

# 10. Membránové technologie v úpravě vody

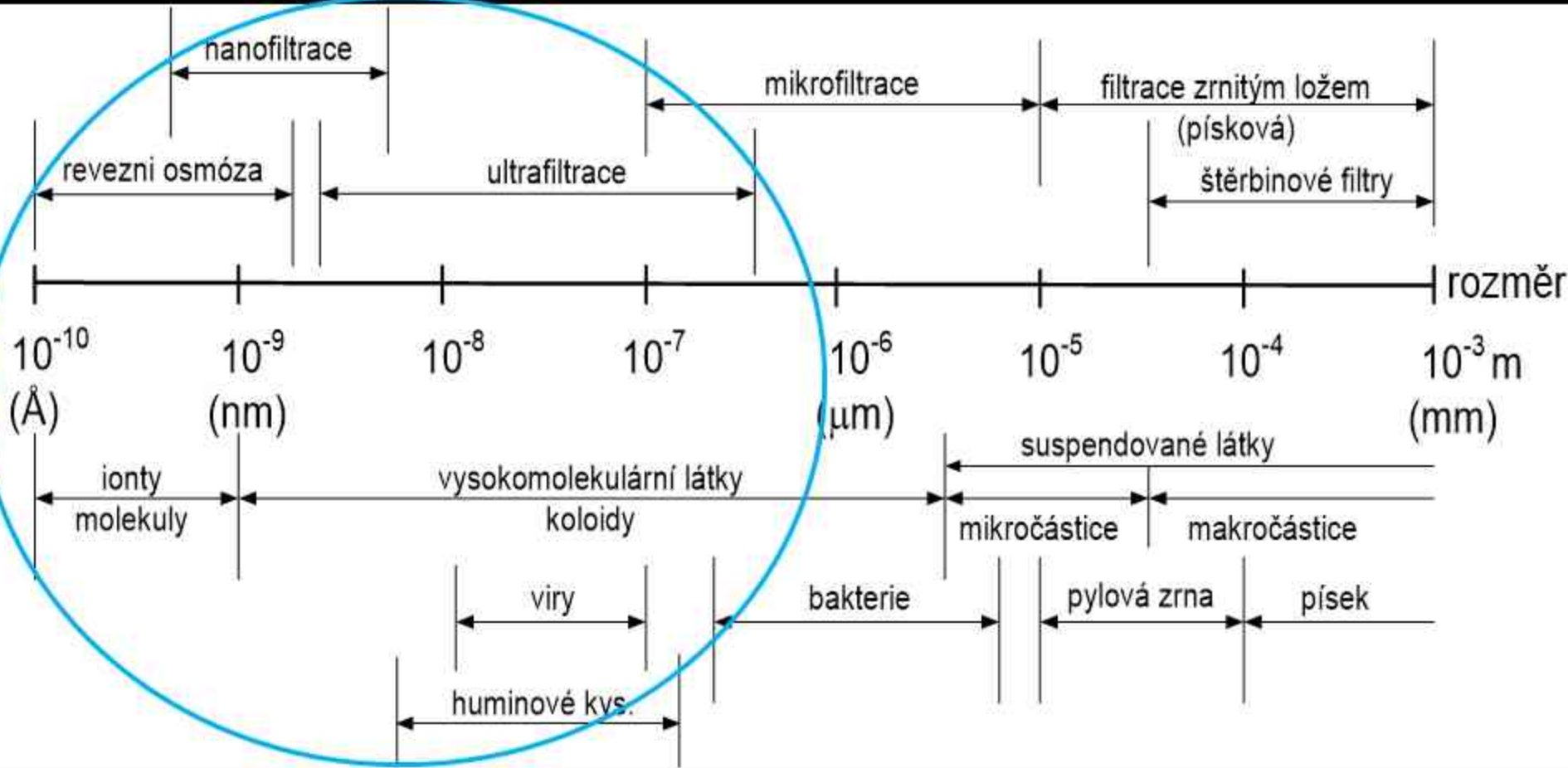
Základy energetiky

Vyučující

**Luděk Jelínek**

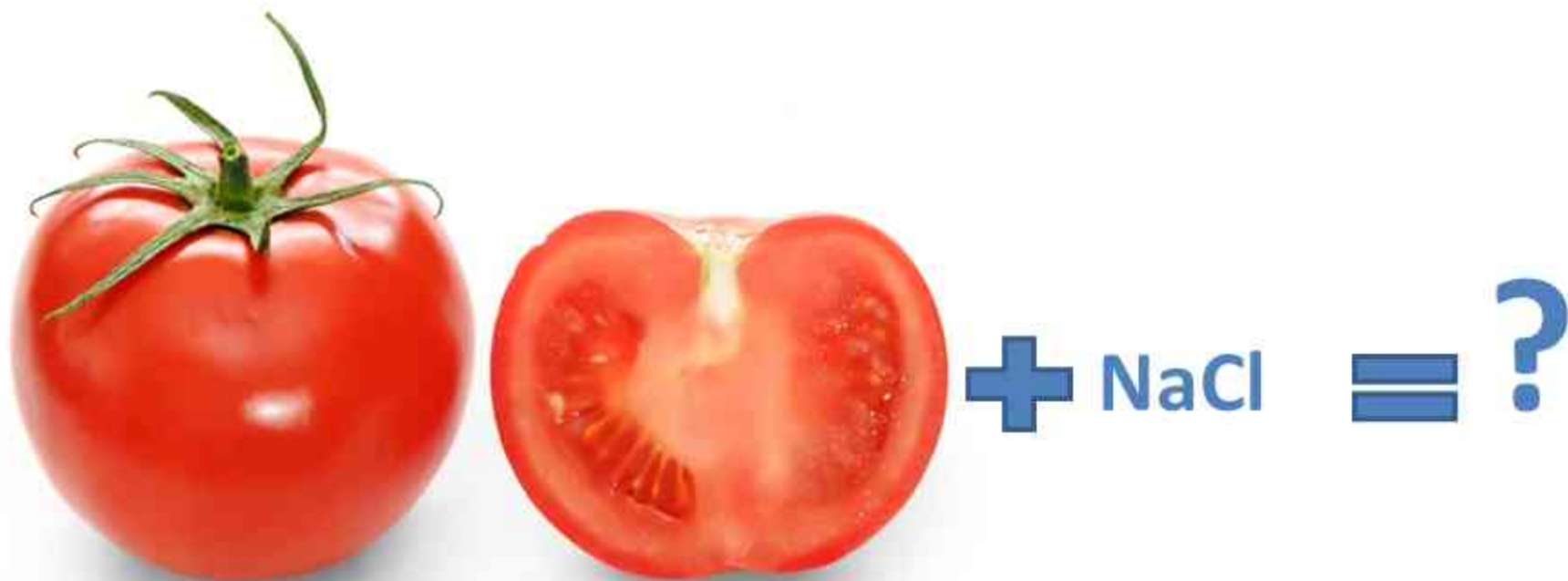
# Tlakové membránové procesy

# Velikost částic



Zdroj obrázku: Jelínek L. a kol. : *Desalinační a separační metody v úpravě vody*, VŠCHT Praha, 2009

# Co se stane když posolíte rozkrojené rajče??



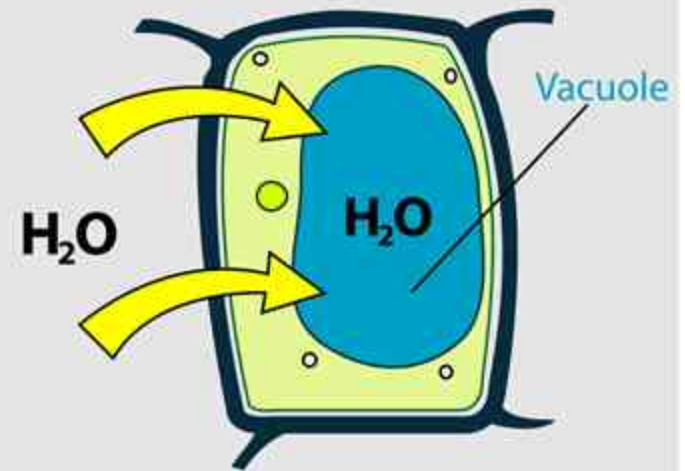
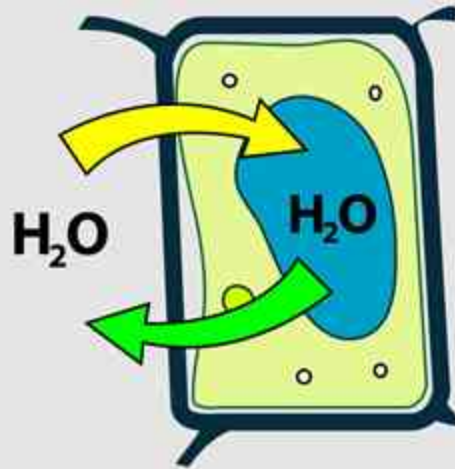
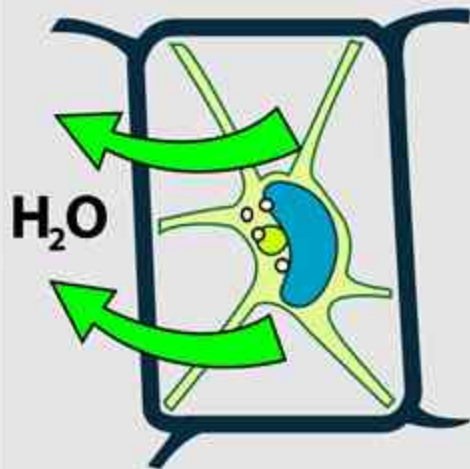
Zdroj obrázku: Wikimedia Commons,  
Autor: fir0002 | flagstaffotos.com.au

# Osmóza – vnější a vnitřní prostředí buňky

Hypertonic

Isotonic

Hypotonic



Plasmolyzed

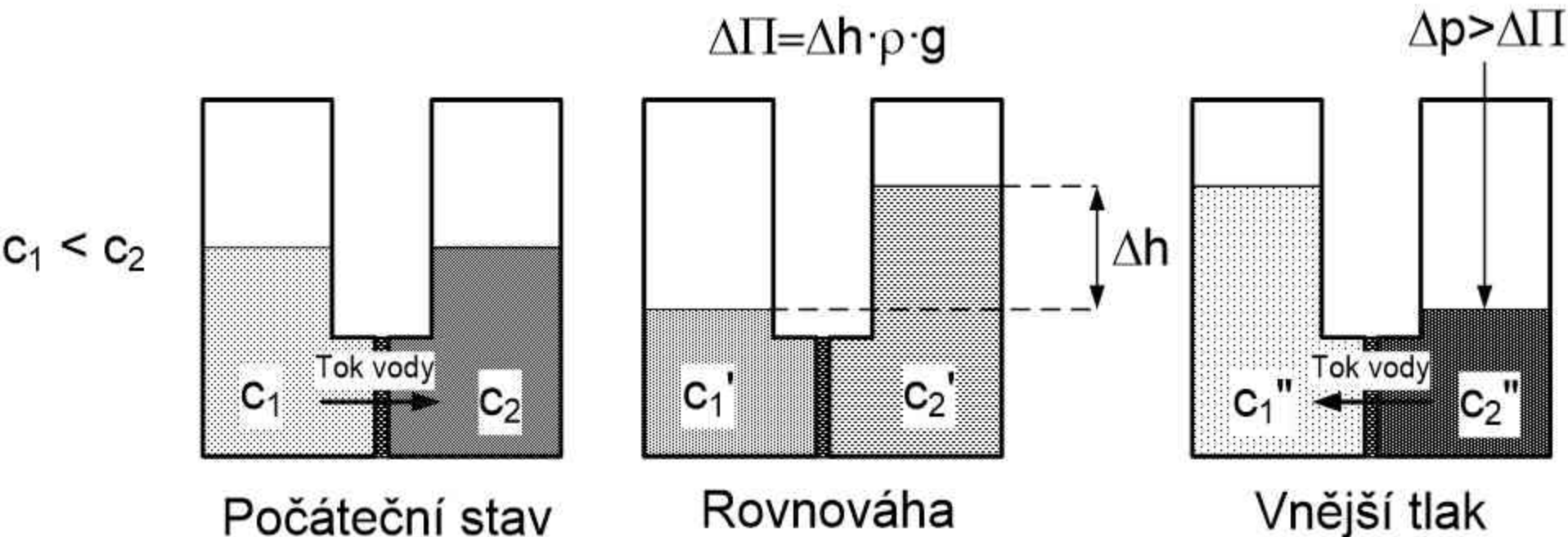
Flaccid

Turgid

Dalším případem mohou být červené krvinky a jejich reakce na změny osmotického koncentrace solí v prostředí – fyziologický roztok (0,9% NaCl)

# Reverzní osmóza

## van't Hoffova aka Morseho rovnice



Zdroj obrázku: Jelínek L. a kol.: *Desalinační a separační metody v úpravě vody*, VŠCHT Praha, 2009

$$\pi = iMRT$$

**i** van 't Hoffův faktor

**M** molarita [ $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ]

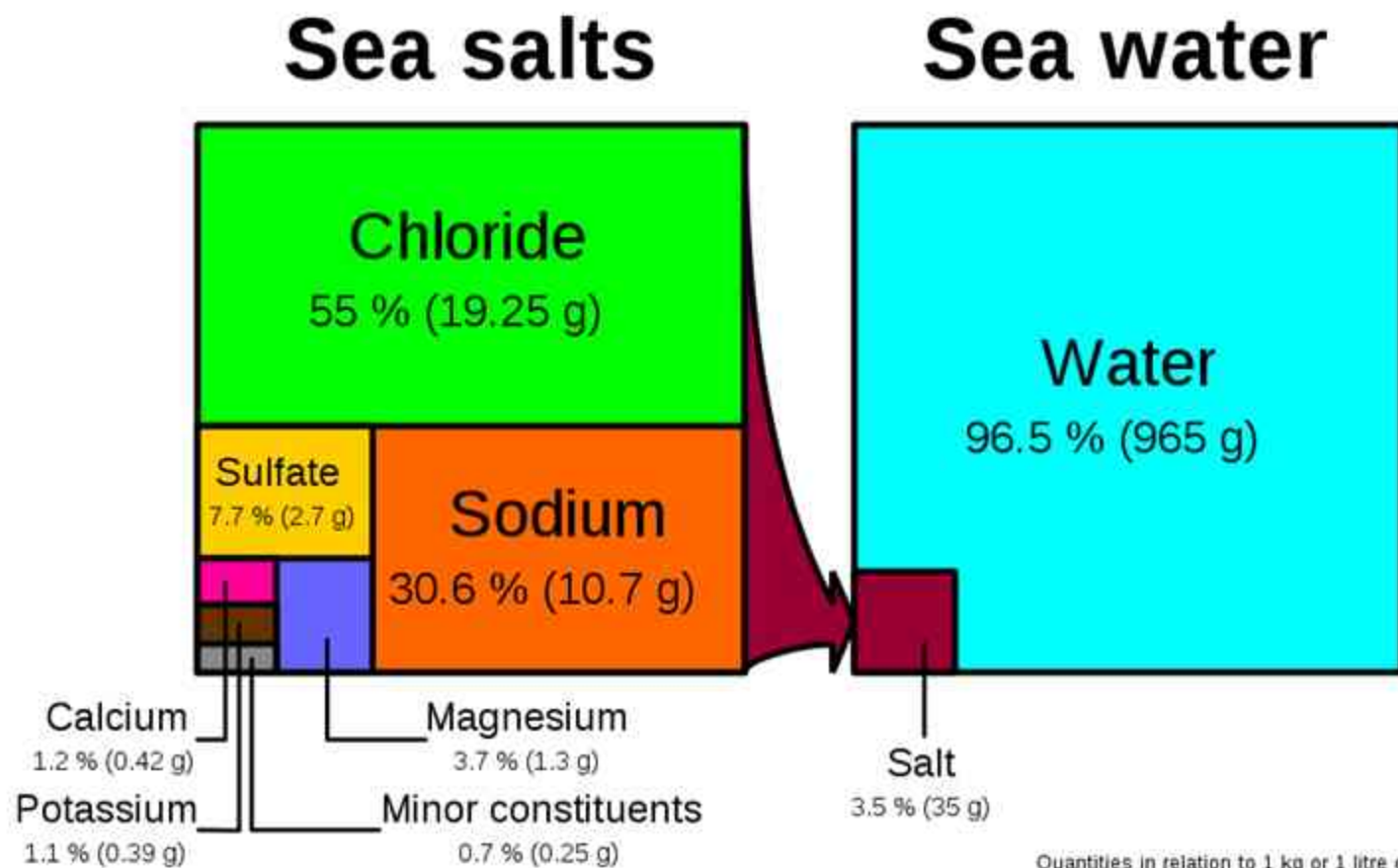
**R** univerzální plynová konstanta  $8.314472 \text{ dm}^3 \cdot \text{kPa} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

**T** termodynamická teplota [K]

# Reálné pracovní tlaky R/O

- Pitná voda
  - R/O stačí tlak ve vodovodním řadu tj. ca. 0,6 MPa
  - Moduly Dow Filmtec TW 30-1812 prac. tlak 340 kPa (3,4 bar)
- Průmyslové vody
  - Záleží na koncentrace rozpuštěných látek
  - V případě **zahušťování odpadních vod z ionexové demineralizace** tlaky srovnatelné nebo i vyšší než u mořské vody
- Mořská voda
  - pracovní tlak se pohybuje okolo 5 Mpa (50 bar)
  - Moduly Dow Filmtec SW30-380 prac. tlak 5,5 Mpa (55 bar)

# Příklad - desalinace mořské vody



Quantities in relation to 1 kg or 1 litre of sea water.

Zdroj obrázku: Wikimedia Commons,  
Autor: Hannes Grobe



# Výpočet – desalinace mořské vody

$$\pi = iMRT$$

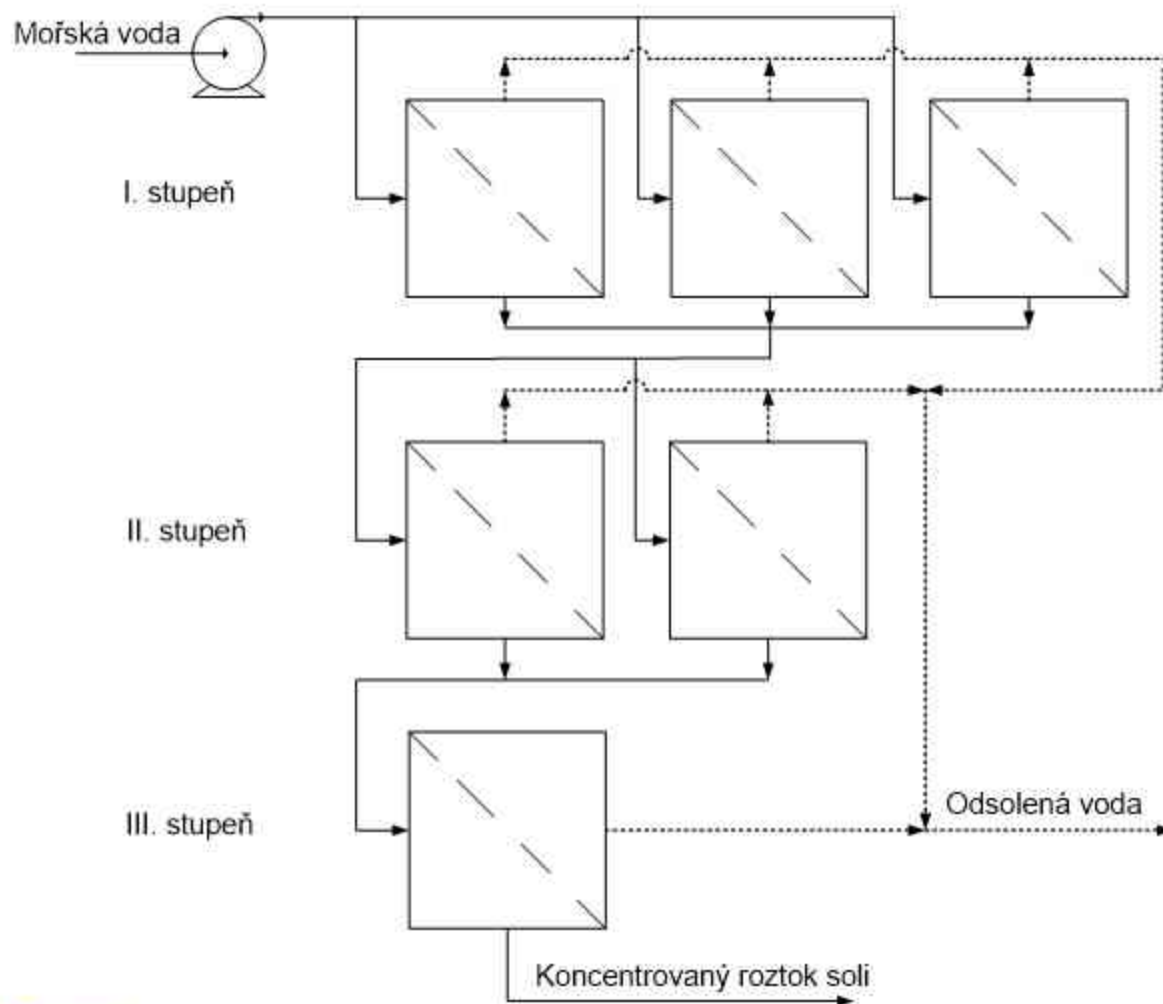
- Zjednodušení 35 g/l NaCl
- Tj. asi  $0,6 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
- $i = 2$      $\text{NaCl} \longrightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
- $R = 8.314472 \text{ dm}^3 \cdot \text{kPa} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
- 293,15 K (20 °C)

$$\pi = 2 * 0,6 * 8,314 * 293,15 = 2725 \text{ kPa}$$

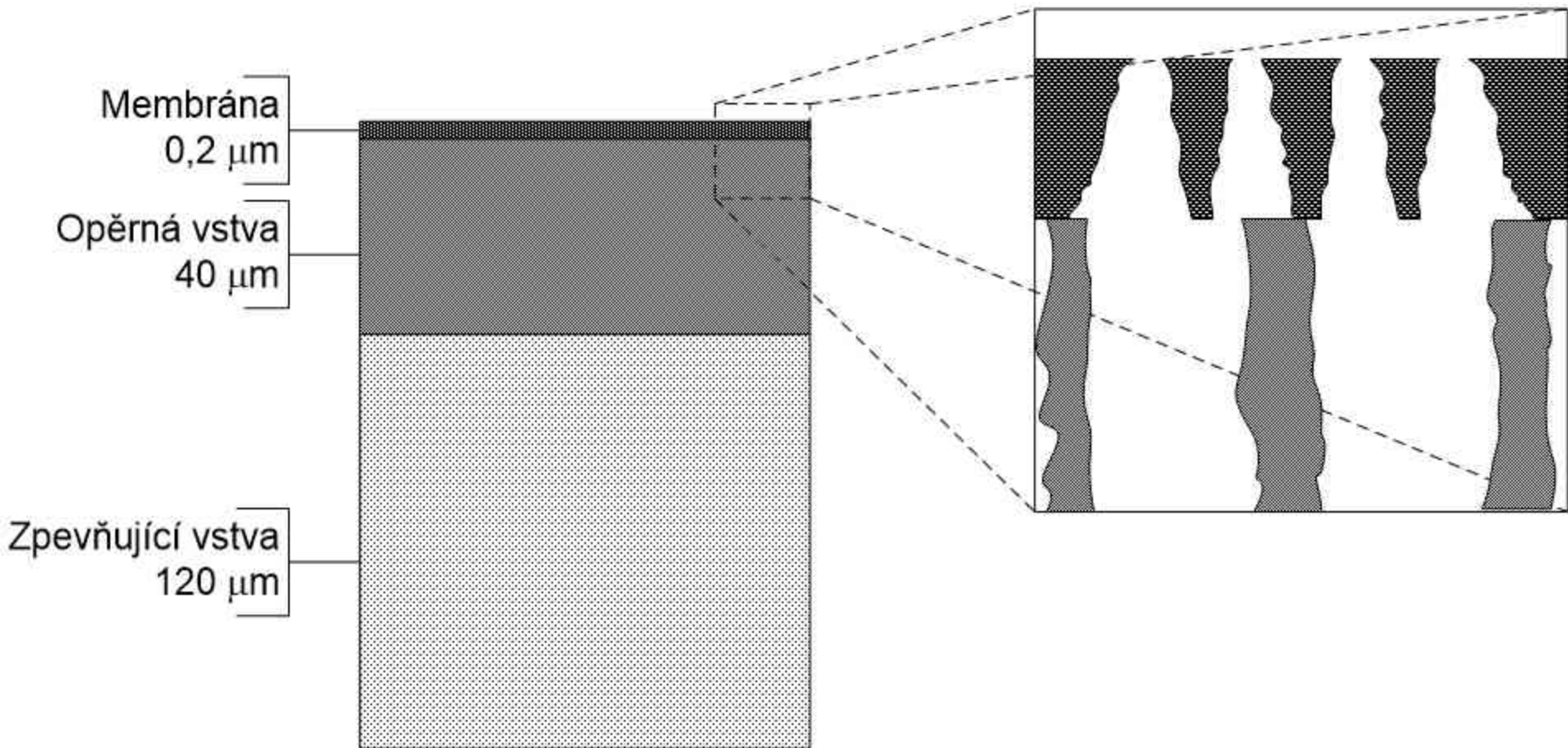
# Rozdíl mezi R/O a NF

- **NF – nižší pracovní tlaky nižší spotřeba energie**
  - Pitná voda
    - R/O
    - NF
- Rozdílná rejekce uni a divalentních iontů
  - $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$
  - $\text{Na}^+$
- NF někdy nazývána „membránové změkčování“
- Cut-off
  - R/O 100 Da
  - NF 200-300 Da

# Odsolování mořské vody

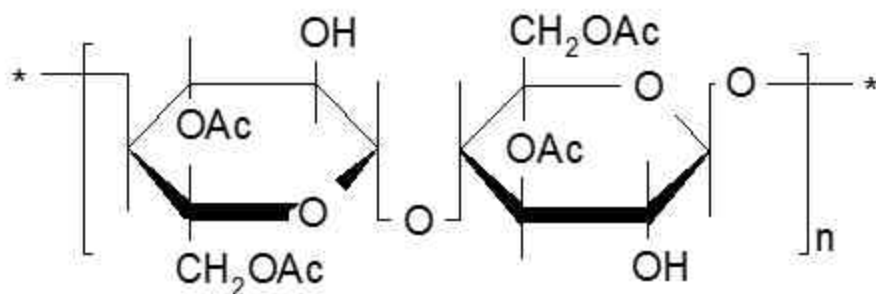


# Membrána

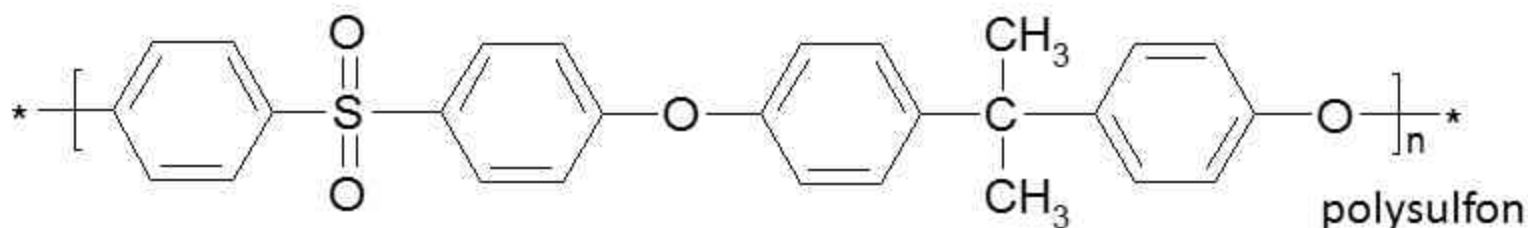


Zdroj obrázku: Jelínek L. a kol. : *Desalinační a separační metody v úpravě vody*, VŠCHT Praha, 2009

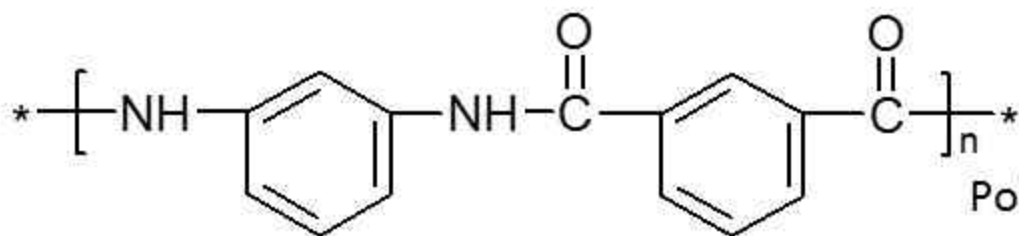
# Materiály membrán



acetát celulózy

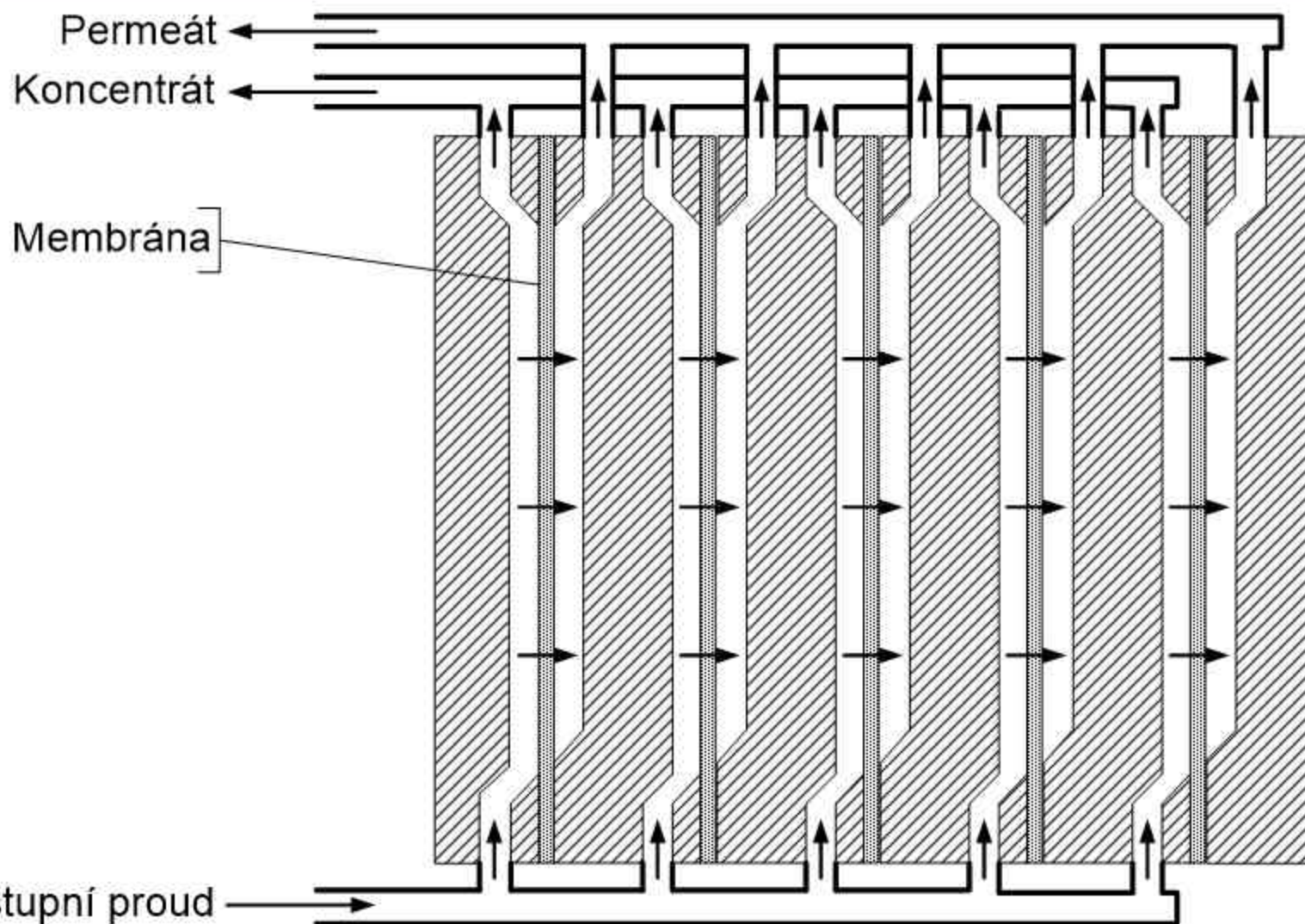


polysulfon



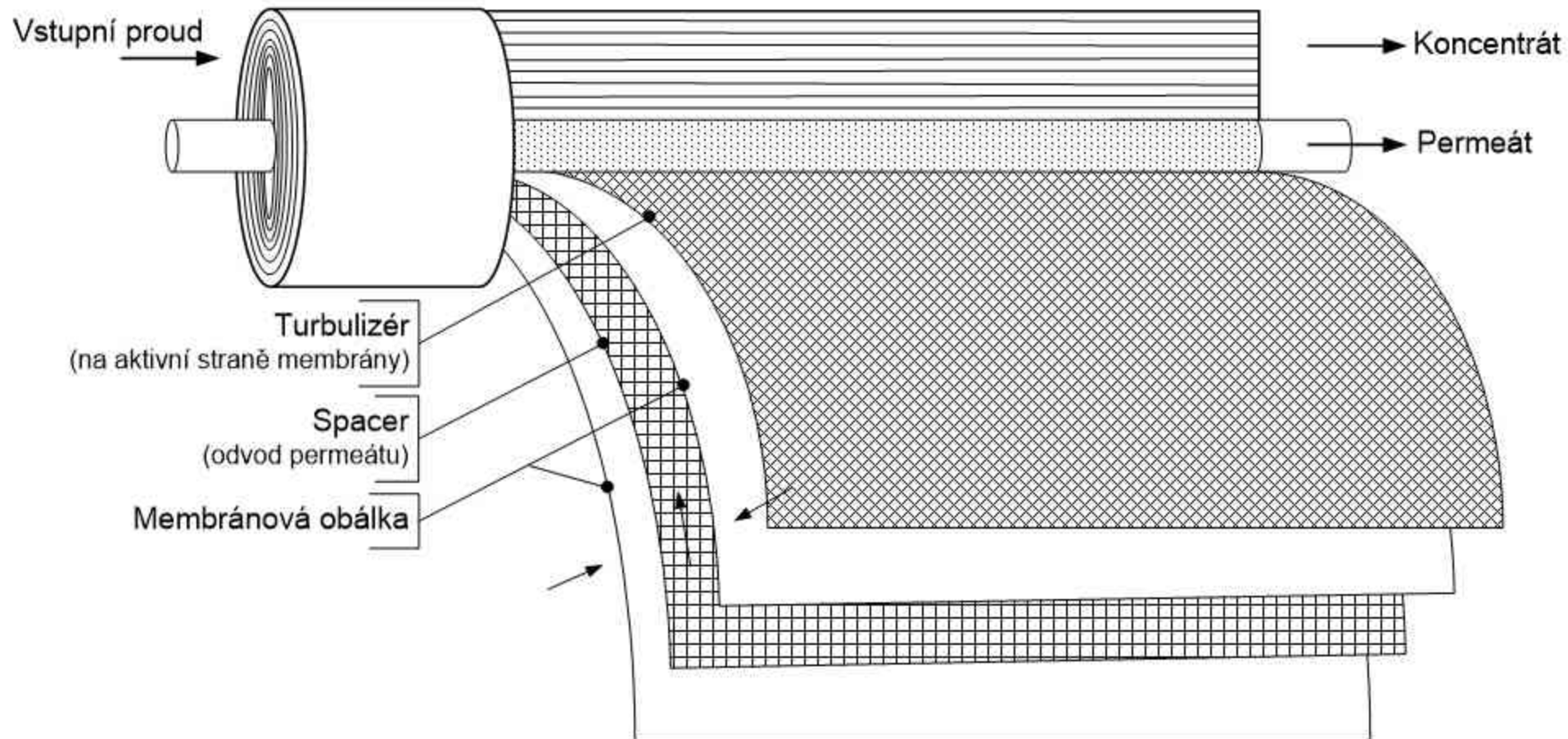
Poly(*m*-fenylen isoftalamid)

# Deskový modul



Zdroj obrázku: Jelínek L. a kol.: *Desalinizační a separační metody v úpravě vody*, VŠCHT Praha, 2009

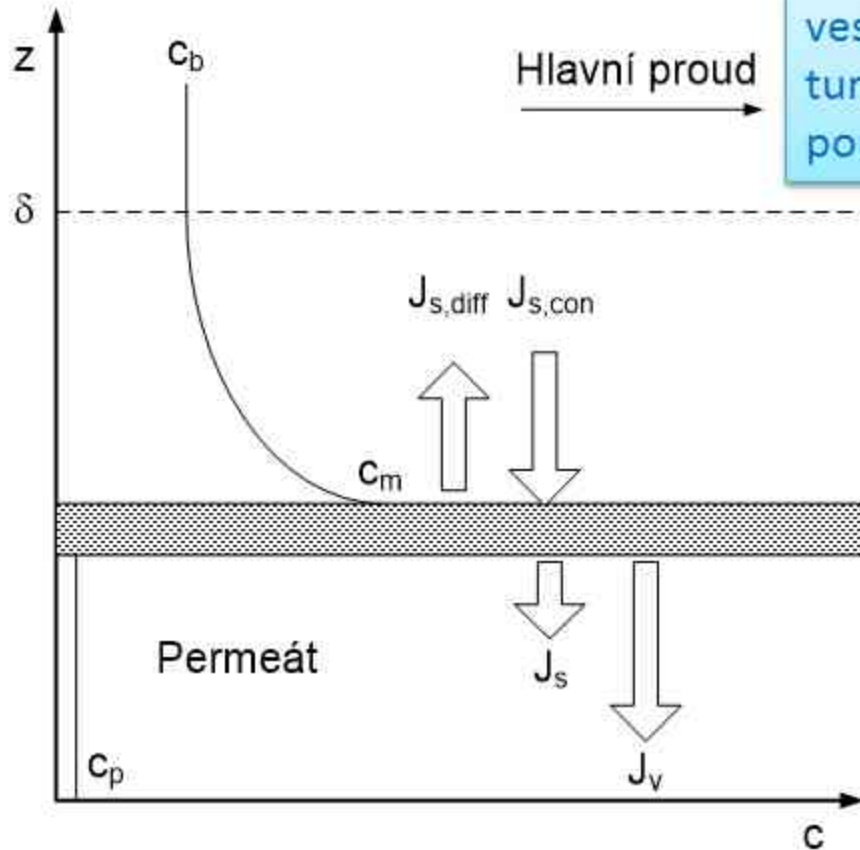
# Spirálově vinutý



Zdroj obrázku: Jelínek L. a kol. : *Desalinační a separační metody v úpravě vody*, VŠCHT Praha, 2009

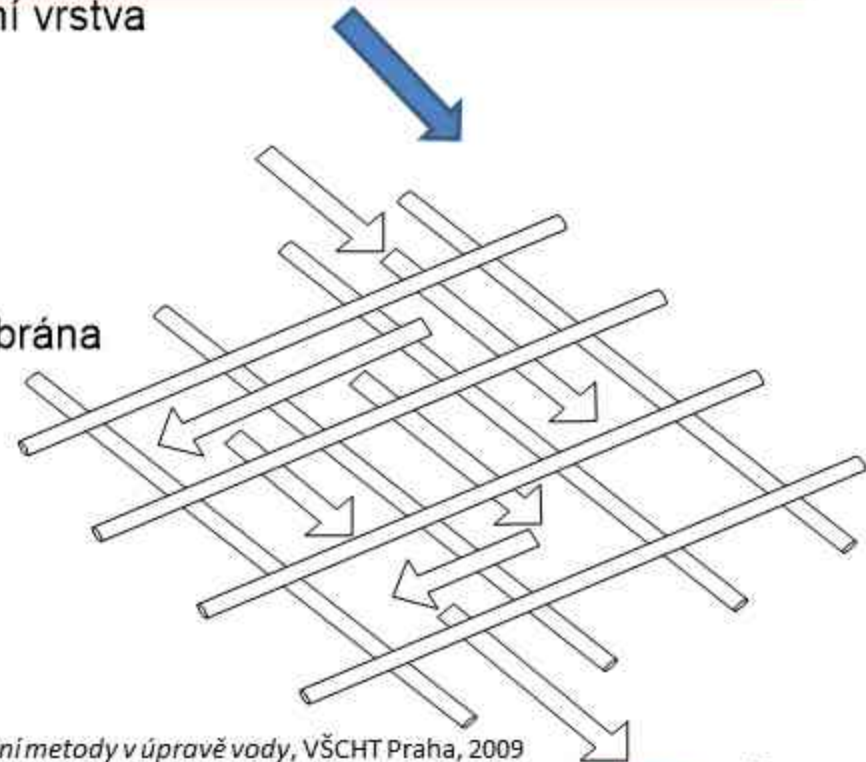
# Turbulizéry – proč?

Vrstva koncentrace iontů  $c_m$  u membrány může vest k jejich srážení. Proto se značíme o turbulentní tok koncentrátovým oddílem použitím tzv. turbulizérů



Mezní vrstva

Membrána



Zdroj obrázku: Jelínek L. a kol.: *Desalinační a separační metody v úpravě vody*, VŠCHT Praha, 2009



# Scaling

Tvrdé úsady – scale = šupina

Srážení nerozpustných sloučenin

Sloučenina	-log K <sub>s</sub>
CaCO <sub>3</sub>	8,34
CaSO <sub>4</sub>	4,37
<b>BaSO<sub>4</sub></b>	<b>9,95</b>

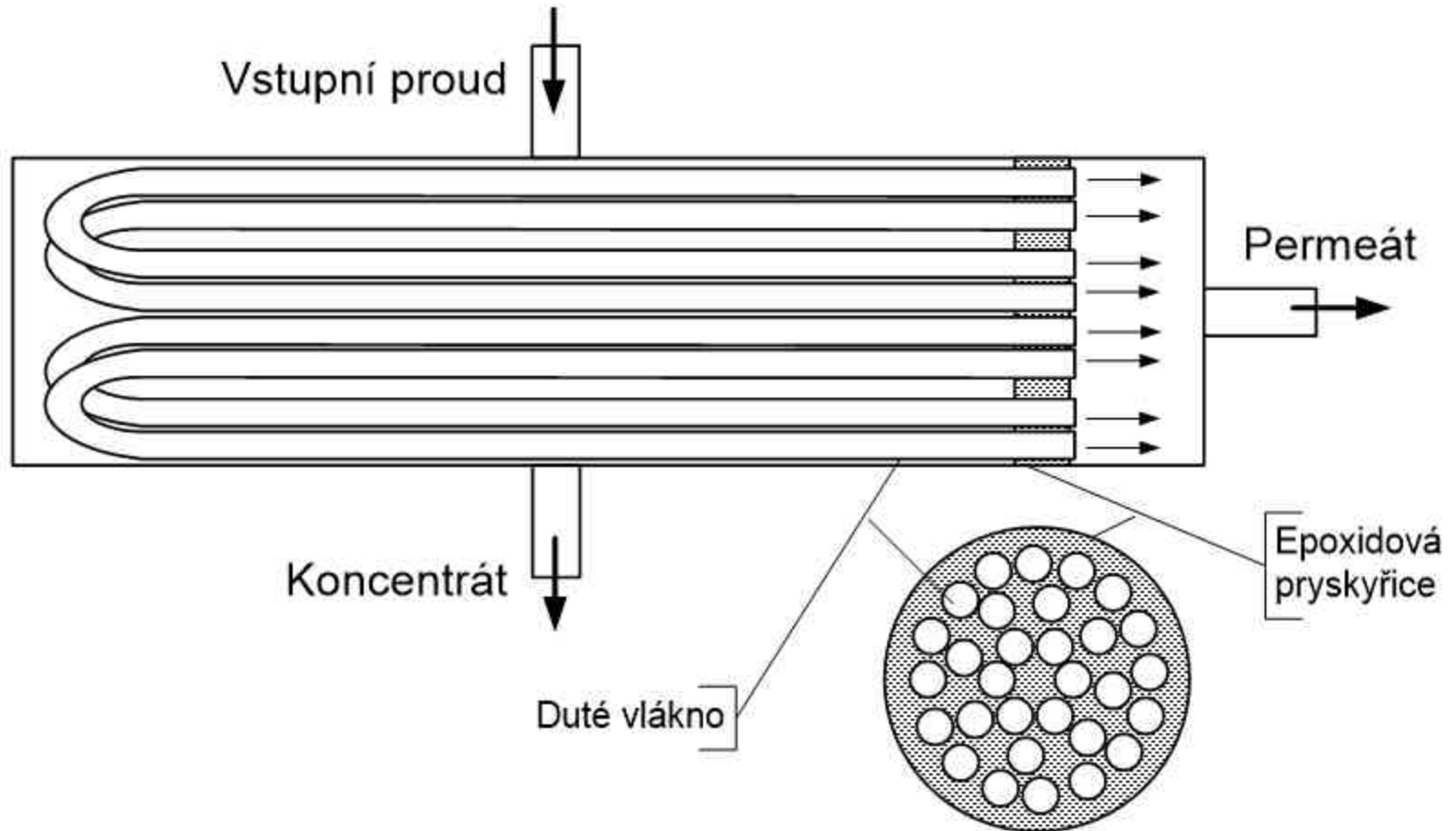
- kalcit



- **sádrovec, barit** - koncentrace Ba a Sr jsou na rozdíl od ionexové demineralizace sledovanými parametry
- štavelan vápenatý – tzv. „pivní kámen“
- hydroxy apatit



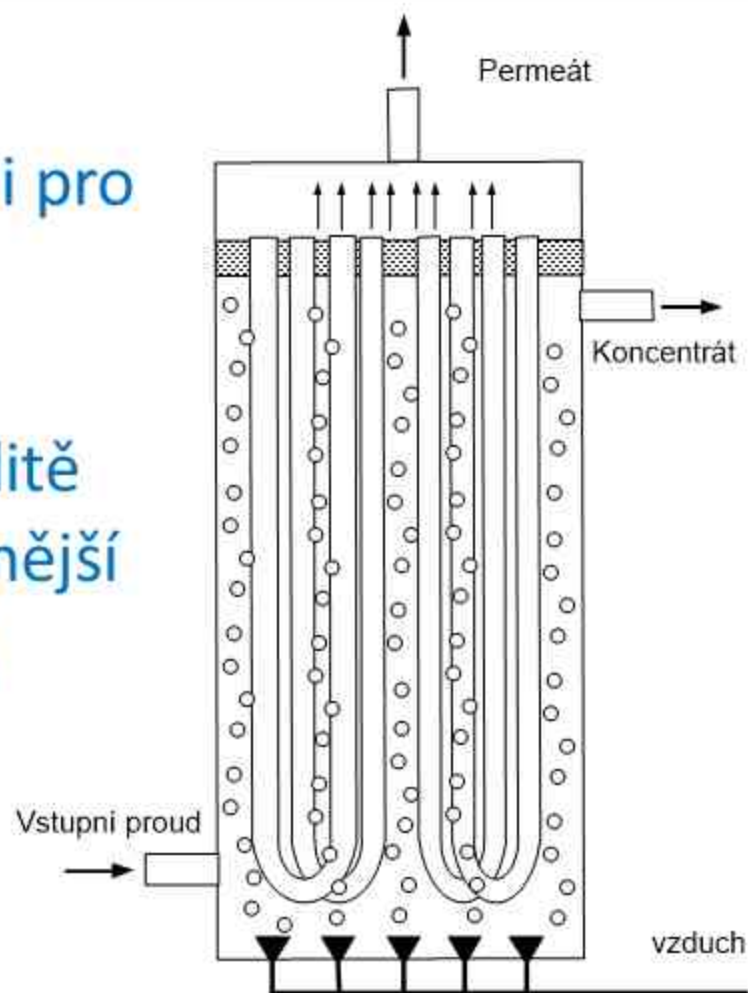
# Dutá vlákna



Zdroj obrázku: Jelínek L. a kol. : *Desalinační a separační metody v úpravě vody*, VŠCHT Praha, 2009

# Dutá vlákna - mikrofiltrace

- Mikrofiltrační moduly z dutých vláken lze využít i pro vysoké zahuštění suspenzí
- Vzhledem k jejich flexibilitě lze snadno čistit jejich vnější povrch např. bublinkami vzduchu



# Výhody a nevýhody jednotlivých typů modulů

Specifická plocha membrány  $m^2/m^3$

dutá vlákna > spirálově vinutý > deskový > tubulární

Možnost čištění

tubulární  $\approx$  deskový > spirálově vinutý

- Dutá vlákna
  - záleží na uspořádání
  - většinou se permeát odvádí středem – snadné čištění

# Tok permeátu

## Darcyho zákon

$$Q_p = A * k * \Delta h/d \quad [m^3/s]$$

A – plocha membrány [m<sup>2</sup>]

k - Darcyho koeficient [m/s]

$\Delta h$  – tlakový spád na membráně [m]

d – tloušťka membrány [m]



Zdroj obrázku: Wikimedia Commons

**Henry Philibert Gaspard Darcy**  
(1803–1858)

Francouzský mostní inženýr, při práci na tlakovém rozvodu vody v Dijonu se zabýval tlakovými ztrátami v podloží a v potrubí

Zdroj: Simmons, C.T. *Hydrogeology Journal* (2008) 16, 1023–1038

# Základní vztahy

Rejekce (R)

$$R = 100 * (c_v - c_p) / c_v \quad [\%]$$

Koncentrace látky v permeátu

$$c_p = c_v * (1 - R/100)$$

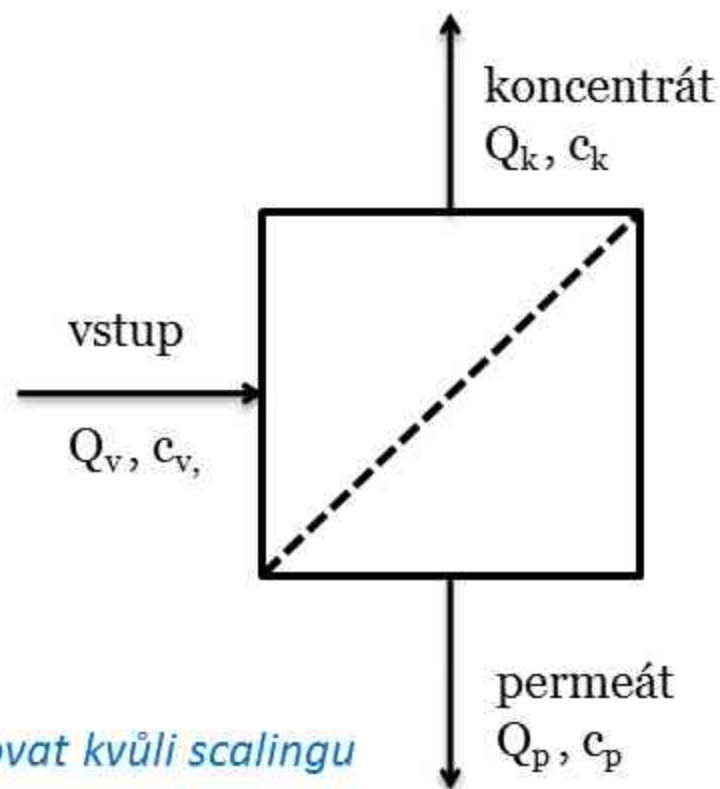
Výtěžek (recovery)

$$X = 100 * Q_p / Q_v \quad [\%]$$

Koncentrační faktor – *nutno kontrolovat kvůli scalingu*

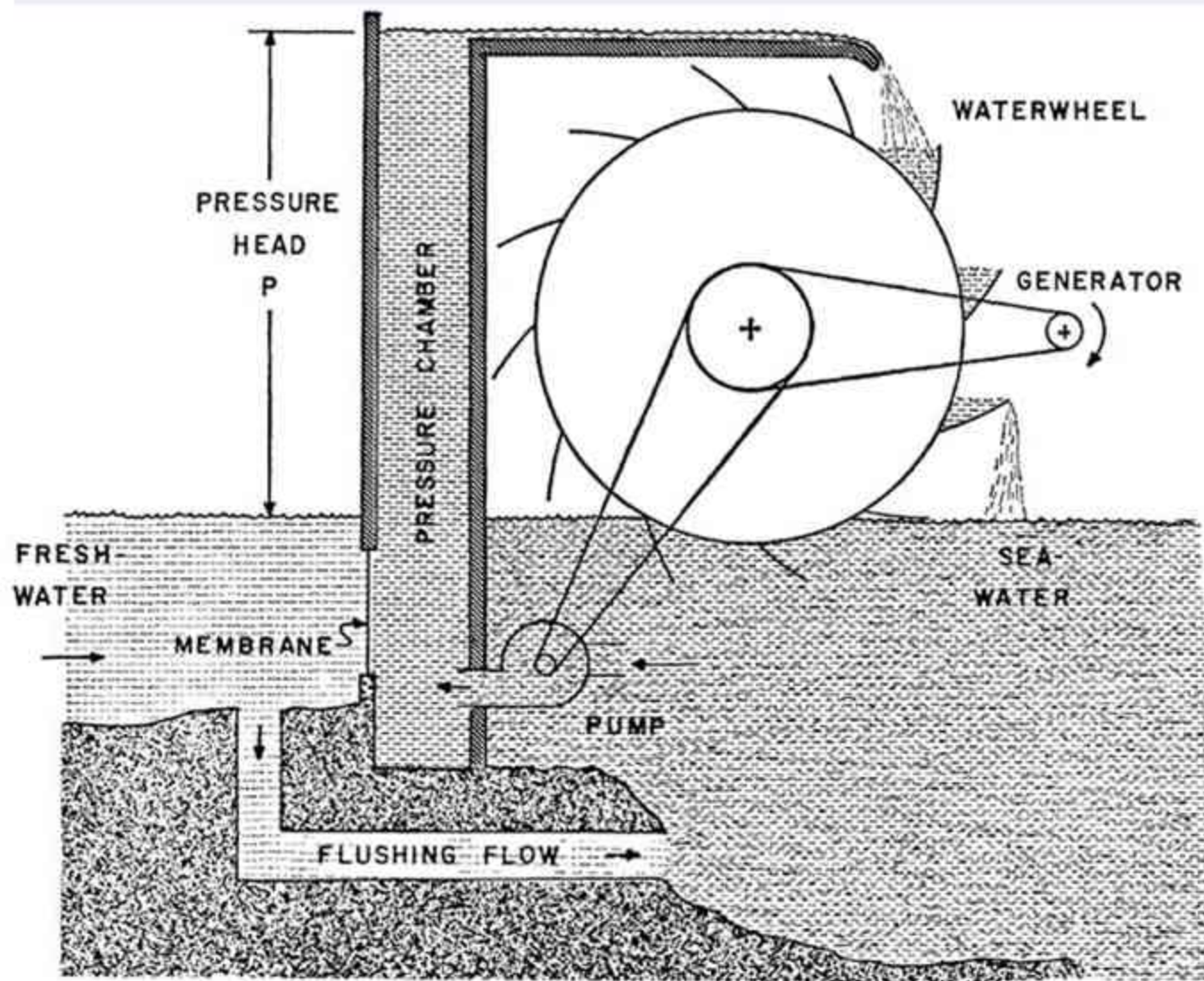
$$c_F = Q_v / Q_k$$

Q - průtok [m<sup>3</sup>/h]  
c - koncentrace [mol/l]



# Osmóza jako zdroj energie

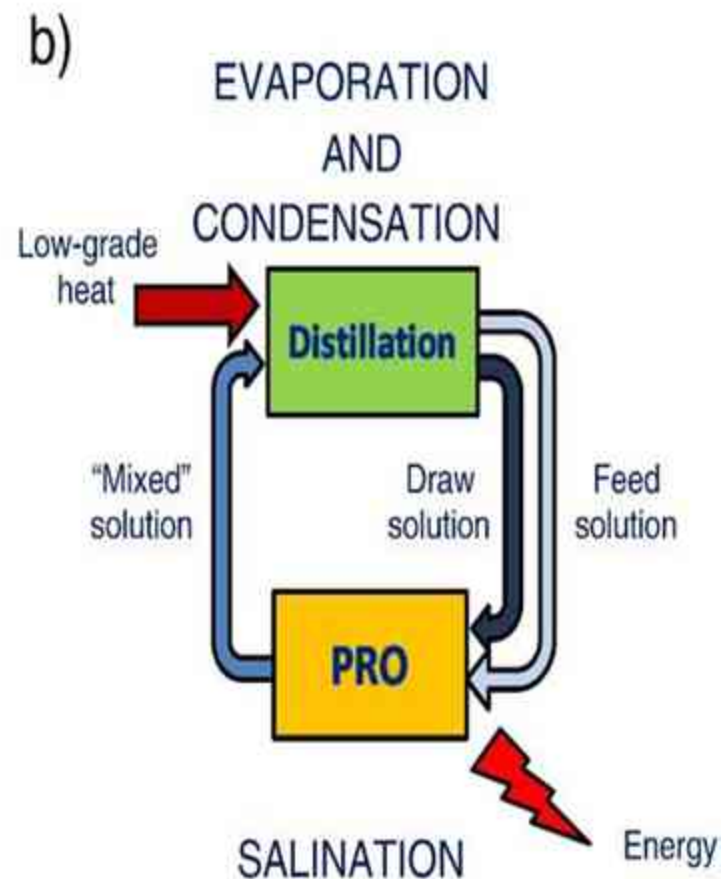
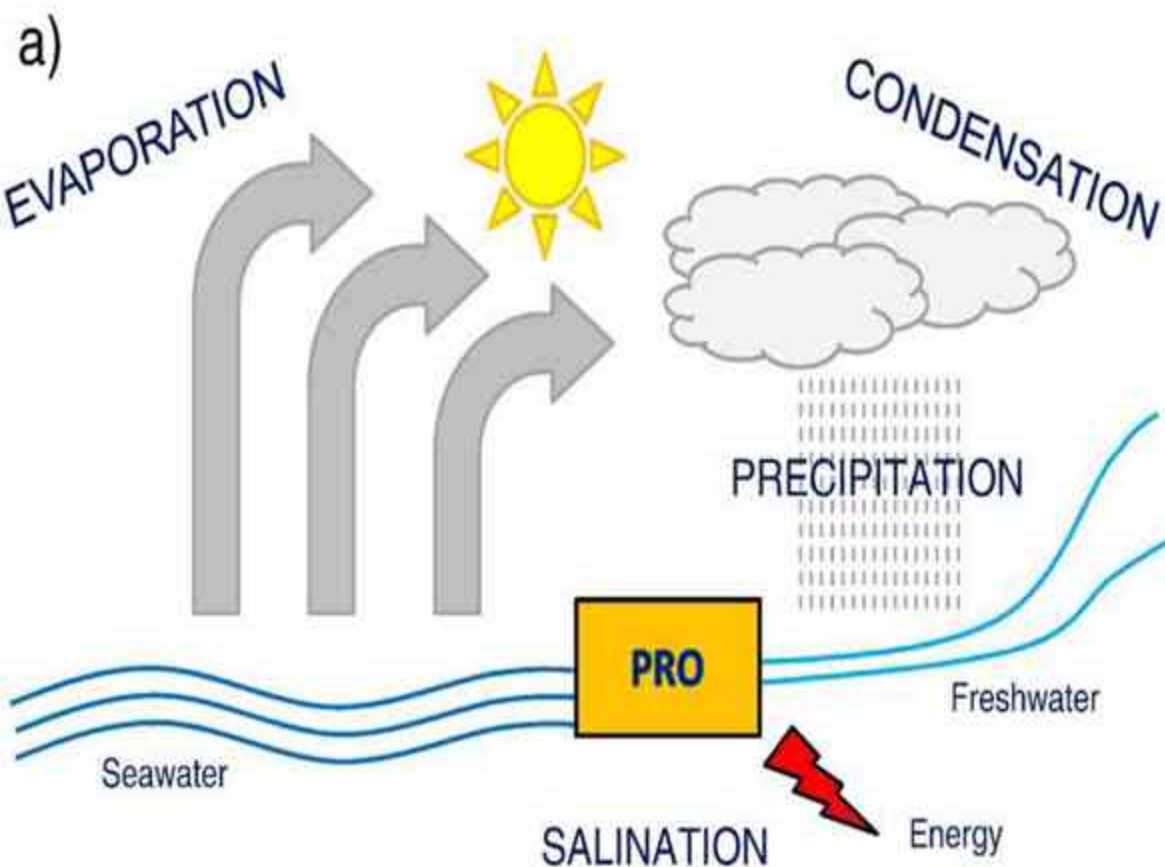
# Pressure Retardation Osmosis (PRO)



Zdroj obrázku: G.D. Mehta, S. Loeb, Performance of permasep B-9 and B-10 membranes in various osmotic regions and at high osmotic pressures, Journal of Membrane Science 4 (1979) 335–349.  
Převzato z: A. Achilli, A.E. Childress, Pressure retarded osmosis: From the vision of Sidney Loeb to the first experimental installation — Review, Desalination (2010)

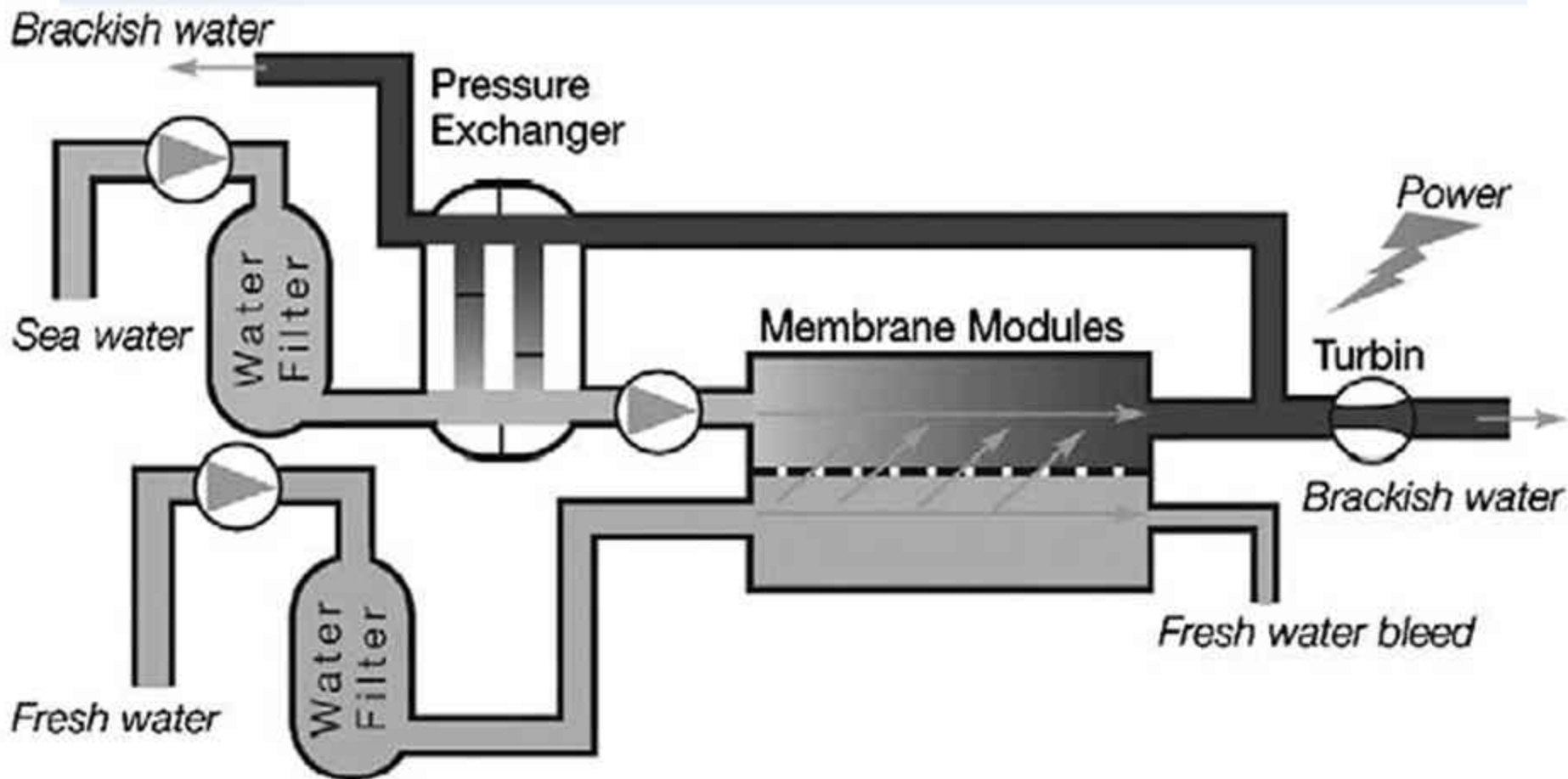


# PRO jako cyklicky pracující stroj



Zdroj obrázku: A. Achilli, A.E. Childress, Pressure retarded osmosis: From the vision of Sidney Loeb to the first experimental installation — Review, Desalination (2010)

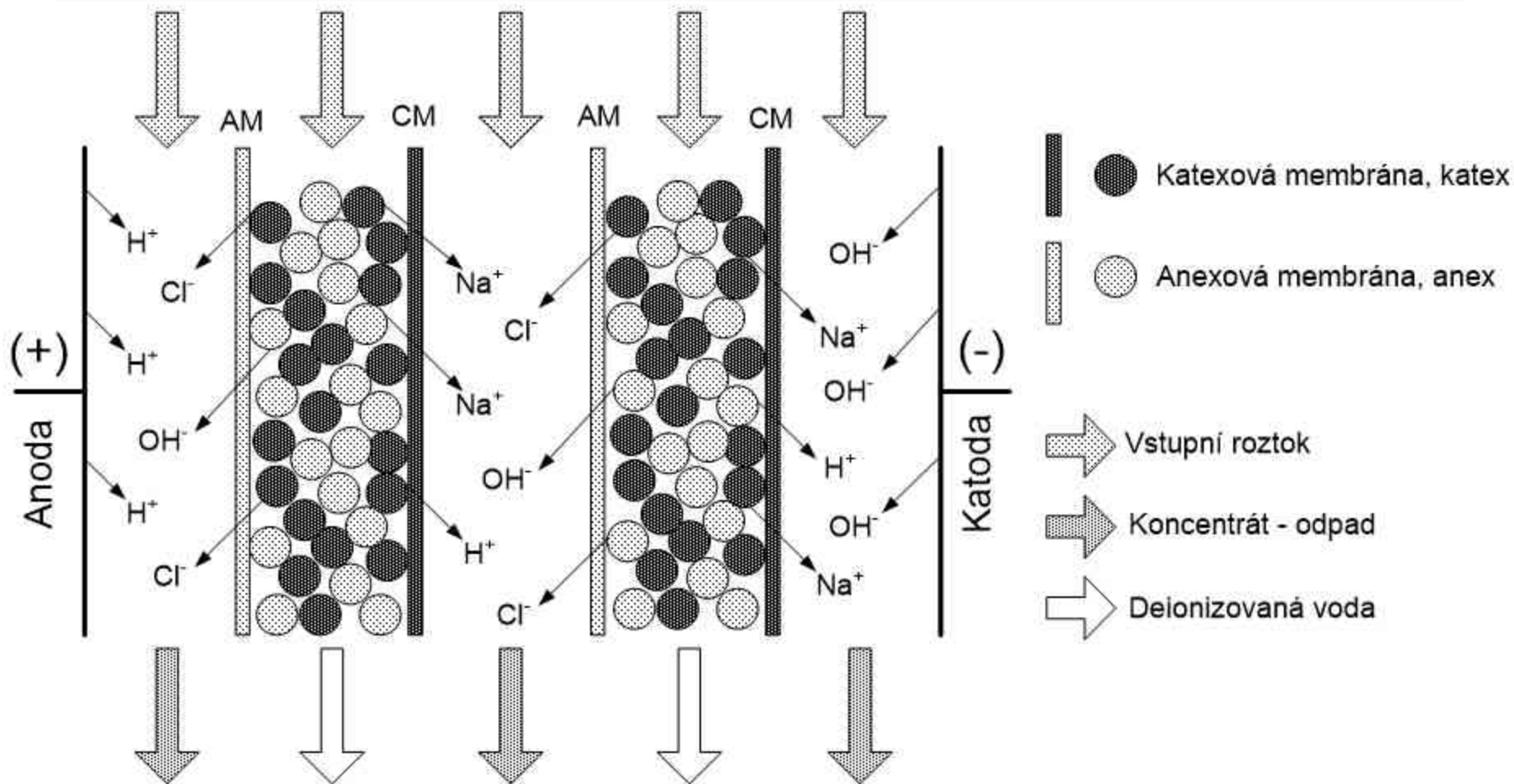
# Prototyp - Hurum (fy. Statkraft)



Zdroj obrázku: S.E. Skilhagen, J.E. Dugstad, R.J. Aaberg, Osmotic power — power production based on the osmotic pressure difference between waters with varying salt gradients, *Desalination* 220 (2008) 476–482. Převzato z: A. Achilli, A.E. Childress, Pressure retarded osmosis: From the vision of Sidney Loeb to the first experimental installation — Review, *Desalination* (2010)

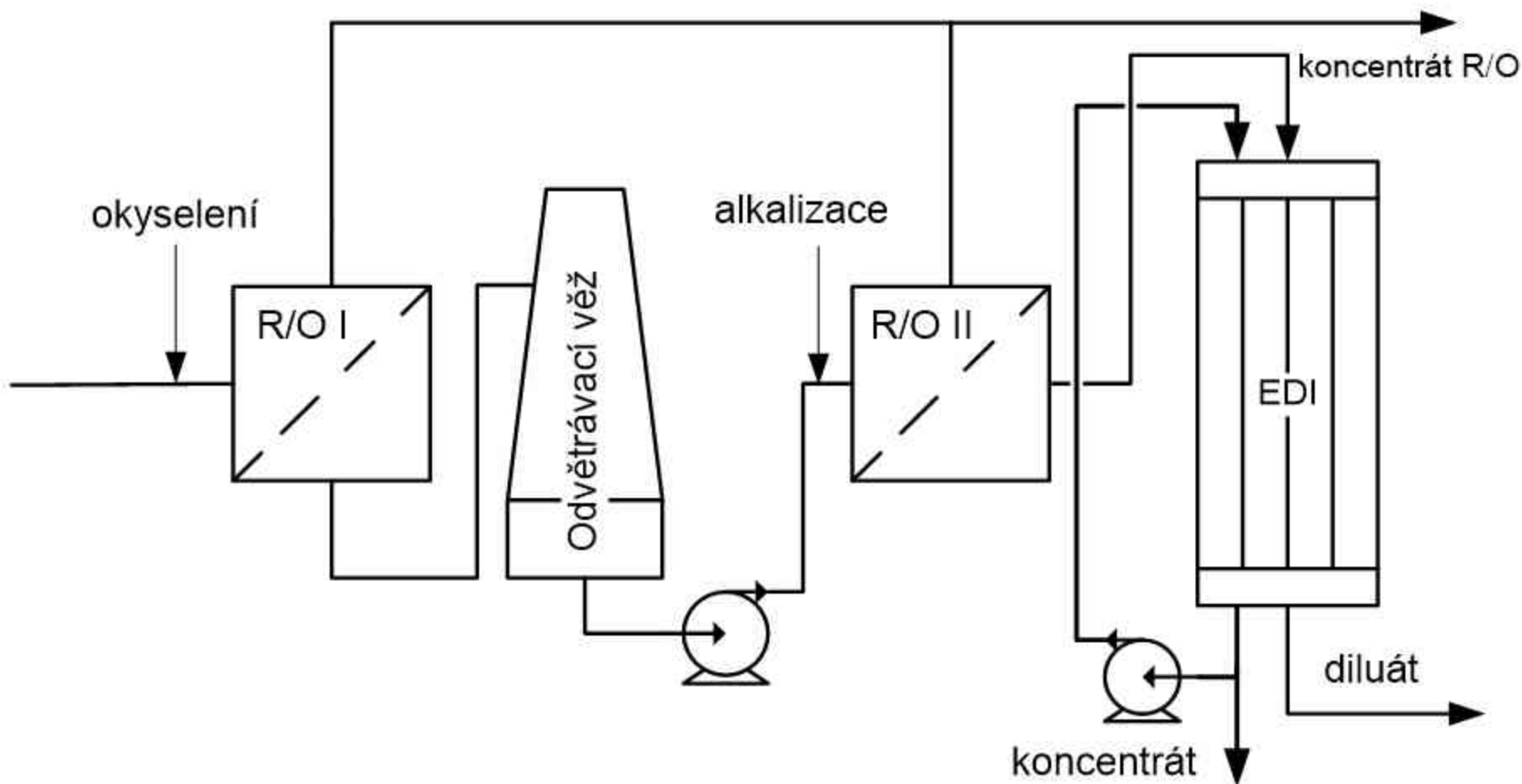
# Elektro-membránové procesy

# Elektrodeionizace (EDI)



Zdroj obrázku: Jelínek L. a kol. : *Desalináční a separační metody v úpravě vody*, VŠCHT Praha, 2009

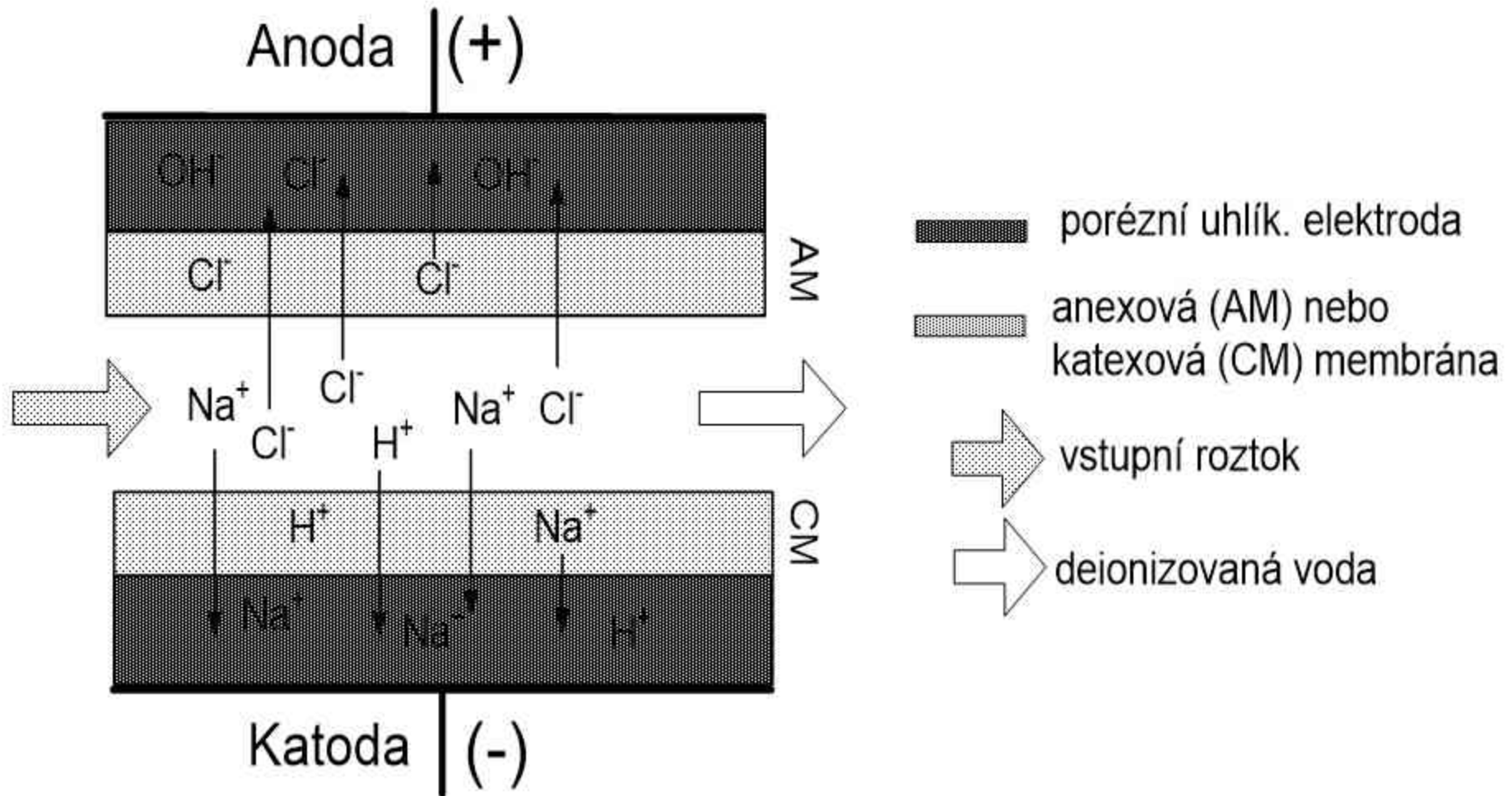
# Kombinace R/O a EDI



# Kapacitní deionizace (CDI)

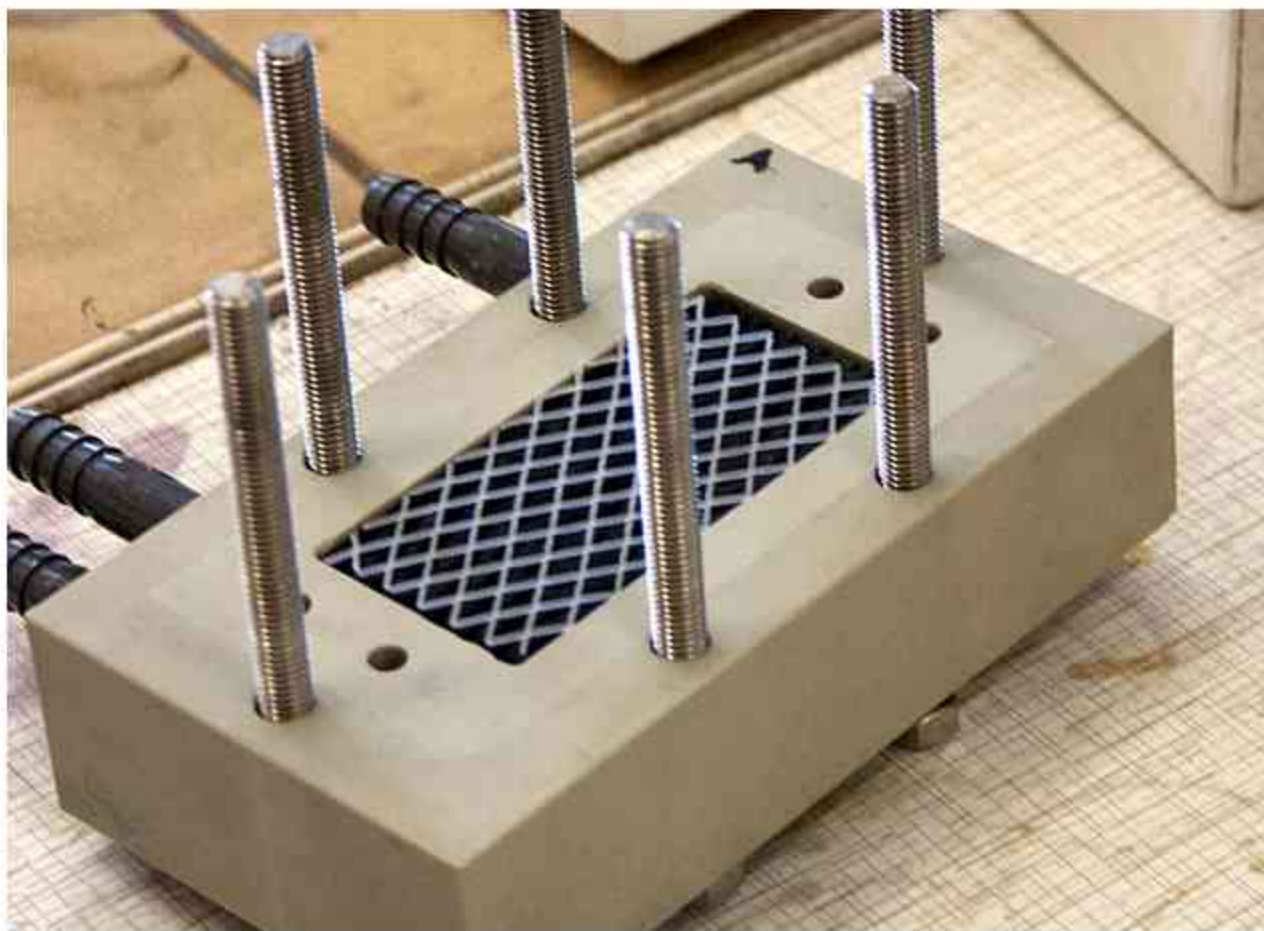
- Moderní technologie deionizace vody
  - nevyžaduje další chemikálie
  - umožňuje různé uspořádání
    - planární moduly
    - spirálně vinuté moduly
    - tubulární moduly
- Využívá podobný princip jako kondenzátor (superkapacitory)
  - separace nábojů (iontů) ionexovými membránami
  - kumulace iontů v porézní uhlíkové elektrodě (nabíjení)

# Uspořádání CDI



# CDI

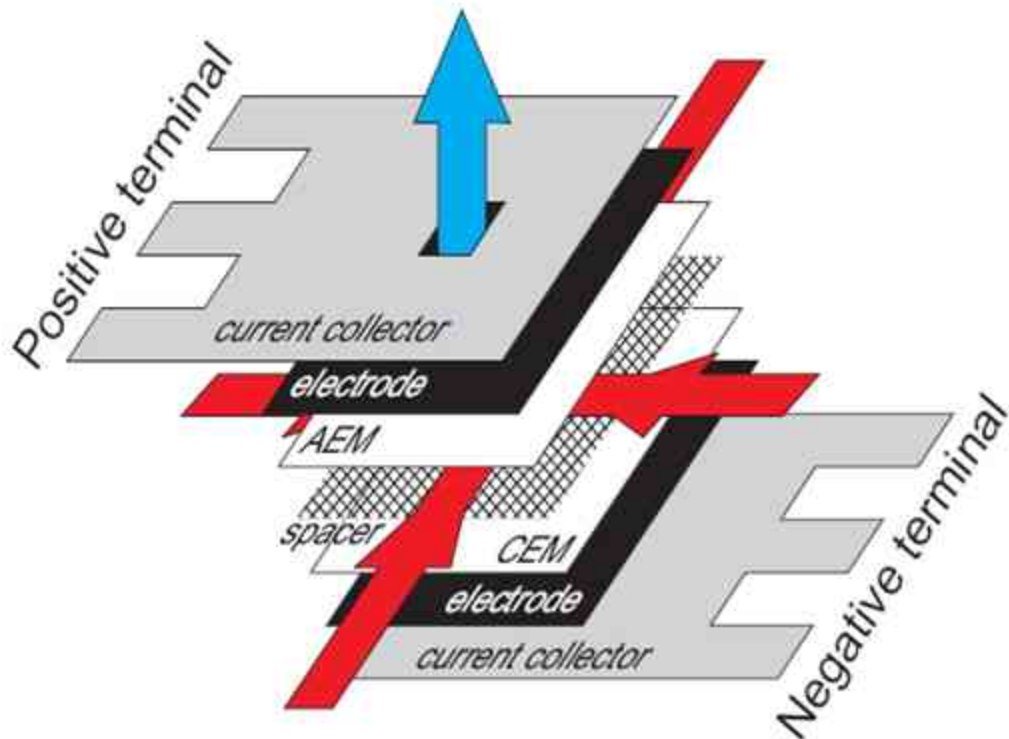
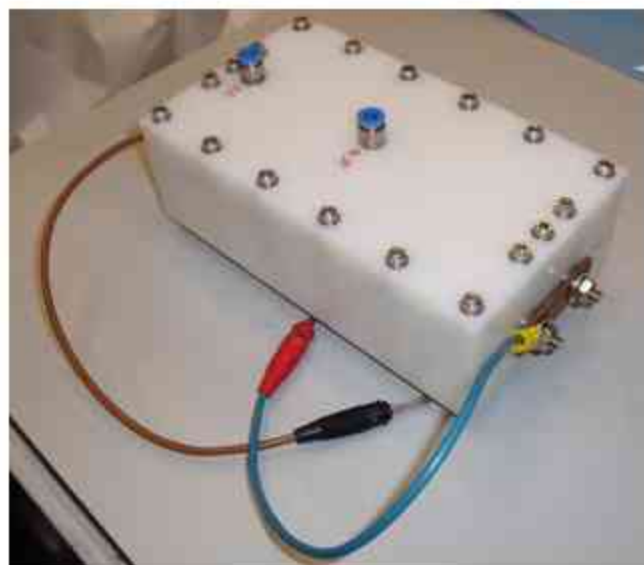
## upravený ED modul a planární elektroda



Zdroj: vlastní tvorba, Autor: L. Jelinek



# CDI jako zdroj energie CAPMIX



zdroj obrázku: Marek Bryjak, Can membranes be useful for other than separation purpose? (lecture)

# Energie z odpadních zasolených roztoků?

- Membránové technologie generující elektrický proud z gradientu solnosti lze využít kromě ústí řek v případech kdy dochází k ředění silně zasolených odpadních roztoků
- To lze využít u netoxických odpadních vod pro toxické odpadní vody jsou vhodné tlakové membránové procesy kombinované s membránovou či klasickou destilací a krystalizací