

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



Hygienické zabezpečení pitné vody

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Petra Kubínová, Ph.D

Bakalant: Ivan Kašpárek

2011

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma, Hygienické zabezpečení pitné vody, vypracoval samostatně s použitím zdrojů uvedených v seznamu literatury a po odborných konzultacích s vedoucím práce.

V Praze dne

podpis autora práce

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě chci poděkovat Ing. Petře Kubínové Ph.D., za odborné vedení, poděkování patří technologu pitných vod I. SČV a.s. Praha, Ing. Petru Vaškovi za odborné rady, technickou pomoc a intenzivní spolupráci. Zároveň děkuji mé rodině, která mě během celého studia a při psaní této práce podporovala.

Hygienické zabezpečení pitné vody

Disinfection of drinking water

Abstrakt

Hygienické zabezpečení pitné vody je klíčovým procesem pro zajištění její vyhovující mikrobiologické či biologické kvality. V současné době je vyvinuto několik metod hygienického zabezpečení zahrnující jak fyzikální tak chemické postupy. V práci je uveden souhrnný stručný přehled existujících principů a metod hygienického zabezpečení včetně jejich historického vývoje. Blíže jsou pak přiblíženy způsoby desinfekce vody chlorací a UV zářením jakožto představitelé chemického a fyzikálního způsobu desinfekce, jež jsou v současné době široce používány. U těchto vybraných způsobů desinfekce jsou v práci diskutovány aspekty jejich použití, jako jsou bezpečnost, náročnost zařízení, provozní náklady apod. Zvláštní pozornost je věnována také vedlejším produktům desinfekce. Součástí práce je i uvedení praktických příkladů a zkušeností s aplikací těchto způsobů desinfekce na konkrétních úpravkách vod.

Klíčová slova

Úprava vody, hygienické zabezpečení, desinfekce, chlorace, UV záření

Abstrakt

Drinking water sanitation is the most important process for insurance its complying microbiological or biological quality. These days there are a few methods of disinfection available, including physical and chemical methods. In this text brief review of existing principles and methods and their history is shown. Disinfection by chlorine and UV radiation as wide used methods of disinfection are described in more details. Application aspects such as safety, devices, operating costs etc. are discussed. Special attention is given to disinfection by-products too. Practice examples and experience with application of these disinfection methods on real water treatment plants are mentioned.

Keywords

Water treatment plan, water treatment, disinfection, sanitation, chloration, UV radiation

Obsah:

1. Úvod.....	10
1.1 Námět	10
1.2 Cíle práce.....	11
1.3 Metodický postup	11
2. Teoretická část	13
2.1 Legislativní požadavky na kvalitu pitné vody a na desinfekci vody.....	13
2.2 Desinfekce vody, principy a historie	15
2.3 Chemické způsoby desinfekce	17
2.3.1 Desinfekce plynným chlórem	18
2.3.2 Chloraminace vody	18
2.3.3 Oxid chloričitý	21
2.3.4 Organické chloraminy	23
2.3.5 Oligodynamické působení iontů	23
2.4 Fyzikální způsoby desinfekce.....	24
2.4.1 Tepelná úprava vody	24
2.4.2 Dezinfekce vody UV zářením	25
2.4.3 Ostatní metody	25
3. Chlorace vody a UV záření jako nejrozšířenější metody desinfekce	27
3.1 Desinfekce vody plynným chlorem.....	27
3.1.1 Princip a oblast působení	27
3.1.2 Metody a zařízení	30
3.1.3 Aspekty použití	32
3.1.4 Vedlejší produkty chlorace	33
3.2 Dezinfekce vody UV zářením	37
3.2.1 Princip a oblast působení	37
3.2.2 Metody a zařízení	37
3.2.3 Aspekty použití	40
3.2.4 Vedlejší produkty	41
4. Diskuse – praktické příklady použití různých druhů desinfekce	42
5. Závěr	46

6. Seznam literatury	48
Citovaná literatura.....	52
7. Seznam obrázků, tabulek	53

1. Úvod

1.1 Námět

Přístup ke kvalitní pitné vodě je jedním ze základních předpokladů lidského života. S neustálým rozvojem průmyslové výroby a technologií roste míra znečištění všech složek životního prostředí včetně vodních zdrojů. Výroba pitné vody se stává stále větším celosvětovým problémem.

S neustále se horšící kvalitou vodních zdrojů vzrůstají požadavky a nároky na její úpravu. Úprava vody musí odpovídat jakosti odebírané surové vody a dosáhnout požadované kvality vyráběné pitné vody s ohledem na co nejpříznivější výrobní náklady.

Požadavky na jakost pitné vody jsou stanoveny v příslušných právních předpisech. Vedle požadavků na chemické složení pitné vody jsou zde stanoveny požadavky na mikrobiologickou nezávadnost pitné vody. Málokterý z vodních zdrojů dnes vykazuje trvale vyhovující mikrobiologickou kvalitu. Stav vodovodních systémů zcela nevyklučují druhotné mikrobiologické znečištění vyráběné pitné vody. V naprosté většině případů se proto při výrobě pitné vody nelze obejít bez hygienického zabezpečení či desinfekce vody jako jednoho z kroků její úpravy.

Hygienické zabezpečení je zpravidla posledním krokem při úpravě pitné vody. Provádí se na úpravnách vod a v distribuční síti vodovodů. Cílem hygienického zabezpečení je splnění biologických a mikrobiologických požadavků na kvalitu pitné vody, tak aby pitná voda a její výstupní parametry byly v souladu s platnými právními předpisy. Z nejčastěji používaných metod jsou metody chemické, jež jsou založeny na oxidačním působení desinfekčního činidla na bakterie, popřípadě na viry. Jedna z nejčastěji používaných je chlorace

pitné vody. S narůstajícím rozvojem technologií a poznatků se však stále více uplatňují i metody fyzikální, zejména využití ÚV záření.

1.2 Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je vytvoření literární rešerše, přehled principů desinfekce vody, možných a dostupných metod a pro vybrané metody desinfekce (použití plynného chlóru, ÚV záření) diskutovat aspekty jejich používání, tvorbu vedlejších produktů. Práce si klade za cíl porovnat výhody a nevýhody vybraných typů hygienického zabezpečení pitné vody a dokladovat je informacemi o konkrétních provozních aplikacích na vybraných úpravných vod.

1.3 Metodický postup

Při řešení této práce bylo zapotřebí shromáždit odborné rešeršní podklady a firemní rešeršní podklady, nastudování způsobu úprav vod (hygienického zabezpečení) a jejich posouzení. V této práci je popsán způsob použití chlorace jako nejčastěji používané chemické úpravy vody a použití UV záření, které je zástupcem metod fyzikálních při úpravě pitné vody.

Při zpracování tohoto tématu bylo nutností se nejprve seznámit s provozem na konkrétní úpravně vody (dále jen ÚV). S postupem čištění a samotného hygienického zabezpečení proběhlo na ÚV Kozičín, které je pod odborným dozorem 1.SčV Praha technologem pitných vod Ing. Vaškem. Zde proběhlo seznámení s celým postupem čištění pitné vody a hygienickým zabezpečením na ÚV. Seznámení s jednotlivými technologiemi vneslo základ k samotnému tématu této práce i z praktického hlediska. Praktické seznámení bylo velmi důležitým vodítkem v řešení tohoto tématu. Dále bylo zapotřebí se seznámit s odbornou literaturou, s časopisy pro odbornou veřejnost, s chemickými listy zveřejňované prostřednictvím internetu. Dále bylo

čerpáno ze sborníků konferencí, byly využity informace z odborných knih. Dalším nezbytným zdrojem je prostudování zákonů a prováděcích vyhlášek. Jsou zde stanoveny hodnoty různých limitních látek, které mohou být obsaženy v pitné vodě. V bakalářské práci je popsán postup a následné použití různých metod hygienického zabezpečení pitné vody. Jsou zde řešeny bezpečnostní a technické požadavky samotných budov ÚV při použití stanovených metod hygienického zabezpečení pitné vody.

2. Teoretická část

2.1 Legislativní požadavky na kvalitu pitné vody a na desinfekci vody.

Základním právním předpisem v oblasti kvality pitné vody je zákon č. 258/2000 Sb. (O ochraně veřejného zdraví v platném znění) a jeho prováděcí vyhláška ministerstva zdravotnictví (dále jen MZ) č. 252/2004 Sb. (hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody). Ta stanovuje konkrétní maximální přípustné hodnoty chemických i mikrobiologických ukazatelů kvality pitné vody.

Předepsané hodnoty vybraných chemických a mikrobiologických ukazatelů, jsou uvedeny tabulce č. 1 a č. 2.

Tabulka č. 1: chemické ukazatele

ukazatel	symbol	jednotka	limit	typ limitu
amonné ionty	NH_4^+	mg/l	0,5	MH
bromičnany	BrO_3^-	$\mu\text{g/l}$	10	NMH
dusičnany	NO_3^-	mg/l	50	NMH
dusitany	NO_2^-	mg/l	0,5	NMH
chlor volný		mg/l	0,3	MH
chloritany	ClO_2^-	$\mu\text{g/l}$	200	MH
trichlormethan (chloroform)		$\mu\text{g/l}$	30	MH

Tabulka č. 2: mikrobiologický ukazatel

ukazatel	jednotka	limit	typ limitu
Clostridium perfringens	100ml	0	MH
enterokoky	100ml	0	NMH
escherichia coli	100ml	0	NMH

Metody úpravy vody, používané přípravky, včetně metod a přípravků pro hygienické zabezpečení pitné vody, musí rovněž splňovat podmínky stanovené platnými legislativními předpisy.

V České republice jsou požadavky předepsány vyhl. MZ č. 409/2005 Sb. V ní jsou mimo jiné definovány požadavky na čistotu používaných přípravků a chemikálií i požadavky na jednotlivé technologické postupy úpravy vody včetně desinfekce pitné vody. Jsou zde konkrétní požadavky na čistotu a složení nejčastěji používaných desinfekčních prostředků jako jsou chlór, chlornan sodný a doprovodné látky používané pro chloraminaci vody (chlorid amonný, síran amonný apod.). Z metod desinfekce jsou stanoveny požadavky na použití ÚV záření – jmenovitě je předepsána minimální dávka ÚV záření ve výši 400 J/m².

Při desinfekci vody je samozřejmě možné využít jen takovou metodu, která minimálně nebo vůbec neovlivní další ukazatele kvality pitné vody stanovené vyhláškou MZ č. 252/2004 Sb., v platném znění. V souvislosti s chemickou desinfekcí pitné vody mohou být ovlivněny tzv. organoleptické vlastnosti vody. Organoleptické vlastnosti jsou ty, které jsou zjistitelné smysly člověka. Jsou to vlastnosti:

- Teplota
- Barva
- Zákal

- Průhlednost
- Pach
- Chuť

2.2 Desinfekce vody, principy a historie

Přírodní vody mohou obsahovat choroboplodné zárodky a jsou pak zdravotně závadné. Proto je při výrobě pitné vody, kdy je zdrojem přírodní voda, nebezpečné organismy (bakterie, viry, prvoky, aj.) ve vodě buď zcela usmrtit, nebo zabránit jejich dalšímu rozmnožování a tím omezit jejich infekčnost. Uvedený proces nazýváme desinfekcí vody. Desinfekce je založena na chemickém a fyzikálním rozrušování buněčných stěn a těl mikroorganismů nebo na chemickém a fyzikálním porušování genetického a enzymatického aparátu mikroorganismů do té míry, že organismus již není dále schopen se množit a vyvolávat infekci. Desinfekce vody prodělala dlouhý historický vývoj a to zpravidla v závislosti na nových vědeckých či zdravotnických poznatcích a zkušenostech. Jak uvádí MALÝ a MALÁ (1996) „nejstarším způsobem desinfekce pitné vody užívaným dosud při náhlých epidemiích nebo přírodních katastrofách, když počet bakteriálních zárodků v pitné vodě překročí povolené hodnoty dané právními předpisy, je několikaminutové převaření vody.“ (1)

Dezinfekce vody se začala důkladněji řešit v souvislosti s epidemií např. cholery a jiných onemocnění. Zde je možné zmínit jako zakladatele mikrobiologie Roberta Kocha a Luise Pasteura, kteří přispěli svým studiem a pozorováním k objevu mnohých protilátek nemocí jako bylo TBC, antrax a cholera. Luis Pasteur provedl další významné výzkumy v oblasti mléčného, octového a alkoholového kvašení. Prokázal, že kvašení je životní projev mikroorganismů a tyto mikroorganismy způsobují různé typy kvašení. Vypracoval metodu tepelné sterilizace. Robert Koch (profesor hygieny na universitě

v Berlíně) vyvinul obrovské množství postupů fixace, barvení a fotografování preparátů a nové způsoby pěstování čistých bakteriálních kultur, stanovil i různá epidemiologická opatření.

Ke konci 19. století vědci zjistili, že bakterie fekálního původu obsažené v pitné vodě jsou původci onemocnění a epidemií. V souvislosti s nemocí, epidemií a novými poznatky o mikroorganismech se vědci začali zabývat otázkou, jak vlastně přírodní vodu zabezpečit, aby byla zbavena různých bakterií a virů. K odpovědi na tuto otázku přispělo objevení chloru v roce 1774 C. W. Sheelem. Jak se později ukázalo, objevená látka vykazovala velice silné baktericidní účinky.

V Evropě převládal názor nutnosti ochrany zdrojů vody a upravovat vodu pomocí pískové filtrace. Ovšem vědci z Anglie a USA se domnívali, že je zapotřebí zabývat se přímo zabezpečením vody. Začali využívat tzv. sterilizace vody pomocí ozonu a hlavně chloru. První použití chlorace vody je datováno kolem roku 1904, kdy byla používána nárazově v případě epidemií. (KOŽÍŠEK 2008)

Od r. 1908 se přistoupilo v USA k trvalému chlorování za pomoci chlorového vápna. Jak zmiňuje SNÍŽEK (In KOŽÍŠEK 2008) „výsledky byly tak pozitivní, že již v r. 1912 chlorovalo v USA na 500 vodáren a po zavedení plynného chloru se v roce 1916 chlorovalo ve 2500 vodárnách, v roce 1918 již v 4000 úpravárnách vod.“ (2) V Evropě se začala chlorace používat až po ukončení první světové války. Také zde se objevila pozitivní reakce na výsledky, jelikož klesl výskyt chorob jako tyfus, cholera, úplavice. (KOŽÍŠEK 2008)

SNÍŽEK (In KOŽÍŠEK 2008) dále uvádí, že: „První chlorace byla v ČR zavedena zřejmě v r. 1924 ve vršovickém vodovodu v Praze, kdy na ÚV v Braníku byly nainstalovány dva chlorátory, jelikož za povodní byl zdroj vody z jímací studny bakteriologicky závadný.“ (3)

Ze zjištěných skutečností podle statistiky vodovodů (1932) se na počátku tento typ zabezpečení nevyužíval tak často. Jak uvádí

statistika vodovodů v ČR (1932) v roce 1928 chlorovalo vodu jen pět z 1680 vodovodů v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. Jedním z důvodů možná bylo, že Gustav Kabrhel (hlavní hygienik), zaujímal k dezinfekci vody opatrnější stanovisko a preferoval buď důkladnou ochranu zdroje, nebo úpravu pomocí pískové filtrace. KOŽÍŠEK (2008) uvedl, že: „Zdroje pitné vody byly využívány hlavně podzemní vody. Jednalo se až o 90% vody, proto nebylo nutné používat k zabezpečení vody chloraci. K plošné dezinfekci chlorováním pitné vody vyráběné z povrchových a podzemních zdrojů se přistoupilo až v 50. letech, především asi v souvislosti se zavedením závazných mikrobiologických požadavků na jakost vody.“ (3)



Obrázek 1: První zařízení na chlorování (KOŽÍŠEK 2008)

2.3 Chemické způsoby desinfekce

Chemické způsoby desinfekce jsou založeny na virocidním nebo baktericidním účinku různých chemických látek. Desinfekční účinky vykazuje celá řada chemických látek. Pro využití desinfekce pitné vody je nutné, aby používaná látka vykazovala toxické účinky jen pro bakterie a viry a pro lidské tělo byla neškodná. Zároveň se musí jednat o látku snadno dostupnou, použitelnou a ekonomicky

přijatelně nákladnou. Takových látek už tolik není a ve vodárenství jich našlo uplatnění jen několik. Jedná se o plynný chlór a jeho sloučeniny (chlornan sodný, chloraminy a oxid chloričitý), jiné látky se používají spíše omezeně (např. stříbrné soli).

Chemické metody prozatím při centrální úpravě pitné vody převládají. Ze všech chemických metod hygienického zabezpečení se využívají různé metody chlorace pitné vody. (STRNADOVÁ a JANDA 1995) Chlór a jeho sloučeniny jsou při desinfekci pitné vody používány v ČR i v ostatních zemích světa.

Charakteristické pro chemické způsoby desinfekce pitné vody je, že může proběhnout reakce u relativně bezpečných a dostupných přípravků s často nespecifickými látkami v pitné vodě a vytvářet další látky, které již mohou určité negativní vlastnosti pro lidské zdraví vykazovat. Těmto látkám se říká vedlejší produkty desinfekce a jejich výskytu se věnuje čím dál větší pozornost. Tvorba vedlejších produktů je v současné době jedním z nejdůležitějších faktorů, který použití jinak velice rozšířených chemických metod desinfekce omezuje.

2.3.1 Desinfekce plynným chlórem

Desinfekce plynným chlórem je v současné době nejrozšířenější metodou desinfekce pitné vody vůbec. Tato metoda má svá omezení a rizika, která se v poslední době stávají důvodem přehodnocování používání chemických metod obecně. Z těchto důvodů je desinfekce plynným chlórem jako nejvýznamnější zástupce chemických metod podrobněji popsána a diskutována v kapitole 3.

2.3.2 Chloraminace vody

Použití anorganických chloraminů pro účely hygienického zabezpečení pitné vody je výhodné hlavně u dlouhé doby zdržení pitné

vody mezi vodárnou a spotřebitelem. Během uvedené dlouhé doby by mohlo dojít k úplnému rozkladu chloru a voda by již nebyla zabezpečena dále proti rekontaminaci ve vodním potrubí.

Anorganické chloraminy jsou stáječší, proto pokles koncentrace aktivního chloru v pitné vodě je pomalejší. Anorganické chloraminy jsou slabším desinfekčním činidlem než samotný chlor, jejich použití je vázáno na bakteriologicky kvalitnější zdroje. Reakci amonných iontů s chlorem lze technologicky využít dvěma způsoby. Buď pro odstraňování amonných iontů z vody, kdy jsou vyšší dávkou chloru oxidovány a nadbytek chloru je pak z vody odstraněn filtrací přes granulované aktivní uhlí nebo pro tzv. chloraminaci vody. Anorganické chloraminy jsou desinfekčním činidlem slabším než chlor. Na druhou stranu, jejich rozklad ve vodě je pomalejší než u chloru.

Anorganické chloraminy se vyrábějí přímo v upravované vodě dávkováním chloru a amonných iontů. Amonné ionty se dávkují zpravidla ve formě roztoku síranu nebo chloridu amonného. Při použití chloraminace vody je možné v souladu s legislativou (vyhl. MZ č. 252/2004 Sb.) - dodávat pitnou vodu s koncentrací celkového aktivního chlóru až do hodnoty 0,3 mg/l je výhodné pro zabezpečení vody při delší době zdržení na dlouhých distribučních trasách. (KOLLEROVÁ a SMRČKOVÁ 2008)

Výhodou chloraminace je, že reakcí anorganických chloraminů s přirozenými organickými látkami ve vodě téměř nevznikají látky typu trihalogenmethanu (dále jen THM), jako při reakci s volným chlorem. Využití chloraminace pro desinfekci vody se však ukázalo někdy problematické. Souvisí to s tím, že poklesla spotřeba pitné vody v důsledku útlumu hospodářství a cenového narovnání. Doby zdržení pitné vody v sítích se prodloužily a v rozvodech probíhají různé procesy. Jedním z nich je i neúplná biologická nitrifikace amonných iontů na dusitany. (JANDA 2002)

Biologická nitrifikace může probíhat i za přítomnosti chloraminu, kdy existují zjištění, že nitrifikující mikroorganismy je dokáží využívat jako substrát. V budoucnu bude spíše nutné amonné ionty z vody při její úpravě odstraňovat, než je využívat pro chloraminaci. Nadějným způsobem odstraňování amonných iontů z pitné vody jsou právě biologické metody. (JANDA a RUDOVSKÝ 1994)

Jak uvádí DOLEJŠ (2006) při hygienickém zabezpečení chloraminací je při provozu zapotřebí sledovat, aby nedocházelo k nitrifikaci¹, kdy vznikají dusitany a dusičnany v distribučním systému. Je možné doporučit, aby při procesu chloraminace byl dávkován nejprve chlór a teprve po určité době amonná sůl. Využije se větší desinfekční účinnost při distribuci ve vodovodním systému.

V praxi byla tato metoda využívána na ÚV Štítary, kdy při probíhající rekonstrukci úpravny bylo využíváno oddělené dávkování síranu amonného do surové vody a následně bylo přidáno množství dávky plynného chloru. Tato metoda měla pozitivní ekonomický dopad. Byla snížena spotřeba plynného chloru (chlornan sodný). Při rekonstrukci došlo ke změně, kdy z provozních důvodů bylo použito dávkování v opačném pořadí. První byl dávkován chlór a po minimální době zdržení byl dávkován síran amonný. V tomto systému bylo prováděno hygienické zabezpečení do konečné fáze rekonstrukce. Bylo dosaženo pozitivních a nepřekračujících limitů na sledovaném parametru směsi THM. Po rekonstrukci byla tato metoda chloraminace doplněna ještě UV zářením a filtrací přes granulované aktivní uhlí. Po celou dobu provozu nepřesáhl limit chloroformu hodnotu 30 µg/l a nebyly zaznamenány doprovodné negativní efekty v podobě výskytu vyšší koncentrace dusitanů. Při výrazném zhoršení jakosti surové vody nebo při její vysoké teplotě je třeba velmi citlivě upravovat dávky chemikálií a sledovat chování procesu v distribuční síti. Za

¹ Nitrifikace je proces oxidace amoniaku (NH_3 , resp. NH_4^+) na dusičnany (NO_3^-), a to přes dusitany (NO_2^-)

standardních podmínek se chloraminace chová velmi stabilně. (HEDVÁBNÝ a ŠIGUT 2007)

Tento způsob vhodnosti použití chloraminace a UV záření zmiňuje i MALELEY a BALLESTER (2004). A dále uvádí, že účinnost UV záření a chloraminace je v praxi o jeden řád vyšší než matematický součet účinnosti UV záření a chloraminace. Tento zajímavý efekt je dále prověřován.

2.3.3 Oxid chloričitý

Dalším chemickým způsobem hygienického zabezpečení je použití oxidu chloričitého. Jedná se o další sloučeninu chloru používanou pro hygienické zabezpečení pitné vody. HOUŽVIČKA (2007) uvádí, že ClO_2 se v posledních několika letech stal ideálním produktem určeným k desinfekci vody. Oxid chloričitý (neboli chlordioxid) má silný desinfekční účinek a je nepřekonatelně silný oxidant (v oblasti ošetření vody). Jeho účinek je navíc i dlouhodobý. Dokáže likvidovat i mikroorganismy přítomné v biofilmu na stěnách potrubí, které jsou jinak velmi těžko odstranitelné.

Oxid chloričitý je považován za téměř ideální desinfekční činidlo, které poskytuje dobré výsledky a nevytváří THM - tj. ty škodlivé vedlejší produkty, které byly v minulosti prokázány a identifikovány při použití plynného chlóru. RICHARDSON (1998) dále uvedl, že oxidací přírodních organických látek oxidem chloričtým nedochází k tvorbě ostatních halogenových vedlejších produktů dezinfekce, tedy že oxid chloričitý na rozdíl od plynného chlóru nevykazuje chlorační účinky na látky obsažené v pitné vodě.

Stejně tak uvádí STRNADOVÁ a JANDA (1995), že: „Oxid chloričitý na rozdíl od ostatních sloučenin chloru nepůsobí prakticky vůbec chloračně. Jeho působení je pouze oxidační. Při působení na huminiové látky, haloformy nevznikají. Oxid chloričitý také nereaguje

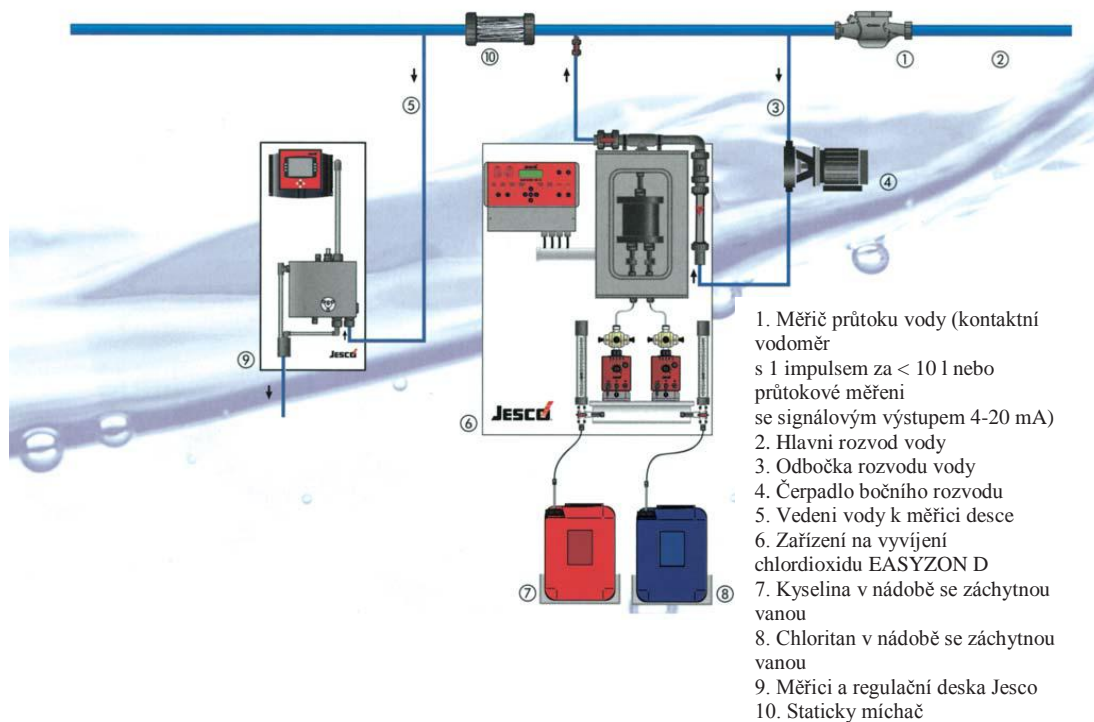
s fenoly nebo metabolickými produkty řas a bakterií za vzniku páchnoucích chlorderivátů (na rozdíl od chloru). Oxid chloričitý je navíc pravděpodobně silnějším baktericidním činidlem než chlor.“ (4)

Bohužel má tato látka oproti chloru dvě omezující nevýhody. Nelze ho stlačit a také skladovat. Musí se vyrábět přímo ve vodném roztoku. Druhá nevýhoda je, že se připravuje reakcí chloru s chloritanem, který se může opět na chloritan rozkládat. Tuto nevýhodnou vlastnost také zmiňuje GRUBERIC (2008), kdy při výrobě chlordioxidu na ÚV v Nýrsku je výroba prováděna z koncentrovaných chemikálií kyseliny chlorovodíkové (31%) a chloritanu sodného (24%).

Chloritany jsou ze zdravotního hlediska nebezpečné látky, a proto je jejich obsah v pitné vodě limitován.

Bylo prokázáno, že chloritany způsobují methemoglobinémii. Dále mají vliv na vývoj plodu a zdraví novorozence, kde dochází k poškození buňkových membrán červených krvinek a navíc může být ovlivněn nervový systém dětí. (DERCO a kol. 2006)

Při hygienickém zabezpečení vody je z technologického hlediska možné zabezpečit vodu oxidem chloričtým přípravou z chloritanu a chloru, kdy vzniká poměrně koncentrovaný roztok oxidu chloričitého, který se potom dávkuje v požadovaném množství přímo do upravované vody. Chlordioxid je vyráběn v generátoru obr. 2. Regulace dávkování je v těchto případech prováděna podle hodnoty průtoku vody do akumulární nádrže a řídicí systém automaticky upravuje výkon generátoru, aby byla dodržena nastavená dávka chlordioxidu na jednotku objemu vody. Tím se nevýhoda nemožnosti stlačování a skladování oxidu chloričitého eliminuje. (SEMERÁD 2007)



Obrázek 2: generátor na výrobu chlordioxidu (GHC 2011)

Pokud vodárenská společnost používá k hygienickému zabezpečení oxid chloričitý, musí se nějakým způsobem vyrovnat i s mezní hodnotou produktu po rozkladu oxidu chloričitého na chloritany (200 $\mu\text{g/l}$, uvedenou ve vyhlášce MZ č. 252/2004 Sb.). Chloritany se vyznačují pomalou desinfekcí a slabým baktericidním účinkem a jsou navíc zdraví škodlivé.

2.3.4 Organické chloraminy

Organické chloraminy patří mezi slabší desinfekční činidla. Používají se pouze ve výjimečných situacích (např. pro vojenské účely). V běžné praxi nemají širší použití. (STRNADOVÁ a JANDA 1995)

2.3.5 Oligodynamické působení iontů

Metoda je založena na toxickém působení iontů vybraných kovů (zejména stříbra) na bakterie. Metoda byla využívána například ve středověku, kdy do kašen lidé často házeli stříbrné mince a jiné předměty. V praxi se dnes používají pouze stříbrné ionty. Do studny nebo do vrtu se podle jejich objemu nadávkuje předepsané množství přípravku (komerční přípravky jsou směsi dusičnanu stříbrného a chloridu sodného) ve formě roztoku. Ve studni nebo vrtu je poté nutností směs homogenizovat. Při této proceduře dojde k vysrážení jemného koloidního chloridu stříbrného, který dále koaguluje do větších celků a následně se usazuje na stěnách a mechanismu čerpání studny. Již nízká koncentrace stříbrných iontů, která je ve vodě přítomna v důsledku součiny rozpustnosti chloridu stříbrného, postačuje k jejímu hygienickému zabezpečení. V důsledku vyšší toxicity stříbra není vhodné vodu s obsahem stříbra požívat trvale a tento způsob desinfekce se proto omezuje pouze na malé soukromé studny a vrty. (STRNADOVÁ a JANDA 1995)

2.4 Fyzikální způsoby desinfekce

Fyzikální způsoby desinfekce jsou založeny na virocidním a baktericidním působení na mikroorganismy. Při tomto působení dochází k porušení základních životních funkcí mikroorganismů. Fyzikální metody desinfekce zahrnují jednoduché i moderní metody. Moderní metody jsou založené na nových vědeckých poznatcích i objevech a nacházejí v současné době stále větší uplatnění. Fyzikální metody desinfekce v porovnání s chemickými neprodukuje žádné nežádoucí vedlejší produkty.

2.4.1 Tepelná úprava vody

Tepelná úprava vody je jedna z nejstarších metod hygienického zabezpečení pitné vody. Převařování vody pro potřeby jednotlivce je

známo již z historie. Při využití pro větší aglomerace je kvůli nevýhodám nepoužitelné. Největší nevýhodou jsou finanční náklady, jelikož je u metody vysoká spotřeba energie. STRNADOVÁ a JANDA (1995) uvedli, že: „Vodu je nutné ohřát na 80°C a teplotu udržovat po dobu nejméně 20 min. Při tepelném procesu dochází k narušení vápenatouhličitanové rovnováhy, což může vést k vyloučení sraženiny uhličitanu vápenatého a s potřebou jeho dalšího odfiltrování.“ (5) V současnosti je z výše uvedených důvodů použití tepelného hygienického zabezpečení vody omezeno pouze na vodu pro osobní a lokální použití. V hromadném zásobování pitnou vodou se nikde nevyužívá.

2.4.2 Dezinfekce vody UV zářením

Z fyzikálních metod je dezinfekce pitné vody UV zářením nejvíce rozšířená a používaná. V poslední době se jí věnuje stále větší pozornost. Z tohoto důvodu je tato metoda blíže popsána v samostatné kapitole 3.2 této práce.

2.4.3 Ostatní metody

Jedním z možných principů desinfekce vody je její filtrace. Ta je za určitých podmínek schopná některé mikroorganismy z vody odstranit. V historii byla filtrace vody jako jedna z metod jejího hygienického zabezpečení doporučována a to zejména v Evropě (KOŽÍŠEK 2008).

V průběhu času došlo vlivem vývoje nových filtračních materiálů k přechodu od hygienického zabezpečení filtrací vody přes vrstvu zrnitého materiálu k filtraci přes filtrační přepážku s definovanou velikostí pórů. Póry v těchto materiálech jsou menší než bakterie či viry a umožňují tyto organismy z pitné vody odfiltrovat.

Příkladem této metody je použití bakteriálních filtrů. Jedná se o filtry, které jsou schopny odstraňovat z vody nejjemnější bakterie. Jejich průměr póru nepřesahuje 0,4 mikrometru. Filtry musí být chráněny proti hrubším nečistotám, jinak by došlo k jejich rychlému ucpání. Uvedené filtry jsou většinou používány jen na domácí úpravu dodávané pitné vody.

Ve vodárenství se podobného principu využívá při takzvaných membránových separačních procesech (mikrofiltrace, nanofiltrace a ultrafiltrace). Jde o filtraci, kdy voda prostupuje přes membrány s malými filtračními otvory a bakterie s viry tedy nemohou proniknout. Přes otvory projdou pouze menší molekuly a rozpuštěné látky. Tím je voda zbavena všech bakterií a virů s poměrně velkou účinností. (PIVOKONSKÝ a kol. 2010)

Jedná se o velice perspektivní metody, které se s novými poznatky stávají čím dál více dostupné. Hlavními faktory, které brání jejich plošnému nasazení pro desinfekci pitné vody, jsou v současnosti zejména vyšší investiční náklady (ceny membrán, potřeby stavebních úprav stávajících úprav). Mají vyšší provozní náklady v porovnání s chemickými metodami. Jelikož jsou otvory v membránách velice malé, je třeba vyvinout pro filtraci vody dostatečně velký přetlak vody. To vede k potřebě vyšších provozních nákladů na spotřebu energie pro čerpání vody. Výhodou membránových filtračních procesů je, že spojují filtraci pro úpravu chemických parametrů vody s hygienickým zabezpečením v jednom systému zařízení. To se využívá při návrhu nových úprav nebo rekonstrukcích starších úprav. Vývoj lepších materiálů vede k postupnému poklesu cen membrán a zvyšování jejich životnosti. Membránové procesy jsou proto velkou výzvou pro budoucnost. (DOLEJŠ a kol. 2002)

Další fyzikální metody např. radioaktivní záření nebo ultrazvuk, které mají dobrou účinnost se však zatím ve vodárenské praxi nevyužívají. Jsou spíše předmětem laboratorního výzkumu.

3. Chlorace vody a ÚV záření jako nejrozšířenější metody desinfekce

Jak již bylo v této práci zmíněno, přinášejí nové objevy a poznatky stále více argumentů pro přehodnocení používání fyzikálních a chemických metod desinfekce. V následující části této práce jsou proto blíže popsány desinfekce plynným chlórem a desinfekce vody ÚV zářením, jakožto nejrozšířenější zástupci obou druhů metod. Na nich jsou pak demonstrovány odlišnosti v principech působení, v používaných zařízeních i v účincích na ostatní parametry kvality pitné vody.

3.1 Desinfekce vody plynným chlórem

3.1.1 Princip a oblast působení

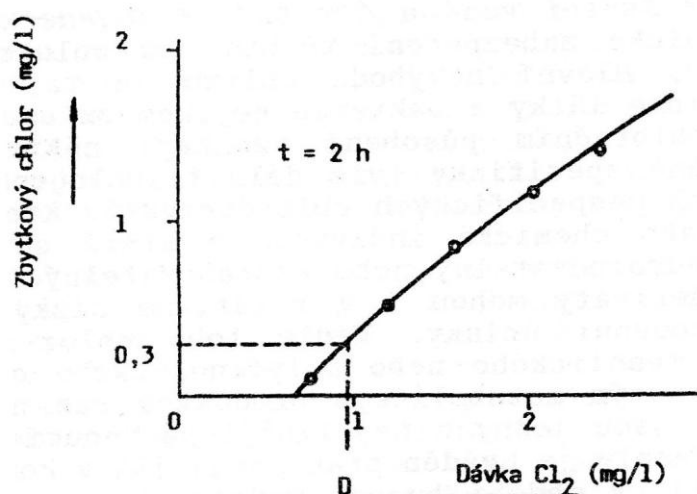
V České republice se používají pro chloraci pitné vody dvě rovnocenná činidla. Jak dále uvádí STRNADOVÁ a JANDA (1995) „pro menší zdroje je vhodný roztok technického chlornanu sodného. Tento produkt obsahuje 14% aktivního chloru, který lze přímo nebo po naředění dávkovat do upravené vody. Pro větší zdroje, kam by bylo neekonomické dovážet roztok chlornanu, který obsahuje vysoké množství vody, se jako zdroj chloru používá kapalný chlor. Z kapalného chloru se vyrábí na vodárně koncentrovanější chlorová voda, která se následně dávkuje v požadovaném množství do upravované vody. Druhý postup je náročnější s ohledem na pracovní prostředí.“ (6)

Chlor se ve vodě rozpouští na chlorovou vodu. PITTER (1999) dále uvedl, že: „Při 10°C se v destilované vodě rozpustí asi 10 g chloru v 1 litru destilované vody. Rozpustnost závisí na pH vody.“ (7)

Chlor se po nadávkování do vody spotřebovává kromě desinfekce i na další reakce především na oxidaci organických a

anorganických látek. Některé z těchto reakcí mají velmi pomalý průběh a dostávají se do ustáleného stavu až po několika dnech. Tomu odpovídá i rychlost poklesu koncentrace chloru ve vodě, jak je patrné z obrázku 3 závislost dávkování chloru na koncentraci zbytkového chloru ve vodě. Chlor nemá na člověka významný toxikologický vliv ani v koncentracích několika mg/l. (JANDA 2000)

STRNADOVÁ a JANDA (1995) uvedli, že dávka chloru musí být tak velká, aby u spotřebitele byla koncentrace chloru v pitné vodě do stanovené limitní koncentrace (0,3 mg/l). V závislosti na kvalitě upravené vody chlorací je potřeba zvolit dávku v rozmezí desetin mg/l pro úpravu podzemní vody až po jednotky mg/l pro úpravu povrchové vody na pitnou.



Obrázek 3: chlorační křivka (STRNADOVÁ a JANDA 1995)

Jak uvádí MALÝ a MALÁ (1996) při oxidaci chloru s anorganickými látkami je zpravidla reakce rychlá. Při oxidaci chloru s organickými látkami probíhá pomaleji, někdy trvá i hodiny. V organických sloučeninách se chlor váže v molekule, aniž ji rozloží. Při chlorování fenolů vzniká toxický a silně zapáchající chlorfenol. Při oxidačně chloračním účinku při reakci např. s amoniakem nebo štěpením huminových látek vznikají různé trihalogenmethany. Jeho

prioritou je ovšem použití jako dezinfekčního činidla, kdy dochází k usmrcení bakterií a virů.

Při dezinfekci vody je důležitou hodnotou množství použitého chloru, aby smícháním vody a chloru vznikl přebytek aktivního chloru ve vodě. Účinnost dezinfekce závisí na koncentraci přidávaného chloru a době jeho působení. Důležité je pH, teplota a chemické složení vody. Se zvýšením teploty roste i účinnost chlorace, ale snižuje se stálost chloru ve vodě. Pro příklad jsou uvedeny hodnoty rozpustnosti v tabulce 3. Proto výsledný vliv teploty není jednoznačný. Požadovaná doba působení chloru se doporučuje 1-2 hodiny, tak aby voda byla pitná.

Tabulka 3: rozpustnost chloru ve vodě (při 0,101 MPa) (MALÝ a MALÁ 1996)

Teplota °C	10	20	30
Rozpustnost g/l	9,65	7,3	5,8

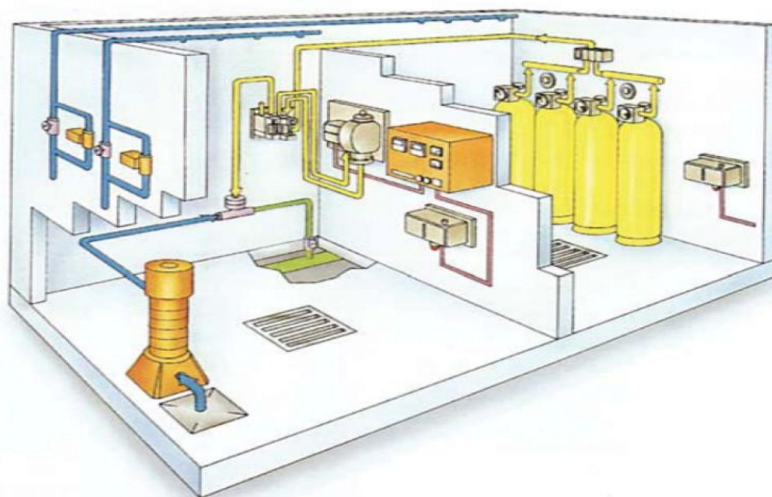
Jak uvádí PITTER (2009) pro hygienické zabezpečení pitné vody je důležitá zbytková koncentrace volného chloru ve vodě. Na proti tomu vyšší koncentrace ovlivňuje pach a chuť vody v závislosti na pH. Prahová koncentrace chuti a pachu se zmenšuje se snižující se hodnotou pH. Při chloraci organických látek vznikají obvykle toxičtější, biologicky stabilnější a organolepticky závadnější sloučeniny. Proto je zapotřebí udržovat hodnotu volného aktivního chloru po úpravě pitné vody chlorací do 0,3 mg/l.

3.1.2 Metody a zařízení

Plynný chlor, který je zapotřebí k hygienickému zabezpečení pitné vody se vyrábí elektrolýzou vodného roztoku chloridu sodného. Vyroběný plynný chlór je stlačen, zkapalněn a následně uskladněn v tlakových zásobnících. Z velkých zásobníků se dále plní do menších distribučních obalů (tlakové lahve nebo sudy). Ty jsou následně rozváženy na úpravny vody k vlastnímu dávkování. Lahve mají hmotnost 40-80 kg a barely (sudy) 500-600 kg. (MALÝ a MALÁ 1996)

Chlor je dávkován do vody chlorátory. Při tomto způsobu je dnes plynný chlor většinou dávkován podtlakovou metodou zobrazeno na obr. 4, která je bezpečnější.

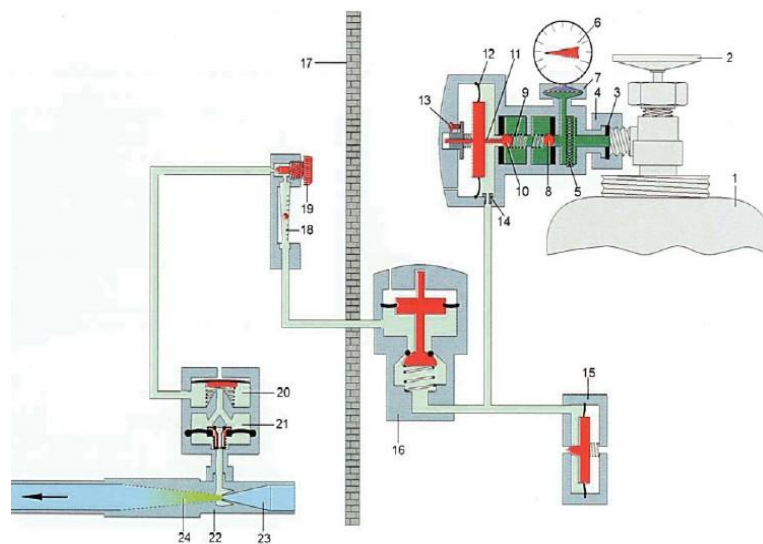
K rozvodům a dávkování plynného chloru z tlakových nádob musí být z důvodu bezpečnosti používány systémy, jejichž všechny komponenty vyhovují ČSN 755050, která se týká hospodářství pro dezinfekci vody ve vodohospodářských provozech.



Obrázek 4: podtlakový systém (GHC 2011)

Voda proudí přes injektor a vytváří podtlak v celém systému rozvodu. Při dosažení určité hodnoty podtlaku se následně otevře ventil a dochází k dávkování chloru do vody vyobrazeno na obr. 5.

Dávkování je umožněno pouze do tekoucí vody. Při přerušení toku vody dochází ke ztrátě podtlaku, automaticky se uzavře ventil a chlor se přestává dávkovat. Při samotném porušení stěny rozvodu (narušení trubičky nebo hadičky), dojde k vysátí chloru z potrubí. Do rozvodu se nasaje vzduch z okolí a uzavře se bezpečnostní ventil. Následně dochází k uzavření vstupního ventilu vakuového regulátoru chloru, který je připojen na chlorové nádobě.



Obrázek 5: dávkování plynného chloru (GHC 2011)

1-tlaková nádrž, 2-uzavírací ventil tl. nádoby, 3-těsnění, 4- převlečená matka, 5-filtr, 6-tlakoměr, 7-membrána, 8,10-pojistná kulička, 9-pružina, 11-táhlo, 12-membrána, 13-šroub pro nastavení spouštění chloru,14-omezovač průtoku,15-bezpečnostní upouštěcí ventil,16- bezpečnostní uzavírací ventil, 17-stěna chlorovny, 18-skleněná trubička rotametru, 19-rotametr, 20-kompenzátor tlaku, 21-zpětný ventilu injektoru, 22-injektor, 23-tryska, 24-nasávací tryska

Do podtlakového rozvodu chloru patří pracovní a bezpečnostní prvky systému. Mezi pracovní prvky patří vakuový chlorátor, chlorové potrubí, manometry, přepínač z prázdných chlorových nádob na plné, rotametr (měření a regulace množství dávkovaného chloru), zpětný ventil injektoru a vlastní injektor, kde dochází k dávkování chloru do upravované vody. Bezpečnostní komponenty zvyšují bezpečnost

systemu, snižují riziko úniku chloru a výrazně chrání obsluhu a okolí. (GHC 2011)

3.1.3 Aspekty použití

Výhodou chloru a jeho dalších sloučenin je především jeho poměrně nízká cena, dostupnost a jednoduchost dávkovacích zařízení. Další výhodou je relativní stálost ve vodných roztocích, zvláště pak za nepřístupu světla. (STRNADOVÁ a JANDA 1995)

Provozní výhodou je, že chlor lze vyrobit relativně čistý a koncentrovaný. Lze jej stlačit. Tím lze v tlakových lahvích dopravovat chlor na velké vzdálenosti s nízkými náklady.

Chlor je za normálních podmínek žlutozelený, dusivý plyn silně porušující sliznici dýchacích orgánů. Jeho hustota je 2,5 krát větší než hustota vzduchu.

Chlor a jeho sloučeniny mají řadu nevýhod. Hlavní nevýhoda chloru je, že působí na organické látky a bakterie oxidačně a chloračně. Při chloračním působení vznikají některé chlorované látky víceméně specificky (THM), ale i směs dalších nespecifických chlorderivátů. Tyto chlorderiváty mohou v relativně nízkých koncentracích vykazovat karcinogenní účinky.

Při hygienickém zabezpečení chlorem může vodu nepříjemně ovlivnit pach, hlavně při nedodržení limitního dávkování. Dále se může projevit pach chlorderivátů, vznikající z přítomných organických látek. Při chloraci vody obsahující fenoly, vzniká pach chlorfenolů. (PITTER 1999) Pachově závadné jsou především chlorfenoly a methoxyfenoly. Methoxyderiváty fenolů mohou vznikat až ve vodovodním potrubí biomethylací chlorfenolů. (NYSTRÖM a kol. 1992) U vody se může projevit nežádoucí chuť, kdy při vyšší koncentraci chloridů při kombinaci s obsahem sodíku je chuť slaná.

(PITTER 1999) Prahové koncentrace pachu a chuti jsou uvedeny v tabulce 4, kde je uvedena sloučenina chlorfenolu a dichlorfenolu.

Tabulka 4: prahové koncentrace některých fenolů (YOUNG a kol. 1996)

Sloučenina	Prahová koncentrace pachu μg/l	Prahová koncentrace chuti μg/l
2-chlorfenol	0,088	0,14
2,4- dichlorfenol	5,4	0,98

Další poměrně velkou nevýhodou je, že chlorace nepůsobí a není schopna usmrtit prvoky *cryptosporidium* a *guardia*, jejich klidová stádia tzv. oocysty. Klidová stádia se tak mohou dostat až do lidského těla, kde se aktivují a v infekčním stadiu způsobují velké střevní potíže. Tyto látky mohou u lidí s menšími obrannými schopnostmi vyvolat vážná onemocnění doprovázející i smrtí. (DOLEJŠ 2011)

3.1.4 Vedlejší produkty chlorace

S objevením nové chemické metody je spjata většinou hodně nových výhod jako např. u chlorování vody. Později se ovšem objevily vedlejší produkty, které nejsou příznivé pro lidstvo. Při počátcích užití metody bylo známo, že může nepříjemně ovlivnit pach a chuť vody. Jak uvedl ROOK (1974) chlor v pitné vodě nezabíjí jen bakterie, ale také reaguje s přítomnými přírodními organickými látkami za vzniku tzv. vedlejších produktů dezinfekce (VPD). Jedná se o látky, které se vyskytují ve stopovém množství. U některých lze jejich koncentraci měřit. Jedná se např. o trihalogenmethany (THM) nebo haloctové kyseliny. CLARK (In GRÜNWARD a kol. 2002) uvedl, že: „V současné době byla potvrzena přítomnost některých látek, které mají karcinogenní nebo mutagenní vlastnosti“ (8) a mohou tak zvyšovat riziko vzniku některých druhů nádorových onemocnění a nepříznivě ovlivňovat i některé reprodukční funkce. (KOŽÍŠEK 2008)

V tabulce 5. jsou uvedeny příklady hlavních známých skupin látek ze směsi VPD.

Tabulka 5: Hlavní známé skupiny VPD (MENAIA a LOPES 2005)

dezinfekční látka	organické halogenové VPD	anorganické VPD	organické nehalogenové VPD
chlor	trihalogenmethany, haloamidy, halogenoctové kyseliny, haloacetonitrily, haloketony, hydrochloridy, chlorpikrin, chlorfenoly, N-chloraminy, halofuranony, bromhydriny, MX a	chlorečnany (zvláště při aplikaci chlornanu)	karboxylové kyseliny (včetně aromatických), aldehydy, ketony, alkanové kyseliny, aromatické nitrily, jiné
oxid chloričitý	halogenové ketony, halogenové aromatické látky (dimethylbenzen)	chloritany, chlorečnany	karboxylové kyseliny, aldehydy, ketony, jiné aromatické sloučeniny (etylstyreny ad.)
chloraminy	haloacetonitrily, chlorkyan, organické chloraminy, chloraminokyseliny, trihalomethany, hydrochloridy, halogenketony	dusitany, dusičnany, chlorečnany, hydrazin	aldehydy, ketony, N-nitrosodimethylamin

V posledních 30 letech probíhá intenzivní výzkum chemismu VPD, podmínek vzniku VDP a jejich zdravotních účinků. Vybraní zástupci VPD jsou zařazeny mezi povinně sledované ukazatele jakosti pitné vody, v ČR se sleduje chloroform, THM (od r. 1991), bromičnany a chloritany (od r. 2001). (KOŽÍŠEK 2008)

Jak zmiňuje GUBERIC (2008) negativem při chloraci vody je reakce s organickými látkami za vzniku THM resp. chloroformu. Jedná se o těžké halogenové organické látky obecného vzorce CHX_3 , kde X je atom chloru nebo bromu. Reakční centrum v huminových látkách, které je zodpovědné při své chloraci za vzniku haloformů nebylo dosud spolehlivě zjištěno.

Skutečná koncentrace haloformů v pitné vodě je závislá na řadě faktorů. Mezi nejdůležitější patří koncentrační dávka chloru, pH vody, reakční doba (tedy doba zdržení vody mezi vodárnou a spotřebitelem) a teplota vody. Směrem k vyšším hodnotám uvedených veličin se zvyšuje výtěžek haloformové reakce. Haloformová reakce je velmi

pomalá, dostává se do rovnovážného stavu až po 48 a více hodinách. Proto je nutné sledovat kvalitu vody u spotřebitele a ne jen na odtoku z úpravny vody.

- Pro omezení tvorby haloformů při chloraci pitné vody je tedy zapotřebí dodržovat určitá pravidla:
- Chlorovat vodu musíme při dosažení minimální koncentrace organických látek, tedy na konci procesu úpravy vody
- Nepoužívat předchloraci surové vody.
- Nechlorovat vodu, jejíž hodnota pH má vysokou hodnotu (netýká se podzemních vod s nízkou koncentrací organických látek)

Při chloraci vody s nízkou koncentrací organických látek lze na konci úpravárenského procesu současně použít nízkou dávku chloru, což je opět jedna z hodnot ovlivňujících koncentraci haloformů v pitné vodě.

Haloformy lze z pitné vody odstraňovat i po jejich vzniku. Příkladem je proces odvětrání nebo sorpce na granulovaném aktivním uhlí. Tato cesta je ovšem nákladnější.

V pitné vodě se mohou vyskytnout další nebezpečné látky, které je v této souvislosti zapotřebí zmínit, jedná se o haloctové kyseliny.

Halogenoctové kyseliny (HAA) jsou skupinou organických látek odvozených od kyseliny octové. V pitných vodách vznikají jako vedlejší produkt desinfekce při užití chloru a dalšími silnými oxidačními činidly při reakci s organickými látkami přítomnými v surových vodách. Při použití chloru jako vedlejší produkty desinfekce s nejvyšší koncentrací vznikají obvykle THM, koncentrace vzniklých HAA mohou být často srovnatelné, v některých případech

může být poměr i opačný jak uvedli POMYKAČOVÁ a kol. (2008). V tomto případě by THM nemusely plnit svou indikátorovou funkci.

Z tohoto důvodu byl proveden monitoring výskytu halogenoctových kyselin v pitných vodách České republiky. Jako základ pro vyhodnocení zdravotního rizika. Zvýšená koncentrace HAA může mít negativní vliv na reprodukci, zvýšené riziko na výskyt rakoviny a vývojových vad. Jak zmiňuje POMYKAČOVÁ a kol. (2008) při odebrání vzorků z vodovodů v 1/3 nebyly zjištěny žádné HAA a v ostatních případech se tato hodnota pohybovala do 10 µg/l a u pěti vzorků 13 µg/l. Ve vztahu k limitu U. S. EPA (60 µg/l) nebo k předběžnému návrhu pro revizi evropské směrnice 98/83/ES (80 µg/l) jde o nálezy relativně příznivé.

Chlor působí chloračně na látky fenolického nebo polyfenolického charakteru. Tyto látky jsou častým metabolickým produktem řas nebo bakterií. Chlorfenoly jsou jedny z nejsilnějších páchnoucích látek. V období vodního květu ve vodárenských nádržích se zvyšuje nebezpečí, že po chloraci vody se zvýší zápach pitné vody. Další nevýhodou je, že prakticky téměř nepůsobí na viry. (STRNADOVÁ a JANDA 1995)

Mezi vedlejší produkty chlorace vody můžeme zařadit anorganické chloraminy. Tyto látky vznikají reakcí chloru s amonnými ionty přítomnými ve vodě. Amonné ionty jsou běžnou složkou vod. Při nízkých koncentracích není vliv amonných iontů na kvalitu desinfekce pitné vody chlorem nějak významný, zvláště při vyšší dávce chloru, než odpovídá stechiometrii reakce s amonnými ionty. Poměrně výrazně ovlivňuje průběh desinfekce vyšší koncentrace amonných iontů. Amonné ionty reagují s chlorem za vzniku mono a dichloraminu. Trichloramin může vznikat při poměrně vysokých dávkách chloru a vyšších hodnotách pH. PITTER (1999) dále uvedl, že chlor může oxidovat složitým a dosud ne zcela probádaným komplexem reakcí amonných iontů na elementární dusík, oxid dusný a dokonce až na dusičnany.

3.2 Dezinfekce vody UV zářením

3.2.1 Princip a oblast působení

Z fyzikálních metod dezinfekce pitné vody je nejdůležitější UV záření. Rozsah spektra elektromagnetického záření v ultrafialové oblasti je silně baktericidní. Účinek tohoto záření spočívá v působení na disperzní systém protoplazmy mikroorganismů. Vyvolává v něm změnu struktury a to vede k poškození enzymatického aparátu RNA. Uvedený způsob poškození mikroorganismů pak následně nedovolí rozmnožování a infekční působení. Inaktivované mikroorganismy pak pro člověka nepředstavují žádné nebezpečí infekce. (STRNADOVÁ a JANDA 1995)

Jak zmiňuje KOPECKÝ a JANEBA (2002a) princip dezinfekce chemickou změnou DNA při maximu záření 260-265nm vlnové délky, způsobuje inaktivaci reprodukce mikroorganismů nebo jeho usmrcení.

Rozsah vlnových délek od 240 do 280 nm vykazuje vysoký mikrobiocidní účinek. Na základě dlouholetých zkoušek byla pro dezinfekci pitné vody stanovena dávka (fluence) UV záření (vztaženo na vlnovou délku $\lambda=254\text{nm}$) minimálně 400 J/m². Tato dávka je předepsána ve vyhlášce MZ č. 409/2005 Sb. v § 14 odst. 3 písm. n). Při použití této dávky UV se podle nynějšího stavu znalostí dosáhne redukce mikroorganismů důležitých pro vodu a rovněž se zničí případné opravné systémy bakterií. (SOMMER a kol. 2001). Desinfekční dávka UV záření je různá pro různé druhy mikroorganismů.

3.2.2 Metody a zařízení

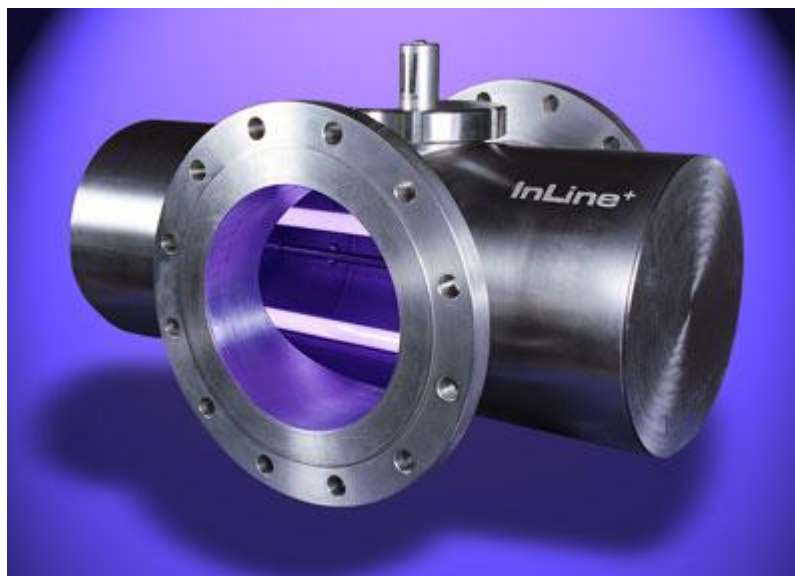
Dříve byly ultrafialové výbojky umístovány přímo do potrubí a ohybů. Voda proudila těsně okolo ultrafialové výbojky a prozáření vody se zajistilo v tenké vrstvě. Dnes se používá trubicová rtuťová výbojka umístěna v křemenné trubici, okolo které protéká v plášti

upravená voda. Voda musí být průzračná, protože zákal snižuje prostupnost světla a účinnost. Pro menší výkony je v plášti umístěna jedna trubice, pro větší výkony je výbojek více. Krátkovlnné záření o vlnové délce 260 nm a době ozařování řádově do několika minut se užívá pro malé zdroje. Výška vody v trubici musí být pouze jen několik mm (150), aby došlo k dostatečnému prozáření.

Jako vhodné zdroje UV záření se osvědčily nízkotlaké rtuťové výbojky, v jejichž emisním spektru je dominantní vlnová délka 254 nm. (SOMMER a kol. 2001)

Tyto lampy jsou ovšem závislé na teplotě dodávané vody. Pracovní oblast je 15-25 °C s průtokem do max. 5 l/s. Nízkotlaké lampy vyzařují UV energii v jedné hladině. (KOPECKÝ a JANEBA 2002b)

V případě velkých průtoků (>1000 m³/h) byly v posledních letech propagovány středotlaké rtuťové výbojky obr. 6, v jejichž emisním spektru se nacházejí vlnové délky 200 – 400 nm v přibližně rovnoměrném zastoupení. (SOMMER a kol. 2001)



Obrázek 6: středotlaká polychromatická lampa Berson Multiwawe, bersonInline

(www.cstechnology.com.au/upload/images/uv/bersonInLine1.jpg)

Středotlaké výbojky nejsou závislé na teplotě přiváděné vody, jak zmiňuje KOPECKÝ a JANEBA (2002b) a jsou doporučovány s průtokem od 3-10.000 l/s. Mohou vyzařovat UV energii ve třech různých hladinách, proto je možné reagovat na změnu průtoku a kvalitu vody a tím udržovat garantovanou dávku UV záření. Proto je možné nahradit 10-12 nízkotlakých lamp za jednu středotlakovou. S tím je spojeno i zmenšení rozměrů UV zařízení. Uvedenou technickou vlastnost moderních UV lamp disponuje typ MultiWave.

U středotlakých moderních UV lamp je další důležitou vlastností manuální nebo automatické stírací zařízení, které odstraňuje nánosy a usazeniny na křemenných trubicích chránících UV lampy a zajišťuje stálou intenzitu UV záření. (ŠAŠEK a kol. 2011)



Obrázek 7: středotlakové zařízení v provozu

<http://www.cstwastewater.com/upload/images/DSC01135.JPG>

Referenční intenzita ozáření (W/m^2) je intenzita ozáření (vlnová délka 253,7 nm), která se měří v ozařovací komoře

standardizovaným UV senzorem na standardizovaném měřícím okně. Tato veličina je ovlivňována výkonem a stářím zářiče, tvorbou usazenin na křemenné trubici zářiče a propustností ozařované vody. Pro měření musí být UV záření vybaveno překlenovacím modem, který umožňuje, aby senzor mohl na určitou definovanou dobu demontovat, aniž by bylo UV záření vypnuto poruchovým signálem. (KOPECKÝ 2003)

Dezinfekční výkon je určován dalším parametrem, který však představuje výrobní vlastnost UV záření a nedá se řídit. Jsou to hydraulické podmínky v ozařovací komoře. Ty ovlivňují dobu a intenzitu ozáření.

Vzhledem k hydraulickým podmínkám se dávka UV a tím i dezinfekční výkon nedá určit s dostatečnou spolehlivostí přímo z doby a intenzity ozáření. Jedinou možností stanovení dezinfekčního výkonu je biosimetrie, která se provádí během typové zkoušky. (SOMMER a kol 2001)

3.2.3 Aspekty použití

U dezinfekce UV zářením jak uvádí SOMMER a kol. (2001) je velmi krátká reakční doba (zlomky sekund), není zapotřebí žádná reakční nádoba. Při správném použití nedochází k žádným změnám ve složení vody a mikrobicidní účinek není na rozdíl od chemických dezinfekčních postupů závislý na hodnotě pH a teplotě. Na rozdíl od chemických metod dezinfekce, je dosahováno lepšího účinku proti rezistentním formám parazitů a do vody nejsou vnášeny cizorodé látky.

Ultrafialové záření se nedá předávkovat, jelikož se jedná o fyzikální metodu zabezpečení pitné vody. Do vody nedávkujeme chemikálii, která by mohla negativním způsobem ovlivnit jiné vlastnosti pitné vody. (PITTER 2009)

Jak uvádí KOPECKÝ a JANEBA (2002a) možnost reaktivace mikroorganismů byla jednou ze dvou hlavních námitek hygieniků proti náhradě chloru UV zářením. Jak dále zmiňuje použitím středotlaké UV lampy MultiWave (výrobce Berson) vyzařují polychromatické UV záření (200-400nm) o vysoké intenzitě, které poškozuje nejen DNA, ale také enzymy a buněčné membrány. Tímto vylučují možnost reaktivace mikroorganismů. Dále uvedl, že nemění organoleptické vlastnosti vody, nemá důsledky pro životní prostředí.

Nevýhodami dezinfekce vody pomocí UV je, že působí pouze v místě ozáření, není zajištěn trvalý účinek například ve vodovodním systému. Účinek dezinfekce není trvalý, v rozvodné síti může dojít k druhotné kontaminaci. Proto se kombinuje s chlorováním. Životnost ozařovacích lamp je poměrně krátká (asi 2 000 h). Nároky na energii jsou poměrně vysoké, aparát pro výkon 750 l/h má příkon 300W. (SOMMER a kol. 2001)

U středotlakých zářičů je životnost ozařovacích lamp asi 12.000 h, proto je nutné v nákladech počítat s jejich výměnou (MICHALOVÁ a BARTOŠ 2008)

UV záření se nedoporučuje používat, pokud je voda kalná nebo výrazně zabarvená, jelikož se tím snižuje účinnost. Na křemenných trubicích se tvoří usazeniny a je nutné tento povlak odstraňovat, přičemž v době odstraňování voda teče přes obtokové trubice a do vody se přidává dezinfekční chlor. (DETVAN a ONDERÍKOVÁ 2002)

3.2.4 Vedlejší produkty

Případný vznik vedlejších produktů je omezen na specifické případy a je ve většině případů zanedbatelný. Zajímavé zjištění je, že dusičnany jsou při dlouhodobějším působení UV záření redukovány na toxické dusitany. V praxi je však doba expozice kratší, než doba, při níž k tomuto jevu dochází. (MALÝ a MALÁ 1996)

4. Diskuse – praktické příklady použití různých druhů desinfekce

Z literárních zdrojů je zřejmé, že objev desinfekce pitné vody znamenal obrovský pokrok v omezení infekčních chorob a přispěl ke zlepšení zdraví a životních podmínek obyvatelstva. S postupem času lze pozorovat určitý přechod od desinfekce zaměřené čistě na razantní desinfekční účinek a dostupnost desinfektantu k pohledu na jiné aspekty desinfekce jako jsou provozní spolehlivost, ekologická zátěž a vznik vedlejších produktů desinfekce.

Uvedené aspekty zřejmě postupně vedou k širšímu uplatňování fyzikálních desinfekčních metod na úkor metod chemických. Z chemických metod se stále více uplatňují modifikace klasické chlorace, jako například chloraminace, případně se místo chlorace volí dávkování oxidu chlorigitého. Častým řešením je výhodné zkombinování fyzikálních a chemických metod desinfekce a zmírnění nevýhod samostatně použitých metod. Jak lze vyčíst z odborné literatury, uvedené řešení využívá širokého desinfekčního účinku UV záření a eliminuje nevýhody chemických desinfekčních prostředků nepůsobících na některé problematické organismy (např. oocysty rodu *Cryptosporidium*, nebo *Giardia*). U kombinací metod je využita výhoda chemického způsobu desinfekce spočívající v zajištění nezávadnosti pitné vody i během její distribuce. Díky tomu, že hlavní část okamžitého desinfekčního účinku je v této kombinaci zajištěna fyzikálním způsobem (nejčastěji UV zářením), lze dávky chemického desinfekčního prostředku výrazně snížit a tím výrazně omezit negativní dopad jeho používání (omezit tvorbu a vznik vedlejších produktů desinfekce, omezit dopad na organoleptické vlastnosti pitné vody apod.)

Použití výhradně fyzikálních metod k zabezpečení pitné vody je v České republice zatím ojedinělé, zatímco v zahraničí se lze s tímto způsobem desinfekce setkat podstatně častěji. Širšímu

rozšíření v ČR zatím zřejmě brání špatný stav vodovodní sítě a vodohospodářských objektů, ale možná i obava vodohospodářů od opuštění zaběhnutých a osvědčených chemických metod.

V dalším textu je uvedeno několik konkrétních praktických příkladů používání desinfekce a provádění změn v kontextu s výše zmíněnými skutečnostmi.

V obci Sušice byla koncem 30. let minulého století zabezpečena voda pouze mechanicky přes hrubý štěrk. Z důvodu velkého onemocnění břišním tyfem se v následujících letech přešlo na zabezpečení vody chlorací, která ovšem vykazovala po kvalitativní stránce neustálé problémy. Na jaře v důsledku tání sněhu a v letním období přívalové deště, způsobovali silné zakalení. Musela být poměrně vysoká vstupní dávka chloru 1,5-2 mg/l, což v inkriminovaném období znamenalo nebezpečí tvorby THM. Po následné rekonstrukci ÚV v r. 1999 se parametry zlepšily natolik, že již hygienici nemuseli v určitém období vodu prohlašovat za nepitnou. Bylo provedeno hlavně zlepšení funkce infiltračního území např. odbahnění původních usazovacích nádrží, vybudování nové paralelní infiltrační nádrže, posílení zářezů a sběrných studní. Byly vytvořeny technologické stupně: čerpání vody do technologické linky z akumulace surové vody, předalkalizace surové vody vápenným mlékem (pouze alternativní postup), dávkování základního koagulantu – síranu hlinitého, dvoustupňová tlaková filtrace s předřezaným agregačním reaktorem, dávkování pomocného flokulantu pro zlepšení separačních vlastností 2. stupně filtrace, dávkování oxidu uhličitého do potrubí přefiltrované vody ze stacionárního zásobníku kapalného CO₂, přeprava a dávkování vápenného mléka v reakční nádrži, akumulace upravené vody, hygienické zabezpečení vody chlorací a čerpání do vodojemu, čerpání odpadních vod z praní filtrů do veřejné kanalizace. Nadále voda zůstala zabezpečena chlorací. (STARA 2004)

Podobným způsobem je voda zabezpečena i na ÚV v městě Nová Ves v Ostravě. Po rekonstrukci úpravy byl systém zabezpečení

plynným chlorem doplněn technologií zabezpečení chlordioxidem. (VOŽECH 2002)

Pro skupinový vodovod Příbram je vyráběna pitná voda na ÚV Hatě, Hvězdička, Kozičín. Voda od doby výstavby úpraven vody byla zabezpečována pouze chlorací. Díky charakteru surové vody (vysoký obsah huminových látek) se v souvislosti s novelou legislativy vodohospodáři zabývali s vyšším obsahem tvorby chloroformu, který je vedlejším produktem desinfekce. Doplněním klasické chlorace vody o chloraminaci vody na ÚV se podařilo snížit koncentrace chloroformu pod předepsaný hygienický limit ve všech profilech vodovodní sítě. Nedošlo k negativnímu ovlivnění ostatních ukazatelů kvality pitné vody. Doplnění metody si vyžádalo velice nízké investiční náklady (cca 60 tis Kč/ úpravnu) a nízké provozní náklady – (0,01 Kč/m³). (VAŠEK 2009)

Další metodou, která nahradila zabezpečení vody plynným chlorem je použití oxidu chloričitého. Dezinfekčních účinků oxidu chloričitého se využívá na úpravně vody Hosov (EIGL 2006). Po rekonstrukci ÚV nahradila metodu desinfekce plynným chlorem. Metoda byla změněna v důsledku zvýšeného obsahu THM a tím související negativní ovlivnění organoleptických vlastností vody. Dalším důvodem bylo překročení nejvyšších mezních hodnot mikrobiologických a biologických ukazatelů v důsledku minimálního nebo žádného aktivního chloru na konci distribučního systému. Metoda byla zvolena v důsledku změny legislativy, která zpřísnila požadované hodnoty pitné vody.

Přibližně od roku 1950 se UV záření používá k dezinfekci pitné vody, zejména v Rakousku, Švýcarsku a Norsku. (SOMMER a kol. 2001) V Rakousku je už v provozu několik tisíc zařízení. Mnoho vodárenských společností v zahraničí používá metodu UV záření bez dalšího chemického zabezpečení např. v zemích Německo, Nizozemí. KOŽÍŠEK (2004) uvedl, že metoda se využívá ve velkých aglomeracích ve městech Berlín, Lublaň, Kolín nad Rýnem, Curych.

V České republice se rovněž do provozů úpraven vod zavádí metoda ÚV záření. Na úpravně vody Souš se přistoupilo k realizaci instalace UV záření, jelikož docházelo po chemickém zabezpečení chlorem k tomu, že z úpravny odcházeli do vodovodní sítě živé organismy obrněnky druh *Peridinium*. Po instalaci UV zářiče byly tyto organismy eliminovány. (RAINIŠ 2006) Dalším hlediskem pro zavedení ÚV záření byla potřeba se vyrovnat s přísnější hodnotou obsahu THM a chloroformu. Po zavedení metody UV záření došlo ke snížení dávkování a obsah volného chloru z 0,4 mg/l na 0,2 mg/l.

Je zajímavé dle výsledků a zkoumání na ÚV Mokošín, že po rekonstrukci a přechodu z technologie zabezpečení pitné vody metodou plynného chlóru na UV záření se kvalita vody zlepšila. U sledované hodnoty obsahu dusitanů, kdy při použití technologie chlorování byl výskyt koncentrace dusitanů až 0,5 mg/l, po zavedení UV záření klesla hodnota až k nulovým koncentracím. Na úpravně byly použity středotlaké polychromatické lampy Berson Multiwawe. Jelikož je skupinový vodovod v Přelouči poměrně nový a nevyskytují se zde poruchy, postačuje v této síti zabezpečení vody pouze UV zářením. Jedná se o jednu z mála lokalit v ČR, kde tato metoda UV záření nepotřebuje následnou chloraci. (HAMPL 2010)

Na ÚV Litvínov, Jirkov, III. Mlýn byly rovněž nainstalovány středotlaké lampy UV záření. Při používání středotlakých lamp se změnilo i hygienické zabezpečení z chlorace na chloraminaci a v důsledku zavedení UV záření byl snížen obsah volného chloru na výstupu z úpravny a byly zlepšeny organoleptické vlastnosti vody, zejména zápach. Dalším důvodem byli průniky bakterií *Clostridia perfringens*, kdy UV záření tento problém vyřešil jejich inaktivací. (MICHALOVÁ a BARTOŠ 2008)

5. Závěr

V uvedené práci byl vytvořen přehled neznámějších a používaných metod hygienického zabezpečení pitné vody v ČR. Hlavním cílem práce bylo popsání použití plynného chloru a metoda využití UV záření ve vodárenství a příklady praktického využití.

Z provedené literární rešerše je zřejmé, že i přes některé negativní důsledky používání chemických způsobu desinfekce se bez ní zatím neumíme zcela obejít, zejména při distribuci pitné vody dlouhými a poruchovými vodovodními systémy. Při hygienickém zabezpečení v ČR bude plynný chlór případně chlornan sodný zřejmě nadále používán jednak pro svoji výhodnou cenu a také z důvodu zastaralosti vodovodního potrubí a jeho častých poruch. Z praktických případů aplikace se ukazuje, že pro omezení tvorby vybraných vedlejších produktů a dalších negativních účinků plynného chlóru je a bude výhodné kombinovat dávkování chlóru s chloraminací vody.

UV záření se jeví jako velice perspektivní metoda do budoucnosti, zejména tam, kde chemická desinfekce naráží na nepříjemnou tvorbu vedlejších produktů nebo kde není dostatečně účinná. Při tomto zabezpečení se netvoří vedlejší škodlivé látky pro zdraví člověka a neovlivňuje organoleptické vlastnosti vody. Navíc postihuje i organismy, jež nejsou chemickými způsoby desinfekce postihovány, například parazitické prvoky rodu *Giardia* a *Cryptosporidium*.

Z praktických příkladů aplikace se jako velice vhodné jeví kombinovat UV záření s chemickým způsobem desinfekce například chloraminací. Výhoda této kombinace spočívá ve využití působení UV záření na široké spektrum organismů včetně těch odolných a také k zachování chemické desinfekce pro hygienické zabezpečení pitné vody pro dlouhé dopravní trasy. Další pozitivum je omezení používané dávky chemických prostředků a tvorby vedlejších produktů desinfekce.

Samotné použití ÚV záření bez chemické desinfekce bude v budoucnu stále více preferováno. Nezbytným předpokladem širšího uplatnění samotné UV desinfekce bude postupná obnova a zabezpečení starých a poruchových vodovodních potrubí.

6. Seznam literatury

1. DERCO J., KARACSONYOVA M., MUNKA K., GAJDOŠ L., 2006.: Application of the chlorine dioxide. In: Chemické listy, 2007, vol. 101, no. 6, pp.480-485
2. DETVAN M., ONDERÍKOVÁ V., 2002: Skúsenosti s prevádzkou UV-dezinfekcie počas úpravy vody v Málinci. In: AMBROŽOVÁ J. [eds]: Aktuální otázky vodárenské biologie 18. seminář, VŠCHT , fakulta technologie ochrany prostředí, Praha: 92-93
3. DOLEJŠ P., KALOUSKOVÁ N., NOGOVÁ Z., 2002: Využití membránových procesů při úpravě pitné vody. In: Voda Zlín 2002, Sborník příspěvků VI. mezinárodní konference, Zlín 2002 : 109-114
4. DOLEJŠ P., 2006: Koncepce snížení koncentrace THM kombinací desinfekce upravené vody UV zářením a chloraminací. In: KALOUSKOVÁ N., DOLEJŠ P. [eds]: Pitná voda 2006, W&ET team, České Budějovice: 73-76
5. EIGL K., 2006: Zdravotní zabezpečení pitné vody-chlor nebo oxid chloričitý. In: KALOUSKOVÁ N., DOLEJŠ P. [eds]: Pitná voda 2006, W&ET team, České Budějovice: 113-116
6. GHC, 2011: Dávkování a rozvody plynného chloru, online: <http://www.ghcinvest.cz/cz/uprava-procesni-a-pitne-vody/chlor/davkovani-a-rozvody-plynneho-chloru/c2753>, cit. 25.2.2011
7. GRUBERIC M., 2008: Desinfekce pitné vody chlordioxidem na úpravně vody v Nýrsku. In: KALOUSKOVÁ N., DOLEJŠ P.[eds]: Pitná voda 2008, W&ET team, České Budějovice: 165-170
8. GRÜNWARD A., JANDA V., FIŠAR P., BÍŽOVÁ J., ŠŤASTNÝ B., 2002: Hodnocení potenciálu tvorby trihalogenmethanů v huminových vodách. In: Voda Zlín 2002, Sborník příspěvků VI. mezinárodní konference, Zlín 2002: 67-71
9. HAMPL S., 2010: Desetiletá zkušenost s provozem vodovodu Přelouč zdravotně zabezpečeným UV zářením. In: HRUŠKA J.[ed]: Svak roč. 10/2010, Praha: 12-14

10. HEDVÁBNÝ J., ŠIGUT L. 2007: Zkušenosti z provozu chloraminace na ÚV Štítary. In: KALOUSKOVÁ N., DOLEJŠ P.[eds]: Pitná voda 2008, W&ET team, České Budějovice: 147-150
11. HOUŽVIČKA J., 2007: Desinfekce bazénové vody ano či ne. Online: <http://www.tzb-info.cz/3836-desinfekce-bazenove-vody-chlorem-ano-ci-ne>, cit. 7.2.20011
12. Chlor, Periodická tabulka prvků, online: <http://www.tabulka.cz/tabulka.asp>, cit. 8.2.2011
13. JANDA V., 2000: Vedlejší produkty desinfekce pitné vody. In: KALOUSKOVÁ N., DOLEJŠ P. [eds]: Pitná voda 2004. W&ET team, České Budějovice: 81-88
14. KOLLEROVÁ L., SMRČKOVÁ Š., 2008: Celkový aktivní chlor-význam a interpretace. In: KALOUSKOVÁ N., DOLEJŠ P.[eds]: Pitná voda 2008, W&ET team, České Budějovice: 171-176
15. KOPECKÝ J., 2003: Pokroky technologie úpravy pitných vod-ÚV dezinfekce. In: AMBROŽOVÁ J. [ed] : Aktuální otázky vodárenské biologie 2003. Callisto-96 a.s., Pardubice: 52-56
16. KOPECKÝ J., JANEBA Z., 2002a: Dezinfekce vody UV zářením. In: AMBROŽOVÁ J. [eds]: Aktuální otázky vodárenské biologie 18. seminář, VŠCHT , fakulta technologie ochrany prostředí, Praha: 86-91
17. KOPECKÝ J., JANEBA Z., 2002b: Pokroky technologie úpravy pitných vod. In: Voda Zlín 2002, Sborník příspěvků VI. mezinárodní konference, Zlín 2002 : 93-99
18. KOŽÍŠEK F., 2004: Nové trendy v hygieně vody. In: KALOUSKOVÁ N., DOLEJŠ P. [eds]: Pitná voda 2004. W&ET team, České Budějovice: 173-176
19. KOŽÍŠEK F., 2008: Proměna pojmu hygienického zabezpečení pitné vody během posledních 100 let, In: TUREČEK K. [ed]: Vodní hospodářství, r. 58, č.6/2008, Praha: 194-198
20. MALLEY J.P., BALLESTER N.A., 2004: Recent Advancements in UV Disinfection in Drinking Water. In: 2nd IWA Leading-Edge Conference on Water and Wastewater Treatment Technologies, IWA London: 39-40
21. MALÝ J., MALÁ J., 1996: Chemie a technologie vody. NOEL 2000 s.r.o., Brno, 200 s.

22. MENAIA J., LOPES A., 2005: Disinfection by-product formation: controlling parameters and minimization strategies. Přednáška na 3. workshopu WEKNOW Expert working group for chemical quality. Praha, 13.1.2005
23. MICHALOVÁ J., BARTOŠ L. 2008: Vyhodnocení zkušebního provozu desinfekce pitné vody UV-zářením. In: KALOUSKOVÁ N., DOLEJŠ P.[eds]: Pitná voda 2008, W&ET team, České Budějovice: 151-156
24. NYSTRÖM A., GRIMVALL A., KRANTZ-RÜLCKER C., SÄVENHED R., AKERSTRAND A.K., Water Science and Technology 25 , 241 (1992).
25. PITTER P., 2009: Hydro Chemie. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, 579 s.
26. PIVOKONSKÝ M., PIVOKONSKÁ L., BUBÁKOVÁ P., JANDA V., 2010: Úprava vody s obsahem huminových látek. In: Chemické listy 104/2010, Praha, 11/2010, s. 1015-1022, online: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2010_11_1015-1022.pdf
27. POMYKAČOVÁ I., SVOBODOVÁ V., RUNŠTUK J., ČADEK V., KOŽÍŠEK F., GARI W. D., 2008: Halogenoxalové kyseliny v pitné vodě v České republice. In: KALOUSKOVÁ N., DOLEJŠ P.[eds]: Pitná voda 2008, W&ET team, České Budějovice: 141-146
28. RAINIŠ L., 2006: Desinfekce pitné vody UV zářením provozní zkušenosti z úpravny vody Souš. In: KALOUSKOVÁ N., DOLEJŠ P. [eds]: Pitná voda 2006, W&ET team, České Budějovice: 91-94
29. RICHARDSON S. D.: Drinking water disinfection by-products. In: MEYERS R.A. [ed]: The Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation, John Wiley & Sons: New York, 1998, pp.1398-1421
30. ROOK J. J., 1974: Formation of haloforms during chlorination of natural waters. Water Treat. Exam. 23 s. 234-243.
31. SEMERÁD M., 2007: Modernizace a rekonstrukce technologie úpravny vody Milence. In: Voda Zlín 2007, Sborník příspěvků XI. mezinárodní konference, Zlín 2007: 133-138
32. SOMMER R., CABAJ A., HIRSCHMANN G., 2001: Dezinfekce pitné vody UV zářením. In: Voda Zlín 2001, Sborník příspěvků V. mezinárodní konference, Zlín 2001: 35-42

33. STARA J., 2004: Problematika kvality pitné vody v Sušici. In: KALOUSKOVÁ N., DOLEJŠ P. [eds]: Pitná voda 2004. W&ET team, České Budějovice: 111-116
34. Statistika vodovodů Československé republiky, 1928, Plynárenské a vodárenské sdružení čs., Praha, 1932
35. STRNADOVÁ N., JANDA V., 1995: Technologie vody I. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, 274 s.
36. ŠAŠEK J., KOPECKÝ J., KOŽÍŠEK F., Problematika desinfekce vody UV zářením, Státní zdravotní ústav, Praha. Online: <http://www.jako.cz/SZU-UV-Sasek-Kopecky-Kozisek-000418.pdf>, cit. 7.2.2011
37. VAŠEK P., 2009: Zkušenosti s chloraminací vody na ÚV Hatě, Hvězdička, Kozičín. Online: http://www.sovak.cz/sites/File/odborne_komise_zapisy/komise_UV_2009/Prezentace_CHLORAMINACE_SOVAK_2009.pdf, cit. 10.4.2011
38. VOŽECH A., 2002: Rekonstrukce úpravny Nová Ves v Ostravě. In: Voda Zlín 2002, sborník příspěvků VI. mezinárodní konference, Zlín 2002: 61-66
39. Vyhláška ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody
40. Vyhláška ministerstva zdravotnictví č. 409/2005 Sb. o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody
41. Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví v platném znění.

Citovaná literatura

1. MALÝ J., MALÁ J., 1996. *Chemie a technologie vody, Dezinfekce vody* s. 79.
2. KOŽÍŠEK F., 2008. Počátky dezinfekce vody, s. 194. *Vodní hospodářství*. 2008, 6.
3. —. Počátky dezinfekce vody v Čechách, s. 195. *Vodní hospodářství*. 2008, 6.
4. STRNADOVÁ N., JANDA V., 1995. *Technologie vody I, Oxid chloričitý*, s. 259. Praha : VŠCHT.
5. —. *Technologie vody I, Fyzikálně-chemické metody*, s.253. Praha : VŠCHT.
6. —. *Technologie vody I, Chlorace vody*, s.257. Praha : VŠCHT.
7. PITTER P., 2009. *Hydro chemie, Sloučeniny chloru*, s.169. Praha : VŠCHT.
8. *Hodnocení potenciálu tvorby THM v huminových vodách*, s. 67. GRÜNNWALD a kol., 2002. Zlín : Vodovody a kanalizace Zlín, a.s.

7. Seznam obrázků, tabulek

Obrázek:

1. První zařízení na chlorování
2. Generátor výroby chlordioxidu,
3. Chlorační křivka
4. Podtlakový systém
5. Dávkování plynného chloru
6. Berson Multiwawe, bersonInline
7. Středotlakové zařízení v provozu

Tabulka

1. Chemické ukazatele
2. Mikrobiologické ukazatele
3. Rozpustnost chloru ve vodě
4. Prahové koncentrace některých fenolů
5. Hlavní známé skupiny VPD