napětí pro maximalizaci transportu solí.
  - Zvýšené riziko překročení limitního proudu s následnými efekty jako změna pH, srážení bílkovin a v kritickém případě až napálení membrán.
- Stupeň demineralizace
  - Pro hlubokou demineralizaci je nutno použít membrány s neselektivním transportem všech iontů.
  - S rostoucím stupněm demineralizace narůstá riziko vzniku dalších problémů souvisejících s možným srážením jednotlivých složek.
- Požadavky na selektivní odstraňování složek
  - V takto složitém roztoku je selektivní demineralizace komplikovaná a často implikuje další požadavky na vybavení technologie jako např. dodatečná úprava nebo nutnost častější a silnější regenerace použitých membrán.

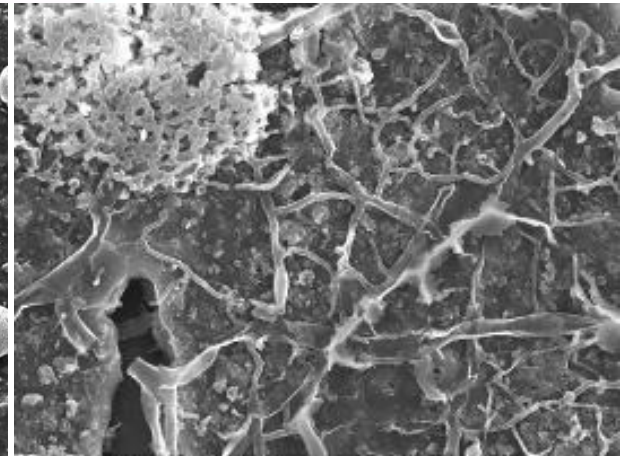
- Tento segment je velmi rozsáhlý a zahrnující jak oblasti úpravy pitné vody či ultračisté vody, tak oblasti zpracování odpadních vod až po speciální aplikace.
- S ohledem na rozsáhlost tohoto segmentu a různorodost zpracovávaných roztoků je nutné přistupovat k daným aplikacím individuálně s možným přihlédnutím k analogii.
- Značnou pozornost je třeba věnovat důkladné analýze roztoků a při návrhu vhodné technologie se zaměřit rovněž na zařazení vhodné předúpravy.
- Rovněž je nutné na základě požadavků a charakteru zpracovávaného roztoku zvolit vhodný režim procesu:
  - Vsádková demineralizace
  - Jednoprůchodový režim
  - Feed and bleed režim
- Neméně důležitá je i zpětná vazba, tj. získávání informací o průběhu procesu (stabilita, frekvence závad, čištění apod.) a rovněž průběžná analýza vlastních membrán (slouží k určení životnosti či požadavku na změnu vlastností).



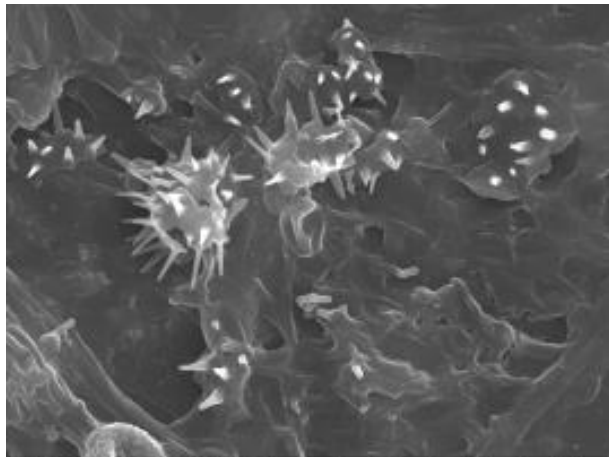
SEM MAG: 3.00 kx DET: SE Detector  
HV: 30.0 kV DATE: 05/28/08  
VAC: HV/ac Device: 5135  
00 um Vega ©Tescan  
Digital Microscopy Imaging



Mag	HV	Spot	WD	Det	HPW	Pressure	200.0um
100x	20.0 kV	3.0	10.0 mm	ETD	0.63 mm	---	162 CMH PES 1 anodovy pr.

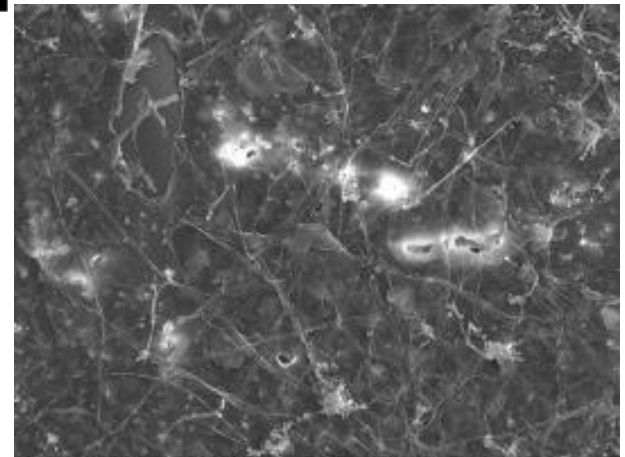


SEM MAG: 1.00 kx DET: SE Detector  
HV: 30.0 kV DATE: 05/28/08  
VAC: HV/ac Device: 5135  
100 um Vega ©Tescan  
Digital Microscopy Imaging



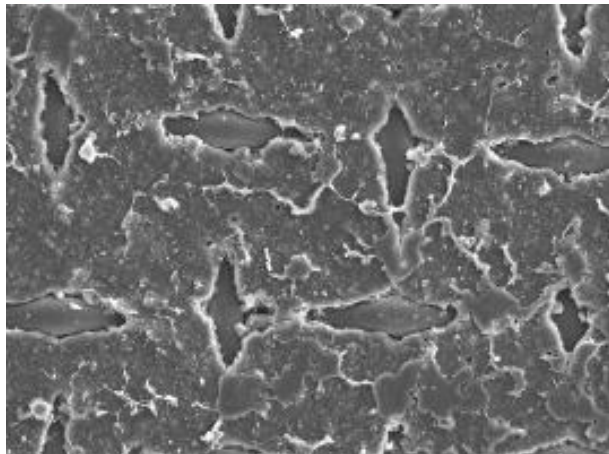
SEM MAG: 8.00 kx DET: SE Detector  
HV: 30.0 kV DATE: 05/28/08  
VAC: HV/ac Device: 5135  
20 um Vega ©Tescan  
Digital Microscopy Imaging

**Mikrobiologické znečištění  
membrán, vpravo vláknité houby.**

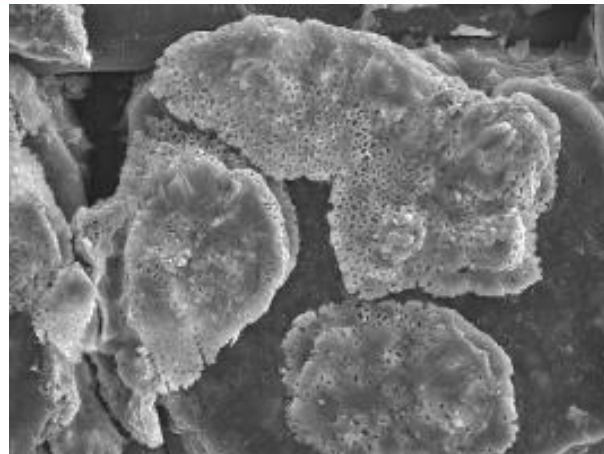


SEM MAG: 1.00 kx DET: SE Detector  
HV: 30.0 kV DATE: 04/14/08  
VAC: HV/ac Device: 5135  
100 um Vega ©Tescan  
Digital Microscopy Imaging

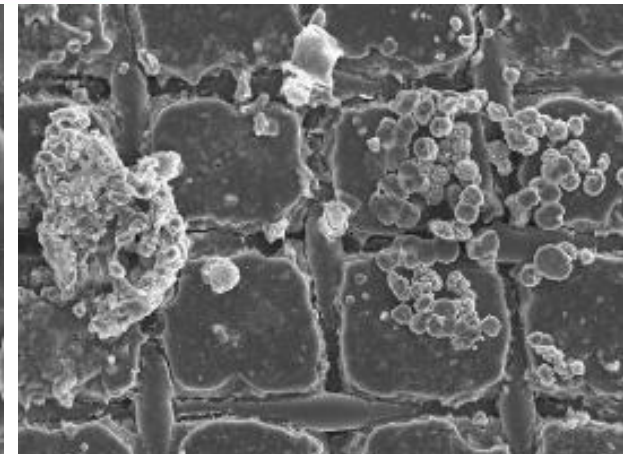
# Fouling, scaling



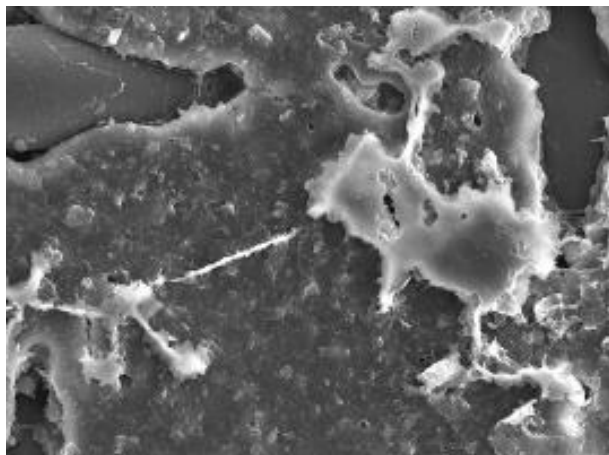
SEM MAG: 300 x DET: SE Detector  
HV: 30.0 kV DATE: 05/28/08  
VAC: HV/ac Device: 5135  
000 um Vega ©Tescan  
Digital Microscopy Imaging



SEM MAG: 1.00 kx DET: SE Detector  
HV: 30.0 kV DATE: 05/28/08  
VAC: HV/ac Device: 5135  
100 um Vega ©Tescan  
Digital Microscopy Imaging

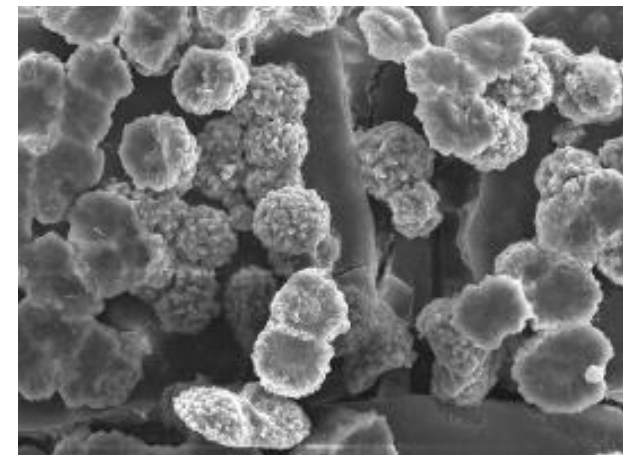


SEM MAG: 300 x DET: SE Detector  
HV: 30.0 kV DATE: 05/28/08  
VAC: HV/ac Device: 5135  
000 um Vega ©Tescan  
Digital Microscopy Imaging

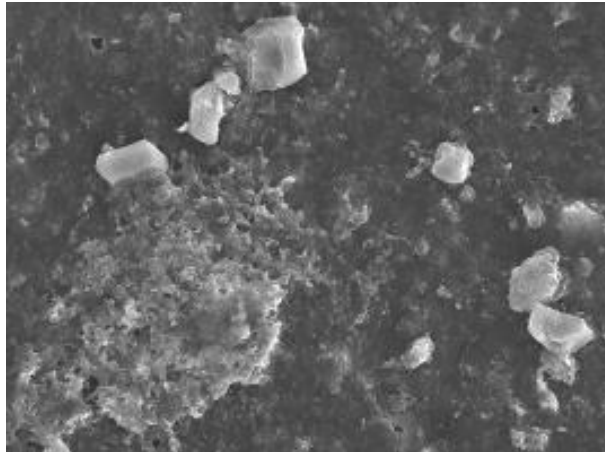
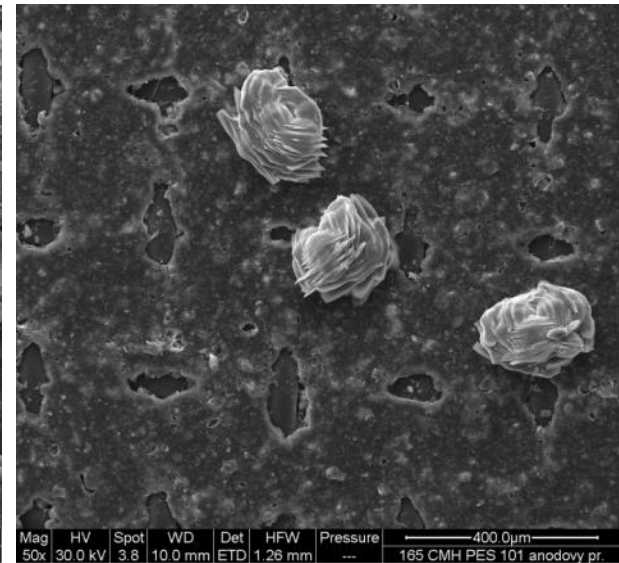
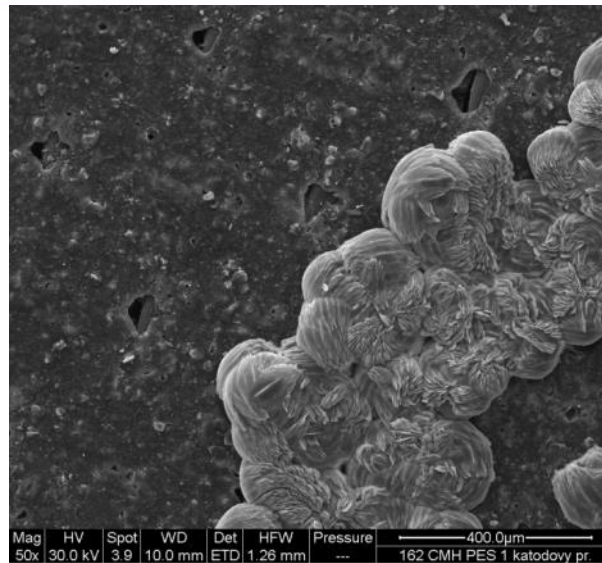
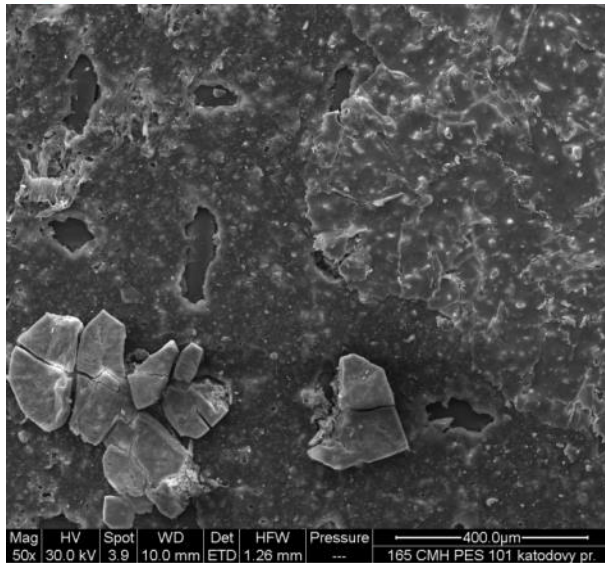


SEM MAG: 1.00 kx DET: SE Detector  
HV: 30.0 kV DATE: 05/28/08  
VAC: HV/ac Device: 5135  
100 um Vega ©Tescan  
Digital Microscopy Imaging

**Organické znečištění membrán  
vlevo, porézní struktura  
anorganického foulingu vpravo.**

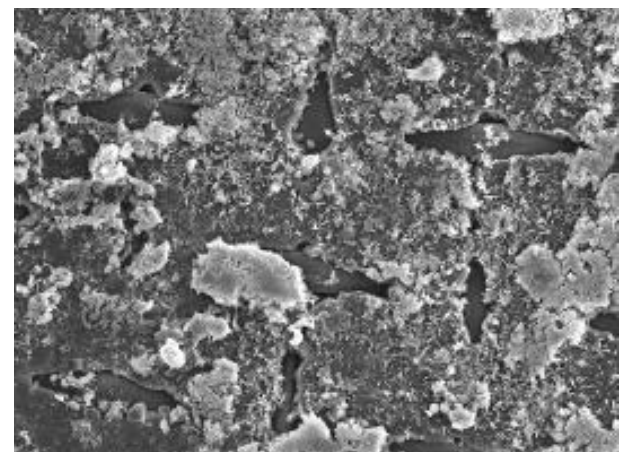


SEM MAG: 1.00 kx DET: SE Detector  
HV: 30.0 kV DATE: 05/28/08  
VAC: HV/ac Device: 5135  
100 um Vega ©Tescan  
Digital Microscopy Imaging

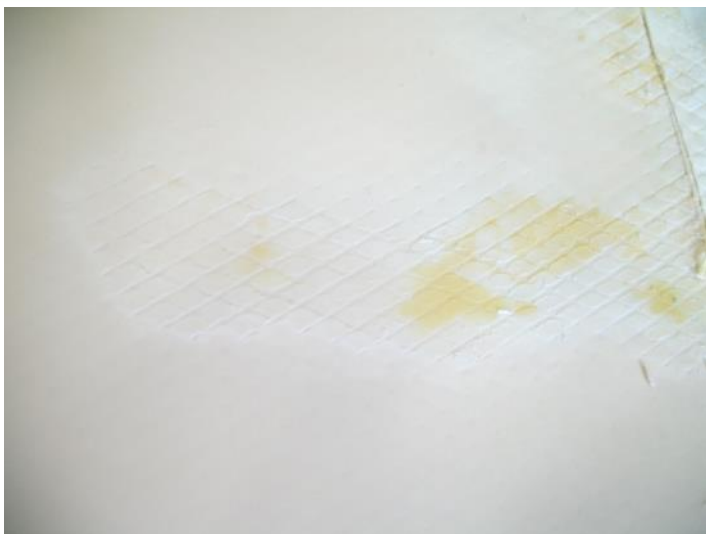


SEM MAG: 1.00 kx DET: SE Detector HV: 30.0 kV DATE: 05/28/08 VAC: HV/ac 100 µm Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Device: 5135

**Pravděpodobně se jedná o různé krystalické nebo amorfní struktury proteinů (v diluátu) nebo solí (v koncentrátu)**



SEM MAG: 300 x DET: SE Detector HV: 30.0 kV DATE: 05/28/08 VAC: HV/ac 500 µm Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Device: 5135



**Ukázka napálení membrán v  
důsledku nevhodných provozních  
podmínek.**



- U některých aplikací dochází k interakci zpracovávaného roztoku s membránou.
  - Sorpce látky na funkční skupiny a tím znehodnocení membrány.
  - Oxidace způsobující lokální nebo celkový rozpad materiálu.
  - Rozbotnění směsi nad její limit vedoucí např. k delaminaci nebo tvorbě puchýřů.
  - Vyloučení látky uvnitř membránové struktury (např. krystalizace) vedoucí ke vzniku puchýřků nebo až rozpad membránové směsi.



- Neexistuje univerzální membrána použitelná pro všechny aplikace.
  - I v rámci jednoho aplikačního segmentu jsou různé požadavky na vlastnosti IM.
- Při vývoji nových typů membrán je vždy nutné vycházet z požadavků dané technologie.
  - Vývoj membrán se specifickými požadavky pro danou aplikaci.
  - Důležitost konkrétního parametru je dána prioritami dané aplikace.
- Před zahájením vývoje nového typu IM je nutný rozbor dané aplikace
  - Určit kritická místa stávající nebo nově zamýšlené technologie.
    - Složení zpracovávaných roztoků.
    - Fouling a scaling
    - Analýza možných poškození v důsledku nevhodných provozních podmínek.
    - Požadavky na čištění, sanitaci, skladování apod.
  - Určit klíčové parametry nové membrány.

## ➤ Fyzikální vlastnosti

### ➤ Základní geometrie

- Ploché, profilované, tubulární útvary nebo dutá vlákna
- Tloušťka, rozměrové změny při botnání atd. (má vliv na ostatní parametry)

### ➤ Mechanická pevnost – pevnost při protržení

- IM by měla mít dostatečné mechanické vlastnosti pro použití v dané aplikaci.
- U armovaných IM je mechanická pevnost IM daná prakticky jen pevností textilie.

### ➤ Teplotní odolnost

- Vysoká teplotní odolnost umožňuje provoz i za vyšších teplot.

### ➤ Chemická odolnost

- Vysoká chemická odolnost zaručuje dlouhou živostnost a umožňuje požit častější nebo agresivnější CIP

## ➤ Elektrochemické vlastnosti

### ➤ Iontová vodivost

- Zajišťuje maximální transport iontů

### ➤ Permselektivita

- Určuje jak dobře membrána selektivně odděluje kationty od aniontů.

### ➤ Selektivita

- Určuje jak dobře membrána selektivně transportuje jednotlivé typy iontů

### ➤ Permeabilita

- Určuje, jak moc membrána propouští vodu (měla by co nejméně).

### ➤ Difuze

- Do jisté míry souvisí s iontovou vodivostí a určuje, jak snadno ionty přechází přes membránu bez vloženého napětí vlivem koncentračního spádu.
- Zpětná difuze je u většiny aplikací nežádoucí a snižuje účinnost separace procesu.

## ➤ Cena

- Nízká cena přispívá ke konkurenceschopnosti

- Neexistuje univerzální membrána použitelná pro všechny aplikace.
  - I v rámci jednoho aplikačního segmentu jsou různé požadavky na vlastnosti IM.
- Při vývoji nových typů membrán je vždy nutné vycházet z požadavků dané technologie.
  - Vývoj membrán se specifickými požadavky pro danou aplikaci.
  - Důležitost konkrétního parametru je dána prioritami dané aplikace.
- Před zahájením vývoje nového typu IM je nutný rozbor dané aplikace
  - Určit kritická místa stávající nebo nově zamýšlené technologie.
    - Složení zpracovávaných roztoků.
    - Fouling a scaling
    - Analýza možných poškození v důsledku nevhodných provozních podmínek.
    - Požadavky na čištění, sanitaci, skladování apod.
  - Určit klíčové parametry nové membrány.
- Je nutné respektovat limity výroby i vlastností homogenních a heterogenních membrán.

## ➤ Homogenní:

### ➤ Pozitiva

- Jsou schopné dosahovat velmi malých tlouštěk a tedy i velmi nízkých odporů.
- Dosahují velmi vysokých permselektivit i při velmi nízkých odporech.
- Jsou schopné dosahovat vyšších selektivit vůči jednomocným iontům.

### ➤ Negativa

- U většiny typů nutnost uchovávat membrány vždy ve zbotnalém stavu (komplikace při skladování).
- U většiny typů nižší chemická odolnost.
- Vyšší cena v důsledku komplikovanější technologie výroby.

## ➤ Heterogenní:

### ➤ Pozitiva

- Vysoce univerzální kompozit umožňující snadnou variabilitu dle aplikace.
- Termoplastické typy umožňují výrobu rozličných tvarů od hladkých přes profilované až po dutá vlákna.
- Často mnohem vyšší chemická odolnost.
- Z důvodu nižší selektivity jsou schopné transportovat i vícevalentní ionty.
- Nižší cena v důsledku jednodušší a nenáročné výroby. Nejvyšší položkou je cena armující textilie.

### ➤ Negativa

- Vyšší tloušťka zvyšuje odpor IM a rovněž zvětšuje objem svazku, tj. omezuje maximální počet párů v ED.
- S ohledem na heterogenní charakter směsi tyto IM nikdy nedosáhnou tak vysokých permselektivit.
- Nižší selektivita vůči jednomocným iontům.

- Vývoj nových typů membrán je tažen jak zvyšujícími se nároky stávajících aplikací, tak především snahy o rozšíření aplikační oblasti.
- Zlepšení užitečných vlastností stávajících membrán
  - Membrány se zvýšenou vodivostí
  - Membrány se zvýšenou teplotní odolností
  - Membrány se zvýšenou chemickou odolností
- Vývoj nových typů membrán
  - Extrudovaná trubková membrána (ETM) pro elektroforézu
  - Membrány selektivní pro univalentní ionty
  - Membránové fólie (MF)
  - Bipolární membrány (BM)
  - Profilované membrány
  - Membrány ve formě dutých vláken

- Prakticky u všech typů membrán platí, že vodivost je úměrná koncentraci funkčních skupin.
  - S rostoucím koncentrací funkčních skupin roste obsah vody až do doby, kdy dojde k rozpuštění polymeru.
  - U heterogenních IM je limit dán maximálním možným stupněm naplnění.
  - S rostoucí koncentrací funkčních skupin klesá mechanická pevnost.
- Je nutné nalézt kompromis mezi koncentrací funkčních skupin, obsahem botnací vody a mechanickou pevností.
- Na vodivost má vliv i typ funkčních skupin.
  - Čím je daná skupina kyselejší nebo zásaditější, tím vyšší iontové vodivosti dosahuje.
- Dále je třeba mít na paměti, že s rostoucí vodivostí roste i zpětná difuze.
- Vysoce vodivé membrány mohou nalézt uplatnění v řadě aplikací zpracovávajících koncentrovanější roztoky.

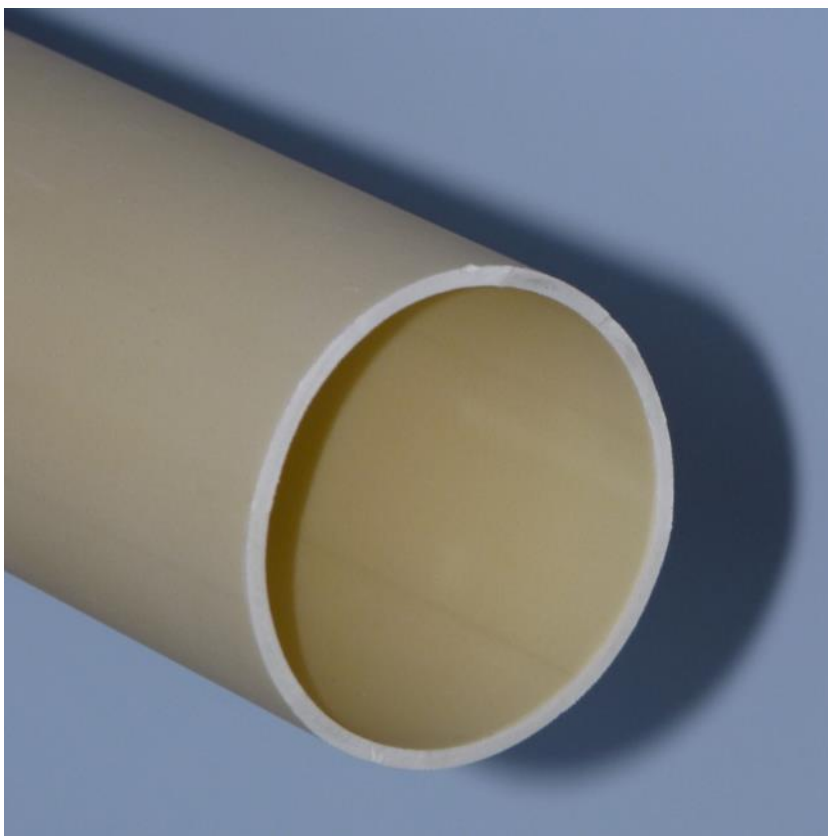
- Vyšší teplotní odolnost je u některých aplikací vyžadována ze následujících důvodů.
  - Vyšší pracovní teplota z důvodu zvýšení vodivosti a tedy i transportu iontů.
  - Zvýšení odolnosti ED zařízení vůči lokálnímu přehřátí a následnému napálení.
  - Možnost tepelné sanitace
- Pro elektro membránové aplikace jsou žádané provozní teploty až do cca 80°C.
- V současné době je většina IM schopna práce kolem 50-60°C s výjimkou anexových membrán v OH cyklu, které mají omezení kolem 35-40°C.
  - U anexových membrán je limitujícím faktorem teplotní stabilita silně bazické kvarterní amoniové skupiny.
- Kromě omezené teplotní stability anexových membrán je dalším limitujícím faktorem teplotní stabilita nosného polymeru a to jak u homogenních, tak zvláště u heterogenních membrán.



- Vysoká chemická odolnost je jednou z podmínek záruky dlouhodobé životnosti membrán.
- Většina stávajících membrán je odolná převážně v oblasti pH 0-10.
  - Menšina membrán je stabilních v alkalickém a ještě méně v celé oblasti pH.
- Ve většině případech je limitujícím faktorem chemická stabilita armující textilie. Ta je nezbytná pro dosažení odpovídajících mechanických vlastností.
  - PES, PAD a polyakrylát jsou materiály pro levné typy textilií, avšak s omezenou chemickou odolností.
  - PP a PEEK jsou chemicky velmi stabilní. PEEK je navíc i teplotně velmi odolný, ale také i velmi drahý.
- U anexových membrán je rovněž limitujícím faktorem omezená chemická stabilita kvarterní amoniové skupiny.
  - Kromě omezené teplotní odolnosti je toto další důvod proč se zaměřit na hledání stabilnější funkční skupiny.

- Extrudovaná trubková membrána (ETM) je speciálním typem membrány pro elektroforetické lakování.
- Hlavními požadavky na tento typ membrány jsou vysoká mechanická pevnost, dlouhodobá životnost a spolehlivost.
- Akceptovány jsou vyšší elektrochemické odpory vzhledem k nízké vodivosti pracovních roztoků. To nám dává možnost zvýšit obsah pojiva na úkor iontovýměnné složky a tím posílit mechanické vlastnosti membrány.
- Ne u všech typů membrán je možné aplikovat tento postup, a proto je toto ukázka relativně jednoduchého řešení.
- Další možností zvýšení pevnosti ETM je aplikace krátkých vláken přímo do membránové směsi.
- Nedílnou součástí vývoje je i vlastní technologie výroby.

# Extrudovaná trubková membrána



Průmyslové membránové technologie  
Převládání EBTW a Ralco jako nejlepší řešení



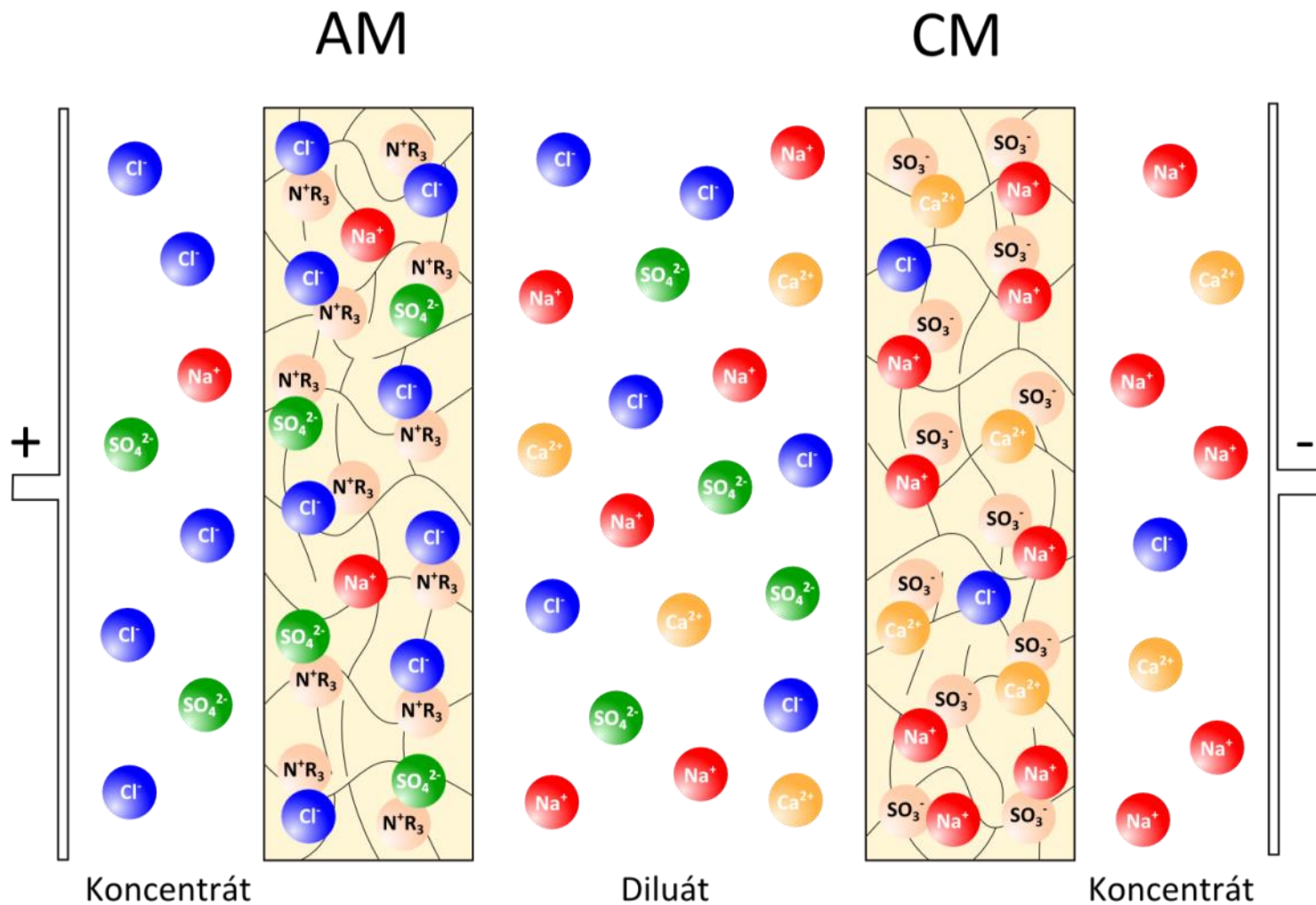
**Ukázka nánosu barvy na povrchu svařované trubkové membrány Ralex. Vlevo kompletně zanesený povrch bez možnosti očisty, vpravo pokus o očistu (světlá část očištěná)**



**Ukázka zanesení povrchu ETM Ralex Tube, vlevo po 9 měsících provozu v Benteler, vpravo po 16 měsících v Korado.**

- Pro některé aplikace je žádoucí selektivní odstraňování např. pouze jednomocných nebo vícemocných iontů.
- V současné době neexistuje membrána, která by byla selektivní jen pro univalentní nebo vícevalentní ionty.
  - IM jsou buď více nebo méně selektivní.

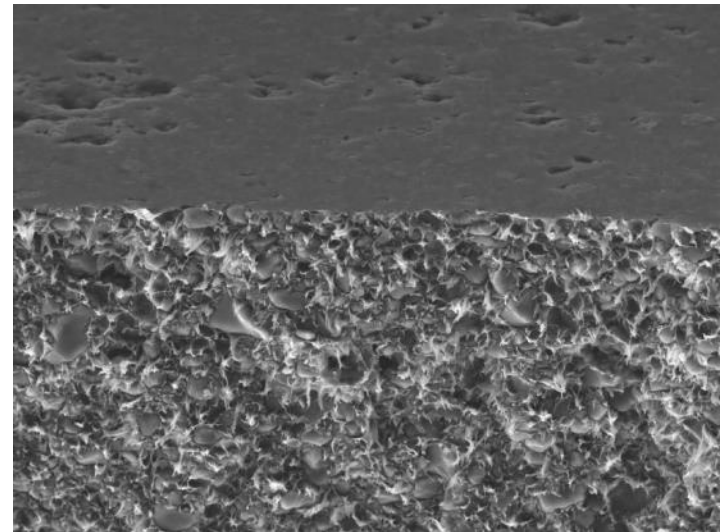
# IM selektivní pro univalentní ionty



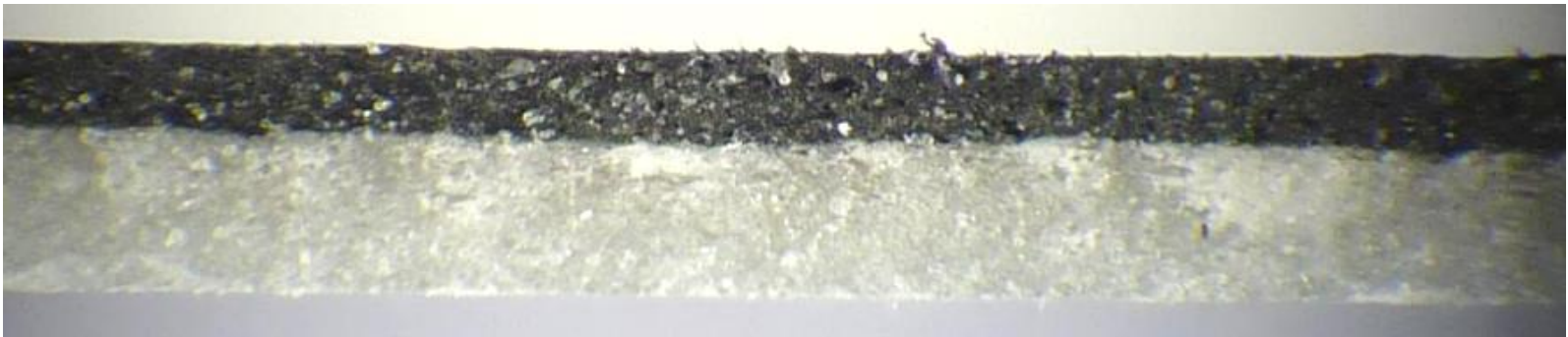
- Pro některé aplikace je žádoucí selektivní odstraňování např. pouze jednomocných nebo vícemocných iontů.
- V současné době neexistuje membrána, která by byla selektivní jen pro univalentní nebo vícevalentní ionty.
  - IM jsou buď více nebo méně selektivní.
- Z principu transportu iontů přes membránu je zřejmé, že dosáhnout selektivity jen pro vícevalentní ionty je téměř nemožné.
  - Malé jednomocné ionty budou téměř vždy transportovány snadněji.
- Pro zvýšení selektivity pro jednomocné ionty se nabízí řada řešení.
  - Použití funkčních skupin, kterou jsou primárně selektivnější vůči jednomocným iontům.
    - U anexových membrán např. použitím triethyl nebo tributhyl amoniové skupiny.
  - Vytvoření povrchové vrstvy s opačně vázanými funkčními skupinami.
    - Je popisována především u homogenních membrán.
  - Výše uvedené postupy jsem prozatím bezúspěšně ověřovali na heterogenních membránách Ralex.
    - Důvodem je pravděpodobně odlišná struktura membrána a s tím spojený mechanismus transportu iontů.



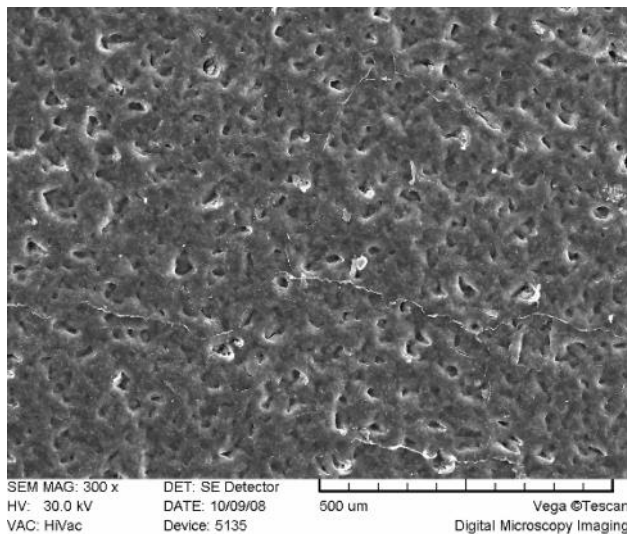
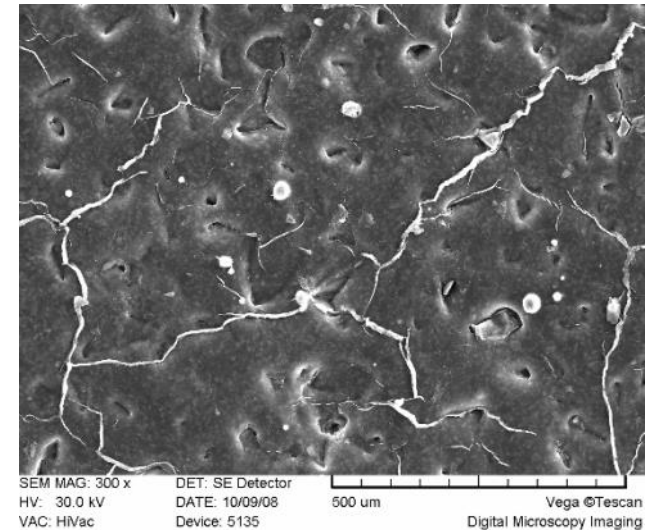
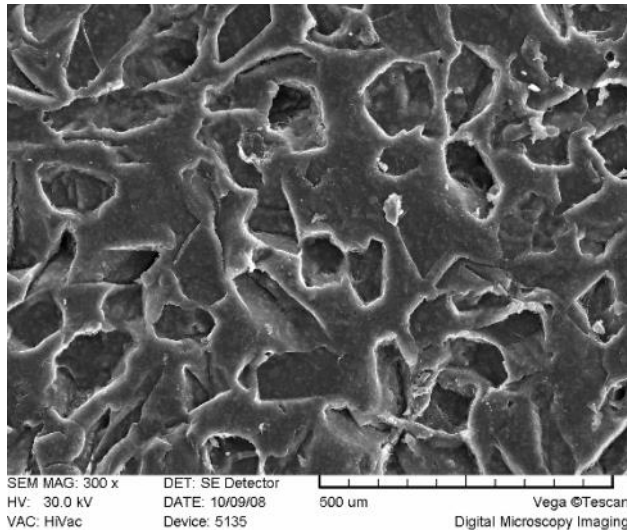
- Nearmované membránové fólie nacházejí uplatnění v EDI modulech firem Siemens a Snowpure.
  - Vzhledem k nízké vodivosti zpracovávaných roztoků není pro EDI vyžadována tak vysoká vodivost, a proto je možné snížení obsahu iontovýměnných částic v membráně na úkor zvýšení mechanické pevnosti.
- Využití MF u standardních ED aplikací je silně omezené.
  - Je nutné, aby MF měla dostatečnou vodivost i mechanické vlastnosti. Bohužel zlepšení vodivosti jde na úkor mechanické pevnosti a naopak.
    - Platí jak u homogenních, tak i heterogenních membrán.
  - Pro dosažení požadovaných vlastností je nutné najít vhodnou kombinaci složení resp. vhodného nosného polymeru, koncentrace funkčních skupin a stupeň zesítnění.
  - V MemBrain se nám podařilo vyvinout prototyp MF, která má dostatečné mechanické i elektrochemické vlastnosti pro použití v ED.
    - Dalším směrem vývoje je zlepšení mechanických vlastností např. použitím krátkých polymerových nebo anorganických vláken (PP, sklo, uhlík, apod.).



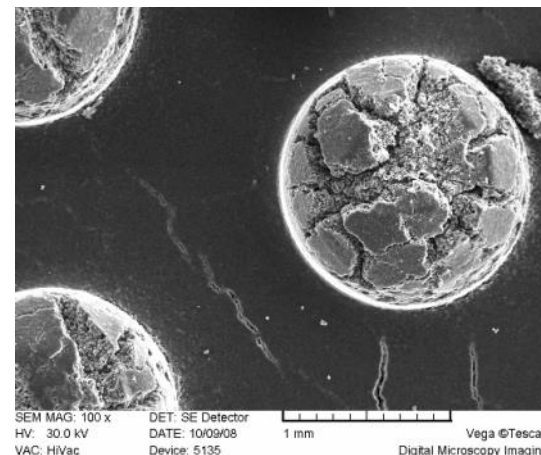
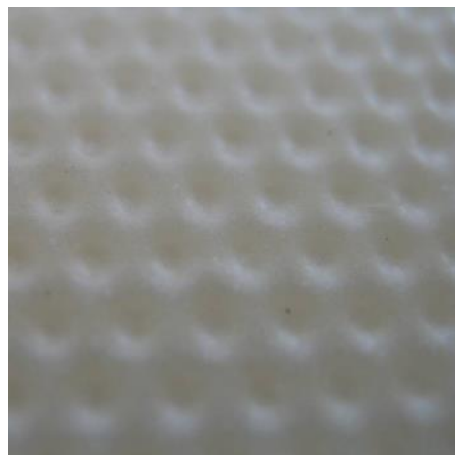
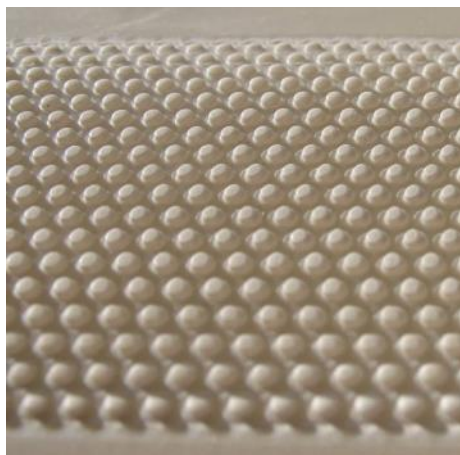
- Bipolární membrány (BM) jsou speciálním typem membrán, které při správném zapojení v elektrickém poli rozkládají vodu na  $H^+$  a  $OH^-$  ionty.
- BM se v základu skládají s katexové a anexové vrstvy. Pro zvýšení účinku rozkladu je doporučeno použití katalyzátoru, kterým mohou být hydroxidy kovů (Cr, Fe, ...), slabě bazické nebo kyselé funkční skupiny apod.
- Výroba BM závisí na typu membrány.
  - Lisování dvou monopolárních membrán
  - Postupné vrstvení
  - Koextruze
- Katalytická vrstva je buď do systému vnášena během výroby samotné BM nebo se vytváří dodatečně.



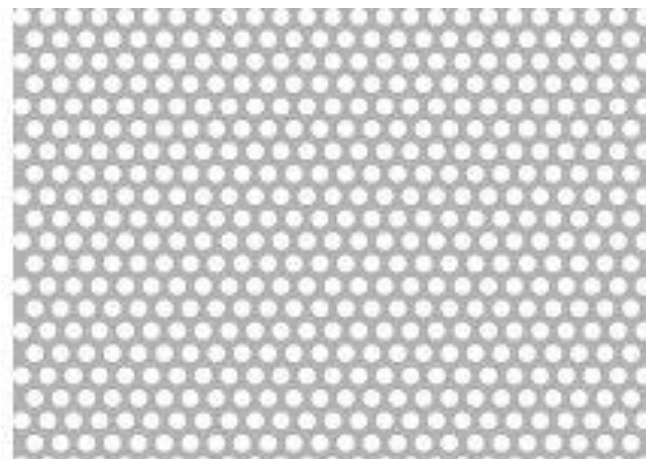
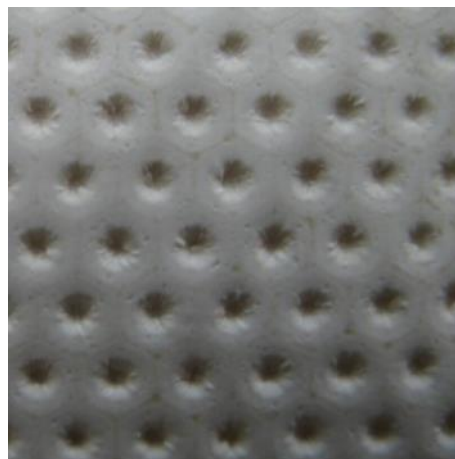
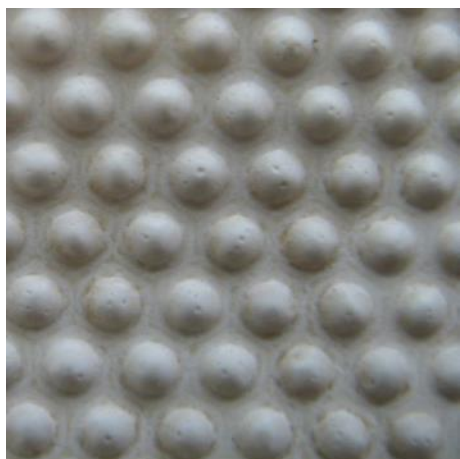
- Profilované membrány jsou v mnoha člancích prezentovány jako jedna z možností zvýšení transportu solí přes membránu, zvláště pak v oblasti nízkých koncentrací.
  - Profil vytváří u povrchu membrány turbulence, které by měli přispět ke zvýšení transportu iontů.
- Různé typy membrán vyžadují různý přístup při tvorbě profilů.
  - Lití roztoku do formy
  - Reliéfní tisk (imprinting)
  - Lokální nanášení roztoku (Microfluidic patterning)
  - Termoplastické profilování (thermoforming)
- Při vývoji profilovaných membrán je třeba zohlednit následující body
  - Nalezení nejvhodnějšího profilu jak z hlediska geometrie, tak i mechanických vlastností
  - Nalezení vhodné metody výroby
  - Nalezení vhodných rozdělovačů pro ED

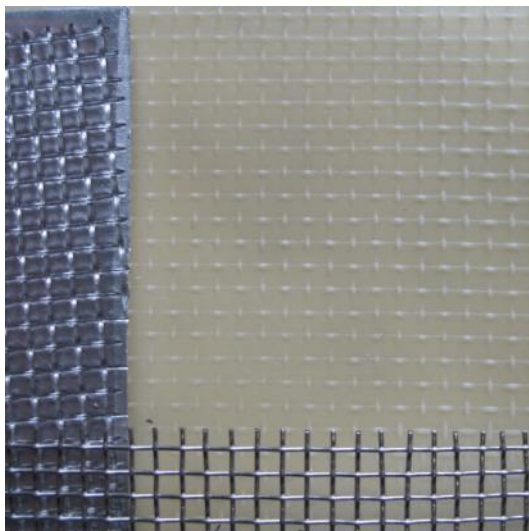


**Foto mikroprofilovaných  
membrán za použití brusného  
papíru o různé hrubosti.**

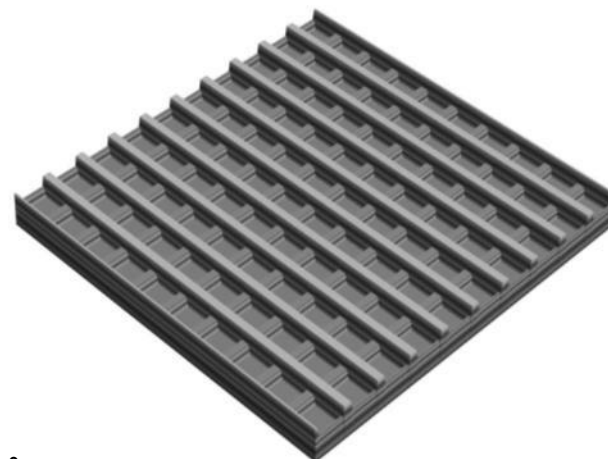
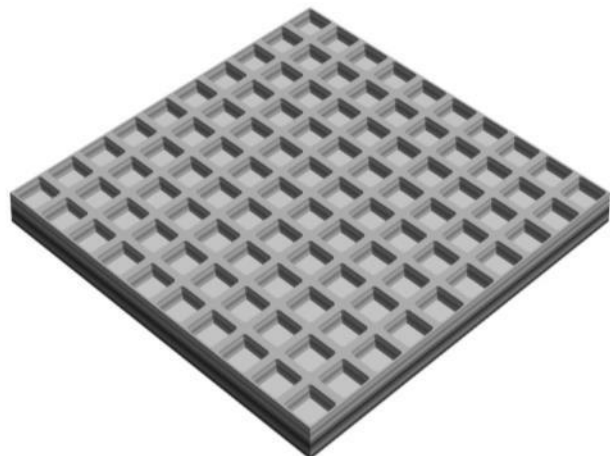


**Foto profilovaných membrán (nahore) a membránových fólií (dole) za použití děrovaného plechu.**

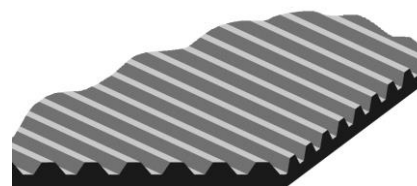
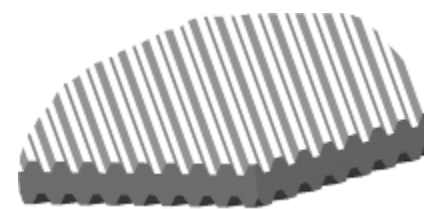
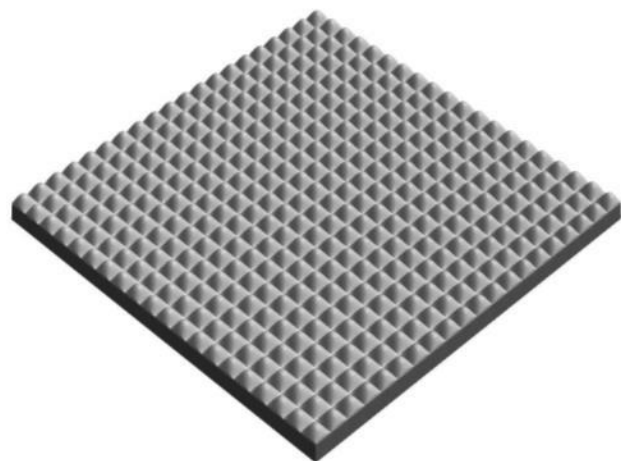


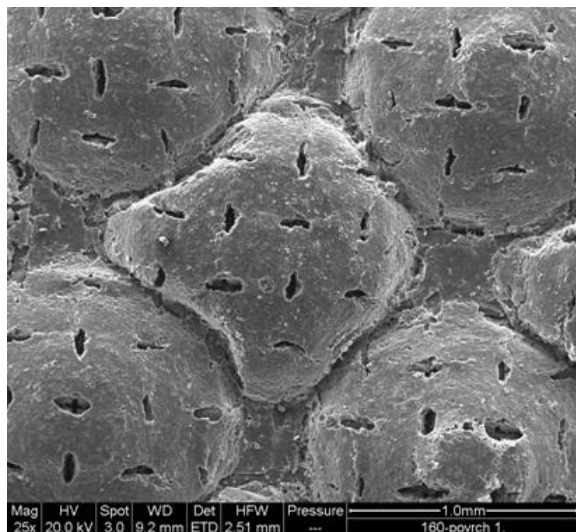
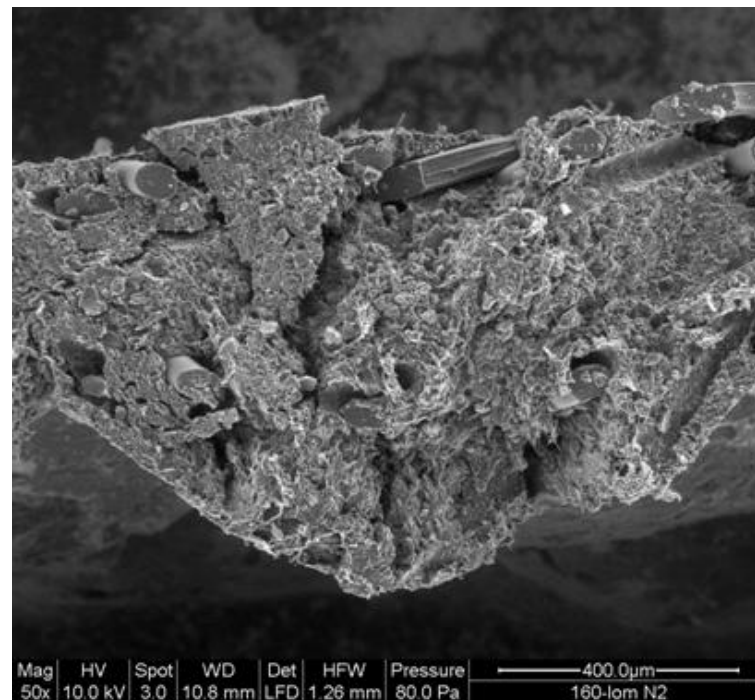


**Foto makroprofilovaných membrán připravených za použití nerezového síta nebo taženého síta (pozitivní a negativní profil)**



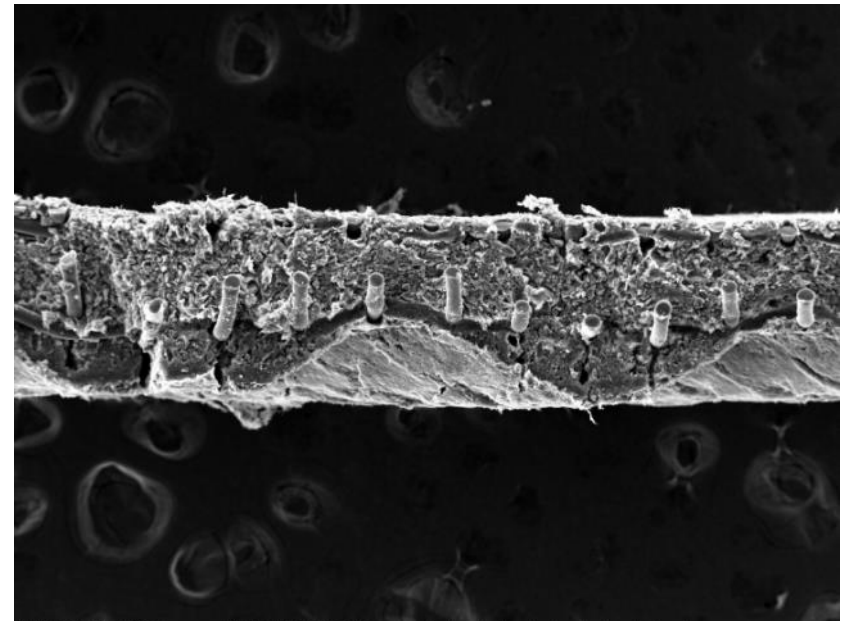
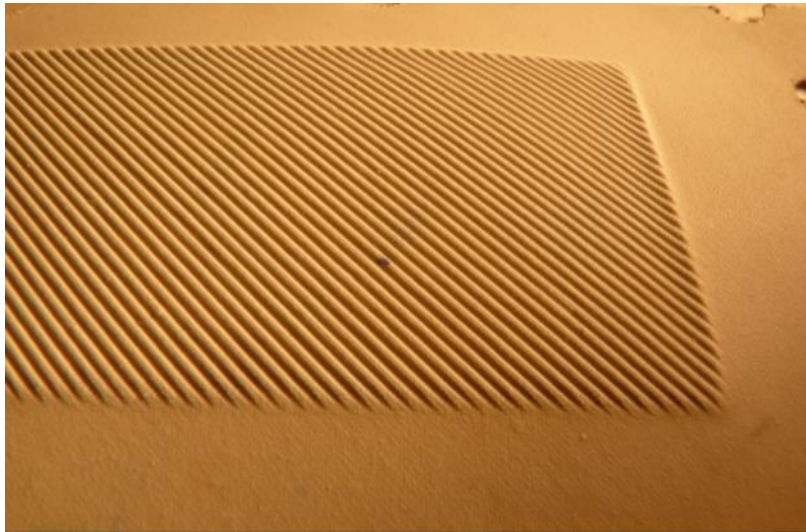
3D modely profilů



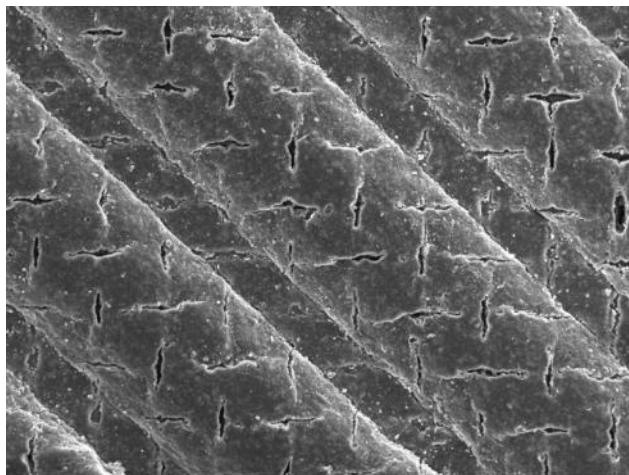


**Foto a mikrosken sférického profilu**





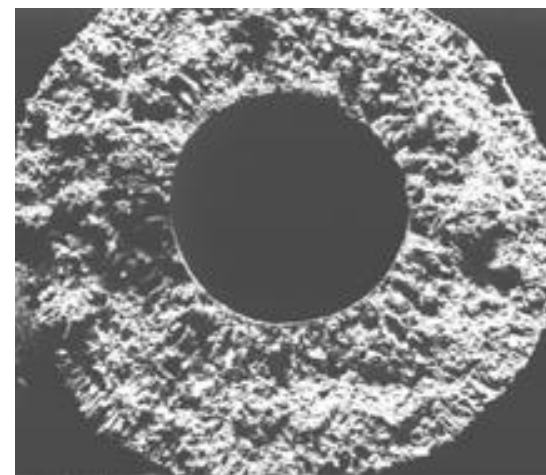
SEM MAG: 100 x    DET: SE Detector    1 mm    Vega ©Tescan  
HV: 30.0 kV    DATE: 06/22/10    Digital Microscopy Imaging  
VAC: HiVac    Device: 5135



SEM MAG: 100 x    DET: SE Detector    1 mm    Vega ©Tescan  
HV: 30.0 kV    DATE: 06/03/10    Digital Microscopy Imaging  
VAC: HiVac    Device: 5135

**Foto a mikrosken vlnkového profilu**

- Membrány ve formě dutých vláken jsou velmi často používány u tlakové membránové filtrace (MF, NF, RO).
  - Principem filtrace je, že přes membránu prochází buď jen kapalina (nejčastěji voda) a nebo i částice, které jsou menší než póry membrány.
- Ionově selektivní dutá vlákna mají teoretický potenciál např. pro difuzní dialýzu.
  - Na rozdíl od filtračních membrán, přes membránu prochází ionty vlivem difúze.
- Moduly s dutými vlákny mohou dosáhnout vyšší separační plochy ve srovnání s deskovými moduly.
- Dutá vlákna mají vyšší tlakovou odolnost a je tak možné separaci provádět i za vyššího tlaku.
  - Je zde potenciální využití pro kombinovaný proces tlakové membránové filtrace s difuzní dialýzou.
- Výroba dutých vláken je možná jak klasickou metodou tažení z roztoku (resp. suspenze), tak i extruzně u termoplastických materiálů.



- Důkazem neexistence univerzální membrány je fakt, že na trhu mezi sebou soupeří řada výrobců s různými typy membrán.
- Ač zaujímají iontově selektivní membrány jen malé procento membránových aplikací, jejich unikátní vlastnosti jsou nezastupitelné v řadě aplikací.
- Snahou vyvíjet stále nové typy iontově selektivních membrán není jen o udržení se na trhu, ale umožnit rozvoji dalších aplikací.
- Vývoj nových iontově selektivních membrán vyžaduje zapojení odborníků z různých oborů tak, aby bylo možné nové myšlenky realizovat v konkrétní produkty.
- Zájem o membránový obor je třeba podporovat již na školách v rámci studijních programů.



**Děkuji za  
pozornost**