

Vodní hospodářství nejen v energetických a chemických provozech

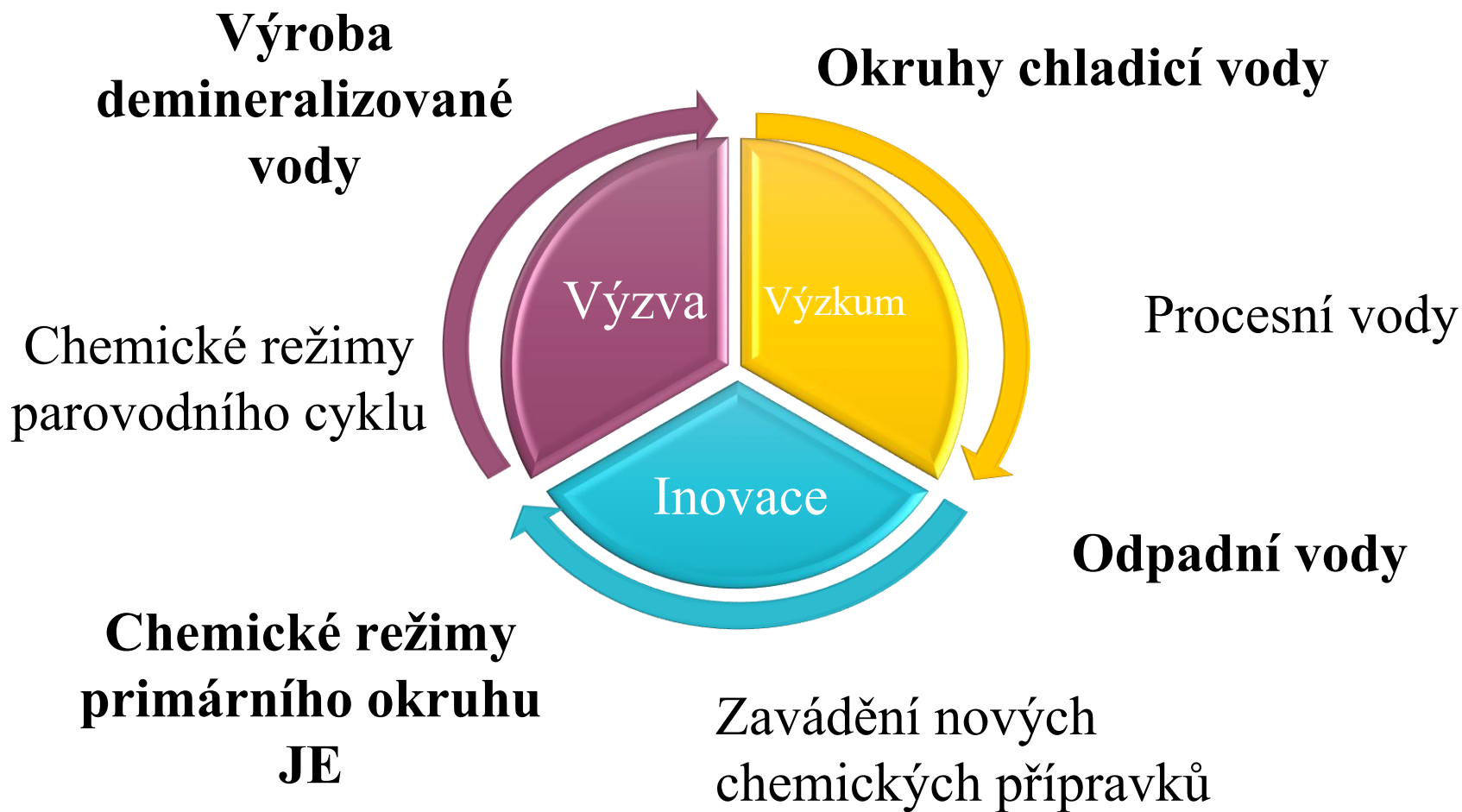
Pavel Kůs

Praha – 25.3.2026

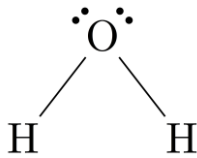
Obsah prezentace

- **Krátce o chemické skupině v CVŘ**
- **Krátce o vodě a jejích vlastnostech**
- **Demineralizovaná voda**
- **Chladicí voda**
- **Závěr**

Skupina chemie - kompetence



Klíčové fyzikálně-chemické vlastnosti vody



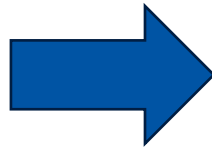
Voda patří mezi klíčová provozní média energetických zařízení a její úpravy jsou zásadní pro bezpečný a spolehlivý chod provozů. Kvalita technologické vody významně ovlivňuje výkon i životnost průmyslových systémů, zejména tam, kde voda přichází do kontaktu s kovovými povrchy potrubí, výměníků nebo akumulčních nádrží.

- **Vysoká měrná tepelná kapacita** – voda umí „přenést“ obrovské množství tepla → ideální pro chlazení i ohřev
- **Vysoké skupenské teplo vypařování** – efektivní chlazení v chladicích věžích
- **Velké teplotní rozmezí kapalného stavu** (0–100 °C při 1 atm) – stabilní, snadno ovladatelné médium
- **Dobrá dostupnost a cena** – infrastruktura pro práci s vodou existuje už ve všech průmyslech
- **Výborná rozpouštěcí schopnost** – klíčová pro chemii, úpravu vody, procesy CIP, extrakce
- **Elektrická vodivost závislá na čistotě** – role demineralizované/ultrapure vody v energetice a chemii

Trocha historie v úpravě vody

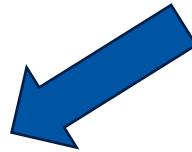
1) Rané parní stroje (19. století)

- prakticky **neupravená voda**
- maximálně:
 - usazování
 - jednoduché síto
- 👉 **důsledek:**
 - silné zanášení (kámen)
 - koroze
 - nízká účinnost



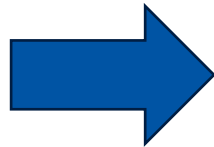
2) Mechanická filtrace (19.–poč. 20. stol.)

- pískové filtry (od ~1804)
- případně:
 - sedimentace
 - koagulace
- 👉 **odstranění:**
 - zákal
 - suspendované částice



3) Ionexové technologie (cca od 1900)

- změkčování vody (Ca^{2+} , $\text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Na}^+$)
- demineralizace:
 - Katex /Anex pryskyřice
 - mixed bed
- 👉 **poprvé:**
 - kontrola rozpuštěných látek (TDS)



4) Membránové procesy (2. polovina 20. století)

- hlavně reverzní osmóza (RO)
- odstraní až ~99 % rozpuštěných látek
- 👉 **výhoda:**
 - výrazně menší spotřeba chemikálií než ionexy



5) Moderní „high purity“ systémy (21. století)

- kombinace:
 - RO + EDI (elektrodeionizace)
- **EDI = finální „polishing“ vody**
- kontinuální proces bez chemické regenerace
- 👉 **standard dnes:**
 - ultrapure water (elektrárny, polovodiče)

Demineralizovaná voda

Energetika

- napájecí voda parních kotlů (parovodní cyklus)
- kondenzát a jeho čištění/úprava
- chladicí a bezpečnostní systémy s požadavkem na nízkou vodivost
- příprava vody pro výrobu vodíku elektrolýzou

Vodivost: 0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Resistivita: 18,2 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$

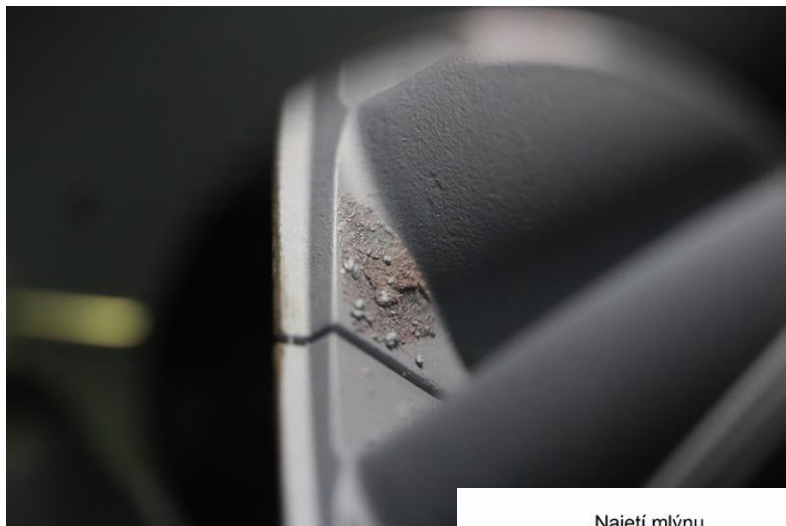
Chemický průmysl

- reakční prostředí u citlivých syntéz
- výroba čistých produktů (technologické požadavky na čistotu)

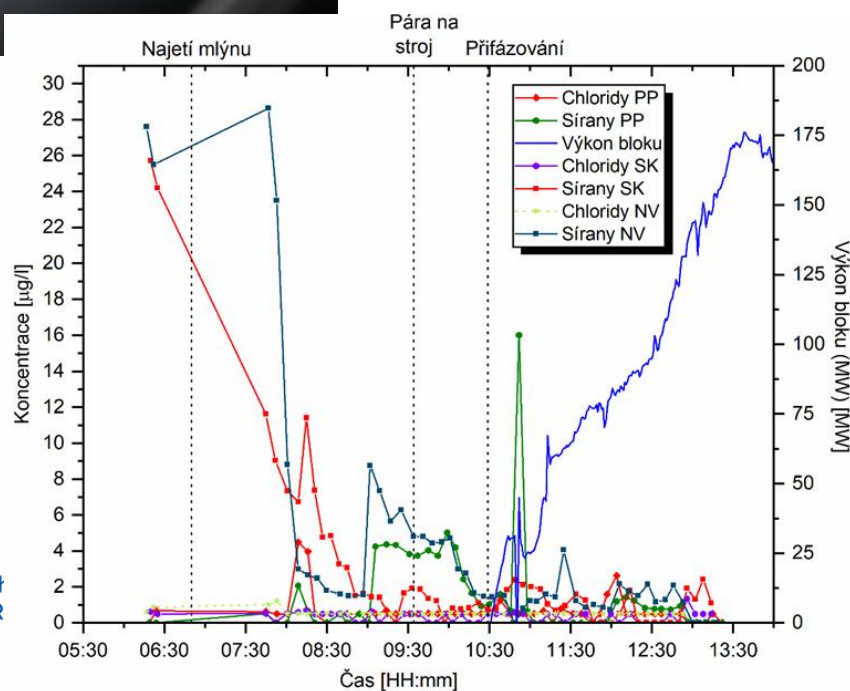
Další průmysly

- potravinářství (napájecí voda kotlů, CIP, proplachy v kritických částech)
- pharma, mikroelektronika, automotive

Proč je potřeba demivoda



ST díl ETU (2020)



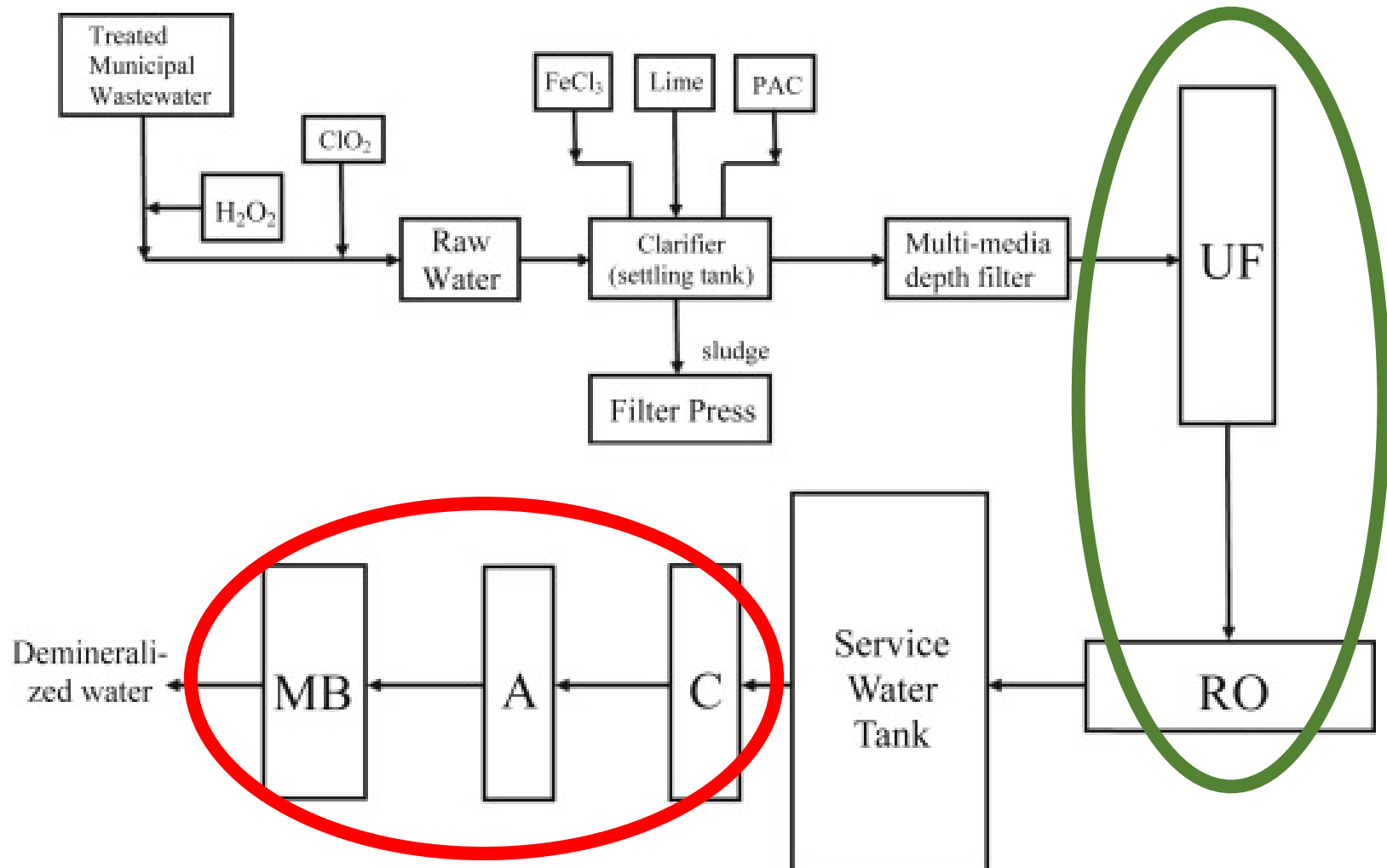
NT díl po 6 letech
provozu (330
MW)



CVŘ

Research
Centre Ř

Výroba vysoce demineralizované vody



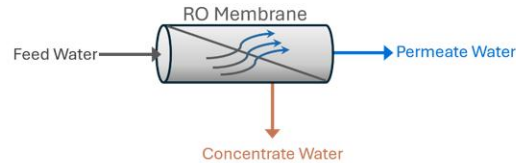
Výroba demineralizované vody - RO



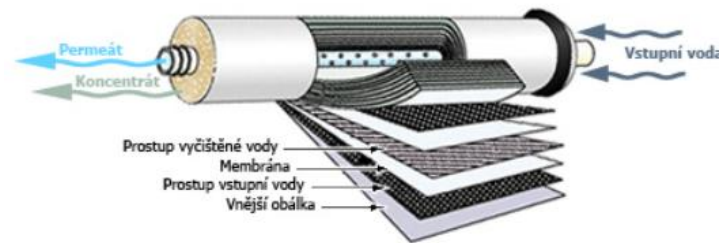
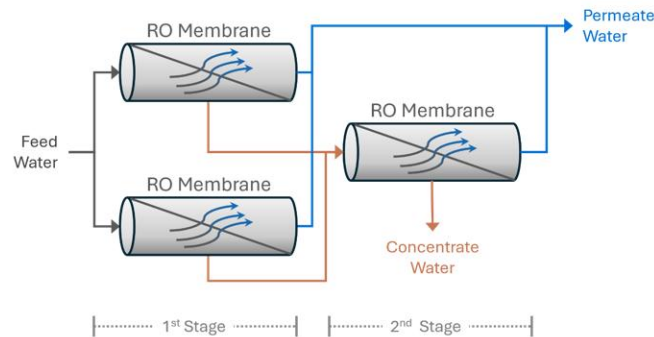
Sorek odsolovací zařízení, Izrael
624 000 m³/den

Výroba a kvalita demineralizované vody ovlivňuje účinnost celého parovodního cyklu i procesních okruhů. Investice do úpravy vody se obvykle načte na nižších provozních nákladech a vyšší spolehlivosti.

One-Stage RO System



Two-Stage RO System



Výroba vysoce demineralizované vody - RO

Výhody reverzní osmózy (RO)

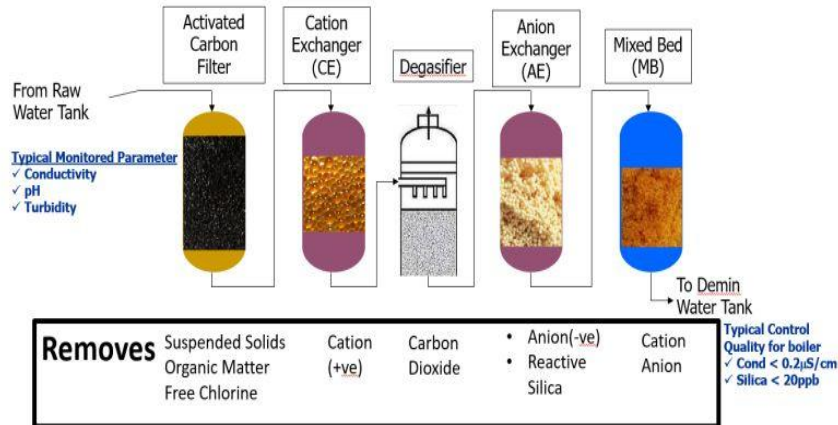
- Široké spektrum odstraněných látek
- Nízká výstupní vodivost
- Proces bez chemikálií
- Relativně nízké provozní náklady
- Modulárnost a škálovatelnost
- Stabilní kvalita permeátu
- Snadná automatizace
- Nízké nároky na prostor

Nevýhody reverzní osmózy (RO)

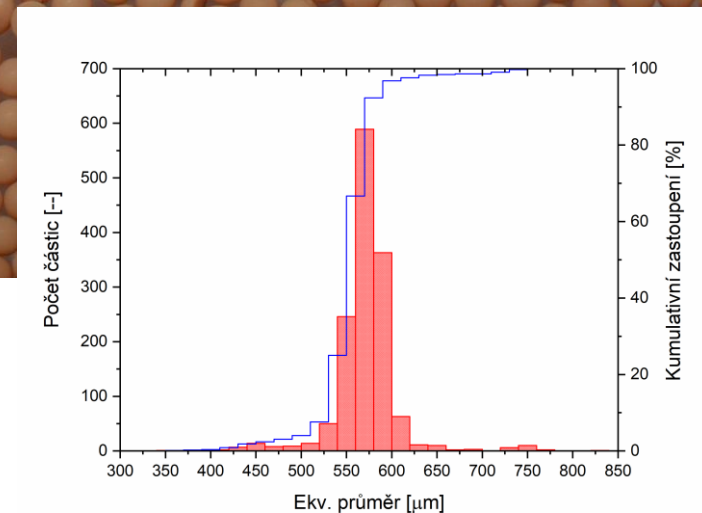
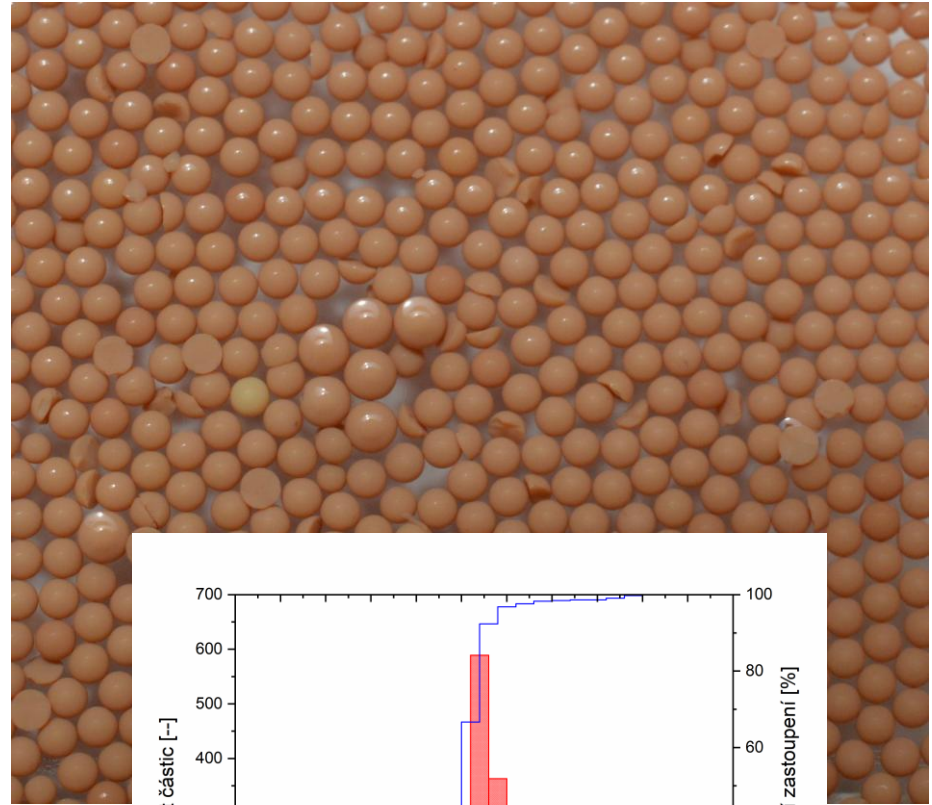
- Nutnost kvalitního předčištění
- Vznik koncentrovaného retentátu
- Citlivost na změny provozních podmínek
- Nutnost pravidelného čištění (CIP)
- Vyšší provozní tlak a spotřeba energie oproti nízkotlakým membránám
- Citlivost na oxidanty

Výroba vysoce demineralizované vody - IEX

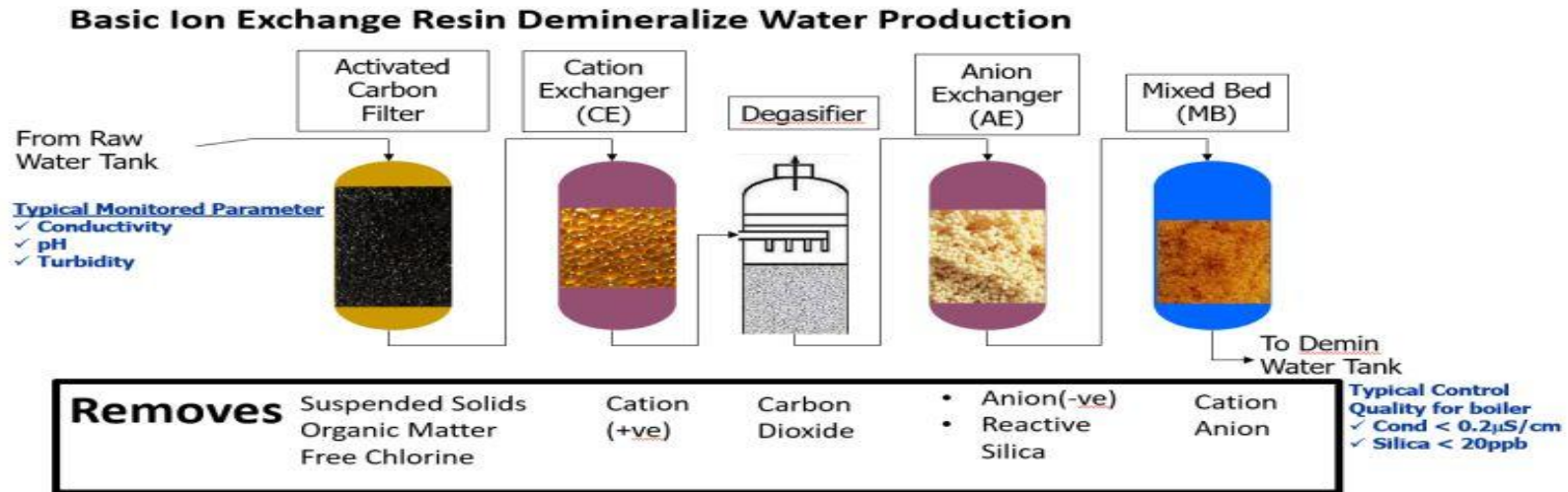
Basic Ion Exchange Resin Demineralize Water Production



Hnul pak Mojžiš lidem Izraelským od moře Rudého, a táhli na poušť Sur. I šli tři dni po poušti, a nenalezli vod. A přišedše do Marah, nemohli pít vod z Marah, nebo byly hořké; protož nazváno jest jméno jeho Marah. Z té příčiny reptal lid na Mojžiše, řka: Co budeme pít? I volal k Hospodinu, a ukázal mu Hospodin dřevo, kteréž jakž uvrhl do vod, učiněny jsou sladké vody. Tu vydal jemu práva a soudy, a tu ho zkusil.“ Exodus 15:23-25 (Bible kralická, 1613)



Výroba demineralizované vody - IEX



Výhody IEX demineralizace

- Velmi vysoká účinnost odstranění iontů
- Stabilní kvalita výstupní vody
- Citlivost na změny provozních podmínek
- Relativně nízké investiční

Nevýhody IEX demineralizace

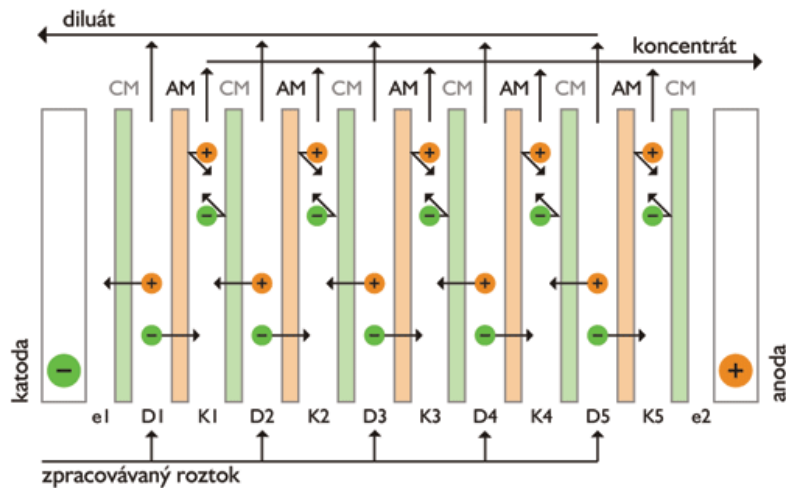
- **Potřeba regenerace chemikáliemi**
- **Vznik kapalného odpadu s vysokou salinitou a obsahem kovů**
- Citlivost na železo, mangan a mechanické nečistoty
- Regenerace snižuje dostupnost zařízení

Výroba demineralizované vody - EDI

Princip:

kombinace elektrodialýzy (ED) a iontové výměny (ionexy)

- separace iontů v elektrickém poli
- iontová výměna na ionexech
- kontinuální regenerace ionexů



- diluát – demineralizovaná voda
- koncentrát - ionty, soli,

Výroba demineralizované vody - EDI

Výhody EDI demineralizace

- Nepřerušovaný provoz – žádné pravidelné regenerace jako u ionexů
- **Nízká spotřeba chemikálií – bez kyselin a hydroxidů**
- Stabilní kvalita vody – velmi nízká vodivost, nízký obsah křemíku
- Nižší provozní náklady oproti klasickým ionexům
- Automatizace – technologie funguje kontinuálně bez zásahu obsluhy
- Nižší ekologická zátěž – nevznikají regeneráty (kyseliny a zásady)

Nevýhody EDI demineralizace

- Citlivost na kvalitu vstupní vody – vyžaduje kvalitní předúpravu (typicky RO)
- Náchylnost k zanášení při vyšším obsahu organiky, tvrdosti nebo železa
- Vyšší investiční náklady oproti tradičním ionexům
- Citlivé na provozní stavy (např. kolísání průtoku, výpadky proudu)
- Omezený provoz při velmi vysokých solních koncentracích
- Není vhodné jako samostatná jediná technologie, vždy potřebuje RO

Dopady výroby demineralizované vody

Vznik koncentrátů z RO

Vznik regeneračních roztoků z ionexových hmot

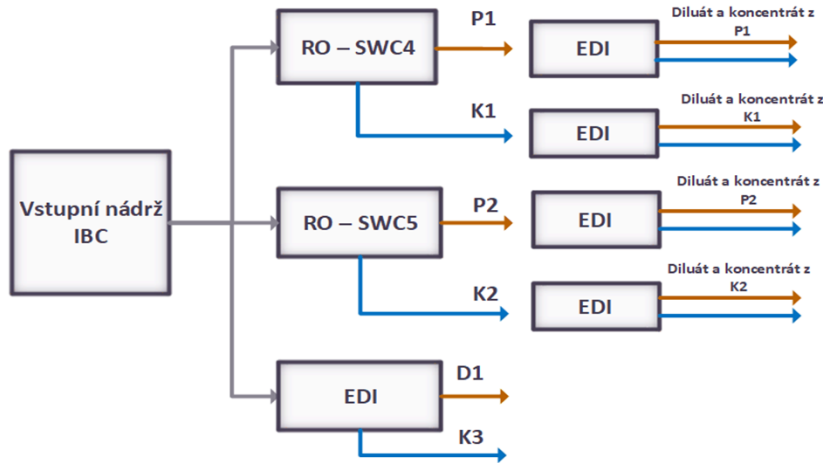
Co s tím?

**Využití kombinovaných metod (elektro) membránových procesů?
Možný směr je „ZLD“ nebo spíše MLD.**

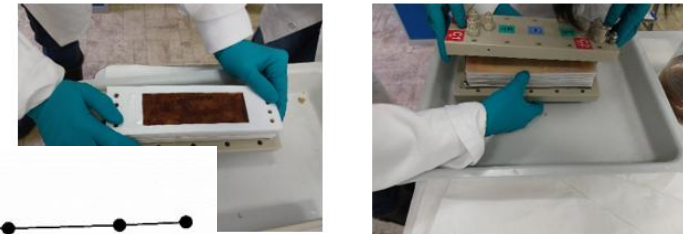
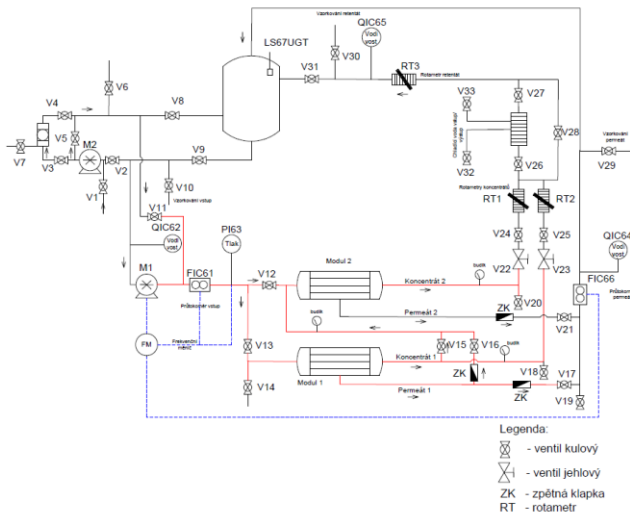
MLD (Minimal Liquid Discharge) je provozní strategie úpravy a recyklace vody, jejímž cílem je výrazně snížit množství vypouštěné odpadní vody, ale ne eliminovat ji úplně.

MLD je praktický kompromis. Pro mnoho provozů je plný ZLD technologicky nebo ekonomicky nedosažitelný. MLD ale umožňuje zrecyklovat výraznou část vody a snížit objem výpustí třeba o 70–90 %, a tím dosáhnout stabilního a udržitelného provozu.

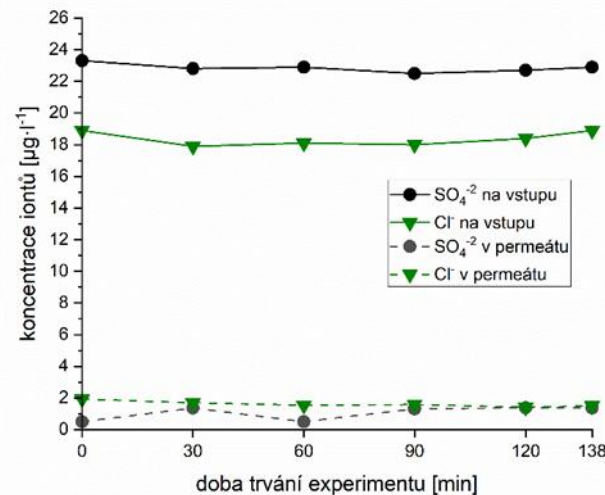
Úprava BÚK pomocí RO a EDI



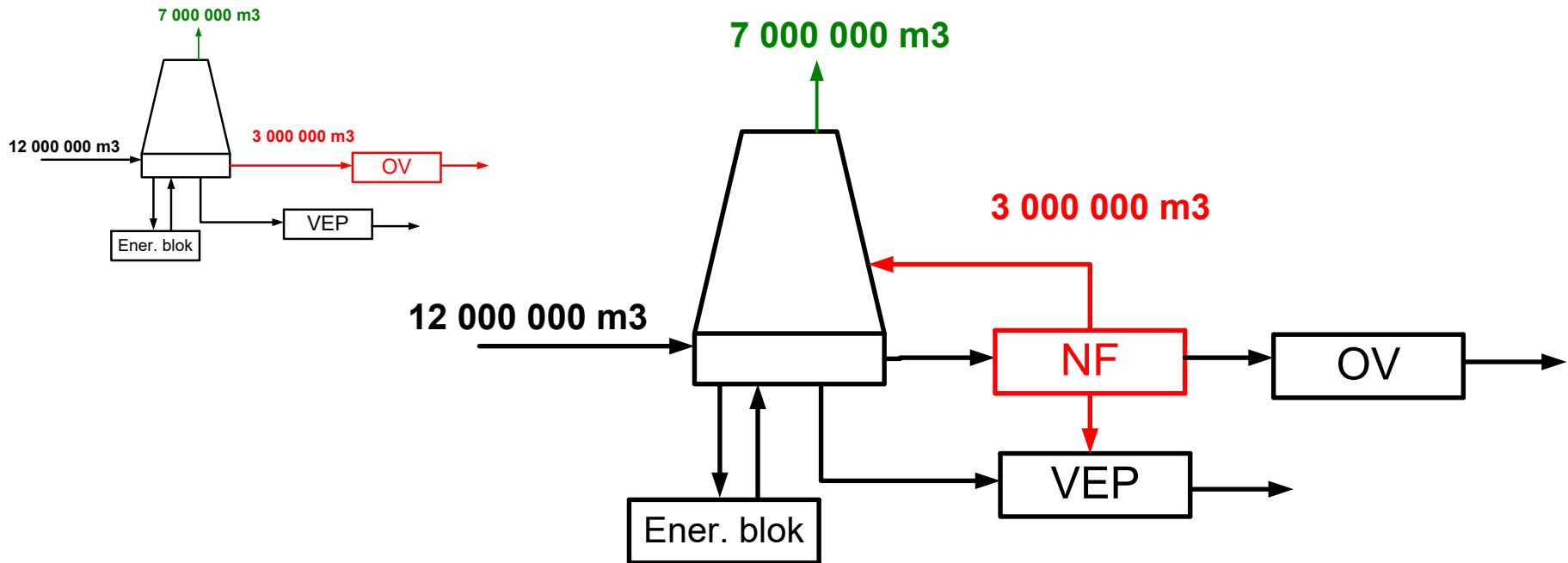
Obr. 3 EDR-Z4H TYPE 13 FULL V4



Obr. 4 Příprava elektrodeionizační cely



Využití membránových procesů



- Možnosti odstranění síranů a tedy získání „další“ vody pro chlazení
- Koncentrát z NF přidávat do VEP
- Nutnost potvrzení stability VEP (včetně splnění vyhlášky pro VEP)

Chladicí voda

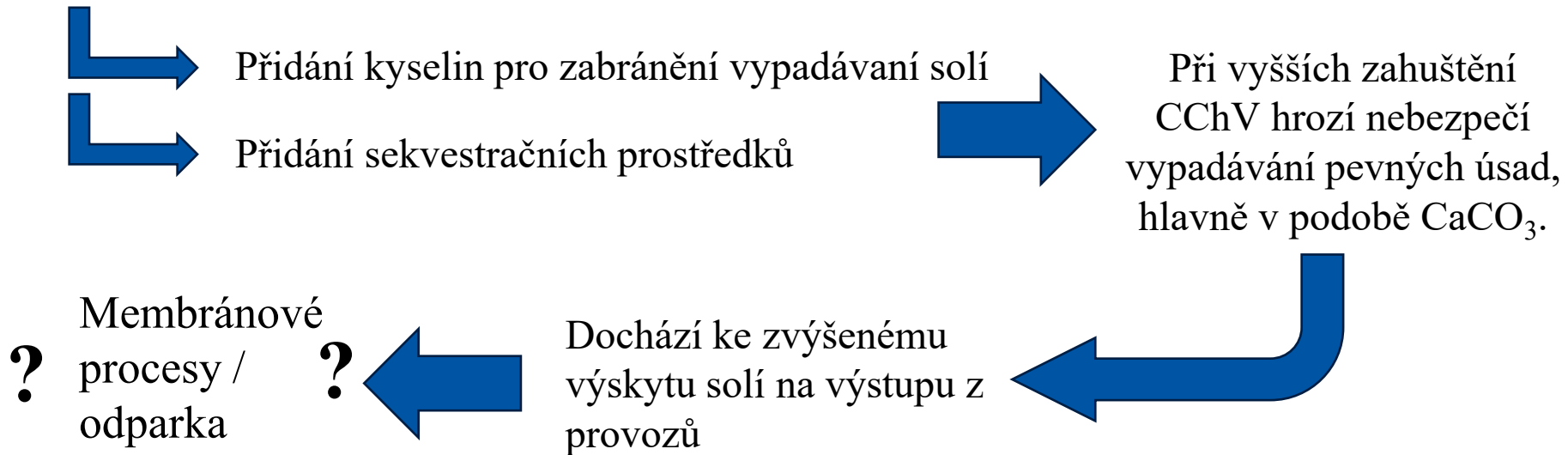
Chladicí voda je klíčová ve všech aplikacích, kde dochází k přenosu tepla – od výměníků a kondenzátorů až po chladicí věže a procesní chlazení.



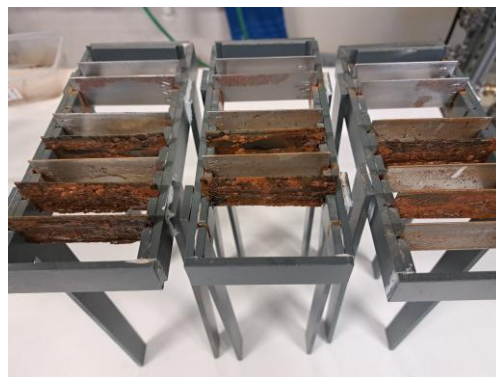
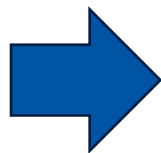
- Zlepšení efektivity chladicích věží (řízení cyklů zahuštění)
- Prevence tvorby inkrustů a zanášení výměníků
- Biologická kontrola otevřených okruhů

Chladicí voda - zahuštění

V obdobích s nízkou dostupností surové vody může v mnoha průmyslových provozech vzniknout riziko nedostatku cirkulační chladicí vody potřebné pro doplňování chladicích okruhů. V řadě závodů tvoří doplňování chladicí vody většinu celkové spotřeby surové vody. Pokud klesne množství dostupné vody, provoz reaguje buď snížením množství odľuhu z chladicího okruhu, nebo snížením výkonu technologie. Omezování výkonu však přináší ekonomické dopady a může negativně ovlivnit stabilitu výroby. Proto se často hledají možnosti, jak snížit množství odľuhu chladicí vody nebo optimalizovat celý chladicí režim



Chladící voda - mikrobiologie

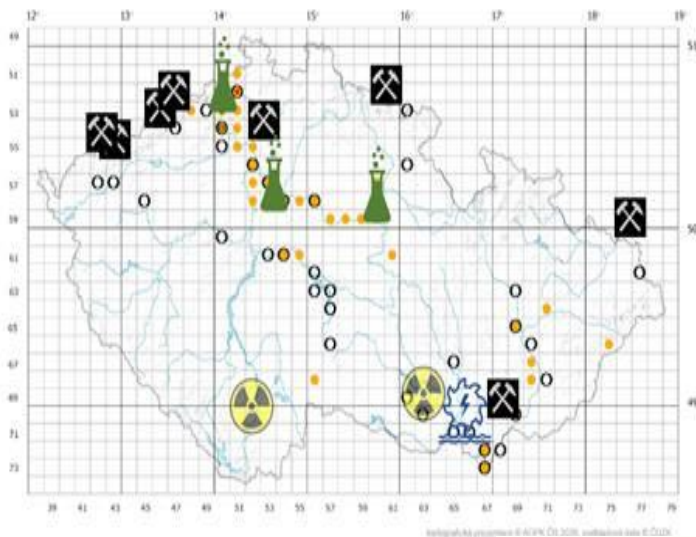


- Každá nádrž má objem 20 litrů
- Peristaltickým čerpadlem udržován průtok přes vzorky cca 150 - 200 litrů/h
- Dávkování H_2O_2 - 0,1 až 0,2 ml na litr roztoku
- Dávkování O_3 - (výroba) 1 až 2 g/h
- Doba UV ozařování – 1 – 5 hodin/den

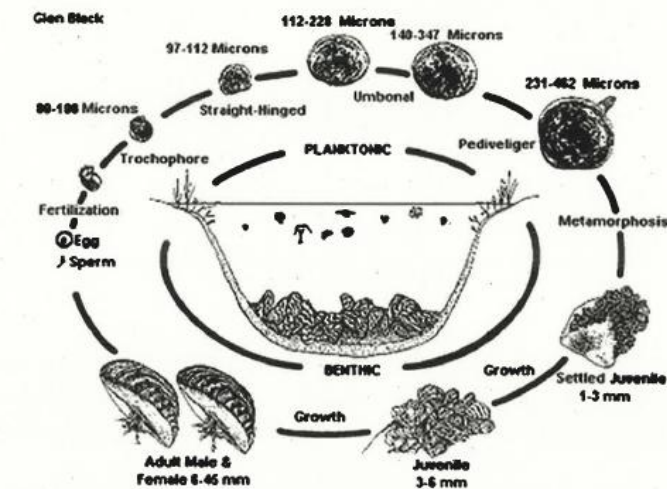
Ošetřování probíhalo v pracovní části týdne: tj. pouze od pondělka do pátku

Chladící voda - makrobiologie

Slávička mnohotvárná



- nálezy do roku 1949
- nálezy 1950-1989
- nálezy 1990-2009
- nálezy od roku 2010
- ? pouze nejisté nálezy
- ⊠ uhelná elektrárna
- ☢ jaderná elektrárna
- ⚙️ vodní elektrárna
- 🧪 chemický závod



Obrázek 2-1 Přehled vývojových stádií během životního cyklu Slávičky mnohotvárné [7]

Závěr

- Voda je základní provozní médium v energetických a chemických provozech.
- Její kvalita přímo ovlivňuje výkon, účinnost i životnost zařízení.
- Chladicí a parovodní okruhy patří mezi největší odběratele vody a zároveň zdroje provozních rizik.
- Moderní úprava vody (RO, EDI), kontrola chemických režimů a monitoring jsou klíčem ke stabilnímu provozu.
- Recyklace a MLD umožňují výrazně snížit odběr surové vody a množství výpustí.
- Investice do vodního hospodářství se vrací formou nižších nákladů, vyšší provozní spolehlivosti a snížení rizika odstávek.

Děkuji za pozornost

Pavel.kus@cvrez.cz