

PROČ VODA S CHLOREM, PROČ VODA BEZ CHLORU?

MUDr. František Kožíšek, CSc. ^{1,2)}

¹⁾ Státní zdravotní ústav, Šrobárova 48, 10042 Praha 10, e-mail: voda@szu.cz

²⁾ 3. lékařská fakulta UK, Ústav obecné hygieny, Ruská 87, 10000 Praha 10

ÚVOD

Chlor a jeho sloučeniny sehrály v historii vodárenství a hygienického zabezpečení pitné vody významnou úlohu a přispěly k záchraně mnoha lidských životů. V některých méně rozvinutých zemích tuto úlohu stále ještě mají, ale ve vodárensky vyspělých zemích došlo vlivem více faktorů k částečnému přehodnocení „nezastupitelné role“ chloru, což se promítá i do změny jeho použití.

V bloku přednášek věnovaném této problematice chceme podrobněji představit faktory, které změnu ovlivnily, i běžnou praxi v některých sousedních zemích, která již není na použití chloru založena nebo jen částečně a kterou považujeme za správnou provozní praxi naplňující oficiálně deklarovaný cíl moderního vodárenství („*Cílem je dobrá nezávadná pitná voda, která se těší důvěře spotřebitelů. Voda, kterou lze nejen bez obav pít, ale u níž spotřebitel zároveň oceňuje její estetickou kvalitu.*“ [1]). Dále chceme představit první příklady takové praxe z tuzemska a i určité shrnutí hlavních zásad této praxe jako určitý návod, jak tento vzor následovat tam, kde je to možné.

POČÁTKY KONTINUÁLNÍ DEZINFEKCE PITNÉ VODY

V roce 2008 se v rámci několika mezinárodních konferencí konaly z popudu amerických účastníků zvláštní semináře věnované 100. výročí zavedení kontinuální dezinfekce pitné vody. Jednalo se sice o výročí z pohledu USA, protože prvním místem na světě, kde již v roce 1902 přistoupili ke kontinuální dezinfekci pitné vody (chlorováním), bylo belgické přímořské město Middlekerke, ale na druhou stranu nutno přiznat, že až do konce první světové války se kontinuální dezinfekce pitné vody v Evropě užívala jen sporadicky. Voda se dezinfikovala převážně jen nárazově při propuknutí epidemií, zatímco v USA po prvním zprovoznění uvedené technologie v roce 1908 došlo k lavinovitému šíření její praktické aplikace. A právě díky jejímu úspěšnému použití americkými vojáky na evropské frontě první světové války nastal v následujících letech rozmach i v Evropě. Tyto počátky byly autorem blíže popsány v jiné publikaci [2].

POČÁTKY DEZINFEKCE PITNÉ VODY V ČECHÁCH

O možnostech dezinfekce vody se psalo v českých hygienických časopisech již na počátku 20. století a k jejímu rutinnímu použití došlo na úpravě vody pro vodovod Most již na počátku první světové války, když zde jako první v tehdejším Rakousku-Uhersku zavedli ozonizaci vody z přehradní nádrže [2]. Podle dostupných informací [3, 4, 5, 6] se pak zdá, že první řádné chlorování pitné vody v našich zemích bylo zavedeno v roce 1924 na vršovickém vodovodu v Praze, když na čerpací stanici v Braníku byly nákladem 30.000 Kč instalovány dva chlorátory, protože tamní studny jímající vltavský infiltrát bývaly při rozvodnění řeky bakteriologicky závadné. Nejméně během prvního roku však neprobíhalo dávkování chloru kontinuálně, ale jen v období zhoršené kvality surové vody.

Tato první vlašťovka však neměla tolik následovníků, jak by se snad dnes očekávalo. V roce 1928 totiž chlorovalo vodu jen pět (!) z 1680 vodovodů v Čechách, na Moravě a ve Slezsku [7]. Nutno však dodat, že v tu dobu se přes 90% vody vyrábělo ze zdrojů podzemních a čtyři ze zmíněných pěti vodovodů využívaly povrchové zdroje. Jedním z důvodů možná bylo, že tehdejší nejvyšší česká hygienická autorita, profesor Gustav Kabrhel, zaujímala k dezinfekci vody spíše rezervované stanovisko a preferoval buď důkladnou ochranu zdroje nebo úpravu pomocí pískové filtrace [8]. Voda se tehdy chlorovala „chlorovým vápnem, chlornatanem sodným nebo tekutým chlorem“, pod čímž rozumějme směs chloridu a chlornanu vápenatého (chlorové vápno), chlornan sodný a plynný chlor. Základní dávka činila 1 mg chloru na litr vody, ale u vod s nízkou oxidovatelností se doporučovala dávka jen 0,2 – 0,5 mg/l, ovšem s minimální dobou kontaktu 2 hodiny [8]. Nižší dávky byly preferovány z hlediska chuťového a potřebná doba kontaktu se možná částečně řešila rozložením doby zdržení mezi úpravnu a síť, protože o nutnosti udržovat zbytkový obsah chloru ve vodovodní síti se tehdy ještě nehovořilo.

K téměř plošné dezinfekci (chlorování) pitné vody se u nás postupně přistoupilo až od 50. let, a to ze tří důvodů: začal se prudce zvyšovat podíl zdrojů povrchové vody a zároveň se zhoršovala jejich kvalita, množily se odborné poznatky o mikrobiologii vody, ale především byly zavedeny první závazné mikrobiologické požadavky na jakost pitné vody. Prvním závazným předpisem, který u nás definoval hygienické požadavky na jakost pitné vody, byla ČSN 56 7900 Pitná voda schválená v roce 1958 s platností od 1.7.1959. Ta požadovala pro zbytkový chlor obsah maximálně 0,2 mg Cl/litr u spotřebitele. Další vývoj je uveden v tabulce 1 na následující straně. Žádný z těchto předpisů chlorování přímo nenařizoval, i když některé formulace k výkladu povinného chlorování dost vybízely. Současná podoba legislativy je však již jasná: je plně na výrobcu vody, jaké nástroje a technologie zvolí k zajištění požadované mikrobiologické nezávadnosti vody; preventivní přítomnost chloru či jiného oxidantu v distribuované vodě se nevyžaduje.

Směrnice Rady č. 98/83/ES o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu, ze které v současnosti legislativa pitné vody v zemích EU vychází, žádný požadavek na obsah chloru neobsahuje (ani nejvyšší, ani nejnižší hodnotu) a jednotlivé země řeší tuto otázku individuálně. Před vstupem směrnice v platnost jen tři státy (Portugalsko, Španělsko a Velká Británie) z tehdejších 15 členských zemí EU vyžadovaly udržování zbytkového chloru či jiného oxidantu ve vodovodní síti [9]. A podobná je i situace dnes – legislativa většiny evropských zemí přítomnost zbytkového chloru nevyžaduje a nechává toto rozhodnutí na výrobcu.

ODVRÁCENÁ TVÁŘ CHEMICKÉ DEZINFEKCE PITNÉ VODY

Jako u řady jiných chemických inovací, také u chlorování vody se časem ukázalo, že není úplně neškodné. Že může nepříjemně ovlivnit pach či chuť vody, to se vědělo již od počátku jeho používání, avšak horší bylo, když v roce 1974 holandští a američtí vědci objevili, že chlor v pitné vodě nezabíjí jen bakterie, ale také reaguje s přítomnými přírodními organickými látkami (NOM) za vzniku tzv. vedlejších produktů dezinfekce [10, 11], široké skupiny látek, z nichž ještě neumíme všechny identifikovat, ale o mnohých víme, že mají různé toxické nebo karcinogenní vlastnosti a že i směs jako celek vykazuje např. genotoxické účinky ve standardizovaném Amesově testu. Od 80. let zařazují první země trihalogenmethany, popř. další zástupce této směsi mezi povinně sledované ukazatele se stanoveným limitem. A WHO začíná ve vztahu k chloru a jeho vedlejším produktům hovořit o potřebě vyvažování rizik (mikrobiologických x chemických).

Tabulka 1. Vývoj požadavků na obsah chloru v pitné vodě v ČR

Předpis	Platnost	Požadavek na obsah chloru
ČSN 56 7900 Pitná voda	1959-1964	Zbytkový chlor maximálně 0,2 mg Cl/litr u spotřebitele
ČSN 83 0611 Pitná voda	1964-1974	Zbytkový chlor Cl ₂ maximálně 0,2 mg/l u spotřebitele
ČSN 83 0611 Pitná voda	1975-1990	Aktivní chlor: u vod zabezpečovaných u spotřebitele nejméně 0,05 mg/l, nejvýše 0,3 mg/l Cl ₂
ČSN 75 7111 Pitná voda	1991-2000	Chlor aktivní. Mezná hodnota: nad 0,05 mg Cl ₂ /l. Doporučená hodnota 0,05 až 0,3 mg Cl ₂ /l. Poznámka: Chlor aktivní (u chlorovaných vod). U vod zabezpečovaných chlorem u spotřebitele vždy pozitivní nález: doporučuje se nejméně 0,05 mg/l, nejvýše 0,3 mg/l (kromě stavů zvýšeného epidemiologického ohrožení spotřebitelů, kdy orgán hygienické služby nařizuje dočasně zvýšení dávky desinfekčního prostředku).
Vyhláška MZ č. 376/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly	2001-2004	Chlor volný: mezná hodnota 0,3 mg/l. Poznámka: Obsah volného chloru... se stanovuje jen v případě desinfekce pitné vody prostředky obsahujícími chlor... Mezná hodnota volného chloru je vztažena k obsahu volného chloru po úpravě. Minimální hodnota volného chloru v distribuční síti je 0,05 mg/l.
Vyhláška MZ č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody	2004 – dosud	Chlor volný: mezní hodnota 0,3 mg/l. Poznámka: Obsah volného chloru... se stanovuje pouze v případě použití chloru nebo prostředků obsahujících chlor... V případě využití vázaného aktivního chloru (např. ve formě chloraminů) pro dezinfekci, platí pro celkový aktivní chlor mezní hodnota 0,4 mg/l.

Přibližně ve stejné době dochází ke zjištění, že úprava vody chlorem a jinými oxidanty mění strukturu NOM za vzniku látek o nižší molekulové hmotnosti. Nově vzniklé produkty jsou pak pro mikroorganismy lépe využitelným zdrojem energie (potravy), čímž roste potenciál, že se ve vodě budou množit bakterie. Ukazatele jako asimilovatelný či biodegradabilní organický uhlík (AOC/BDOC) se staly indikátory pro sekundární růst bakterií v síti, resp. pro tzv. biologickou stabilitu vody [12, 13]. Nové zásadní poznatky přinesl tehdy také výzkum chování patogenů a indikátorových organismů v chlorované vodě, podněcený vznikem epidemií z vodovodů, které při běžném mikrobiologickém rozboru nevykazovaly žádné závady [14]. To vše vedlo k uvědomování si složitosti a vzájemné propojenosti mnoha procesů, které chlorování zahrnuje.

KOMPLEXNÍ PROBLEMATIKA CHLORU VE VODĚ

Přidání chloru či jiného oxidantu do vody startuje řadu chemických i biologických reakcí. Jejich principy a trendy (většinou snad) známe, ale jejich vzájemná provázanost a působení (ve směru inhibičním i podporujícím), spolu s řadou dalších ovlivňujících faktorů (obsah NOM a jiných látek, druh a dávka oxidantu a doba jeho kontaktu

s vodou, místo dávkování oxidantu, teplota a pH vody, stav a délka vodovodní sítě, způsob provozování sítě např. četnost a účinnost odkalování atd.) představuje složitý reakční systém, jehož přesné výstupy lze bez laboratorního ověření jen těžko předpovídat. Zčásti se jedná o reakce, kvůli kterým oxidant používáme a které můžeme označit za žádoucí či výhodné, zčásti pak o reakce nežádoucí a pro výslednou kvalitu vody nevýhodné. Blíže jsou rozvedeny v dalších příspěvcích (viz výhody a nevýhody zbytkového chloru z hlediska mikrobiologického a chemického) a proto zde jen stručně shrnutí. Přidání chloru (či podobného oxidantu) do vody způsobuje:

- a) oxidaci (destrukci, změnu formy) nežádoucích látek – reakce žádoucí, pokud nejde o oxidaci zbytkového rozpuštěného železa a manganu až v síti,
- b) vznik toxických vedlejších produktů oxidace (dezinfekce) – reakce nežádoucí,
- c) pachové a chuťové problémy vody (vliv samotného oxidantu nebo vzniklých sloučenin) – reakce nežádoucí,
- d) přeměnu vysokomolekulárních NOM látek na jednodušší s nižší molekulovou hmotností, které jsou využitelné bakteriemi jako zdroj potravy a energie → snižování biologické stability vody → podpora sekundárního pomnožování bakterií v distribuční síti – reakce nežádoucí,
- e) inaktivaci (usmrcení) patogenních mikroorganismů – reakce žádoucí,
- f) inhibici sekundárního pomnožování bakterií v distribuční síti – reakce žádoucí,
- g) inaktivaci jen indikátorových, ale ne patogenních mikroorganismů, což poskytuje falešně negativní obraz o nezávadnosti vody – reakce nežádoucí.

Zda a nakolik se tyto reakce v daném systému skutečně projeví, záleží – vedle řady výše zmíněných faktorů – především na dávce oxidantu v daném místě systému.

HLEDÁNÍ VHODNÉHO ŘEŠENÍ

Aby se výrobci pitné vody vyrovnali s novými hygienickými požadavky na obsah vedlejších produktů dezinfekce, pokračujícími stížnostmi spotřebitelů ohledně organoleptických závad vody, celkovým tlakem veřejnosti a (někteří) i s vlastním svědomím¹, museli začít hledat alternativy, jak situaci řešit. Jaká řešení se nabízela či nabízejí?

Alternativa jiné dezinfekce – místo chloru lze použít např. UV záření nebo jiné oxidanty (chloramin, oxid chloričitý, ozon nebo peroxid vodíku), které obvykle vedou ke vzniku menšího množství vedlejších produktů a to buď absolutně nebo aspoň těch, pro který byl stanoven limit.

Alternativa stejné dezinfekce s dokonalejší předúpravou vody – účinnější koagulací lze odstranit více prekursů vedlejších produktů dezinfekce nebo účinnější filtrací – která odstraní většinu mikroorganismů, lze snížit dávku dezinfekčního přípravku. Rozlišení, zda je potřeba jen primární dezinfekce (inaktivace patogenů přítomných v surové vodě) nebo i sekundární dezinfekce (udržování rezidua chloru v síti) – pokud se zjistí, že stačí primární dezinfekce, je po její aplikaci reziduum chloru ještě na úpravně před vstupem vody do sítě odstraněno. Dále lze pomocí různých technických opatření vedoucích např. ke kratšímu zdržení vody v síti ovlivnit i další faktory kvantitativně přispívající ke vzniku nežádoucích produktů.

A konečně poznání, že ani udržování zbytkové koncentrace volného chloru v distribuční síti na úrovni desetin mg/l nestačí k zabránění epidemie, pokud do takové vody vnikne znečištěná podzemní či povrchová voda [15], stejně jako nemusí (bez dalších opatření) zaručit, že nedojde k sekundárnímu růstu bakterií v síti, vedlo od 80.let v řadě

¹ Že by dodávali vodu, jejíž kvalita sice vyhovuje normativním požadavkům, ale je zpochybnitelná, např. díky pozitivním výsledkům mutagenity vody.

evropských zemí k alternativě žádné dezinfekce. Mnoho vodárenských společností v Nizozemí, Německu, Švýcarsku, Rakousku i jinde zjistilo, že za určitých podmínek, které bychom mohli označit jako multibariérový systém ochrany, lze vyrobit a distribuovat vysoce kvalitní pitnou vodu – po stránce mikrobiologické, chemické i organoleptické – i bez zachování rezidua dezinfekce v síti nebo bez použití chemické dezinfekce vůbec.

A distribuce vody bez chloru se netýkala a netýká pouze vodáren využívajících podzemní vodu, ale i povrchovou vodu, stejně jako se netýká pouze menších spotřebišť, ale i statisícových nebo milionových aglomerací jako je Amsterdam (nechloruje od roku 1983), Berlín, Mnichov, Kolín nad Rýnem, aglomerace Mannheim-Ludwigshafen, Curych, Vídeň, Lublaň a mnoho dalších. Průzkum provedený v roce 1991 v Německu mezi tisícem provozovatelů (s více než 3 tisíci úpravami) ukázal, že již tehdy distribuovala vodu bez chloru či jiného zbytkového dezinfekčního prostředku více než polovina z nich [16]. A neměli bychom opomenout, že první takové případy už evidujeme i z České republiky, byť se dosud jedná o menší spotřebišť.

ZÁVĚR

Tvorba vedlejších produktů dezinfekce a stanovení hygienických limitů pro jejich vybrané zástupce; stížnosti spotřebitelů na pach či chuť vody; poznání, že dosavadní způsob hygienického zabezpečení vody, opírající se hlavně o chlorování, nemusí být v některých případech (např. kryprosporidia, giardie a některé viry) dostatečný k zajištění nezávadnosti vody... – to byly a jsou pro vodárenské společnosti v posledních 30 letech nové odborné, společenské i legislativní výzvy, které je donutily či nutí, aby přehodnotily svůj dosavadní způsob úpravy vody a péče o celý systém zásobování. Způsob, který byl (je) mnohde založen na zvyklosti, nikoliv na aktuálních odborných poznatcích.

Nový způsob, který mnoho výrobců vody přijalo a který byl pochopitelně různý (viz nastíněný výčet možných řešení výše) podle místní situace, vycházel z vyhodnocení existujících podmínek a možností dostupných jak technicky, tak i finančně, a znamenal vědomé rozhodnutí o komplexním řešení řady problémů.

V některých případech bylo použití chloru pro primární i sekundární dezinfekci zachováno jako jediné (momentálně dostupné) přijatelné řešení, jinde byla dezinfekce (chlorem, chlordioxidem, ozonem) omezena jen na primární a zařazeny další stupně úpravy odstraňující vedlejší produkty a složku AOC/BDOC, a opět jinde byla chemická dezinfekce zcela nahrazena dokonalejší separací/filtrací či UV zářením. Všechna řešení ale vycházela z již zmíněného multibariérového přístupu, což znamená vytvoření systému tolika opatření (bariér) v průběhu dopravy vody od zdroje ke spotřebiteli, kolik je jich v daném systému potřeba k pokrytí všech rizikových míst vstupu infekčních zárodků nebo chemické kontaminace do vody [17].

Za dvacet i více let provozu systémů zásobování vodou bez zbytkového obsahu chloru (či jiného dezinfekčního prostředku), které jsou založeny na principu multibariérového přístupu, v nich nebyla podle mých poznatků zaznamenána jediná epidemie, vzrostla spokojenost spotřebitelů i hygienických orgánů, protože obsah nežádoucích látek typu vedlejších produktů dezinfekce je minimální nebo pod mezí detekce a dodržování limitů mikrobiologických ukazatelů je stejné nebo i lepší v porovnání s předchozím obdobím, kdy byl chlor či jiný oxidant využíván. Vzrostla tím i spokojenost provozovatelů, kteří navíc přiznávají, že je změna přivedla k lepšímu porozumění provozovanému systému a k systematictější péči o něj.

Přesto tento stav neznamená, že by chlor byl zcela zapomenut a k nepotřebě. Většina těchto provozovatelů má k dispozici mobilní chlorovací zařízení pro případ, že je

potřeba někde vodu aktuálně dezinfikovat (různé havarijní stavy); je například běžnou praxí, že po opravě potrubí je příslušná větev vodovodu nechlorována. Jiní provozovatelé udržují pro případ potřeby funkční chlorátory na úpravně – např. v Berlíně jsou 1 x měsíčně chlorátory spouštěny a několik minut aplikována nepatrná dávka chloru, kterou spotřebitel nepozná, čímž se ověřuje, zda je zařízení v chodu a vždy připravené k užití.

Zkušenosti z mnoha provozů řady zemí ukazují, že distribuce vysoce jakostní pitné vody bez zbytkového chloru (či jiného dezinfekčního prostředku) je možná, jsou-li splněny určité základní podmínky. Definování těchto podmínek je věnován jiný příspěvek.

Příspěvek byl zpracován v rámci projektu „Identifikace, kvantifikace a řízení rizik veřejných systémů zásobování pitnou vodou (WaterRisk)“ (MŠMT ČR; id. kód 2B06039).

Literatura

1. IWA (International Water Association): Bonnská charta pro bezpečnou pitnou vodu. SOVAK, 2005, 14(7-8): 20 – 23.
2. Bencko V., Kožíšek F. 100. výročí pravidelné dezinfekce pitné vody a její další vývoj. Hygiena, 2009, 54(4): 130-135.
3. Baudiš L. Chlorování vody vršovického vodovodu. Zpráva pro Okresní správu politickou na Královských Vinohradech, 26.9.1925. Archiv PVK, fond Pražské vodárny, sign. H-1401.
4. Jásek J. Sto let vršovické vodárny. SOVAK, 2007, 16(10): 16-17.
5. Snížek E. Sterilisace vod pitných. Plyn a voda, 1925; 5: 2-7.
6. Věstník pro vodní hospodářství. 1924, 3, č. 4 (str. 63) a č. 11 (str. 176).
7. Statistika vodovodů Československé republiky dle stavu r. 1928. Plynárenské a vodárenské sdružení čs., Praha 1932.
8. Kabrhel G. Hygiena vody. Nákladem Mladé generace lékařů, Praha 1927.
9. Hydes O. European regulations on residual disinfection. J AWWA, 1999, 91(1): 70-74.
10. Bellar T.A., Lichtenberg J.J., Kroner R.C. The occurrence of organohalides in chlorinated drinking waters. J AWWA, 1974, 66: 703-707.
11. Rook J.J. Formation of haloforms during chlorination of natural waters. J Water Treatment Exam, 1974, 23: 234-243.
12. Van der Kooij D., Visser A., Hijnen W.A.M. Determining the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water. J AWWA, 1982, 74(10): 540-545.
13. Van der Kooij, D. Assimilable organic carbon as an indicator of bacterial regrowth. J AWWA, 1992, 84(2): 57-65.
14. Hunter P.R. Water-borne disease: epidemiology and ecology. Wiley, Chichester 1997.
15. Payment P. Poor efficacy of residual chlorine disinfectant in drinking water systems to inactivate waterborne pathogens in distribution systems. Can J Microbiol, 1999, 45: 709-715.
16. Haberer K. Der Einsatz von Desinfektionsmitteln und das Auftreten von Desinfektionsprodukten in deutschen Wasserwerken. gwf/WasserAbwasser, 1994, 135: 409-417.
17. Hrudey S.E., Hrudey E.J., Pollard S.J.T. Risk management for assuring safe drinking water. Environ Int, 2006, 32: 948-957.