

# **Ultračistá voda**

MARTIN BRUCHANOV

Fyzikální metody v medicíně

ČVUT FEL

26. května 2005

# Obsah

<b>1. Ultračistá voda</b>	<b>3</b>
1.1. Úvod	3
1.2. Nečistoty ve vodě	3
1.2.1. Vlastnosti ultračisté vody	3
1.3. Využití v lékařství	3
1.3.1. Hemodialýza	4
1.3.2. Peritoneální dialýza	4
1.4. Čištění vody	4
1.4.1. Filtrace	4
1.4.2. Demineralizace iontoměníči	5
1.4.3. Destilace	5
1.4.4. Reverzní osmóza – membránová filtrace	5
1.4.5. Sterilizace UV zářením	6
1.5. Reference	7

# 1. Ultračistá voda

## 1.1. Úvod

Voda  $H_2O$  je, při standardní teplotě a tlaku ( $25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $100\text{ kPa}$ ), bezbarvá kapalina bez chuti a zápachu. Je to základní složka veškerých živých organismů a je to také jedno z nejuniverzálnějších rozpouštědel.

Kromě toho, že vodu potřebují k životu všechny známé organizmy, tak je využívána v nepřeberném množství činností v průmyslu, zemědělství, potravinářství, energetice,...

Tento dokument se věnuje speciálně upravené vodě, zbavené veškerých nečistot.

*Ultračistá voda* (purified water) bez iontů a mikroorganismů je využívána převážně v medicíně pro hemodialýzu, ve farmaceutickém průmyslu pro přípravu infuzních roztoků, výrobu antibiotik apod., pro výrobu polovodičů a mikročipů, TV obrazovek, atd.

## 1.2. Nečistoty ve vodě

Voda v přírodě obsahuje množství příměsí. Dešťová voda má pH typicky 5 až 6, v některých případech („kyselé“ deště) může pH klesnout až k hodnotě 4,0. Dešťová voda se vsakuje do země a díky její kyselosti rozpouští nejrůznější minerály jako je vápenec, hořčík, železo, sulfáty a chloridy. Díky těmto příměsím roste pH vody k hodnotám pH 7 až 8,5. U povrchové vody je navíc značná biologická bakteriální kontaminace.

Další nečistoty nazývané *pyrogeny* jsou

látky, které způsobují horečky u teplokrevných živočichů. Nejvýznamnějším zástupcem je bakteriální *endotoxin*. Přítomnost pyrogenů se v minulosti zjišťovala na živých králících, kterým byla vstříknuta testovaná voda do krevního oběhu a bylo pozorováno zda nedojde ke zvýšení teploty. V současné době je nepoužívanější tzv. LAL (Limulus Amoebocyte Lysate) test. Využívá se toho, že endotoxiny reagují s filtrovaným extraktem z krve kraba podkovovitého (*Limulus polyphemus*) a dá se tak určit jejich koncentrace. LAL test je relativně rychlý a levný.

### 1.2.1. Vlastnosti ultračisté vody

Vlastnosti vody stanovuje ČSN ISO 3696 – *Jakost vody pro analytické účely. Specifikace a zkušební metody*. Norma rozlišuje tři stupně čistoty vody. Stupeň 1 je nejméně kvalitní, voda je obvykle filtrována na membráně s póry  $0,24\mu\text{m}$ . Voda kvality stupně 2 a 3 má vlastnosti ultračisté vody. Vodivost vody stupně 2 je nižší než  $1\mu\text{S/cm}$ .

Ultračistá voda je velmi náchylná k rychlé kontaminaci z okolního prostředí. Proto je vhodné používat ji pouze čerstvou a neskladovat ji.

## 1.3. Využití v lékařství

V chemických a biologických laboratořích pro přípravu roztoků, lázní, mytí skla je využívána voda, jejíž vlastnosti upravuje

ČSN 68 4063 Voda destilovaná, Čs. Lékopis  
č. 4 Aqua purificata.

### 1.3.1. Hemodialýza

Hemodialýzou se krev očišťuje mimo tělo nemocného. Při periodickém ošetření na hemodialyzačním zařízení spotřebuje pacient s nemocnými ledvinami týdně cca 250–600 litrů dialyzačního roztoku, který se připravuje z vody a koncentrátu tak, že svým minerálovým složením přibližně odpovídá normální mimobuněčné tekutině. Jestliže čistota roztoku není dokonalá je možné, že řada chemických a bakteriálních toxinů může difundovat přes dialyzační membránu přímo do krve pacienta.

Pro hemodialýzu se nejčastěji používá kapilární dialyzátor, kde krevní cestu tvoří svazek několika tisíc kapilárních vláken, zalitých v hlavicích dialyzátoru polyuretanovým tmelem. Celý svazek je uložen ve válcovém pouzdru, kterým vně vláken proudí dialyzační roztok. Krev proudí vnitřkem vláken. Různě velkých ploch se dosahuje buď změnou počtu vláken ve svazku nebo změnou délky svazku. To má dopad na rychlost proudění krve vláknou dialyzátoru a dobu styku krve s membránou.

### 1.3.2. Peritoneální dialýza

Při peritoneální dialýze je membránou očišťující krev pacientovo peritoneum (pobříšnice). Do břišní dutiny se katetrem napouští sterilní dialyzační roztok, který se v různých intervalech obměňuje. Podobně jako při hemodialýze přecházejí látky z kapilár pobříšnice do dialyzačního roztoku, popřípadě opačným směrem (na podkladě koncentračních gradientů). Filtrace s odstraňováním tekutiny z nemocného se zajišťuje tím, že součástí dialyzačních roztoků je osmotické čini-

dlo (glukóza), které vodu z krevního oběhu nemocného nasává do břišní dutiny, odkud je pak vypuštěna.

Při peritoneální dialýze se podává 2000 ml roztoku čtyřikrát denně a po 2 až 10 hodinovém intervalu se vypustí.

## 1.4. Čištění vody

Výroba ultračisté vody je technologicky náročná operace. V následujících odstavcích jsou popsány metody používané pro její přípravu. Jednotlivé postupy se liší technologií, mají různou účinnost a efektivitu. V praxi se běžně používá jejich kombinování, případně vícenásobné použití, aby bylo možno dosáhnout co nejlepších výsledků.

### 1.4.1. Filtrace

*Filtrace* je metoda oddělování složek směsi pomocí materiálu propustného pouze pro jednu ze složek.

Filtrace je vhodná pro úpravu pitné vody a předzpracování budoucí ultračisté vody pro další stupně čištění. Jako filtr se používá nejčastěji aktivní uhlí (viz 1.4.1). Tyto filtry mohou odstraňovat volný chlór, chloramin, oxid chloričitý, fenoly, organická rozpouštědla a pesticidy. Filtrace přes aktivní uhlí má rozsáhlé použití v průmyslu, v pivovarech, ve vodárnách a při úpravě odpadních vod.

#### Aktivní uhlí

*Aktivní uhlí* (activated carbon) je produkt vyráběný z uhlí, dřeva nebo kokosových ořechů. Aktivní uhlí má pórovitou strukturou a velký vnitřní povrch (400–1500 m<sup>2</sup>/g). Může

adsorbovat<sup>1</sup> široké spektrum látek. Složka, která má být odstraněna se uvede do styku s aktivním uhlím a difunduje potom do vnitřní sféry pórů. Tam jsou molekuly vázány slabými Van der Waalsovými silami.

Asi při třistanásobném zvětšení pod mikroskopem lze rozeznat při aktivním uhlí vyrobeném z kokosových skořápek celulární strukturu původního organického materiálu. Molekulární struktura aktivního uhlí se podobá struktuře grafitových destiček širokých několik atomů. Tvoří stěnu molekulárních otvorů tj. pórů aktivního uhlí. Hexagonální kruh uhlíkových atomů je často přerušen a tyto nepravidelnosti poskytují možnosti pro reakce na místech, kde je uhlíkový kruh přerušen.

Póry rozdělujeme podle jejich průměru:

1. mikropóry s poloměrem menším než 1 nm,
2. mezopóry s poloměrem 1 – 25 nm a
3. makropóry s poloměrem větším než 25 nm.

Aktivní uhlí vyrobené z kokosových skořápek má větší část pórů jako mikropóry.

Při výrobě aktivního uhlí se suroviny zpracovávají při teplotách 200–300 °C, aby se odstranily přirozeně těkavé složky a zbývající vlhkost. To je počáteční krok karbonizace. Následně proběhne aktivace při teplotách 900–1000 °C za přísně kontrolovaného přídatku vodní páry jako oxidačního média.

Životnost aktivního uhlí je většinou omezená, a proto musí být aktivní uhlí po určitém čase vyměněno nebo regenerováno.

<sup>1</sup>hromadění plynné nebo rozpuštěné látky (adsorbátu) na povrchu jiné látky (adsorbentu) účinkem mezipovrchových přitažlivých sil

## 1.4.2. Demineralizace iontoměničů

*Demineralizace* (deionizace) je metoda využívající schopnosti určitých makromolekulárních látek (např. syntetických pryskyřic) – tzv. *ionexů* neboli *iontoměničů* (ion exchangers), které obsahují funkční skupiny, zachycovat ionty z roztoku. Tyto iontoměniče – *katexy* a *anexy* mají schopnost zachytit ionty solí přítomných ve vodě a vyměňovat je za vodíkové a hydroxidové ionty. Katexy odstraňují kationty rozpuštěných solí a anexy anionty rozpuštěných solí. Deionizační stanice může být tvořena buď oddělenou katexovou a anexovou kolonou (náplní), jež jsou zapojeny v sérii, nebo jednou smíšenou katexo-anexovou kolonou (Mix-Bed). Po vyčerpání výměnné kapacity iontoměničů se katex regeneruje kyselinou chlorovodíkovou HCl a anex hydroxidem sodným NaOH, přičemž obě chemikálie jsou do deionizační linky přísávány deionizovanou vodou čerpanou z akumulární nádrže.

## 1.4.3. Destilace

*Destilace* je metoda čištění látek (vody) nebo rozdělování směsí látek podle bodu varu. Látky se ve varné nádobě postupně přeměňují v páru a po průchodu chladičem kondenzují. Destilát se jímá podle bodu varu, příměsi zůstanou v prvním podílu před dosažením žádoucí teploty a v konečném zbytku.

## 1.4.4. Reverzní osmóza – membránová filtrace

„Osmóza“ je fyzikální jev popisující určité děje v roztocích, které jsou v kontaktu s polopropustnou membránou.

Molekula látky v roztoku nezůstává v klidu na jednom místě, nýbrž se neustále a čistě náhodně někam pohybuje. Tím je dlouhodobě zajištěna rovnoměrná koncentrace příslušné látky v celém objemu roztoku. Pokud roztok v nádobě rozdělíme zcela nepropustnou přepážkou, stanou se obě oddělené části roztoku na sobě nezávislé, a cokoli se stane s jednou částí, zůstane bez jakékoli odezvy v části druhé. Pokud k vytvoření přepážky použijeme propustný materiál charakteru filtru, který propouští všechny rozpuštěné molekuly, projeví se každá změna koncentrace v jedné části roztoku i v jeho části druhé, ač s větším časovým zpožděním. Ať jakoukoli látku v jedné části přidáme či ubere, projeví se tato změna i v druhé části a koncentrace všech látek v roztoku na obou stranách přepážky se po čase vyrovná. Pozoruhodná situace však nastává v případě, že použitá přepážka je „polopropustná“, tzn. že některé molekuly roztoku propouští, jiné však nikoli. Tato rozdílná propustnost pro různé látky je dána především velikostí pórů v přepážce ve srovnání s velikostí rozpuštěných molekul. V ideálním stavu může taková membrána propouštět pouze rozpouštědlo a žádné látky rozpuštěné.

Pokud zůstanou koncentrace všech látek v obou takto oddělených částech stejné, nic zvláštního se neděje. Pokud však na jedné straně zvýšíme koncentraci některé rozpuštěné látky či na straně druhé koncentraci snížíme (např. přidáním rozpouštědla), záhy zjistíme, že roztoku na straně vyšší koncentrace přibývá, na straně nižší koncentrace naopak ubývá. Uplatňuje se tu tendence, aby se koncentrace na obou stranách přepážky vyrovnaly, protože však rozpuštěná látka nemůže přepážkou projít, jediným způsobem, kterým se koncentrace na obou stranách mohou vyrovnat, zůstává přesun rozpouštědla, které membránou projde. Tak se rozpouště-

dlo přemisťuje z místa o nižší koncentraci do místa s koncentrací vyšší a tento děj trvá tak dlouho, dokud se koncentrace v obou oddělených částech roztoku znovu nevyrovná či dokud síla, působící tento přesun (vyjádřená jako osmotický tlak) nebude vyrovnána silou působící na stejné úrovni v opačném směru, například silou hydrostatického tlaku. Pro ilustraci, 0,9% roztok NaCl (který je izotonický s roztokem krevní plazmy) působí na ideální polopropustné membráně, na jejíž opačné straně je destilovaná voda, tlak téměř 7× větší než tlak atmosférický (690 kPa).

*Reverzní osmóza* představuje filtraci vody tlakem proti osmotickému gradientu přes polopropustnou membránu s póry o molekulární velikosti, jež selektivně zadržuje molekuly větší než je molekula H<sub>2</sub>O. Chemicky inertní membrána s definovanou velikostí mikropórů zajišťuje získávání chemicky vysoce čisté vody z prakticky jakéhokoli vodního zdroje. Odstraňují se částice o velikosti jednotek nanometrů a menší.

Předností reverzně osmotických zařízení je kvalitní demineralizovaná voda vyrobená bez spotřeby elektrické energie, pouze tlakem vody ve vodovodním řádu. Náklady na jeden litr této purifikované vody jsou výrazně pod 1 Kč.

Pro přípravu ultračisté vody se v současné době používají nejvíce zařízení pracující na principu reverzní osmózy.

#### 1.4.5. Sterilizace UV zářením

Malou část světelného spektra tvoří *ultrafialové záření*. Podle vlnové délky je klasifikováno na tři rozsahy:

- UV-C – 100 nm až 280 nm
- UV-B – 280 nm až 315 nm

- UV-A – 315 nm až 400 nm

Záření v pásmu UV-C má germicidní efekt, který spočívá ve fotochemickém poškození RNA, DNA, event. i proteinů, enzymů či jiných biologicky významných makromolekul. Nukleové kyseliny absorbují UV záření při vlnové délce 240–280 nm, nejvyšší germicidní efekt je pozorován při 260–265 nm.

Sterilizační jednotka většinou obsahuje jednu nebo více UV lamp. Asi 95 % veškerého záření je emitováno v oblasti rezonanční frekvence rtuti – 254 nanometrů. Právě tato vlnová délka se blíží nejúčinnějším hodnotám při hubení mikroorganismů. Metoda

zničí 99,99 % všech patogenů ve vodě a je možné sterilizovat až 15 000 litrů za hodinu.

## 1.5. Reference

- [1] MUDr. Václav Šafka, Ph.D.: *Co je to osmóza*.
- [2] *Osmonics Pure Water Handbook 2nd Edition*, 1997, 1991 Osmonics, Inc.
- [3] Informační materiály firmy Culligan s.r.o., [www.culligan.cz](http://www.culligan.cz)
- [4] Hesla encyklopedie Wikipedia [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)