

## Význam reverzní osmózy při doupravě pitné vody z hlediska fyziologie lidského organismu.

Vypracoval MUDr. Václav Šafka, Ph.D. odborný asistent - fyziolog Lékařská fakulta Karlovy univerzity v Hradci Králové, 14. 6. 2000.

### Co je to osmóza ?

Osmóza je fyzikální jev popisující určité děje v roztocích, které jsou v kontaktu s polopropustnou membránou. O jaké fyzikální principy tu jde:

Roztok je tekutina průhledná, může být i nějak zbarvená, chová se jednoduše a sebejemnějším filtrem prochází v nezměněné podobě. Představíme-li si ho na nejmenší možné mikroskopické úrovni (rozhodně ne viditelné jakýmkoli dostupným mikroskopem), jde o směs molekul – částíček lišících se velikostí, tvarem a některými dalšími vlastnostmi. Každá molekula je nejmenším možným zástupcem chemicky přesně určené látky. Ty obvykle nejpočetnější a nejmenší z nich můžeme nazvat rozpouštědlo. Nejznámější a nejrozšířenější rozpouštědlo na Zemi je bezesporu voda – H<sub>2</sub>O.

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 ubereme, 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 rozpouštědlo přemísťuje 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 7x větší než tlak atmosférický (690 kPa), tedy tlak 69 m vodního sloupce.

To je tedy osmóza, jev, který se běžně v technice příliš neuplatňuje, v biologii a medicíně však má nesmírný význam, protože všude tam se setkáváme s ději na polopropustných membránách a tyto děje jsou základem všeho, co charakterizuje živou

přírodu. Membrány podobných charakteristik jsou technice dostupné až v posledních desetiletích a jedním z prvních míst, kde se uplatnily, je umělá ledvina. I v tomto případě se však setkáváme s poměrně velkými póry a tedy i poměrně velkou propustností membrány pro molekuly podstatně větší než je voda. Ve funkci umělé ledviny je totiž žádoucí prostup nejen samotných molekul vody, ale i jednoduchých organických látek, jako je kyselina močová či kreatinin. Technologie však pokročila tak, že póry obdobných membrán mohou propouštět skutečně pouze částice velikosti molekuly vody.

Proč reverzní osmóza

Pokud membránu takovýchto parametrů použijeme k filtraci skutečně čisté vody z libovolného vodného roztoku, vzniká situace, kdy zatímco na jedné straně membrány vzniká čistá  $H_2O$ , zbavená všech rozpuštěných příměsí, na straně vstupní se nám roztok příměsí ve zbývající vodě zahušťuje. Zde se však musí začít uplatňovat síla osmózy, a to přesně proti směru žádoucího děje – začne "nasávat" přefiltrovanou vodu zpět do koncentrovanějšího roztoku. Pokud tedy chceme nějakou čistou vodu tímto způsobem přefiltrovat, musíme ve směru filtrace působit silou, která sílu osmózy překoná. Tím vlastně osmotický děj na membráně obrátíme, a je tu **reverzní osmóza** – pohyb vody (rozpuštědla) proti směru osmotických sil. Je nasnadě, že nejnázve tohoto obrácení pohybu dosáhneme působením tlakové síly, takže filtr používající membránu uvedených kvalit musí používat podstatně větší přetlak než filtr jiného principu.

Čím větší přetlak použijeme, tím většího zahuštění vodného roztoku na vstupní straně filtru dosáhneme, tím více chemicky čisté vody z daného objemu zdrojového roztoku získáme a zůstane méně vody v roztoku "zbytkovém". Vždycky však musí určité množství "zbytkové vody" na vstupní straně membrány zůstat, neboť prakticky nelze dosáhnout tlaku, který by přefiltroval všechny molekuly vody. To má svou výhodu – všechny zadržené rozpuštěné látky filtr opouští v podobě zakoncentrovaného roztoku a filtr se jimi nezanáší. Míra tohoto zakoncentrování je v podstatě ekonomickým kompromisem mezi procentuální výtěžností filtru a energetickými nároky na jeho provoz (vytváření přetlaku stojí energii!). Pokud například vystačíme s tlakem ve vodovodním rozvodu, musíme počítat s tím, že na výstupu z filtračního zařízení bude tlak vytékající vody podstatně nižší. Ovšem bude to voda (s určitou tolerancí) skutečně z chemického hlediska čistá !!!

Co je to pitná voda a co je to voda zdravotně nezávadná

Chemický termín "voda" představuje molekuly  $H_2O$  bez jakékoli příměsi. Prakticky se však s takto čistou vodou nesetkáme. Tomuto ideálnímu stavu se nejvíce blíží destilovaná voda připravovaná speciálními přístroji a specifickým způsobem uchovávaná. Takováto voda vykazuje neutrální chemickou reakci pH a je elektricky nevodivá. Voda, se kterou se setkáváme v běžném životě, je vždy roztok obsahující nějaké rozpuštěné příměsi, případně i nerozpuštěné drobné částičky.

Aby mohla být takováto voda označena jako **pitná**, musí se látky v ní přítomné vejít do normou přesně stanovených limitů, a to jak horních (nejvyšší přípustné množství), tak v některých případech i dolních (nejnižší přípustné množství). Z tohoto hlediska například ani destilovanou vodu nelze označit za pitnou. To však neznamená, že jednorázové nebo i opakované požití vody, která tyto limity beze zbytku nesplňuje, musí vždy ohrožovat lidské zdraví. Tyto normativní limity představují pouze určitý kompromis mezi kvalitou dostupných zdrojů vody, technologickými možnostmi úpraven pitné vody a medicínskými poznatky o nutričních potřebách organismu průměrného člověka v našich civilizačních podmínkách i o možné škodlivosti některých ve vodě obsažených látek. Tyto limity a nároky nejsou ani ideální, ani nepřekročitelné, a nelze říci ani to, že pití vody, která tyto limity beze zbytku dlouhodobě splňuje, je absolutně bez zdravotního rizika. **Ideální stav** by byl, kdybychom pili superčistou, třeba destilovanou vodu, která by byla řízeně obohacena o přesné množství prospěšných látek. To je však zatím u nás v celospolečenském měřítku ekonomicky neúnosné. V individuálním měřítku se lze tomuto stavu přiblížit za pomoci zařízení, jež používá fyzikální princip reverzní osmózy, kdy se získávaná voda ideálu čistoty do značné míry přibližuje.

### Význam látek ve vodě obsažených

Z čistě fyziologického hlediska lze říci, že organismu příliš nezáleží na tom, v jaké podobě vodu přijímáme – tedy zda je to destilovaná  $H_2O$ , limonáda, polévka či kaše. Z toho, co sníme či vypijeme, si v trávicím ústrojí potřebné molekuly  $H_2O$  vybere a vstřebá. Problém nastává až v situaci, kdy je nám přijímaná podoba vody vzhledově, chuťově či pachově nepřijatelná, když nějak přímo dráždí či poškozuje trávicí ústrojí a nebo když v ní přijímáme současně i látky, které jsou tělu škodlivé. Na druhou stranu můžeme s vodou jako v ní rozpuštěnou součást přijímat i množství látek tělu prospěšných. Z hlediska výživy konkrétního člověka i celého národa mohou mít tyto žádoucí složky rozpuštěné ve vodě, kterou pije, svůj kladný, i když kvantitativně obvykle malý význam.

Pitná voda z obvyklých zdrojů obsahuje především množství rozpuštěných minerálních látek. Ty určují základní elektrochemické a potažmo i chuťové vlastnosti vody. Část z nich je pro tělo prospěšná, zvláště v určité kombinaci, ovšem pro každou z nich zároveň platí, že všeho moc škodí a že méně někdy znamená více. Typickým příkladem jsou léčivé minerální vody, které nelze pít v neomezené míře. Z tohoto hlediska norma ustanovuje minimální doporučenou koncentraci pouze u dvou prvků, hořčíku a vápníku. To ovšem neznamená, že pití vody, která tyto hodnoty nespĺňuje, je v konkrétním případě zdravotně nepřijatelné, spíše v určitých situacích nevýhodné či problematické (chuťové vlastnosti, tolerance trávicího ústrojí, dlouhodobě o něco nižší přísun konkrétního prvku v průměrné stravě).

Zásadní problém však je, že zbývající většina rozpuštěných minerálů je pro tělo přijatelná v jen velmi malém množství (fluor, jód, chlór, železo, zinek...) a mnohé jsou pro tělo principiálně škodlivé (kadmium, rtuť, olovo, dusitaný, dusičnaný...), takže pro ně platí "čím méně, tím lépe" i v rámci stanovených kompromisních limitů. Mnohé z nich se v životním prostředí, a tedy i ve vodě, množí díky působení naší civilizace, a přidává se k nim množství dalších, ryze toxických látek anorganického i organického charakteru.

Poslední skupinu příměsí ve vodě představují biologické kontaminanty, tedy mikroorganismy a organické látky, které pro ně vytvářejí živnou půdu. Ty jsou problémem především povrchových, ale i špatně chráněných podzemních vodních zdrojů.

Jakou vodu obvykle pijeme

Početně největší část naší populace pije vodu z veřejných vodovodních řádů. Zdroje těchto řádů jsou pod zákonem ustanovenou hygienickou kontrolou (kontrola vzorků dodávané vody i několikrát denně), čímž by se mělo pokud možno předejít takovému překročení normou stanovených limitů, jež by mělo charakter havárie a přímého zdravotního ohrožení obyvatelstva. Naproti tomu je ale na denním pořádku, někdy i v rámci udělených výjimek, mírné překračování některých limitů, jež souvisí s kvalitou zdrojů surové vody a technologickými možnostmi úpraven. Uvedené kontroly, prováděné na výstupu z úpravny, navíc nejsou schopny plošně postihnout děje a případné znečištění ve vodovodním rozvodu. Tento stav sice není ideální, nevede však k bezprostřednímu zdravotnímu nebezpečí pro obyvatelstvo a dlouhodobé zdravotní riziko je považováno za přijatelné (nesrovnatelně nižší než podobné riziko vyplývající z konzumace obvyklé stravy). Jak však bylo naznačeno výše, zdravotní riziko není nulové ani při dodržení všech normativních limitů, neboť ty představují ekonomický kompromis, nikoli hygienický ideál. Za toxikologicky významný je v tomto směru považován především obsah dusičnanů, dusitanů, aktivního chlóru a chloroformu a jemu příbuzných látek (důsledek technologické úpravy vody) v dodávané vodě.

Kapitolou sama pro sebe jsou ovšem individuální vodní zdroje, neboť ty nejsou na rozdíl od veřejných vodovodů zdaleka dostatečně kontrolně postižitelné. Málokteré z těchto zdrojů jsou opakovaně kontrolované a stálost jejich kvality lze těžko zaručit. Míra jejich ohrožení souvisí s konkrétními geologickými podmínkami okolního terénu, těžko se však hledá zdroj zcela bez rizika. Dle kusých hygienických informací je nutno asi čtyři pětiny (80%) takovýchto zdrojů považovat za nevyhovující, což znamená, že limity některých kontaminantů jsou překročeny několikanásobně. Jde především o dusičnaný a dusitaný, biologické kontaminanty, množství látek souvisejících se zemědělskou činností, ropné produkty. Zdravotní riziko je značně individuální a těžko vyčíslitelné, a kromě havarijních situací prakticky nepostižitelné.

Významnou alternativu k výše uvedeným možnostem představují jednak balená potravinářská voda a jednak stolní voda distribuovaná do vlastních nádob spotřebitele. Ta podléhá mnohem přísnějším limitům a kontrolám, její cena a další praktická hlediska však málokomu umožňují její užití jinak než k přímé spotřebě. Jistý problém z hlediska záruky její kvality představuje především její skladování, kdy je třeba dodržovat (a zdaleka ne vždy se tak děje –; v obchodních skladech i v domácnostech) určité fyzikální a hygienické podmínky k omezení rizika biologické kontaminace množícími se mikroorganismy.

Jaká je voda získaná metodou reverzní osmózy a jak je vhodné ji používat.

Polopropustná membrána filtru reverzní osmózy je schopná zadržet teoreticky všechny molekuly větší, než je molekula vody, což jsou molekuly a částice prakticky všech kontaminant (s různou mírou selektivity). Podmínkou je pouze dodržení deklarovaných vlastností membrány a jejich dlouhodobá stálost, a pochopitelně také neporušenost membrány. Takto získaná voda se svými vlastnostmi, především čistotou, blíží vodě destilované. Liší se od ní kyselejší chemickou reakcí (kyselinotvorný kationt  $H^+$  resp.  $H_3O^+$  prochází membránou volně na rozdíl od podstatně větších aniontů  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$  ...) a nenulovým obsahem některých molekulově menších látek.

Takováto "superčistá", "superměkká" voda rozhodně není zdraví škodlivá, zůstává však u ní otázka individuální snášenlivosti a "problém" snížení příjmu vápníku a hořčíku o zhruba 2-4% doporučené denní dávky. Bez další úpravy je ideální k použití do žehliček, praček a myček na nádobí, neboť je prostá minerálů tvořících vodní kámen. Velmi důležité je, že tato výstupní kvalita vody je prakticky nezávislá na kvalitě vody vstupní, takže zařízení lze považovat za vynikající ochranu před jakoukoli kontaminací vodního zdroje, chemickou, biologickou i radioaktivní. Aby se z takovéto výstupní "superčisté" vody stal roztok k pití vhodnější, tedy "voda pitná", prochází minerální patronou, která ji řízeně opět obohatí o žádoucí minerály a upraví její kyselost. Za podmínek dodržení všech deklarovaných parametrů jde o ideální stav chemicky čisté vody řízeně obohacené o žádoucí složky. Tu pak lze v domácnosti používat k libovolným potravinářským účelům včetně kojenecké výživy bez velkého ohledu na kvalitu vody vstupní. Vzhledem ke své měkkosti a čistotě je výhodná i ke kosmetické péči o pleť. Můžeme doufat, že ekonomický vývoj v budoucnu umožní podstatně větší plošné rozšíření této technologie v naší zemi. Pro individuálního spotřebitele je ovšem dostupná již dnes.

Shrnutí

- žádný z běžných zdrojů pitné vody kromě vody balené nelze ze zdravotního hlediska považovat za ideální, přičemž zvláště problematické a rizikové jsou zdroje individuální
- 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  $H_2O$
- chemicky inertní membrána s definovanou velikostí mikropórů zajišťuje získávání chemicky vysoce čisté vody z prakticky jakéhokoli vodního zdroje; ta je následně řízeně obohacována o žádoucí složky, a tak vhodná k prakticky libovolnému kuchyňskému i kosmetickému použití s vysokou zárukou zdravotní nezávadnosti
- ekonomická výhodnost reverzní osmózy k doúpravě pitné vody není předmětem tohoto pojednání

*Toto pojednání bylo zpracováno na žádost firmy AQUEL Bohemia s.r.o.*

*Kromě vědomostí a zkušeností autora byla použita Souhrnná zpráva Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva České republiky ve vztahu k životnímu prostředí, ČSN 75 7111 Pitná voda a informace z konzultací s pracovníky KHS a ústavu hygieny lékařské fakulty.*

**Tato úvaha podléhá autorskému právu  
a její zneužití může být postihováno dle zákona!!**