



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

**DEZINFEKCE PITNÉ VODY – ASPEKTY
NAVRHOVÁNÍ A PROVOZOVÁNÍ**

DESIGN AND OPERATION OF WATER DISINFECTIONS PLANTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Simona Krupicová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KUČERA, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

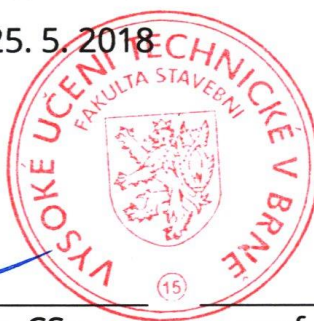
Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Simona Krupicová
Název	Dezinfekce pitné vody - aspekty navrhování a provozování
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] Water chlorination/chloramination practices and principles. 2nd ed. Denver, CO: American Water Works Association, c2006, 173 s. ISBN 15-832-1408-9.
- [2] AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c1990, 1194 s. ISBN 0-07-001540-6.
- [3] MINEAR, Roger A. Disinfection by-products in water treatment: the chemistry of their formation and control. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995, 502 s. ISBN 15-667-0136-8.
- [4] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. Vodárenství: Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia [online]. Brno: VUT v Brně, 2006 [cit. 2012-03-26].

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro hygienické zabezpečení pitné vody je používána řada metod a dezinfekčních činidel. Každá metoda však má svá specifika a je více či méně vhodná pro konkrétní lokalitu. Studentka v rámci práce provede jednak rešerši na dané téma a především posouzení vhodnosti použití dezinfekčních činidel na různých typech spotřebišť, např. v závislosti na množství dodávané vody, kvalitě vody surové a upravené vody atd.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

V první části bakalářské práce se zabývám jednotlivými dezinfekčními činidly používanými pro hygienické zabezpečení pitné vody a to na bázi chloru a bezchlorových. Následně zmiňuji provozování bez použití dezinfekčních činidel. Ve druhé části této práce popisuji jednotlivé provozy s použitím různých dezinfekčních metod a v závěru práce srovnávám tyto metody a uvádím využití v praxi.

Abstract

In the first part of my bachelor thesis I deal with individual disinfectants used for hygienic supply of drinking water based on chlorine and without chlorine. Then I mention the operation without chlorine disinfectants. In the second part of this thesis I describe individual plants using various disinfection methods and at the end of the thesis I compare these methods and use it in practice.

Klíčová slova

Bakterie, chlor, inaktivace, mikroorganismy, oxidace, ozon, patogeny, UV záření, vedlejší produkty dezinfekce, vodovodní síť.

Keywords

Bacteria, chlorine, inactivation, microorganisms, oxidation, ozone, pathogens, UV radiation, disinfection byproducts, water supply network.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Simona Krupicová *Dezinfekce pitné vody - aspekty navrhování a provozování*. Brno, 2018. 79 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2018

Simona Krupicová
autorka práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce panu doktoru Tomáši Kučerovi za vedení, poskytnutí potřebných informací a za pomoc při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům úpraven vod za informace z provozů, panu doktoru Svobodovi z Vodárenské akciové společnosti a paní inženýrce Žilkové z akciové společnosti Vodovody a kanalizace Břeclav za zprostředkování prohlídek úpraven vod a své rodině za podporu při studiu.

OBSAH

1	ÚVOD.....	4
2	DEZINFEKCE	6
2.1	Historie dezinfekce.....	6
2.2	Současnost.....	6
3	DEZINFEKČNÍ ČINIDLA NA BÁZI CHLORU	9
3.1	Plynný chlor.....	9
3.1.1	Historie plynného chloru	9
3.1.2	Vlastnosti chloru	9
3.1.3	Skladování a manipulace	10
3.1.4	Výroba chloru	10
3.1.5	Dávkování chloru do vody.....	11
3.1.6	Reakce chloru ve vodě	11
3.1.7	Inaktivace mikroorganismů	12
3.1.8	Celkový chlor.....	13
3.1.9	Účinky chloru	13
3.1.10	Chlorování vody, množství chloru.....	13
3.1.11	Účinnost dezinfekce vody chlorem.....	15
3.1.12	Legislativa.....	15
3.1.13	Vedlejší produkty dezinfekce chlorem	15
3.1.14	Opatření pro minimalizaci DBP.....	16
3.1.15	Výhody a nevýhody použití chloru	17
3.2	Oxid chloričitý	17
3.2.1	Historie oxidu chloričitého	17
3.2.2	Fyzikálně – chemické vlastnosti	17
3.2.3	Skladování a výroba.....	17
3.2.4	Chemie chlordioxidu ve vodě	18
3.2.5	Deaktivace mikroorganismů	19
3.2.6	Dávkování do vody.....	19
3.2.7	Vedlejší produkty dezinfekce	19
3.2.8	Výhody	19
3.2.9	Nevýhody.....	19
3.3	Chlornan sodný	20
3.3.1	Historie chlornanu sodného	20
3.3.2	Fyzikálně – chemické vlastnosti	20
3.3.3	Výroba a skladování	20
3.3.4	Reakce ve vodě	20
3.3.5	Použití chlornanu sodného	21
3.3.6	Vedlejší produkty dezinfekce	21
3.3.7	Výhody	21
3.3.8	Nevýhody.....	21
3.4	Chloramin.....	21
3.4.1	Historie chloraminu	21
3.4.2	Fyzikálně – chemické vlastnosti	22
3.4.3	Vznik a použití.....	22
3.4.4	Koncentrace a měření	23
3.4.5	Vedlejší produkty dezinfekce	23

3.4.6	Výhody	24
3.4.7	Nevýhody.....	24
4	DEZINFEKCE VODY BEZ POUŽITÍ CHLORU.....	25
4.1	UV záření.....	25
4.1.1	Historie UV záření	25
4.1.2	Princip UV záření	26
4.1.3	Mechanismus UV záření	26
4.1.4	Deaktivace mikroorganismů	27
4.1.5	Reaktivace mikroorganismů	27
4.1.6	Dávka UV záření	27
4.1.7	Mikrobiální odezva na dávku UV	28
4.1.8	UV reaktor	29
4.1.9	UV lampy	30
4.1.10	Další komponenty UV reaktoru	32
4.1.11	Vedlejší produkty UV dezinfekce.....	32
4.1.12	Související legislativa	32
4.1.13	Výhody	33
4.1.14	Nevýhody.....	33
4.2	Ozon	34
4.2.1	Historie ozonu.....	34
4.2.2	Obecně o ozonu	34
4.2.3	Využití ozonu.....	35
4.2.4	Výroba ozonu.....	35
4.2.5	Přenos ozonu do vody.....	37
4.2.6	Chemie ozonu ve vodě.....	38
4.2.7	Rozpad ozonu	38
4.2.8	Rozpuštěnost ozonu.....	38
4.2.9	Mechanismus inaktivace mikroorganismů.....	38
4.2.10	Kinetika dezinfekce ozonem – CT faktor	39
4.2.1	Stanovení koncentrace ozonu ve vodě	39
4.2.2	Vedlejší produkty dezinfekce	39
4.2.3	Výhody	40
4.2.4	Nevýhody.....	40
5	PROVOZOVÁNÍ BEZ DEZINFEKCE VODY.....	41
5.1	Přechod na bezchlorovou distribuci pitné vody	42
5.2	Provozování v ČR	42
6	PRAKTICKÁ ČÁST ÚPRAVNY	43
6.1	Úpravna vody Lednice.....	43
6.2	Břeclavská úpravna vody v Kančí oboře	48
6.3	Úpravna vody Ivančice	52
6.4	Skupinový vodovod Říčky	56
6.5	Úpravna vody Mostiště.....	59
7	ASPEKTY NAVRHOVÁNÍ HYGIENICKÉHO ZABEZPEČENÍ PITNÉ VODY ..	66

8	ZÁVĚR	69
9	POUŽITÁ LITERATURA.....	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ	75
	SEZNAM TABULEK	77
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	78
	SUMMARY	79

1 ÚVOD

Voda tvoří spolu se vzduchem základní podmínky pro existenci života na Zemi. V přírodě se účastní všech podstatných biologických, fyzikálních a chemických pochodů. Její molekula je tvořena dvěma atomy vodíku a jedním atomem kyslíku. Za normální teploty a tlaku je to bezbarvá, čirá kapalina bez zápachu, v silnější vrstvě namodralá. Voda je také základní stavební látkou živých těl. Většina organismů obsahuje cca 60 % vody, některé i 99 %. Voda se v průběhu nepřetržitého procesu přeměňuje na plyn (vodní pára), kapalinu (voda v oceánech, déšť) a pevné skupenství (sníh, led). Tento proces se nazývá koloběh vody neboli hydrologický cyklus.

Voda je získávána z přírodních zdrojů a je odebírána buď z povrchu země, nebo jejího podzemí. Voda povrchová se dělí na vodu tekoucí a stojatou, vody podzemní jsou puklinové, krasové, či ze štěrkopískových zvodní. Takto odebraná voda se nazývá surová a velmi často neodpovídá svými technickými vlastnostmi potřebám a požadavkům jednotlivých spotřebitelů. Proto je nutno surovou vodu, která neodpovídá spotřebě, upravovat.

Nejvýznamnější potřebou je získání vody pro pitné účely lidí. Takovým produktem je „pitná voda“. Ta musí splňovat řadu kvalitativních parametrů, které zabezpečí fyziologické potřeby lidí a současně v žádném ohledu negativně neovlivní jejich zdraví a přirozenou existenci. [1]

Pod pojmem úprava vody rozumíme soubor technologických procesů, kterými se mění vlastnosti vody na úroveň požadovanou spotřebitelem. Jakost upravené pitné vody závisí do značné míry na kvalitě vody ze zdroje, která se však v průběhu roku mění. Pro dosažení požadované jakosti vody se používá celá řada technologických procesů, které je možné dělit dle různých hledisek a kritérií. Nejpoužívanější dělení je na procesy fyzikální, chemické, biologické a mikrobiologické. Fyzikálními procesy se z vody odstraňují převážně suspendované látky a rozpuštěné plyny. Chemickými procesy se voda upravuje k dalšímu odstraňování nežádoucích látek a ke zdravotnímu zabezpečení vody. Biologické procesy využívají pro úpravu vody funkce některých kmenů bakterií. [2]

Technické řešení technologie úpravy vody závisí na jakosti a množství upravované vody. Kategorie jakosti surové vody a tomu odpovídající možné úpravy, jsou dle přílohy č. 13 vyhlášky 120/2011 Sb. následující:

- A1 – Úprava surové vody s koncovou dezinfekcí pro odstranění sloučenin a prvků, které mohou mít vliv na její další použití a to zvláště snížení agresivity vůči materiálům rozvodného systému včetně domovních instalací (chemické nebo mechanické odkyselení), dále odstranění pachu a plyných složek provzdušňováním.
- A2 – Surová voda vyžaduje jednodušší úpravu, např. koagulační filtraci, jednostupňové odželezňování, odmanganování nebo infiltraci, pomalou biologickou filtraci, úpravu v horninovém prostředí a to vše s koncovou dezinfekcí. Pro zlepšení vlastností je vhodná stabilizace vody.
- A3 – Úprava surové vody vyžaduje dvou či více stupňovou úpravu čiřením, oxidací, odželezňováním a odmanganováním s koncovou dezinfekcí popř. jejich kombinací.

Mezi další vhodné procesy se řadí např. využívání ozónu, aktivního uhlí, pomocných flokulantů, flotace. Ekonomicky náročnější postupy technicky zdůvodněné (např. sorpce na speciálních materiálech, iontová výměna, membránové postupy) se použijí mimořádně. [2,3]

Dezinfekce bývá obvykle posledním krokem při úpravě vody a má zásadní vliv na její kvalitu.

2 DEZINFEKCE

Dezinfekce je způsob určen pro záměrné snížení počtu patogenních mikroorganismů (bakterie, viry). Snížení počtu patogenů můžeme dosáhnout také jinými procesy předcházející dezinfekci a to například filtrací, koagulací – vločkováním – sedimentací. To ale není obecně jejich cílem. Dezinfekce slouží zároveň jako prevence před výskytem mikroorganismů. [4]

2.1 Historie dezinfekce

Dezinfekce byla praktikována po tisíciletí, i když pravděpodobně s malým nebo žádným porozuměním. Historické záznamy ukazují, že var vody byl doporučen dříve jak 500 př. n. l. První zaznamenané použití chlóru přímo pro dezinfekci vody bylo na experimentální bázi v roce 1896 v souvislosti sterilizování rozvodů vody po epidemii tyfu. První kontinuální použití chlóru pro dezinfekci vody bylo v roce 1902 v Belgii pro dvojí cíl. Napomáhání koagulaci a vytváření vody biologicky „bezpečné“. V Severní Americe došlo k první kontinuální dezinfekci chlórem v roce 1908 ve městě Jersey City, New Jersey, USA. Odtud se kontinuální dezinfikování rychle rozšířilo do celé Severní Ameriky a jinam. [5]

V Evropě se kontinuální dezinfekce užívala až do konce první světové války 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.

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 tehdejší Rakousku – Uhersku zavedli ozonizaci vody z přehradní nádrže. Podle dostupných informací se pak zdá, že první řádné chlorování pitné vody v našich zemích bylo zavedeno v roce 1924 na vršovickém vodovodu v Praze. Nejméně během prvního roku však neprobíhalo dávkování chloru kontinuálně, ale jen v období zhoršené kvality surové vody. Nebylo však tolik následovníků, v roce 1928 chlorovalo vodu jen 5 z 1680 vodovodů v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. Nutno však dodat, že v tu dobu se přes 90 % vody vyrábělo ze zdrojů podzemních. 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.l⁻¹ u spotřebitele. [6]

2.2 Současnost

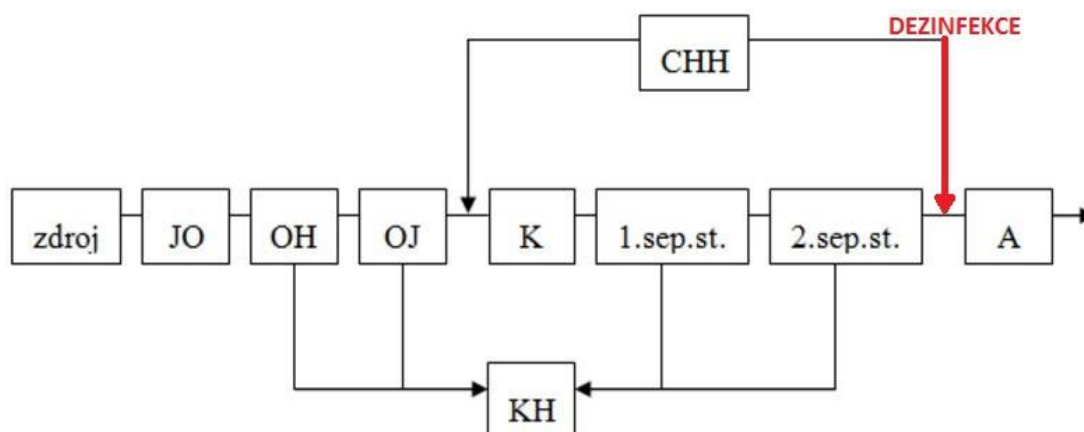
V současné době je plně na výrobci vody, jaké nástroje a technologie zvolí k zajištění požadované mikrobiologické nezávadnosti vody. Preventivní přítomnost chloru či jiného oxidantu v distribuované vodě se nevyžaduje. Směrnice Rady č. 98/83/ES o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu, ze které v současnosti 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. A podobná je i situace dnes – legislativa většiny evropských zemí přítomnost zbytkového chloru nevyžaduje a nechává toto rozhodnutí na výrobcích. [6]

V České republice stanovuje hygienické požadavky na pitnou vodu vyhláška č. 252/2004 Sb., která stanovuje: „Obsah volného chloru, chloritanů či ozonu se stanovuje pouze v případě použití chloru nebo prostředků obsahujících chlor, oxidu chloričitého nebo ozonu při úpravě vody. Za úpravu se považuje i dezinfekce vody. V případě využití vázaného aktivního chloru (například ve formě chloraminů) pro dezinfekci, platí pro celkový aktivní chlor mezní hodnota $0,4 \text{ mg.l}^{-1}$.“ Vyhláška současně stanovuje obsah volného chloru – $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$. Celkový chlór je definován jako obsah volného a vázaného chlóru. Podrobněji jsou tyto definice popsány v kapitole 3.1.8. [7]

Cílem dezinfekce je usmrcení choroboplodných zárodků a také preventivní opatření před jejich výskytem v pitné vodě. Je potřeba vyhledat nejvhodnější řešení, přijatelné z hlediska dopadů na životní prostředí a současně dostatečně účinné a cenově přijatelné.

Příklad zařazení dezinfekce do technologického procesu úpravy vody dvoustupňovou separací:



Obr. 2. 1 Schéma dvoustupňové separace

JO – jímací objekt, OH – odlučovač hrubý, OJ – odlučovač jemný, K – koagulace, flokulace, A – akumulace, CHH – chemické hospodářství, KH – kalové hospodářství [8]

Jako dezinfekční prostředky se používají chemické nebo fyzikální postupy při nasazení dezinfekčních činidel a prostředků na bázi chlóru nebo bezchlorových:

- na bázi chloru
 - **plynný chlor Cl_2**
 - **oxid chloričitý (chlórdioxid) ClO_2**
 - **chlornan sodný NaClO**
 - **chloramin**
 - **chlorné vápno (jednorázově studny)**

- bezchlorové
- **UV záření**
- **ozon O₃**
- oligodynamické účinky kovů

Jednotlivá dezinfekční činidla se vyznačují různou účinností. Ta závisí na vlastnostech vody, na druhu a počtu organismů, bakterií a virů přítomných ve vodě a na jejich odolnosti vůči desinfekčním činidlům. Účinnost je také přímo úměrná dávce a době působení desinfekčního činidla.

Použitím některých desinfekčních čidel vznikají ve vodě vedlejší produkty, které jsou nežádoucí. Vznik vedlejších produktů ovlivňuje přítomnost tzv. prekursorů (huminové látky, řasy, amoniak, ...) v upravované vodě, dále dávka desinfekčního činidla, teplota a pH vody. Nejznámější skupinou vedlejších produktů jsou trihalogenmethany (chloroform). Výskyt vedlejších produktů dezinfekce je nejčastěji spojen s použitím chlóru a jeho sloučenin. [1]

3 DEZINFEKČNÍ ČINIDLA NA BÁZI CHLORU

Chlorování je nejčastější způsob dezinfekce vody v ČR i v zahraničí. Důvodem častého využívání chloru je jeho velká baktericidní účinnost, kterou si zachovává i v malých koncentracích. Další přínos je poměrně jednoduché použití i kontrola a rovněž i silné oxidační účinky. Ty se dobře uplatňují při odstraňování železa, manganu, sirovodíku i některých organických látek, zejména pachových a chuťových.

Chlorace je proces určený k dezinfekci vody, při které dávkuje plyný chlor, chlornan sodný, vápenaté nebo hořečnaté sloučeniny chloru do vody. Velikost dávky těchto chemikálií závisí na složení vody (spotřebě chloru) a na dezinfekčních limitech. Pro dosažení účinné dezinfekce je navíc potřeba minimální doba působení chloru 20 minut. Účinnost chlorace je mimořádně závislá na pH vody. U organicky znečištěných vod může dojít k výraznému zhoršení chuti a vůně vody, navíc hrozí nebezpečí vzniku vedlejších produktů chlorace. Ochrana rozvodů chlorem před bakteriologickou kontaminací je všeobecně přeceňována, neboť chloru ve vodě velmi rychle ubývá následkem jeho spotřeby po trase. Chlorace je nejrozšířenějším způsobem dezinfekce a používá se téměř ve všech průmyslových odvětvích. [41]

3.1 Plynný chlor

3.1.1 Historie plynného chloru

Plynný chlor Cl_2 poprvé připravil švédský chemik Carl Wilhelm Scheele v roce 1774, kdy zahříval oxid manganitý (MnO_2) a kyselinu chlorovodíkovou (HCl). Nebyl ale považován za chemický prvek až do roku 1808. Použit byl jako nákaze zamezující činidlo v rámci Evropského epidemie cholery roku 1831. K dezinfekci vody chlorem nejprve došlo v roce 1908 v Chicagu a Jersey City. Během dvou let byl chlór představen jako dezinfekční prostředek v několika městech Severní Ameriky. Se zavedením tohoto procesu se dramaticky snížil výskyt tyfu. Od roku 1918 to bylo více než 1000 měst. [4]

3.1.2 Vlastnosti chloru

Chlor je za normálních podmínek žlutozelený plyn, s pronikavým dusivým zápachem, toxický při vdechování (silně porušující sliznici dýchacích orgánů). Jeho molekulární hmotnost je $70,9 \text{ g.mol}^{-1}$ a hustota je 2,5 krát větší než hustota vzduchu. Bod varu je za normálního tlaku $-34,1 \text{ }^\circ\text{C}$, bod tuhnutí $-101,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Patří mezi halogeny a může tvořit velké množství látek, reaktivní produkty, ale i velmi stabilní látky, jako je kuchyňská sůl (NaCl). [1, 10]

Plynný chlor je nebezpečný pro lidský organismus, při delším pobytu je jeho maximální přípustná koncentrace 1 ppm, při koncentraci 30 ppm je vyvolán silný kašel (cítit jde od 3,5 ppm) a při krátké expozici je nebezpečný kolem 40 – 60 ppm. Ve vodě je rozpustný a využívá se mimo dezinfekce vody například i k oxidaci, nebo bělení. Chlor tvoří i další sloučeniny, které se využívají pro dezinfekci pitné vody. Mezi tyto patří především chlornany, oxid chloričitý, chloraminy a chlorné vápno. [11, 10, 12, 13]

Chlor má silné dezinfekční a oxidační účinky, je velmi účinný pro deaktivaci mikroorganismů a patří mezi nejrozšířenější prostředek pro hygienické zabezpečení vody. Jeho aplikace je snadná a je poměrně levný, což je jeden z důvodů pro jeho časté využití.

3.1.3 Skladování a manipulace

Vodný chlor by měl být chráněn před slunečním zářením, jelikož se pod jeho vlivem rozkládá. Kapalný chlor se plní do kovových tlakových nádob, které musí vyhovovat příslušným normám. Láhve se skladují ve svislé poloze, aby mohly být připevněny ke stojanům nebo ke zdi řetízky a sudy musí být zajištěny proti samovolnému pohybu. Objemy lahví se pohybují od 30 – 65 kg (24 – 53 l) a sudy o objemu 480 - 600 kg (400 – 500 l). Tlak chloru v uzavřené nádobě se zvyšuje s teplotou a je: 0,101 MPa při -34,1 °C, 0,369 MPa při 0 °C a 0,665 MPa při 20 °C. Z jednoho kg stlačeného kapalného chloru se vyrobí 31 l plynného chloru (při tlaku 1.105 Pa a teplotě 0 °C). Při manipulaci nesmí docházet k prudkým nárazům a zaměstnanci jsou povinni využívat ochranné pomůcky. Kde nejde zajistit přípustný expoziční limit (0,5 mg.m⁻³ jako koncentrace průměrná celosměnná a 1,5 mg.m⁻³ jako koncentrace nejvyšší přípustná krátkodobá), musí mít zaměstnanci masku s filtrem pro kyselé plyny. Dále jsou zaměstnanci povinni používat ochranné brýle nebo štít, ochranné rukavice a oděv. [14, 15, 11]



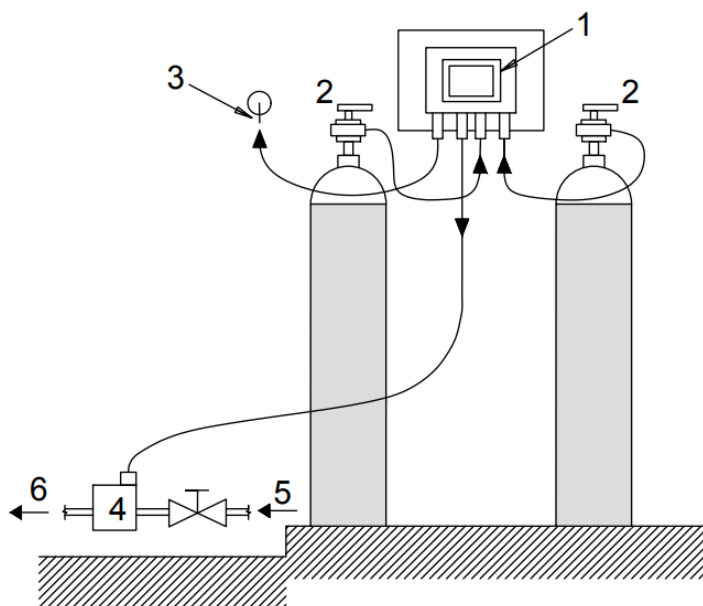
Obr. 3. 1 Uložení kapalného chloru v sudu (vlevo) a uložení v tlakových lahvích (vpravo) [14, 16]

3.1.4 Výroba chloru

Chlor se získává jako vedlejší produkt při elektrolytické výrobě alkalických kovů z tavenin chloridů nebo při elektrolytické výrobě alkalických hydroxidů z roztoků chloridů. V případě elektrolytické výroby z roztoku chloridu sodného se využívají tři typy elektrolyzérů. Ty mají uhlíkovou nebo titanovou anodu, na které se vylučuje chlor a katoda bývá železná nebo rtuťová. Mezi tyto typy elektrolyzérů patří difragmentový, amalgamový a nejmodernější membránový. Dalším způsobem je chemická výroba chloru, která je založena na oxidaci chlorovodíku různými oxidačními činidly. [17]

3.1.5 Dávkování chloru do vody

Chlor je dávkován v chlorovně, což je místnost co nejmenších rozměrů, dobře tepelně izolovaná pro stálou teplotu a se zajištěným odvětráváním pro případný únik chloru. Kapalným chlor je veden z nádoby potrubím k dávkovacím zařízením, chlorátorům, kde se chlor přivádí do uzavřené nádrže spolu s ředící vodou, v níž se rozpustí (vzniklý roztok je 2 – 5%). Dávky chloru se regulují podle aktuálního průtoku vody. Dávkování do upravované vody, kde se chlor dokonale promísí, probíhá pomocí injektorů. Schéma aplikace chloru je na obrázku 3.2. Z důvodu bezpečnosti je dávkování prováděno v podtlakovém (vakuovém) režimu. [1, 13, 18]



Obr. 3. 2 Schéma aplikace chloru

1. chlorátor, 2. automatický spínací mechanismus – dva speciální redukční ventily, 3. ventilace, 4. injektor, 5. přívod vody, 6. voda s chlorem

3.1.6 Reakce chloru ve vodě

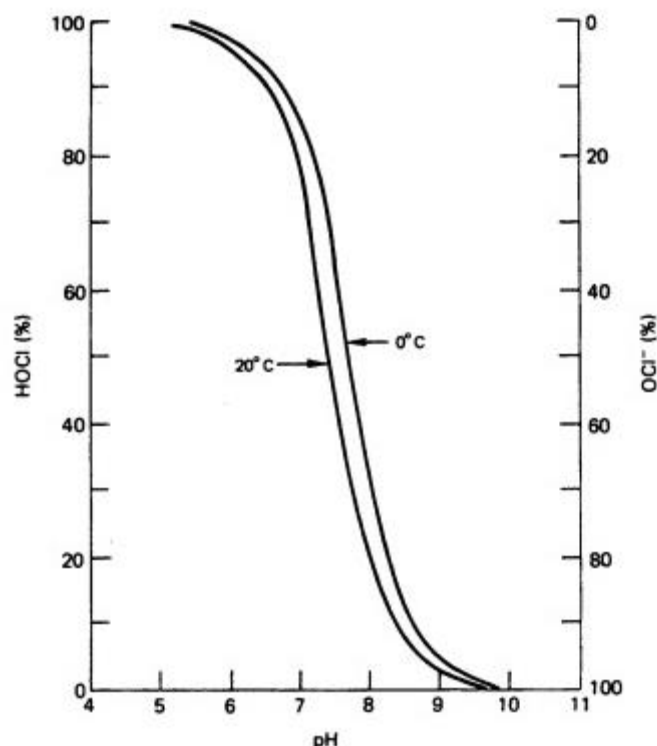
Chlor se ve vodě rozpouští v závislosti na teplotě, kdy se stoupající teplotou rozpustnost klesá. Při tlaku 101,3 kPa se ve vodě rozpustí při teplotě 10°C 9,65 g.l⁻¹ chloru, při 20°C 7,3g.l⁻¹ a při teplotě 30°C 5,8 g.l⁻¹ chloru. Po přidání chloru do vody se chlor hydrolyzuje podle rovnice:



Vzniklá kyselina chlorná (HClO) dále disociuje dle rovnice:



Hydrolyza je silně závislá na koncentraci vodíkových iontů H⁺. Při jejich vysoké koncentraci (za nízkého pH), se úroveň kyseliny chlorné zvyšuje a při nízké koncentraci vodíkových iontů (za vysokého pH) se její úroveň snižuje. Pro chlornanové ionty to platí opačně. Tento vztah je znázorněn na obrázku 3.3. [12, 19, 20]



Obr. 3. 3 Vliv pH na množství kyseliny chlorné (HClO) a chlornanového iontu (ClO⁻) [20]

Účinnost dezinfekce je určena hodnotou pH vody. Optimální dezinfekce vody probíhá při pH mezi 5,5 a 7,5. Kyselina chlorná (HClO) reaguje rychleji než chlornanové ionty (ClO⁻) a je o 80 – 100 % účinnější. Při koncentraci pH 7,5 je koncentrace kyseliny chlorné a chlornanových iontů rovnovážná. [12]

Při pH nižším než 3,0 dochází k neúplné hydrolyze molekulárního chloru (Cl₂), jehož podíl z jeho celkového množství závisí na pH následovně:

Tab. 3- 1 Závislost obsahu nehydrolyzovaného chloru (%) na pH [21]

pH	obsah Cl ₂
0	77
1	25
2	3,2
3	0,3
4	0,03

3.1.7 Inaktivace mikroorganismů

Buněčná stěna mikroorganismů je negativně nabitá a může být proniknutá neutrální kyselinou chlornou (HClO), nikoli záporně nabitým chlornanovým iontem. V důsledku proniknutí kyseliny chlorné stěnou, mikroorganismus zemře, nebo trpí reprodukční poruchou. [22]

Dále ve vodě probíhají následující reakce:



Atom kyslíku je silný oxidační prostředek. Chlor zabíjí patogeny tím, že porušuje chemické vazby v molekulách. Enzymy v mikroorganismech vymění při kontaktu s chlorem jeden nebo více atomů v molekule s atomy chloru. To způsobí, že molekula změní tvar, nebo se rozpadne. Dezinfekční vlastnosti chloru jsou založeny na oxidační síle volných atomů kyslíku a na substitučních chlorech. Když enzymy nefungují správně, buňky nebo bakterie zemřou. [12, 21]

3.1.8 Celkový chlor

Při chloraci vody reaguje chlor s rozpuštěnými organickými a anorganickými sloučeninami ve vodě. Ten s těmito sloučeninami tvoří další produkty. Rozlišují se tři základní formy chloru ve vodě, a to celkový chlor, volný aktivní chlor a kombinovaný aktivní chlor (vázaný). Celkový chlor je součet volného a kombinovaného chloru. Volný chlor je všechen chlor přítomný ve vodě, jako je Cl_2 , HClO a ClO^- . Když chlor reaguje s amoniakem (NH_3), vznikají chloraminy a volný chlor se převede na kombinovaný chlor. Mezi chloraminy patří monochloramin (NH_2Cl), dichloramin (NHCl_2) a chlorid dusíku neboli trichloramin (NCl_3). [18, 23]

3.1.9 Účinky chloru

Účinky chloru lze rozdělit následovně:

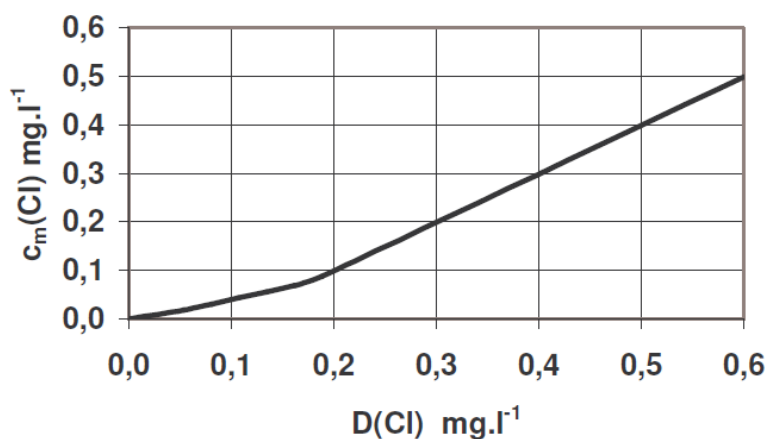
- oxidační účinek (chlor oxiduje anorganické i organické sloučeniny)
- chlorační účinek (chlor se váže v molekule, zpravidla organické sloučeniny, aniž by ji rozložil – např. chlorování fenolů za vzniku chlorfenolů)
- oxidačně chlorační účinek (probíhá oxidace i chlorace, například reakce s amoniakem nebo štěpení huminových látek za vzniku CHCl_3 a dalších trihalogenmetanů)
- dezinfekční (usmrcení choroboplodných zárodků, zejména bakterií a virů - je primárním požadavkem při použití chloru jako dezinfekční látky). [11]

3.1.10 Chlorování vody, množství chloru

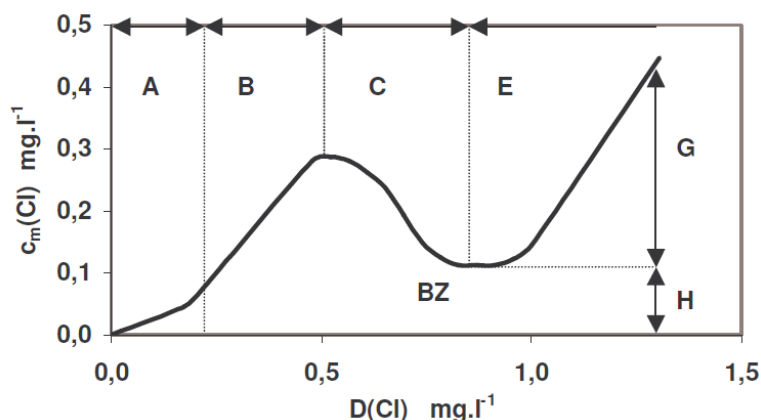
Množství chloru potřebného k dezinfekci vody závisí na vlastnostech vody, zejména na teplotě vody, pH, obsahu organických látek a stupni biologického oživení. Při dávkování chloru je třeba vzít v úvahu, že chlor reaguje se sloučeninami ve vodě, tudíž dávka musí být dostatečně vysoká na to, aby ve vodě zůstalo dostatečné množství chloru k dezinfekci. Významnou veličinou je spotřeba chloru. Rozumí se jí množství chloru nezbytné k dosažení požadovaného přebytku aktivního chloru po určité době kontaktu chloru s vodou. Před použitím pitné vody má být doba kontaktu vody s volným chlorem minimálně dvě hodiny. V provozu se dávkování řídí tak, aby v nejvzdálenějším místě sítě byla koncentrace volného chloru v rozmezí $0,05 - 0,3 \text{ mg.l}^{-1}$. Množství spotřebovaného chloru se u čistých podzemních vod pohybuje mezi $0,1 - 0,3 \text{ mg.l}^{-1}$ a u znečištěných povrchových vod $1 - 3 \text{ mg.l}^{-1}$. Spotřeba

nám do určité míry podává obraz o čistotě vody. Dávkováním Cl_2 je snižováno pH vody. [1, 8, 11, 12]

Na obsahu amoniaku ve vodě je odkázána závislost koncentrace zbytkového aktivního chloru $c_m(\text{Cl})$ ve vodě na dávce chloru $D(\text{Cl})$. Zobrazuje ji chlorační křivka. Při chlorování vody v nepřítomnosti amonných iontů, je koncentrace chloru ve vodě rovna jeho přidanému množství po odečtení chloru spotřebovaného oxidací látek a inaktivací mikroorganismů obsažených ve vodě. Tento úbytek je patrný na začátku chlorační křivky (obr. 3.4). [11]



Obr. 3. 4 Chlorační křivka v nepřítomnosti amoniaku [11]



Obr. 3. 5 Chlorační křivka v přítomnosti amoniaku [11]

V případě přítomnosti organických látek a amoniaku, množství zbytkového chloru neroste rovnoměrně se zvyšující se dávkou chloru. V tomto případě se provádí chlorace do bodu zlomu (BZ), nebo těsně za něj, aby obsahovala určitý přebytek volného aktivního chloru (obr. 3.5). Při tomto způsobu chlorování rozlišujeme na chlorační křivce tyto oblasti:

- A oblast bez zbytkového chloru; dochází zde k oxidaci a chloraci
- B oblast zbytkového chloru vázaného; dochází k tvorbě chloraminů do doby, než je spotřebován veškerý amoniak
- C oblast zvýšené aktivity chloru; dochází k rozkladu chloraminů až do bodu zlomu (BZ)

- E oblast zbytkového chloru; zůstává zde určité množství vázaného chloru (H) a dále s množstvím přidaného chloru vzrůstá zbytková koncentrace volného chloru (G). [11, 19]

V případě úpravy některých povrchových vod jsou vyžadovány velké dávky chloru, jehož přebytek se odstraňuje dechlorací. Ta se provádí mechanickým provzdušněním vody, nebo chemicky (thiosířičitan sodný, oxid siřičitý, siřičitan sodný, aktivní uhlí). I při použití jiných postupů dezinfekce (například ozonizace, dezinfekce UV zářením), bývá voda ještě chlorovaná malými dávkami Cl_2 , aby byla voda hygienicky zabezpečena během rozvodu vodovodní sítí. [8, 11]

3.1.11 Účinnost dezinfekce vody chlorem

Faktory, které ovlivňují účinnost dezinfekce, jsou: koncentrace chloru, doba kontaktu, teplota, pH, počet a typy mikroorganismů a koncentrace organických látek ve vodě.

3.1.12 Legislativa

V České republice stanovuje limit pro celkový aktivní chlor vyhláška č. 252/2004 Sb., dle které je mezní hodnotou koncentrace $0,4 \text{ mg.l}^{-1}$. Obsah volného chloru je stanoven na $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$. [7]

3.1.13 Vedlejší produkty dezinfekce chlorem

Již od počátku používání chloru se vědělo, že může negativně ovlivnit chuť nebo pach vody a časem se ukázalo, že není úplně neškodný. V roce 1974 holandští a američtí vědci objevili, že chlor v pitné vodě nezabíjí jen bakterie, ale také reaguje s přítomnými přírodními organickými látkami za vzniku tzv. vedlejších produktů dezinfekce (DBP). Jedná se o velkou skupinu látek – dosud bylo identifikováno téměř 600 vedlejších produktů chlorace – z nichž větší část se vyskytuje ve stopových množstvích, ale některé v dobře měřitelných koncentracích. [24]

Mezi nejvýznamnější patří trihalomethany (THM), nazývané také haloformy, významné jsou i halogenoctové kyseliny (HAA), halogenacetonitrily (HAN), furanony (MX), chlorfenoly, furanony či chlorpirkin. Pokud je v upravované vodě přítomen brom, mohou vznikat také bromované vedlejší produkty. [25]

Tab. 3- 2 Vedlejší produkty dezinfekce chlorem

Trihalogenmethany (THM)	Haloctové kyseliny (HAAs)	Halogenované acetonitrily (HANs)
• Chloroform (CHCl_3) • Bromdichlormetan (CHBrCl_2) • Dibromchlormetan (CHBr_2Cl) • Bromoform (CHBr_3)	• Kyselina monochloroctová (MCAA) • Kyselina dichloroctová (DCAA) • Kyselina trichloroctová (TCAA) • Kyselina monobromoctová (MBAA) • Kyselina dibromoctová (DBAA)	• Dichloracetonitril • Bromchloracetonitril • Dibromacetonitril • Trichloracetonitril

Tyto látky se vyskytují v místně specifických a těžko definovatelných směsích, tak jak se unikátně liší složení surové vody a podmínky v dané distribuční síti (pH, teplota, doba zdržení, obsah volného chloru atd.). [24]

Nejvýznamnější vedlejší produkty dezinfekce jsou následující:

- **Trihalogenmethany (THMs)** - nejčastěji se vyskytujícím THM je trichlormethan (chloroform CHCl_3). Při přítomnosti i malého množství bromidů v upravované vodě se vedle chloroformu mohou tvořit také bromdichlormethan, dibromchlormethan nebo tribrommethan. Vznik těchto nežádoucích látek je spojen s přítomností tzv. prekursorů v upravované vodě. Prekursory jsou látky schopné reagovat s chlorem za vzniku organohalogenů. Nejvýznamnějšími prekursory THM jsou především huminové látky, řasy, sinice a jiné mikroorganismy. Byly prokázány mutagenní a karcinogenní vlastnosti THM. Chloroform a ostatní THM mohou způsobovat rakovinu jater, ledvin, močového měchýře, tlustého střeva, konečníku a mají i negativní dopady na reprodukční funkci.
- **Halogenoctové kyseliny (HAAs)** - jsou to organické látky odvozené od kyseliny octové, ve které je aspoň jeden vodík vázaný na uhlík nahrazen nějakým halogenem. HAA vznikají jako vedlejší produkt dezinfekce hlavně při chloraci, kdy chlor reaguje s organickými látkami, které se přirozeně vyskytují v surových vodách. Pokud upravovaná voda obsahuje bromidy, tak se mohou tvořit také bromované HAA. Dlouhodobá konzumace pitné vody s vysokým obsahem HAA může mít negativní vliv na reprodukci, způsobit vývojové vady a zvýšit riziko rakoviny. [25]

3.1.14 Opatření pro minimalizaci DBP

V posledních letech probíhá intenzivní výzkum jak chemismu a podmínek vzniku DBP, tak i jejich zdravotních účinků. Světová zdravotnická organizace již od roku 1984 opakovaně prohlašuje, že musíme hledat kompromisní rovnováhu mezi minimalizací DBP a zajištěním mikrobiologické nezávadnosti pitné vody, a proto museli začít výrobci pitné vody hledat alternativy. Jednou z možností je využití alternativní dezinfekce, kdy se místo chloru použije např. UV záření nebo jiné oxidanty (chloramin, oxid chloričitý, ozon, ...), které obvykle vedou ke vzniku menšího množství vedlejších produktů. Další možností je zachování stejné dezinfekce s dokonalejší předúpravou vody – účinnější koagulací lze odstranit více prekursorů, nebo účinnější filtrací, která odstraní většinu mikroorganismů, lze snížit dávku dezinfekčního přípravku. V poslední řadě je to provozování bez zachování rezidua dezinfekce. 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, vedlo od 80. let v řadě evropských zemí k alternativě žádné dezinfekce. Mnoho vodárenských společností v Nizozemí, Německu, Švýcarsku, Rakousku i jinde zjistilo, že za určitých podmínek, lze vyrobit a distribuovat vysoce kvalitní pitnou vodu, jak po stránce mikrobiologické, tak chemické i organoleptické – i bez zachování rezidua dezinfekce v síti nebo bez použití chemické dezinfekce vůbec. [24]

3.1.15 Výhody a nevýhody použití chloru

Mezi výhody patří nižší provozní náklady na dezinfekci a jeho dostupnost, jednoduché použití a relativní stálost ve vodných roztocích. Dále je to vysoká baktericidní účinnost i v malých koncentracích a silné oxidační účinky.

Nevýhodou použití chloru je vznik THM a dalších DBP (Jako dezinfekční činidlo lze chlor používat pouze v případech, kdy nevzniká nadměrné množství vedlejších produktů dezinfekce). Dalšími nevýhodami je závislost účinnosti na pH a negativní vliv na organoleptické vlastnosti upravené vody. [1, 18]

3.2 Oxid chloričitý

3.2.1 Historie oxidu chloričitého

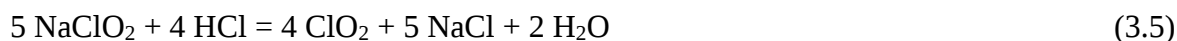
Oxid chloričitý ClO_2 , nebo-li chlórdioxid, byl nejprve produkován reakcí chlorečnanu draselného a kyseliny chlorovodíkové v roce 1811. K jeho rozšířenému použití ale nedošlo, dokud nebyla příprava chloritanu sodného v průmyslovém měřítku, z něhož byl oxid chloričitý snadněji generován. Oxid chloričitý je široce používán jako bělicí činidlo při výrobě papíru a celulózy. Přes dřívější studie týkající se použití oxidu chloričitého jako dezinfekční činidlo, byl jeho vzestup pomalý. V roce 1977 bylo ve Spojených státech identifikováno 84 úpraven vod, které pro dezinfekci používaly oxid chloričitý, i když pouze v jedné z nich se na něj spoléhali jako na primární dezinfekční prostředek. V Evropě byl oxid chloričitý používán buď jako oxidačního činidlo, nebo dezinfekční prostředek, v téměř 500 úpravárnách vody. V posledních letech však spousta provozovatelů přechází z plynného chloru na chlórdioxid. [4]

3.2.2 Fyzikálně – chemické vlastnosti

Oxid chloričitý je neutrální sloučenina chloru. Má teplotu varu při 11 °C, vyskytuje se buď ve formě červenohnědé kapaliny, hustší než voda, nebo oranžového ve vodě rozpustného plynu, hustší než vzduch. Chemicky, oxid chloričitý je volný radikál, při vysokých koncentracích prudce reaguje s redukčními činidly a je výbušný. Připravuje se přímo na místě podle potřeby. [4]

3.2.3 Skladování a výroba

Chlórdioxid se obvykle vyrábí na místě, jelikož je obtížné ho přepravovat a pod tlakem je výbušný. Vyrábí se pomocí generátoru reakcí chloritanu sodného NaClO_2 s chlorem, častěji však reakcí s kyselinou chlorovodíkovou HCl . Chloritan i kyselina musí být skladovány ve speciálních nádobách, které nepropouští světlo. Při výrobě chlórdioxidu probíhá reakce:



Z výrobní jednotky chlórdioxidu, vychází zředěný roztok ClO_2 . Tyto jednotky se vyrábí pro různé průtoky vody. Chlórdioxid je možné uvést do stabilizované formy (CDS), kterou lze objednat a aktivovat na místě. [26]



Obr. 3. 6 Výrobní jednotka chlordioxidu [27]

3.2.4 Chemie chlordioxidu ve vodě

ClO_2 je silné oxidační činidlo a účinně zabíjí patogenní mikroorganismy. Má schopnost elektronových výměn a díky tomu napadá organické molekuly bohaté na elektrony. Jeden elektron je přenesen a oxid chloričitý je redukován na chlorit (ClO_2^-) dle rovnice:



Následně se chlornanový iont (ClO_2^-) oxiduje a stává se chloridovým iontem:



Chlordioxid není tak reaktivní jako ozon nebo chlor a reaguje pouze s určitými látkami a proto je pro získání aktivního zbytkového dezinfekčního prostředku zapotřebí méně oxidu chloričitého. Může se proto použít i v případě, pokud je přítomno větší množství organické hmoty. Atom chloru v chlordioxidu má oxidační číslo +4 a z toho důvodu ClO_2 přijme 5 elektronů, když je redukován na chlorid (viz rovnice 3.7). V případě chlordioxidu atom chloru zůstává až do vzniku stabilního chloridu (Cl^-) a z toho důvodu nejsou tvořeny žádné chlorované látky, oproti použití plynného chloru. Ten když reaguje, přijímá nejen elektrony, ale účastní se také substitučních reakcí, během nichž se k cizí látce přidá jeden nebo více atomů chloru. [26, 40]

3.2.5 Deaktivace mikroorganismů

Látky organické povahy, které jsou v bakteriálních buňkách, reagují s chlórdioxidem, což způsobuje přerušení několika buněčných procesů. Reaguje přímo s aminokyselinami a RNA v buňce a zabraňuje produkci bílkovin. Přímou reakci s buněčnou stěnou mikroorganismů a reakce není závislá na reakční době nebo koncentraci. Oproti neoxidačním dezinfekčním prostředkům, ClO_2 zabíjí i neaktivní mikroorganismy a koncentrace potřebná k usmrcení je proto nižší. Viry zabíjí tím, že zabrání tvorbě bílkovin a je účinnější proti virům než chlor nebo ozon. ClO_2 je účinný také proti parazitům *Cryptosporidium* a nejlepší ochranou proti parazitům je v kombinaci s ozonem. [26]

3.2.6 Dávkování do vody

Zředěný chlórdioxid vodou je dávkován dávkovacími čerpadly a aplikován injektorem do potrubí obvykle před nátokem do akumulární nádrže. Obvyklé dávky ClO_2 se pohybují kolem $0,2 - 0,4 \text{ mg.l}^{-1}$ a ve vodovodní síti je účinný nejméně 48 hodin. [26]

3.2.7 Vedlejší produkty dezinfekce

Oproti chloraci nedochází ke vzniku THM nebo HAAs, ale dochází k tvorbě některých vedlejších produktů, které představují potenciální riziko na lidské zdraví. Při styku ClO_2 s vodou mohou vznikat chloridy, chloritany a může docházet k tvorbě chlorečnanů (ClO_3^-).

Dlouhodobé působení chloritanů souvisí s poruchami hemolytického systému, jako je hemolytická anémie (chudokrevnost), poškození membrán červených krvinek (rozpad červených krvinek), nebo methemoglobinémii (červené krvinky nepřenášejí kyslík). [25]

Obsah chloridů v pitné vodě je stanoven vyhláškou 252/2004 Sb. na 100 mg.l^{-1} jako mezní hodnota a obsah chlorečnanů a chloritanů na $200 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ jako nejvyšší mezní hodnota. [7]

3.2.8 Výhody

Mezi největší výhody tohoto způsobu dezinfekce vody se řadí zejména:

- Vysoká baktericidní účinnost, větší než u chloru
- Dezinfekcí nevznikají zápachy a ničí fenoly, které mohou způsobovat zápach a chuťové problémy
- Netvoří s organickými látkami chlorované deriváty (THM, HAAs, chlorfenoly)
- Je ve vodě stálější než chlor a je vhodný pro zabezpečení vodovodní sítě
- Účinnost dezinfekce není oproti použití chloru závislá na pH vody

3.2.9 Nevýhody

- nutná výroba v místě použití pro jeho nestálost
- složitější obsluha
- obtížnější analytická kontrola. [11, 26]

3.3 Chlornan sodný

3.3.1 Historie chlornanu sodného

V roce 1785 objevil francouzský chemik Berthollet chlornan sodný, který byl následně využíván pro bělení látek. Vznikl tím, že plynný chlor prošel roztokem uhličitanu sodného. Berthollet založil na výrobu společnost poblíž Paříže ve městě Javel a od té doby je chlornan sodný znám jako „Eau de Javelle“ a dodnes je pod tímto názvem znám ve Francii. Tato metoda výroby nebyla velmi účinná a na konci 19. století patentoval ES Smith metodu výroby elektrolýzou solného roztoku za vzniku hydroxidu sodného a plynného chloru, které se smíchají za vzniku chlornanu sodného. Koncem 19. Století objevil Louis Pasteur účinnost chlornanu sodného proti bakteriím způsobujícím choroby a od té doby se stal široce používán jako dezinfekční prostředek. [28, 29]

3.3.2 Fyzikálně – chemické vlastnosti

Chlornan sodný (NaClO), často označován jako kapalné bělidlo a zároveň účinná látka v komerčním dezinfekčním přípravku pod názvem SAVO, je jasný, čirý až nažloutlý roztok s charakteristickým zápachem. Je to alkalická žíravina s obsahem 5 – 20 % aktivního chloru. Má nepříjemný chlorový zápach (výpary obsahují směs kyseliny chlorné a chlornanu), je nestabilní a rozpustný ve vodě. Má relativní hustotu 1,1 (5,5% vodný roztok) a jako bělicí činidlo pro domácí použití obsahuje obvykle 5 % chlornanu sodného (pH kolem 11). V koncentrovanější podobě (10 – 15 %) má pH kolem 13, hoří a je žíravý. Chlor se z roztoku odpařuje a zahřátý chlornan se rozpadne. K tomu dochází také v případě, že chlornan sodný přichází do styku s kyselinami, slunečním zářením, určitými kovy a jedovatými a korozními plyny, včetně plynného chloru. Je to silný oxidant a při přepravě, skladování a používání je potřeba vzít v úvahu všechny jeho vlastnosti. [30, 31]

3.3.3 Výroba a skladování

Chlornan sodný se vyrábí reakcí chloru a hydroxidu sodného následujícím způsobem:



Při této reakci se musí kontrolovat vznikající teplo, aby se na počátku minimalizovala tvorba chlorečnanů a maximalizovala stabilita během skladování. Na rozdíl od elementárního chloru, chlornan sodný podléhá rozkladu. Nejzákladnější opatření proti rozkladu je skladování v neprůhledných, nebo UV záření blokujících materiálech. Obvykle se skladuje v PVC barelech o objemu 50 l. [5, 1]

3.3.4 Reakce ve vodě

Po přidání chlornanu sodného do vody se zvyšuje pH vody, protože obsahuje hydroxid sodný NaOH . Když se chlorid sodný rozpustí ve vodě, tvoří dvě látky, které hrají roli při oxidaci a dezinfekci. Jde o kyselinu chlornou (HClO) a méně aktivní chlornanový iont (ClO^-). Hodnota pH vody určuje, v jakém poměru se látky tvoří. Chlornan sodný reaguje s vodou podle rovnice:



Z kyseliny chlorné dále vzniká kyselina chlorovodíková (HCl) a atom kyslíku (O), který je velmi silný oxidant. Chlornan sodný je účinný proti bakteriím, virům a houbám a dezinfikuje stejně jako chlor. [31]

3.3.5 Použití chlornanu sodného

Chlornan sodný je často používán u menších úpravěn vody (5-10 l.s⁻¹), z důvodu méně náročných požadavků na obsluhu. Často je využíván pro hygienické zabezpečení po trase vodovodní sítě a to ve vodojemech, kde se pomocí dávkovacího čerpadla dávkuje do vody a vytváří potřebné reziduum. Chlornan potřebuje delší dobu kontaktu s vodou a je zhruba 7x méně účinný oproti plynnému chloru. Chlornan sodný může tvořit vedlejší produkty dezinfekce stejně jako chlor. [1]

3.3.6 Vedlejší produkty dezinfekce

Když roztok chlornanu sodného stárne, a zvláště je-li skladován za vyšší teploty, pomalu se rozkládá za vzniku chlorečnanů a v menší míře také chloristanů a chloritanů. Stárnutím ubývá také obsah aktivního chloru, čili se musí chlornanu dávkovat více, čímž se do vody dostává i více chlorečnanů a spol. Nejvyšší mezní hodnota pro chlorečnany je stanovena vyhláškou 252/2004 Sb. na 200 µg.l⁻¹. [7, 32]

3.3.7 Výhody

- Snadné skladování a přeprava
- Nízké provozní náklady
- Jednoduchá obsluha a dávkování
- Vytváří reziduum ve vodovodní síti

3.3.8 Nevýhody

- nebezpečná a žíravá látka, při manipulaci je potřeba bezpečnostních opatření
- rychlý rozklad látky, podléhá mnohým vnějším vlivům
- potřeba delší doby kontaktu s vodou
- hrozba vzniku chlorečnanů [1, 31]

3.4 Chloramin

3.4.1 Historie chloraminu

Monochloramin, sumární vzorec NH₂Cl, je využíván jako dezinfektant pitné vody již více než 90 let. První úspěšné využití bylo v letech 1920 – 1930, kdy mezi první místa v USA, kde byl používán jako dezinfekční prostředek, patří Cleveland, Ohio, Springfield, Illinois a Michigan. V letech 1940 – 1950 se jeho využití snížilo na minimum, díky nedostatku amoniaku během války. Ukázalo se, že monochloramin je účinným dezinfekčním přípravkem desítky let používání v USA, Kanadě a Velké Británii. V posledních letech se používání

monochloraminu zvýšilo, díky novým nařízením o pitné vodě, pro omezení vedlejších produktů dezinfekce. [33, 34, 35]

3.4.2 Fyzikálně – chemické vlastnosti

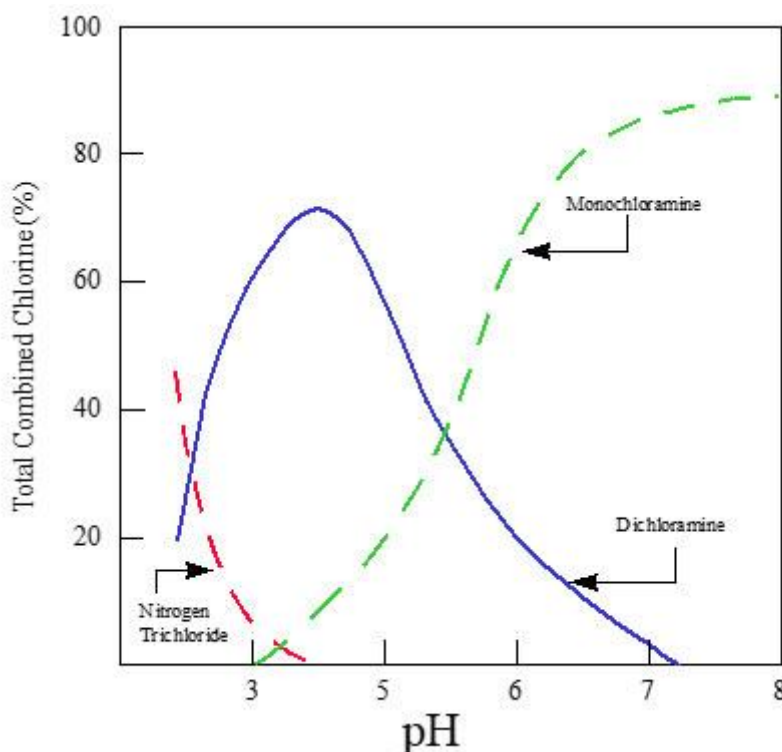
Je to bezbarvá až žlutá nestabilní kapalina, se silným štiplavým zápachem, rozpustná ve vodě. Molekulární hmotnost je $51,5 \text{ g.mol}^{-1}$ a bod tání $-66 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Při zahřátí vylučuje vysoce toxické výpary (oxidy dusíku, amoniak a chlorovodík). [36]

3.4.3 Vznik a použití

Chloramin se běžně používá pro dezinfekci vody ve veřejných vodovodních sítích, jako alternativa chlorování. Chloraminy se tvoří během reakce mezi chlorem (Cl_2) a amoniakem (NH_3). Během této reakce se tvoří tři různé anorganické chloraminy, a to monochloramin (NH_2Cl), dichloramin (NHCl_2) a trichloramin (NCl_3). Chloraminy se vyrábí přímo v upravované vodě a to přidáním amoniaku. Reakční mechanismus probíhá podle rovnice:



Zastoupení vytvořených chloraminů ve vodě závisí na poměru chloru k amoniaku a na pH vody. Při pH 3 a nižším, jsou tvořeny zejména trichloraminy, monochloramin vzniká převážně při pH 7 a vyšším a hmotnostním poměru chloru k amoniaku 5:1 (molární poměr přibližně 1:1). Dichloramin pak vzniká okolo pH 5. Závislost hodnoty pH na tvorbě jednotlivých forem chloraminů je znázorněna na obrázku 3.7.



Obr. 3. 7 Závislost tvorby jednotlivých chloraminů na hodnotě pH [37]

Amoniak se přidává až po aplikaci chloru, protože hodnoty CT jsou nižší, než při primárním přidávání amoniaku. Amoniak se dodává jako bezvodný plyn (NH_3), jako 20%

roztok, nebo ve formě práškové jako síran amonný ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Plynň amoniak je přidáván k dezinfikované vodě podobným zařízením jako plynň chlor. Vodní roztok amoniaku se do vody dává jako roztok chlornanu sodného. [18, 38, 39, 41]

Během reakce s chlorem může docházet k tvorbě organických chloraminů, které nelze rozlišit od jiných chloraminů za použití standardních metod analýzy chloraminu. Ty vznikají reakcí chloru s organickými aminy (organické biogenní sloučeniny dusíku, vyskytující se v živých organismech). Organické chloraminy mají menší dezinfekční schopnost oproti anorganickým chloraminům. [38, 39]

Monochloramin je slabší dezinfekční prostředek, proto musí být koncentrace potřebná pro účinnou dezinfekci mnohem vyšší a kontaktní doba mnohem delší než při dezinfekci chlorem nebo ozonem. Dezinfekce je účinná, ale vzhledem k tomu, že je reakční mechanismus pomalejší, využívá se tam, kde je dlouhá doba zdržení od místa dávkování činidla ke spotřebiteli. Chloramin je mnohem stabilnější než chlor a nerozkládá se ve vodě před tím, než se dostane ke spotřebiteli. Jeho účinnost není závislá na pH vody. Oproti chloru reagují s organickou hmotou méně často a při dezinfekci se téměř nevytváří THM a další vedlejší produkty dezinfekce. Při reakci s prekusory haloformů produkují nesrovnatelně nižší koncentrace haloformů. Voda upravená chloraminem také vykazuje zároveň lepší organoleptické vlastnosti, protože je bez zápachu po chloru, který je typický pro chlorovanou vodu a má lepší chuť. [18, 38, 41]

Vedle primární dezinfekce pitné vody má chloramin využití jako sekundární dezinfikant. V tomto případě je amoniak přidán po finální chloraci vody a vzniklý zbytkový chloramin, díky pomalému reakčnímu mechanismu a dlouhému poločasu rozpadu, funguje jako dezinfikant při dopravě vody ke spotřebiteli. Dle výzkumu v závislosti na okolnostech se poločas rozpadu může lišit od jedné minuty do 23 dní. Tento zbytkový chloramin udržuje kvalitu vody a zabíjí případné mikroorganismy, které se mohou dostat do potrubního systému. [34, 38, 39]

3.4.4 Koncentrace a měření

Chloraminy se obvykle měří jako kombinovaný chlor, který se vypočítá jako rozdíl mezi celkovým a volným chlorem. Dle vyhlášky 252/2004 Sb. je mezní hodnota pro volný chlor stanovena na $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$ a celkový aktivní chlor $0,4 \text{ mg.l}^{-1}$. Americké směrnice EPA stanovuje maximální koncentraci 4 mg.l^{-1} a WHO (světová zdravotnická organizace) diktuje standard pro monochloramin v koncentraci 3 mg.l^{-1} . Dávkování chloraminu je ovlivněno mimo jiné pH a teplotou vody. [34, 38, 42]

3.4.5 Vedlejší produkty dezinfekce

Bylo prokázáno, že použitím chloraminu pro dezinfekci vody, se oproti chloru snižuje tvorba THM často o 40 – 80 %. Přídavek amoniaku do vody při výrobě chloraminu může poskytnout zdroj dusíku, který za určitých podmínek může vést ke vzniku dusitanů a dusičnanů. Během chloraminace může docházet také k tvorbě HAA. S dobou zdržení v distribuční síti můžou koncentrace některých vedlejších produktů stoupat. Ve srovnání s vodou dezinfikovanou chlorem, může však voda dezinfikovaná chloraminem obsahovat

neregulované vedlejší produkty oproti chlorované vodě. US EPA a další organizace nadále provádí výzkumy na neregulované vedlejší produkty dezinfekce. [33, 42]

3.4.6 Výhody

- Chloraminací je možné udržet přebytek chloru po delší dobu než při chloraci
- Oproti chloru vytváří menší množství DBP
- Chloraminy nemění pH vody
- Poskytují lepší chuť a vůni oproti chloru.

3.4.7 Nevýhody

- Při větším obsahu organických látek se tvoří organické chloraminy
- Nejsou tak silným dezinfekčním prostředkem, jako je chlor
- Voda ošetřená chloraminem může mít korozivní účinky na vodovodní síť. [18, 33, 38]

4 DEZINFEKCE VODY BEZ POUŽITÍ CHLORU

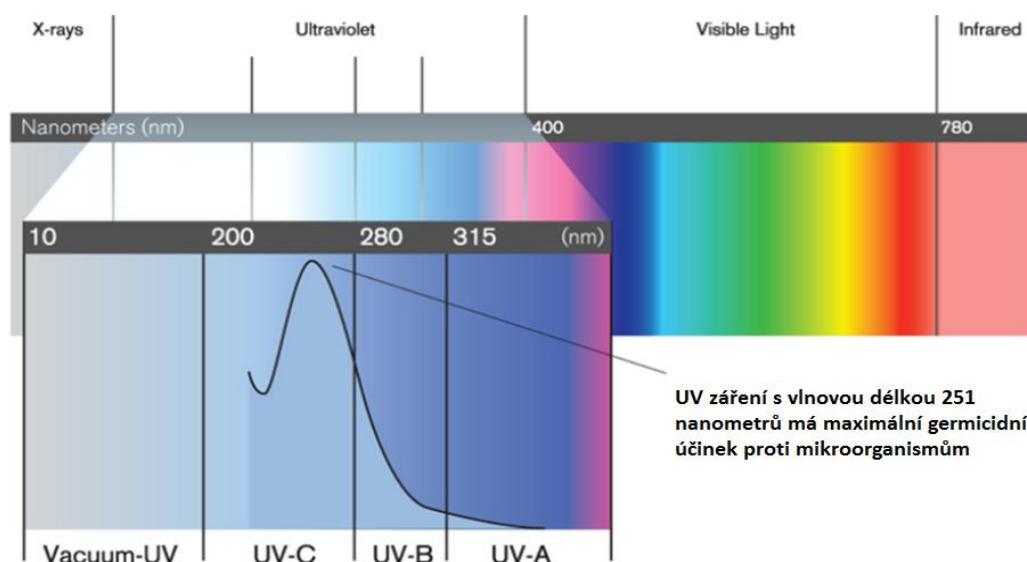
V této části kapitoly se budu zabývat deaktivací patogenních mikroorganismů bez použití dezinfekčních činidel na bázi chloru. Nejdříve budu popisovat fyzikální metodu dezinfekce pomocí UV záření a následně se zaměřím na silné dezinfekční a oxidační činidlo – ozón.

4.1 UV záření

4.1.1 Historie UV záření

UV dezinfekce je zavedená technologie podporovaná desetiletími základního a aplikovaného výzkumu a praxe v Severní Americe a Evropě. Biocidní účinky ultrafialového záření (UV) byly známy od doby, kdy bylo zjištěno, že krátkovlnné UV je zodpovědné za mikrobiální rozklad, často spojován se slunečním zářením. Již v roce 1845 bylo známo, že mikroorganismy reagují na světlo. Gemicidní vlastnosti slunečního záření objevili Downes a Blunt v roce 1887. Následně pokračovali v prokázání toho, že schopnost slunečního záření neutralizovat bakterie závisí na intenzitě a vlnové délce, přičemž kratší vlnové délky spektra slunečního záření jsou nejúčinnější. Tyndall později potvrdil tyto výsledky. [4, 43, 47]

Po vývoji rtuťových výbojek jako umělých zdrojů UV záření v roce 1901 a použití křemene jako UV přenosového materiálu v roce 1906, následovala první dezinfekce pitné vody UV zářením v Marseilles. Vývoj fluorescenční lampy ve 30. letech vedl k výrobě germicidních tubulárních lamp a během 50. let se objevil významný výzkum ohledně mechanismů UV dezinfekce a inaktivace mikroorganismů. Ačkoli v první polovině 20. století došlo k zásadnímu výzkumu o UV dezinfekci, nízké náklady na chlór a provozní problémy s ranými UV dezinfekčními systémy omezily jeho využití pro dezinfekci pitné vody. K první spolehlivé aplikaci UV záření pro dezinfekci městské pitné vody došlo ve Švýcarsku a Rakousku v roce 1955, kdy během 30 let počet instalací v těchto zemích výrazně vzrostl. S objevením chlorovaných desinfekčních vedlejších produktů se UV dezinfekce stala populární v Norsku a Nizozemsku kde proběhly první instalace v letech 1975 a 1980. V těchto letech učinila v Severní Americe tato metoda dezinfekce průlom, kdy se ukázalo, že UV záření o vlnové délce 200 až 300 nm ničí nejen bakterie, ale i jejich spóry a nejúčinnějším je pak UV záření o vlnové délce 254 nm. Od roku 1996 bylo v Evropě více než 2000 UV dezinfekčních systémů pro pitnou vodu. Nyní se UV záření využívá zejména pro větší spotřebiště a počet zařízení se zvyšuje. [43, 8]



Obr. 4. 1 Elektromagnetické spektrum se zvýrazněním UV záření [44]

4.1.2 Princip UV záření

Zdrojem UV záření jsou rtuťové křemenné lampy, v nichž jsou vysokotlaké nebo nízkotlaké rtuťové výbojky. Vysokotlaké výbojky vyzařují účinnější UV záření, jsou ale také energeticky náročnější. UV záření vykazuje nejvyšší germicidní účinky při vlnové délce 200 – 300 nm, nejúčinnější je při vlnové délce 254 nm (viz obr. 3.8.). To souvisí s absorpčním maximem nukleonových kyselin, které UV záření rozkládá. Záření působí na disperzní systém protoplazmy mikroorganismů, v němž vyvolává změnu struktury, což vede k jejich usmrcení. K zajištění vysokého výkonu a stabilních podmínek dezinfekce, se využívají různé typy zařízení. Obvykle v nich voda protéká křemenným potrubím, kolem kterého jsou věncovitě uspořádány UV zářiče rovnoběžně s osou potrubí. Každý zářič má vlastní reflektor, jejich účinky se překrývají, čímž se vytváří v reaktorové komoře vysoce koncentrované pole záření. U menších jednotek je lampa umístěna uvnitř profilu a voda proudí podélně kolem ní v tenké vrstvě, cca 150 mm. Přítomnost i lehkých zákalů značně zhoršuje výsledky, jelikož zákal snižuje prostupnost záření a tím i jeho účinnost. Proto musí být voda zcela průzračná. [8, 11, 18]

4.1.3 Mechanismus UV záření

Použití UV světla pro dezinfekci pitné vody zahrnuje generování UV světla s požadovanými germicidními účinky a následně dodání (nebo přenos) tohoto světla patogenům. UV světlo je generováno aplikací napětí napříč plynou směsí, což vede k výboji fotonů. Specifické vlnové délky světla emitovaného fotonovým výbojem závisejí na elementárním složení plynu a na úrovni výkonu lampy. Téměř všechny UV lampy určené pro úpravu vody využívají plynou směs obsahující rtuťovou páru. Obsah rtuti v plynu je výhodný pro použití při UV dezinfekci, protože vydává světlo v rozsahu germicidních vlnových délek. Výstup světla závisí na koncentraci atomů rtuti, která přímo souvisí s tlakem rtuťových par. Rtuť při nízkém tlaku par (přibližně ve vakuu: 0,1356 Pa až 1,3561 Pa) a mírné teplotě (40 °C) produkuje v podstatě monochromatické UV světlo při 253,7 nm. Při vyšších

tlacích par (13,5609 kPa až 1,3561 MPa) a vyšších provozních teplotách (600 až 900 °C) vzrůstá četnost srážek mezi atomy rtuti a produkuje UV světlo v širokém spektru (polychromatický) s celkově vyšší intenzitou. Tlak pár rtuti v rozmezí 1,3561 Pa až 13,5609 kPa neprodukuje účinně UV záření. [43]

4.1.4 Deaktivace mikroorganismů

UV záření se značně liší od chemických dezinfekčních látek, které inaktivují mikroorganismy tím, že ničí nebo poškozují buněčné struktury, narušují metabolismus a brání biosyntéze a růstu. UV záření inaktivuje mikroorganismy tím, že poškozuje jejich nukleovou kyselinu, čímž zabraňuje replikaci mikroorganismů. Mikroorganismus, který se nedá replikovat, nemůže infikovat hostitele. Když UV proniká viry, bakteriemi a prvoky, je energie absorbována deoxyribonukleovou kyselinou (DNA) a aribonukleovou kyselinou (RNA) v mikrobiu. DNA a RNA se poškozují, což vede k fotochemickému poškození. Tím je znemožněno kopírovat poškozené DNA nebo RNA během replikace. Tento proces skýtá mikroorganismy inaktivní. [43, 45]

4.1.5 Reaktivace mikroorganismů

Některé mikroorganismy mají schopnost opravit poškození jejich genomu, jež probíhá na světle (photorepair), nebo bez účasti viditelného světla (dark repair). Fotoreaktivace probíhá za účasti enzymů, reaktivace bez účasti viditelného světla za účasti bílkovin přítomných v mikroorganismu. Ve skutečnosti jsou však dávky UV aplikované v pitné vodě tak vysoké, že dochází k poškození mikrobiálního genomu, které je tak významné, že jeho reaktivační mechanismy jsou považovány za neškodné. [44, 46]

4.1.6 Dávka UV záření

Dávka UV je míra energie na jednotku plochy. Je součinem intenzity UV působící na mikroorganismus a časem expozice. Intenzita ultrafialového záření udává "množství" UV energie, která skutečně proniká přes ošetřovanou vodu. UV dávka je množství UV energie pronikající do vody, vynásobené množstvím času, kdy je voda vystavena této energii. Intenzita I se typicky udává v miliwattech na centimetr čtvereční ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$), nebo wattech na metr čtvereční ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$), čas t je udáván v sekundách (s). Energie fotonů E se vyjadřuje v joulech J . Převod jednotek je následující: $10 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 1 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2} = 1 \text{ mW} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-2} = 1000 \text{ } \mu\text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-2}$. Jednotkou dávky, která je výsledkem součinu intenzity a času expozice, jsou $\text{mW} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-2}$ nebo $\text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$, které jsou ekvivalentní milijoulu na centimetr čtvereční ($\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$) a joulu na metr čtvereční ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$). Dávku D lze vyjádřit následovně:

$$D = I \cdot t \cdot \mu\text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-2} \quad (4.1)$$

[43, 45, 47, 48, 49]

UV dávku poskytovanou reaktorem nelze jednoduše vypočítat vynásobením intenzity UV a teoretickým časem expozice. Pokud by v reaktoru docházelo k dokonalému mísení a všechny mikroorganismy by dostaly stejnou dávku UV, pak by tento reaktor byl ideálním, avšak tyto podmínky v UV reaktorech s kontinuálním prouděním obecně neexistují. UV dávka je ovlivněna mnohými faktory, jako je mikrobiální zastoupení, průtok vody reaktorem

a zákal vody. Také díky neideálním hydraulickým podmínkám jsou mikroorganismy vystaveny různým dávkám. Některé mikroorganismy se pohybují v blízkosti UV lamp a dostává se jim vyšších dávek než těm, co se pohybují v blízkosti stěn reaktoru. Proto je dávka UV v reaktoru snížena jako redukční ekvivalentní dávka (RED). Je to kalkulovaná dávka při jejím „průtoku“ v reaktoru založená na biodosimetrii (biodosimetrie je měření stupně inaktivace, test mikroorganismů se známým vztahem UV dávky a redukce). Dávky pro inaktivaci některých mikroorganismů jsou znázorněny v tabulce 4-1. [43, 45, 50]

Tab. 4- 1 Dávka UV v J.m⁻² při 254 nm pro 99,99% inaktivaci [49]

mikroorganismus	dávka UV
E. coli	280
rotavirus SA 11	340
cysty Giardia, Cryptosporidium	> 400
spory bakterií (o 3 log řády)	600
Salmonella	250
Poliovirus 1	290
HAV (hepatitis A virus)	160

Průnik UV záření upravovanou pitnou vodou je závislý na propustnosti upravované vody. Propustnost UV – UVT (UV transmittance) silně závisí na koncentraci a typu rozpuštěných a nerozpuštěných látek. Mezi látky silně absorbující, patří v zastoupení organických látek zejména huminové látky a organické barviva, z anorganických to je železo a kobalt. Nerozpuštěné látky mohou UV-záření odrážet, nebo částečně či úplně pohlcovat. UVT se měří spektrofotometrem ($T_{10} = 10^{-A}$; T_{10} = propustnost media na vzdálenost 10 mm; A = absorbance při 254 nm na vzdálenost 10 mm). [46]

4.1.7 Mikrobiální odezva na dávku UV

Odezva mikroorganismů na UV záření se vypočítá stanovením koncentrace mikroorganismů před a po expozici určité UV dávky. Využije se vzorec:

$$\text{Log inaktivace} = \log_{10} \frac{N_0}{N} \quad (4.2)$$

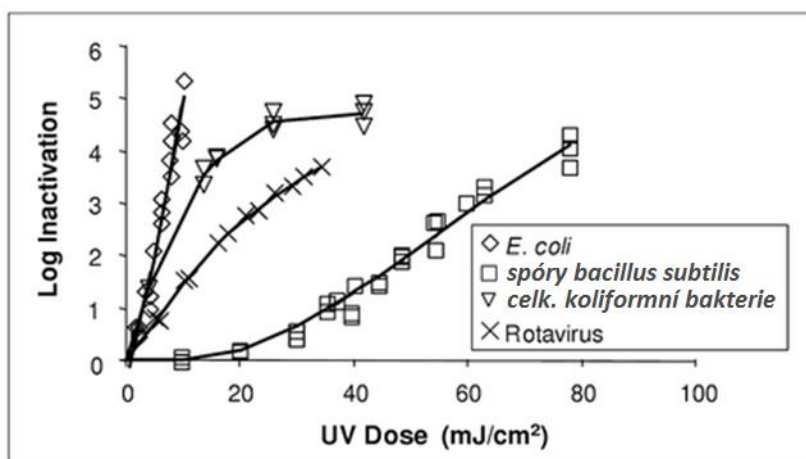
Kde:

N_0 = koncentrace mikroorganismů před expozicí UV záření

N = koncentrace mikroorganismů po expozici UV záření

Log – vyjadřuje stupně; (např. redukce mikroorganismů o 4 log stupně znamená redukce o 99,99 %).

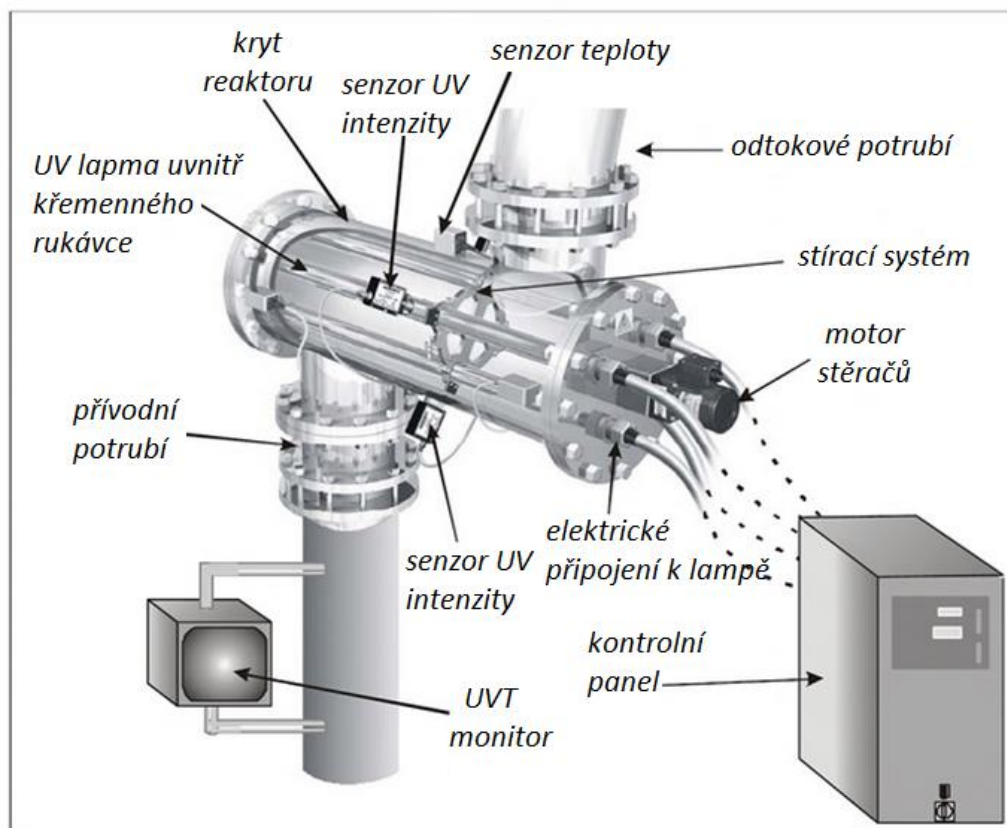
Vzájemné vztahy mikroorganismů k dávce UV záření jsou obvykle vyjádřeny jako podíl inaktivovaných mikroorganismů k dávce UV. Výsledkem je pak závislost dávky s pozitivním sklonem. Na obrázku 4.2 je příklad křivky závislosti na dávce UV.



Obr. 4. 2 Závislost log inaktivace na dávce UV záření [43]

4.1.8 UV reaktor

UV reaktory používané pro pitnou vodu se skládají z uzavřených kanálů obsahujících UV lampy, křemenné rukávy lamp, senzor UV intenzity, čistící systém, teplotní čidlo a elektrickou řídící skříň. UV lampy jsou uloženy uvnitř křemenných rukávů, které chrání a izolují svítidla. Některé UV systémy zahrnují automatické čistící mechanismy, které udržují rukávy bez ložisek, jež se vytvářejí kvůli kontaktu s vodou. Snímače intenzity UV záření, průtokoměry a v některých případech monitory propustnosti UV (UVT) slouží k monitorování dávky dodané reaktorem. Příklad UV reaktoru je znázorněn na obrázku 4.3.



Obr. 4. 3 Schéma UV reaktoru [45]

Reaktory jsou navrženy tak, aby optimalizovaly dávkování, a hydrodynamika reaktorů hraje důležitou roli v konstrukci. [43, 45]

4.1.9 UV lampy

Pro výrobu UV záření se nejčastěji využívají následující typy lamp:

- Nízkotlaké rtuťové výbojky – LP (low pressure)
- Nízkotlaké vysoce výkonné rtuťové výbojky – LPHO (low pressure high output)
- Střednětlaké rtuťové výbojky – MP (medium pressure).

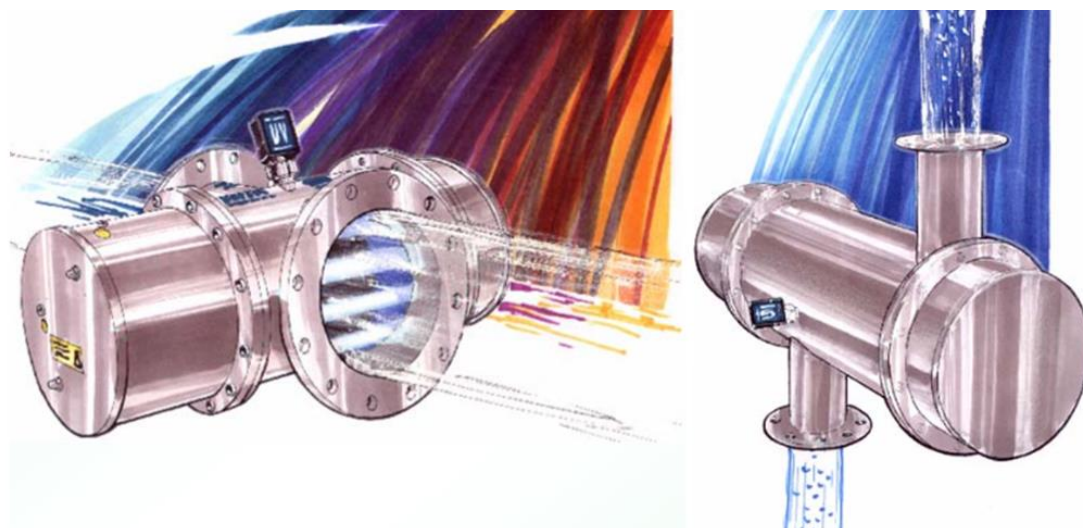
Tlak se přitom týká tlaku rtuti uvnitř lampy. Lampy LP a LPHO vydávají téměř monochromatický výstup při 254 nm, zatím co MP lampy vyzařují polychromatické spektrum včetně rozsahu germicidních vlnových délek 200 – 300 nm. MP lampy mají sice vyšší UV výstup na jednotku délky, než LP a LPHO, jsou ale mnohem méně účinné, jelikož většina radiace, kterou uvolňují, je mimo germicidní rozsah, který je klíčový pro dezinfekci. [66, 70]

UV lampy uvnitř reaktoru jsou uzavřeny v pouzdrech, typicky z vysoce čistého křemene, které zejména izolují elektrické komponenty od vody a pomáhají udržovat optimální provozní teplotu. [45]

V literatuře od doktora Jaroslava Kopeckého se objevuje nový typ UV lampy, který odstraňuje nedostatky dřívějších systémů UV. Jde o polychromatické střednětlaké bersonMultiwave UV lampy, které se liší od polychromatických střednětlakých UV lamp tím, že generují vyšší intenzitu UV záření. To umožňuje využití vyšší intenzity záření po kratší dobu kontaktu při stejné dávce UV záření. Tato kombinace intenzity a času vykazuje vyšší účinnost UV lamp při dezinfekci vody než alternativa nižší intenzity a delší doby kontaktu. [49]

Díky vysoké intenzitě MultiWave UV lamp s polychromatickým UV zářením (185 – 400 nm), poškozují nejen DNA a RNA, ale také enzymy při cca 280 nm a buněčné bílkoviny při cca 220 nm, čímž vylučují možnost reaktivace mikroorganismů. Tato možnost reaktivace mikroorganismů byla právě jednou z námitek hygieniků proti nahrazení dezinfekcí na bázi chloru UV zářením při úpravě pitné vody v ČR. [46]

UV zařízení se vyrábí v různých provedeních z hlediska orientace UV lamp k toku pitné vody. Klasicky jsou lampy orientovány ve směru toku vody, ale některé systémy, například bersonInLine mají UV lampy orientovány kolmo k toku vody. To vykazuje výhodu mnohem rovnoměrnějšího rozložení intenzity UV záření uvnitř reaktoru a spolu s výkonnými UV lampami typu MultiWave je takové UV zařízení mnohem účinnější a kompaktnější (vykazuje menší rozměry) než klasické UV systémy. Při takovém uspořádání může jedna lampa MultiWave nahradit až 12 nízkotlakých lamp. Uspořádání UV lamp je znázorněno na obrázku 4.4. [49]



Obr. 4. 4 InLine UV systém (vlevo, UV lampy kolmé k průtoku vody) a tradiční UV systém (vpravo, UV lampy souběžné s průtokem vody) [55]

Co se týče použití, tak pro nižší průtoky (cca do 5 l.s^{-1}), tam kde je stálý průtok a kvalita vody a nehrozí reaktivace mikroorganismů, jsou doporučovány nízkotlaké monochromatické UV lampy. Středotlaké polychromatické MultiWave UV lampy jsou doporučovány pro vyšší průtoky (cca $3 - 2800 \text{ l.s}^{-1}$), mění-li se průtok a kvalita upravované vody, je-li důležitá teplota a hrozí nebezpečí reaktivace mikroorganismů. [46, 51]

Intenzita UV záření se měří uvnitř UV reaktoru na pevném místě UV snímači. Světelné zdroje jsou napájeny elektromagnetickými nebo magnetickými předřadníky, které regulují elektrický výkon a řídí úroveň energie pro ovládání UV lamp. Během provozu lze předřadníky měnit výkon lampy z minimálního výkonu (cca 30 – 50 %) na 100% výkon, který umožňuje účinný provoz UV systému vzhledem k širokému rozsahu průtoků a hodnot UVT. Předřadníky jsou uloženy v elektrických skříních a k lampám jsou připojeny kabely. UV lampy jsou ukryty v křemenných pouzdrech, které chrání lampu před prasknutím, jejich průměr je typicky 2,5 – 10 cm. Pouzdra se mohou zlomit a poškodit a jejich propustnost se s přibývajícím věkem snižuje. Zlomy mohou nastat při vnitřním namáhání nebo působením vnějších mechanických sil. Například při uvíznutí stěrače, působením rezonančních vibrací, nebo při nesprávném zacházení. Pokud dojde ke zlomení při provozu, upravovaná voda pronikne do pouzdra, což způsobí, že je UV lampa ohrožena poškozením v důsledku teplotních rozdílů mezi lampou a vodou. Přetržení lampy je nežádoucí z důvodu možnosti uvolnění rtuti. Znečištění na vnějším povrchu je způsobeno reakcí sloučenin ve vodě s povrchem pouzdra lampy. Veškeré znečištění musí být odstraněno. [43, 45]

Pro čištění lamp a UV senzorů výrobci vyvinuli postupy, z nichž se využívají zejména tři obecné metody k odstranění znečištění:

- Chemické čištění mimo provoz, které spočívá v propláchnutí vnitřku vypuštěného UV reaktoru čistícím roztokem
- On-line mechanické čištění pomocí stěračů a kartáčů, které mechanicky odstraňují znečištění uvnitř reaktoru

- On-line chemicko-mechanické čištění pomocí límce naplněného čistícím roztokem, pro odstranění znečištění fyzickým kontaktem v kombinaci s chemickým čištěním.

Jako chemické roztoky se obvykle využívají kyselina fosforečná nebo kyselina citronová. [43, 45]

4.1.10 Další komponenty UV reaktoru

Senzor UV intenzity - jsou to fotosenzitivní detektory, které měří intenzitu UV záření v bodě uvnitř UV reaktoru. Senzory se používají k určení dávkování poskytnutím informací souvisejících s intenzitou UV záření v různých místech reaktoru. Měření reaguje na změny výstupu lampy v důsledku nastavení výkonu lampy, stárnutí lampy, stárnutí objímky lampy a znečištění pouzdra lampy.

Monitor UVT - UVT je důležitým parametrem pro stanovení účinnosti UV dezinfekce a pro úspěšnou UV dezinfekci je nutné sledovat přenos UV. Využívají se k tomu UVT monitory.

Teplotní čidlo – využívá se pro monitorování teploty vody. Voda proudící reaktorem neustále ochlazuje UV lampy a udržuje tak optimální provozní teplotu. Pokud však následkem poklesnutí hladiny vody v reaktoru dojde ke kontaktu se vzduchem, nebo voda přestane proudit, může dojít ke zvýšení teploty. Pokud je pak teplota vyšší než je doporučená provozní, reaktor se vypne, aby se minimalizovalo nebezpečí přehřátí. [43]

4.1.11 Vedlejší produkty UV dezinfekce

Za určitých podmínek může docházet k přeměně dusičnanů na dusitany, důležitým faktorem je tedy obsah dusičnanů, dále vlnová délka, dávka UV záření a pH vody. K přeměně dochází zejména v případě použití středotlakých UV lamp (zásadní obsah dusičnanů se zde pohybuje okolo 50 mg.l^{-1} , tato koncentrace pak odpovídá $72 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ dusitanů), proto je vhodné jako opatření použití trubic z křemenného skla, které blokuje vlnové délky pod 220 nm, neboť do této vlnové délky jsou dusičnany více citlivé. Významná tvorba dusitanů pak přichází v úvahu při vysokých dávkách UV záření ($<10000 \text{ J.m}^{-2}$).

Dále může docházet ke tvorbě formaldehydu, jež souvisí s obsahem huminových látek v povrchové nebo podzemní vodě. Huminové látky by však měla běžná úprava pitné vody eliminovat.

Potenciálním rizikem je také vznik mutagenních látek, avšak Amesovým testem (Amesův test slouží ke stanovení mutagenního potenciálu různých chemikálií) nebyly prokázány mutagenní fotoprodukty ani při dávce $10\,000 \text{ J.m}^{-2}$ (požadavek na dezinfekci je dle české legislativy 400 J.m^{-2}). [7, 51, 52, 53]

4.1.12 Související legislativa

Česká republika se řídí vyhláškou 409/2005 Sb. O hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody, kde § 14 – vodárenské technologie, uvádí v odstavci (3) „Pro úpravu vody lze použít technologické postupy“ dále pod bodem n) uvádí: „ozařování ultrafialovým zářením o vlnové délce 250 – 270 nm a minimální dávce

400 J.m⁻² v celém objemu vody s tím, že 85 % radiačního výkonu musí být při vlnové délce 253,7 nm (monochromatické nízkotlaké lampy), nebo o vlnové délce v rozmezí 200 – 400 nm a minimální dávce 400 J.m⁻² (polychromatické středotlaké lampy).“ [54]

UV zařízení musí být certifikována (validována) a ve světě se používají různé dokumentace k tomuto účelu. Jsou to:

- Spojené státy americké - US EPA: UV disinfection Guidance Manual, June 2003 (Manuál pro použití UV dezinfekce)
- Rakousko - ÖNORM: M 5873-1,2: Zařízení pro dezinfekci pitné vody ultrafialovým zářením (UV dávka 400 J.m⁻²)
- Německo – DVGW: W 294, od roku 2003 pro nová UV zařízení a od roku 2007 pro stávající UV zařízení (UV dávka 400 J.m⁻²)
- Holandsko – KIWA, většina ostatních zemí uznává DVGW a ÖNORM. [50, 55]

4.1.13 Výhody

- Dezinfekce UV zářením je fyzikálním procesem, nevznášejí se žádné chemikálie do vody a tím nevyžaduje ani dávkování chemikálií, jejich skladování a přítomnost obsluhy
- Velmi krátká reakční doba (v řádu sekund), není potřebná žádná reakční nádoba
- Nízké provozní náklady
- Nemění se původní složení vody
- Neovlivňuje organoleptické vlastnosti, jako je pach a chuť vody
- Nevznikají v porovnání s chemickými metodami dezinfekce žádné vedlejší produkty dezinfekce
- Účinek dezinfekce příliš nezávisí na chemismu a MultiWave UV lampy nejsou závislé na teplotě vody

4.1.14 Nevýhody

- Vysoké pořizovací náklady
- Potenciální vznik vedlejších produktů dezinfekce a riziko vzniku mutagenních látek
- Působení dezinfekce je pouze v místě ozáření (dezinfikovaná voda neobsahuje žádné chemické reziduum), není zajištěn trvalý účinek například ve vodovodním systému.

Kvůli inaktivaci mikroorganismů pouze v místě ozáření je velmi důležitá správná údržba sítě rozvodných řadů. Mezi nejzákladnější opatření se řadí udržování přetlaku v rozvodné síti, pravidelný proplach sítě (1 – 2x ročně), dezinfekce chlorem (1 – 2x za 2 roky), pravidelné čištění vodojemů a údržba sítě (rychlé odstraňování poruch na síti s následnou dezinfekcí). Pro zajištění vysoké kvality pitné vody je třeba také dodržovat nízkou teplotu dopravované vody (< 10 °C), průtok v síti (1 – 2 m.s⁻¹) a krátkou dobu zdržení v síti. [13, 46, 49, 51]

4.2 Ozon

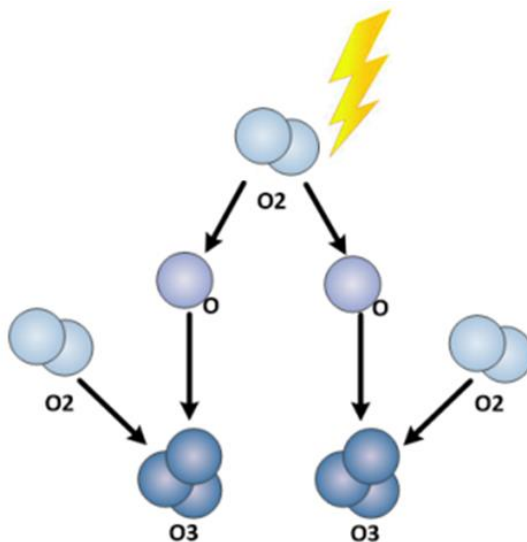
4.2.1 Historie ozonu

Ozón byl objeven v roce 1783, kdy Van Marum pozoroval jeho zápach při pokusech s elektrickými jiskrami, a pojmenoval ho až v roce 1840 Německo – švýcarský chemik Schönbein, který ho pokládal za nový prvek. V roce 1857 bylo vyrobeno první elektrické zařízení na výrobu ozónu. Ozón byl aplikován jako dezinfekční prostředek pitné vody nejprve v roce 1893 v Nizozemí. V roce 1906 byl ve Francii využit ozon jako proces úpravy a toto zařízení představuje nejstarší instalaci ozonizace v nepřetržitém provozu. Ve Spojených státech byl ozon poprvé použit pro kontrolu chuti a zápachu v New Yorku v roce 1906. V roce 1987 využívalo pět úpraven vody ve Spojených státech dezinfekci vody pomocí oxidace ozonem a to především pro chuť a regulaci zápachu, nebo odstranění THM prekuzorů. Od roku 1993 došlo k oživení zájmu o ozon jako dezinfekční prostředek. [4]

Na území České republiky se ozon pro dezinfekci pitné vody využil již na počátku první světové války, kdy se zde jako v tehdejším Rakousku – Uhersku zavedla první ozonizace vody z přehradní nádrže pro vodovod Most. [56]

4.2.2 Obecně o ozonu

Ozon je alotropickou modifikací kyslíku, jeho molekula je tvořena třemi atomy kyslíku (O_3). V přírodě se ozon přirozeně vyskytuje zejména v atmosféře, kde plní funkci UV filtru (chrání živé organismy na zemském povrchu proti pronikajícímu UV záření) a vzniká působením elektrického pole na kyslík (O_2). To se děje například při bouřce výboji a slunečním UV zářením. Tímto působením dochází k rozštěpení molekuly O_2 , kdy se následně některé volné atomy kyslíku seskupí do tříatomové molekuly O_3 . [57, 58]



Obr. 4. 5 Štěpení molekuly O_2 následkem elektrického výboje [59]

Za normálních podmínek je to plyn, výrazně nestálý, s charakteristickým zápachem, v silnější vrstvě namodralé barvy. Má silné oxidační účinky, při teplotě $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$ kondenzuje na kapalný, tmavě modrý ozon, a při $-193\text{ }^{\circ}\text{C}$ se tvoří červenofialový pevný ozon. Při teplotě

20 °C a tlaku 101.3 kPa je poločas rozpadu 45 minut a při teplotě 30 °C 20 minut. Ve vodě je jeho rozpustnost závislá na pH a teplotě vody. Je nebezpečný pro lidský organismus, jeho přípustná koncentrace v ovzduší je 0,1 ppm, a je cítit zhruba už od 0,05 ppm. Koncentrace 0,5 ppm způsobuje podráždění očí a dýchacích orgánů, při 10 ppm je po dlouhodobém působení smrtelný a 5000 ppm způsobuje téměř okamžitou smrt. Z této skutečnosti plynou velmi přísná opatření pro nakládání. [1, 4, 11, 60, 61, 62]

4.2.3 Využití ozonu

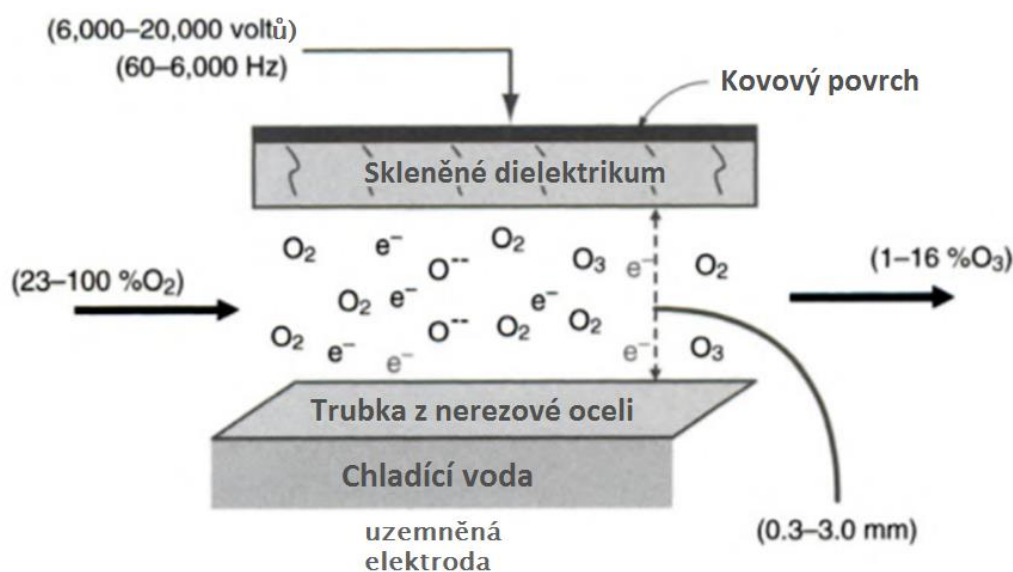
Ozon je silné oxidační činidlo, které se používá k primární dezinfekci a oxidaci. Baktericidní účinek je rychlý a obvykle vyžaduje dobu kontaktu mezi 4 – 10 minutami s dávkami 1 – 3 mg.l⁻¹. Je účinnější než chlór a mimo dezinfekci pitné vody se používá pro oxidaci organických sloučenin, jako je železo, mangan nebo sirovodík, oxidaci léčiv a přípravků osobní hygieny, barviv a sloučenin způsobujících zápach. Ozon má totiž dezodorační efekt, to znamená, že odstraňuje nežádoucí zápach a zlepšuje chuť. Používá se také pro zvýšené odstraňování organických sloučenin během koagulace, snižuje tvorbu vedlejších produktů chlorace a zlepšuje odstraňování částic během sedimentace a filtrace. [45, 63]

4.2.4 Výroba ozonu

Ozón je vysoce nestabilní, což zabraňuje jeho uložení nebo přepravě, a proto se musí vyrábět na místě, z proudu čistého suchého vzduchu, nebo kyslíku. Je vyráběn v ozonizátorech z kyslíku a energie, podle rovnice:



Proud vzduchu nebo kyslíku prochází mezi elektrodami, kde dochází k tichému elektrickému výboji při napětí 8000 až 20 000 V. Energie výboje štěpí část molekul kyslíku na atomární kyslík, který se dále slučuje s molekulou kyslíku a tvoří trojmocnou sloučeninu kyslíku O₃. Vysokonapěťový střídavý proud se přivádí mezi dvě elektrody oddělené dielektrickým materiálem a úzkou mezerou, přes kterou prochází plyn obsahující kyslík. Typická šířka mezery se pohybuje kolem 0,3 – 3 mm. Elektrické napájecí zdroje jsou nízkofrekvenční (50 – 60 Hz), v generátorech s přívodem vzduchu a středofrekvenční (350 – 6000 Hz) v generátorech s přívodem kyslíku (někdy též vzduchu). Tyto generátory mají menší vypouštěcí štěrbinu oproti nízkofrekvenčním, a tím je umožněna vyšší produkce ozonu. [1, 8, 45, 64, 65, 66]



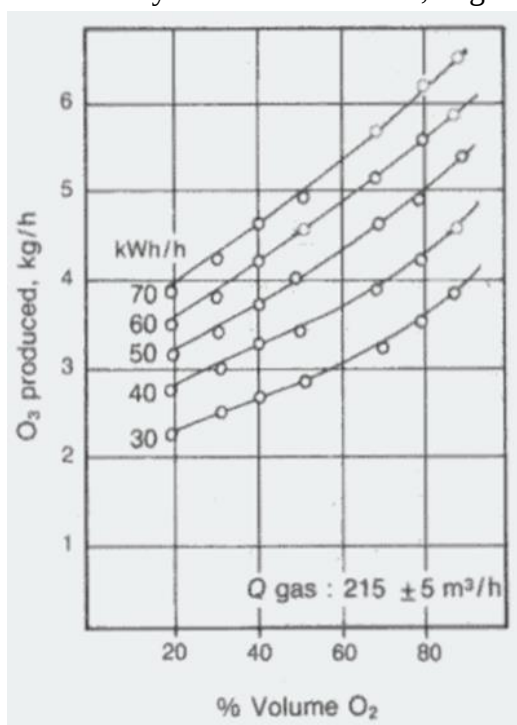
Obr. 4. 6 Popis komerčně dostupného generátoru ozonu s elektrickým výbojem [67]

Ozonizátory jsou deskového nebo trubkového typu (elektrody jsou soustředné trubice, nebo jsou uspořádány jako desky). V pouzdru trubkového generátoru je umístěno několik trubic z kovového materiálu (nerezové oceli), které jsou vnější elektrodou. V každé trubici je vložena skleněná trubice s pokovovanou vnitřní stěnou, která tvoří druhou elektrodu. Sklo působí jako dielektrikum. Napětí se přivádí na vnitřek skleněné trubice a Vnější kovová trubice je uzemněna. K tvorbě ozonu dochází v proudu vzduchu mezi těmito elektrodami. Typický generátor sestává z několika set až tisíc takových trubic, které jsou z vnější strany chlazeny proudícím médiem a jsou sestaveny ve velké nádobě. Generování ozonu je energeticky velmi náročné, jelikož zhruba 90 % příkonu energie se přemění na teplo a musí být odstraněno chlazením. U malých generátorů se může využívat vzduch, zatímco u velkých generátorů voda. [8, 45, 52, 64]

Požadavky na energii se pohybují okolo 13 až 22 kWh.kg⁻¹ O₃, který je generován ze vzduchu a zhruba polovina, pokud se generuje z kyslíku. Důležitým údajem je koncentrace ozonu v plynu, který vystupuje z generátoru a obvykle se uvádí v procentech. Typicky se tyto hodnoty pohybují kolem 1 – 2,5 % O₃ při generování ze vzduchu a 8 – 12 % O₃ z kyslíku (Z 1 m³ vzduchu, který obsahuje cca 300 g O₂, lze získat cca 5-10 g ozónu). Důležitými faktory ovlivňujícími tvorbu ozonu jsou vstupní koncentrace kyslíku, vlhkost a čistota přívodního plynu, teplota chladicí vody a elektrické parametry. Aby se minimalizovala spotřeba energie při vysokém výtěžku ozonu, je důležité, aby tyto faktory byly optimální. [1, 39, 64, 66, 67]

Chladicí voda by měla být nekorozivní, bez obsahu usazovatelných látek a její teplota by neměla příliš vzrůstat. Přiváděný vzduch do ozonizátoru musí být velmi suchý, aby se zabránilo znečištění a docílilo se co největší výnosnosti ozonu. Požadavkem je, aby měl vzduch rosný bod pod -62 °C. Toho se docílí tím, že vstupní vzduch nejprve projde sušičkou. Důležitá je také čistota vzduchu, nesmí obsahovat organické nečistoty a oleje (obsah uhlovodíků musí být menší jak 40 ppm), proto prochází přes 40 µm absolutní filtr. [45, 64]

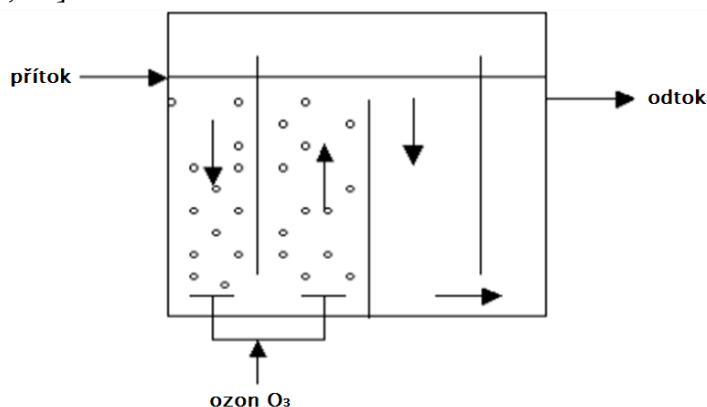
Ozon se vyrábí z kyslíku, takže se může vyrábět z okolního vzduchu (21 % kyslíku) nebo téměř čistého kyslíku (např. 95 %). Čistý kyslík může být generován z okolního vzduchu generátorem kyslíku. Koncentrace generovaného ozonu závisí mimo jiné na koncentraci kyslíku. Tato závislost je objasněna na obrázku 4.7, kde na vodorovné ose je koncentrace kyslíku a na svislé ose koncentrace ozonu. Různé linie ukazují ozonové generátory s různým využitím energie. Můžeme vidět, že při určité konstantní energetické náročnosti vzroste produkce ozonu při různé koncentraci kyslíku o zhruba 2 – 2,5 kg.h⁻¹.



Obr. 4. 7 Vliv koncentrace kyslíku na produkci ozonu při odlišném elektrickém proudu [64]

4.2.5 Přenos ozonu do vody

Míchání vzduchu obohaceného ozonem s vodou se nejčastěji provádí v injektorech nebo v tlakových mísičích, kdy pro větší objemy vody, jako při úpravě vody, je vhodnější druhý způsob. Kontaktní nádrží probublává ozon vodou, ten je aplikován rozprašovači pod tlakem. Výhodou tohoto systému je vysoká výnosnost ozonu, jednoduchá konstrukce a vhodnost pro velké objemy vody. [8, 64]



Obr. 4. 8 Kontaktní nádrž s probubláváním ozonu [64]

Důležitá je kontaktní doba ozonu s vodou. K tomu se využívají kontaktní nádrže, nebo k probublávání dochází rovnou v kontaktní nádrži, kde jsou umístěny vestavby, které prodlužují kontaktní dobu (viz obr. 4.8). Je třeba, aby byla zajištěna požadovaná doba kontaktu ozonu s vodou, která má být při teplotě 10 °C minimálně 10 minut, při teplotě 20 °C minimálně 5 minut. Ozon, který nebyl rozpuštěn, musí být rozložen termicky, nebo aktivním uhlím. [8, 66]

4.2.6 Chemie ozonu ve vodě

Ozon je velmi silný dezinfekční a oxidační prostředek, jež se ve vodě velmi rychle rozpadá za vzniku atomárního kyslíku, který se nadále slučuje na molekulární kyslík, nebo reaguje s přítomnými organickými anebo neorganickými látkami. Ozon má vysoký redoxní potenciál ($E^\circ = 2,07 \text{ V}$) a oxidace ozonem probíhá podle rovnice:



Současně probíhá reakce ozonu s vodou:



Reakční mechanismy jsou velmi složité a jsou ovlivněny mnohými faktory. [68, 69]

4.2.7 Rozpad ozonu

Poločas rozpadu ozonu ve vodě je mnohem kratší, než ve vzduchu a je ovlivněn zejména teplotou, pH vody a koncentrací rozpuštěných látek. Obecně se rychlost rozpadu zvyšuje s vyšší teplotou a vyšší hodnotou pH. Například poločas rozpadu v čisté destilované vodě, při teplotě 14,6 °C je přibližně 40 minut při pH 7,6 a zhruba 10 minut při pH 8,5. [39, 64]

4.2.8 Rozpustnost ozonu

Stupeň rozpustnosti ozónového plynu je závislý na koncentraci a na parciálním tlaku. Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím rozpustnost je teplota. Kromě teploty patří k hlavním faktorům ovlivňujícím rozpustnost ozonu také pH a koncentrace iontů. Souhrnně lze rozpustnost zvýšit:

- zvýšením koncentrace ozonu ve vzduchu (kyslíku)
- zvýšením tlaku vzduchu (kyslíku)
- Snížením teploty vody
- snížením množství rozpuštěných látek
- Snížením pH

Při koncentraci 10 g.m^{-3} ve vzduchu je jeho rozpustnost ve vodě při atmosférickém tlaku přibližně $3,33 \text{ mg.l}^{-1}$. [8, 64]

4.2.9 Mechanismus inaktivace mikroorganismů

V důsledku svého vysokého oxidačního potenciálu ozon oxidačně ničí buněčné složky bakteriální buněčné stěny. To je důsledkem penetrace buněčné stěny. Jakmile ozon pronikne

buňkou, oxiduje všechny základní složky (enzymy, proteiny, DNA, RNA). Když se v průběhu tohoto procesu poškodí celulární membrána, buňka se rozpadne. Tento mechanismus se nazývá lýza. [64]

4.2.10 Kinetika dezinfekce ozonem – CT faktor

Inaktivace mikroorganismů je závislá na CT faktoru, jež je součinem koncentrace dezinfekčního činidla (C) v jednotkách mg.l^{-1} a doby kontaktu (t) v minutách, potřebné k inaktivaci mikroorganismů. Výslednou jednotkou CT faktoru je tedy $\text{mg.l}^{-1}.\text{min}$. Byly provedeny výzkumy, ve kterých se zkoumaly různé hodnoty CT faktoru pro různé typy mikroorganismů, avšak tyto hodnoty se můžou v literaturách lišit. Hodnotu CT faktoru ovlivňuje zejména pak teplota vody, hodnota pH, sluneční záření, složení vody a konstrukce kontaktní nádrže. Hodnota CT je vždy spojena se snížením počtu log. [9, 64]

Pro dezinfekci ozonem doporučuje U. S. EPA při teplotě vody $< 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ dosažení maximální hodnoty CT $2,9\text{ mg.l}^{-1}.\text{min}$, kdy se tato hodnota CT pro teploty vyšší než $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ snižuje na $0,48\text{ mg.l}^{-1}.\text{min}$. Dosažení těchto hodnot garantuje inaktivaci mikroorganismů o 3 log (99,9 %), co se týče Giardia cyst a inaktivaci o více než 4 log (99,99 %) v případě virů. V tomto případě dochází k inaktivaci dalších mikroorganismů, jako např. E. Coli. Jednotlivé hodnoty CT jsou v závislosti na počtu log inaktivace a teplotě vody znázorněny v tabulce 4-2. [68, 70]

Tab. 4- 2 Závislost CT faktoru [70]

hodnota CT [$\text{mg.l}^{-1}.\text{min}$] pro inaktivaci ozonem						
log inaktivace	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]					
	< 1	5	10	15	20	25
0,5	0,48	0,32	0,23	0,16	0,12	0,08
1	0,97	0,63	0,48	0,32	0,24	0,16
2	1,9	1,3	0,95	0,63	0,48	0,32
3	2,9	1,9	1,4	0,95	0,72	0,48

4.2.1 Stanovení koncentrace ozonu ve vodě

Ke stanovení koncentrace lze použít celou řadu prostředků, od těch nejjednodušších, jako jsou papírkové testy, přes elektrochemická čidla až po fotometry a laserové přístroje. Aktuální koncentraci ozonu rozpuštěného ve vodě lze průběžně sledovat amperometricky. Nejčastěji se ke stanovení koncentrace ozonu ve vodě využívá fotometrická metoda založená na odbarvení roztoku indiga ozonem. Nejdůležitějším údajem o měřidlu je jeho rozsah a vzájemné ovlivňování s dalšími látkami. Spolehlivá měřidla koncentrace ozonu jsou velice nákladná. [66, 71]

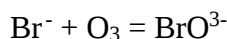
V České republice se dle vyhlášky 252/2004 Sb. stanovuje obsah ozonu ve vodě v případě jeho použití při úpravě vody. Jeho mezní hodnota je stanovena na $50\text{ }\mu\text{g.l}^{-1}\text{ O}_3$. [7]

4.2.2 Vedlejší produkty dezinfekce

Po aplikaci ozonu do vody probíhá spousta chemických reakcí, při nichž vznikají hydroxylové radikály, jež jsou považovány za nejsilnější složku oxidační směsi. Ozon sám

o sobě nevytváří vedlejší produkty dezinfekce, jako THM nebo HAA, ale pokud má být voda ve vodovodní síti zabezpečena proti rekontaminaci, je nutné vodu dochlorovat. To je běžný postup, avšak při vyšších dávkách chloru mohou vznikat i vyšší koncentrace trihalogenmethanů, než kdyby nebyla použita předozonizace. Ozonizačním štěpením makromolekulárních organických látek, může docházet ke tvorbě prekuzorů THM.

Při ozonizaci mohou vznikat také peroxidy, organické epoxidy a nebo formaldehyd. U vod obsahujících bromidové ionty se mohou tvořit bromované vedlejší produkty. Zásoby pitné vody však často obsahují vysoké koncentrace přirozeně se vyskytujících bromidů. Bromidy můžou oxidovat na bromičnany dle rovnice:



Vedle bromičnanů vznikají také bromnany (kyselina bromná - HBrO), které jsou meziproduktem oxidace bromidů na bromičnany. Ty mohou později reagovat s přírodními organickými látkami za vzniku bromoformu, kyseliny bromové nebo bromoacetonitrilu. Byly prokázány karcinogenní účinky bromičnanu, a proto je nutná jejich regulace. Jejich limit v pitné vodě stanovuje v České republice vyhláška 252/2006 Sb., podle které by se mělo usilovat, tam kde je to možné, o co nejnižší hodnoty bez snížení účinnosti dezinfekce. Limit je stanoven pro bromičnany (BrO) na $10 \mu\text{g.l}^{-1}$, jako nejvyšší mezní hodnota. [7, 25, 72]

4.2.3 Výhody

- Silné oxidační činidlo
- Vysoká baktericidní účinnost
- Zlepšení organoleptických vlastností, jako je pach a chuť
- Minimální tvorba vedlejších produktů dezinfekce

4.2.4 Nevýhody

- Výroba plynu na místě v ozonizátorech
- Vyšší provozní náklady
- Ozonizované vody jsou náchylnější k reaktivaci mikroorganismů
- Nevytváří reziduum

5 PROVOZOVÁNÍ BEZ DEZINFEKCE VODY

Historicky zavedení chemické dezinfekce pitné vody zabránilo v polovině 20. století výskytu přenosných chorob. Avšak dezinfekce vody na bázi chloru vnáší spoustu rizik. Těmi zásadními v této kapitole jsou pachové a chuťové problémy a vznik toxických vedlejších produktů dezinfekce. Jak budou tato rizika naplněna, záleží pak vedle řady jiných faktorů především na složení vody a dávce a místě oxidantu. Cílem provozovatelů je dodávat spotřebitelům kvalitní vodu splňující limity stanovené vyhláškou 252/2004 Sb. V současné době už víme, že lze použít k vyrobení mikrobiologicky nezávadné vody splňující limity výše zmíněné vyhlášky i jiné nástroje, než je dezinfekce vody na bázi chloru.

Státní zdravotní ústav (SZU) již řadu let propaguje distribuci a pokud možno i výrobu pitné vody bez použití chloru. Tato metoda je velmi rozšířena a oblíbená v řadě zemí, například v Nizozemí, Švýcarsku, Rakousku, nebo Německu. V České republice je však tento způsob provozování teprve v počátcích, i když již řadu let naše legislativa nevyžaduje již žádnou přítomnost chloru ve vodě. [24]

Předpokladem pro tento způsob provozování je uplatnění tzv. multibariérového přístupu, což znamená vytvoření systému tolika opatření (bariér) v průběhu dopravy vody od zdroje ke spotřebiteli, kolik existuje rizikových míst vstupu infekčních mikroorganismů do vody. První bariérou je důsledná ochrana vodního zdroje (surové vody) a to funkčním ochranným pásmem. Druhou bariérou je výběr takové technologie úpravy vody, která odpovídá kvalitě surové vody. Hlavními procesy je pak koagulace a filtrace, pokud ale upravená voda vyžaduje dezinfekci, lze využít i jiné metody než je dezinfekce na bázi chloru, a to například UV záření nebo mikrofiltraci. Třetí bariérou je poté ochrana vody před sekundární kontaminací při distribuci vody ke spotřebiteli. Důležité je udržování stálého přetlaku vody a ochrana voda při akumulaci v jednotlivých vodojemech. [39]

Cílem bezpečnostního chlorování vody po úpravě nebo v podobě následné dezinfekce v síti ze strany provozovatelů je usmrcení nežádoucích bakterií, které by mohly proniknout např. při prasknutí potrubí a poklesu tlaku a zamezení zvyšování počtu kolonií během distribuce vody. Avšak již dříve bylo prokázáno, že pokud by při poruše potrubí došlo ke vniknutí znečištěné vody, používaná koncentrace chloru v síti nemůže být účinná. Co se týče zvyšování počtu kolonií ve vodovodní síti během distribuce, tak patogenní mikroorganismy se množit nemohou, mohou pouze přežívat.

Kvalita vody ve vodovodní síti je významně ovlivněna procesy v biofilmu vytvořeného na vnitřních plochách sítě. Pokud je kvalita vody stabilní, poté je rovnováha mezi nárůstem bakterií v biofilmu, uvolňováním do vody a ukládáním bakterií z vody na povrchy. Rozhodující je stav biofilmu, který musí být stabilní a v takovém případě se bakterie uvolňují jen málo. Vývoj počtu kolonií je pak teplotními výkyvy v síti ovlivněn minimálně. Nejvíce ovlivní počty kolonií zbytková koncentrace dezinfekce, zejména pokud kolísá, nebo je-li prováděna dočasná dezinfekce chlorem nebo chlordioxidem. Příčinou toho je zvýšená aktivita bakterií v biofilmu a jejich následné uvolňování do vody. Při stabilních poměrech jako při provozování bez dezinfekčního prostředku, je úroveň počtu kolonií stabilní. Při biologické

stabilitě a potrubí vyrobeného z vhodných materiálů nepodporujících růst bakterií, nemá ani délka zdržení vody ve vodovodní síti významný vliv na pomnožování bakterií. [24]

5.1 Přechod na bezchlorovou distribuci pitné vody

V případě ukončení dezinfekce může v důsledku změny kvality vody docházet ke změnám v biofilmu a to důsledkem toho, že v částech vodovodní soustavy, v nichž se doposud nacházel ve vodě volný dezinfekční prostředek, dochází po ukončení chlorování k přebudování biofilmu. Následkem toho se mohou uvolňovat po dobu několika týdnů, než se utvoří stabilní biofilm, uvolňovat ve zvýšené míře bakterie. V některých případech se mohou vyskytnout i koliformní bakterie. Příčinou jsou technické problémy, například závady na vodojemech nebo ventilačních systémech, které byly v důsledku chlorování zastírány. V praxi bylo po odstranění těchto technických problémů možno dezinfekci vody ukončit.

Již v roce 2004 byla pracovníky TZW (technologické centrum vody) vypracována strategie ukončení chemické dezinfekce. Ta sestává z těchto kroků:

- Provedení vyhodnocení dat rozborů surové vody, vody z úpravny a vody ze sítě za poslední roky. Výsledky se prezentují příslušným zdravotním úřadům (v ČR krajské hygienické stanici) a následně se řeší další postup. Tímto se prověří, zda je možné chlorování vůbec ukončit.
- Před změnou režimu dezinfekce následuje dvouměsíční průzkumný program, kterým se zjistí skutečný stav vodovodní sítě. Stanoví se odběrná místa, prověří se mikrobiologická situace a vyšetří se tvorba biofilmu.
- V případě, že se neprojeví abnormality, změní se režim dezinfekce a to snižováním množství dezinfekce v krocích o 0,1 – 0,15 mg.l-1. Při tomto procesu je riziko výskytu zvýšeného množství kolonií v důsledku přebudování biofilmu nízké. Po celou dobu snižování dávek chloru je proces doprovázen dozorovým programem v délce nejméně dva měsíce.
- Po ukončení dezinfekce se po dobu nejméně dvou měsíců provádí dozorový program, a pokud se nevyskytnou žádné negativní jevy, lze předpokládat, že je možný trvalý provoz bez použití dezinfekčních prostředků. [24]

5.2 Provozování v ČR

V České republice již několik vodovodů dodává pitnou vodu bez chloru. Nejvýznamnějším provozovatelem je pak VaK Mladá Boleslav, a.s. která provozuje několik skupinových vodovodů bez použití chemické dezinfekce. Mezi hlavní patří skupinový vodovod Mladá Boleslav, který od roku 2013 zásobuje takto upravenou vodou cca 60 000 obyvatel. Přechod byl uskutečněn ve spolupráci s pracovníky SZU i TZW. [24]

6 PRAKTICKÁ ČÁST ÚPRAVNY

V této části práce se zaměřím na provozování úpraven vod a především na způsob hygienického zabezpečení vody. Vybrané ÚV, které budu následně popisovat, reprezentují jednotlivé způsoby dezinfekce vody, kterými jsem se zabývala.

6.1 Úpravna vody Lednice

- Využití chlórdioxidu

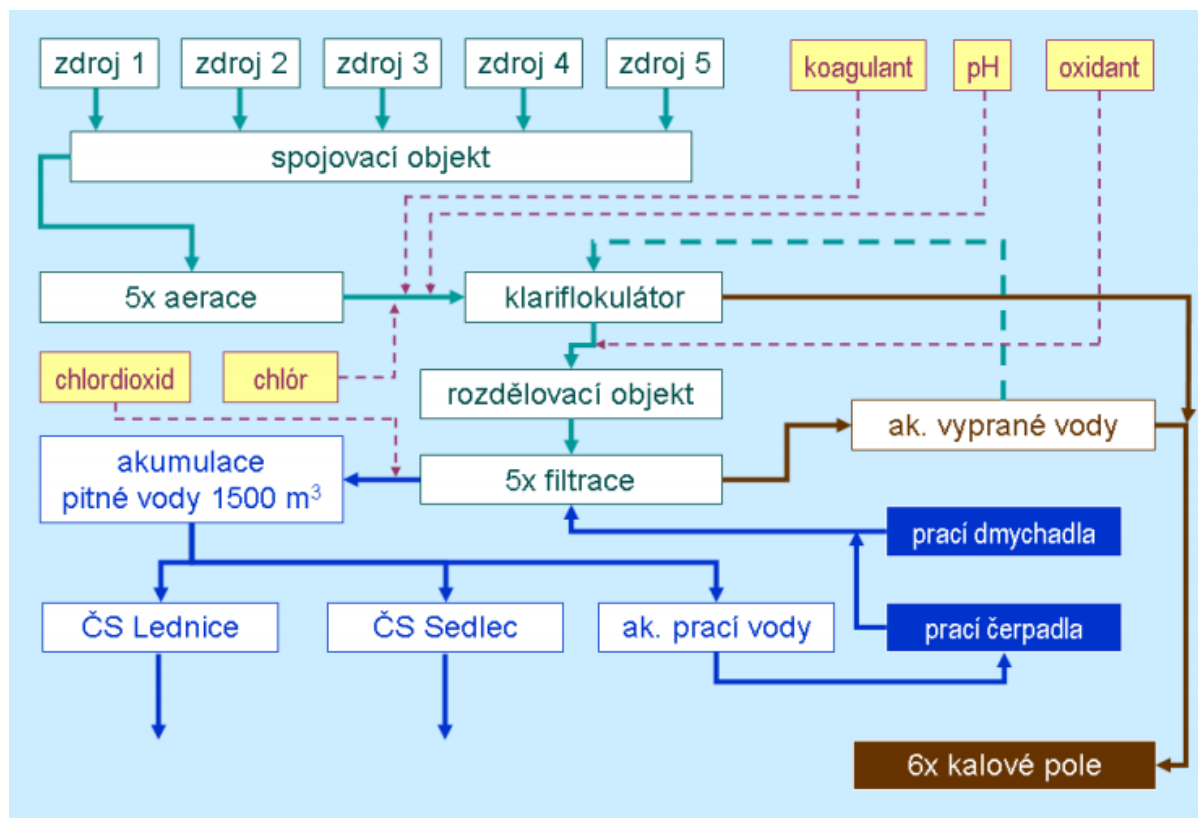
Úpravna vody v Lednici se nachází na jihu Jižní Moravy a je provozovaná společností Vodovody a kanalizace Břeclav, a.s., jež funguje od roku 1993 a zabývá se zejména provozováním vodovodů a kanalizací.

Zdrojem surové vody je voda podzemní, čerpána z 24 studní, které jsou rozmístěny v oblasti pěti pramenišť v oblasti řeky Dyje. ÚV je v provozu od roku 1962, a proto došlo v roce 2008 k rozsáhlé komplexní rekonstrukci jímacích objektů a chemicko - technologické i stavební části. Došlo také ke zkapacitnění a to ze 100 l.s^{-1} na 140 l.s^{-1} . Díky tomu může být pitnou vodou zde vyrobenou zásobovat 50 000 obyvatel v dalekém okolí obce Lednice.



Obr. 6. 1 Budova ÚV Lednice [zdroj: Simona Krupicová]

Z vrtů hlubokých kolem 12 m je voda dopravená do 3 sběrných studní, odkud putuje pomocí čerpací stanice na úpravnu vody. Každý týden se ze studní, odkud se voda čerpá, odebírají vzorky vody pro laboratorní rozbor. Jakostí spadá do kategorie A2 a je charakteristická vysokým obsahem manganu a železa. Úpravna je navržena se dvěma separačními stupni.



Obr. 6. 2 Technologické schéma úpravy vody po rekonstrukci [52]

První separační stupeň

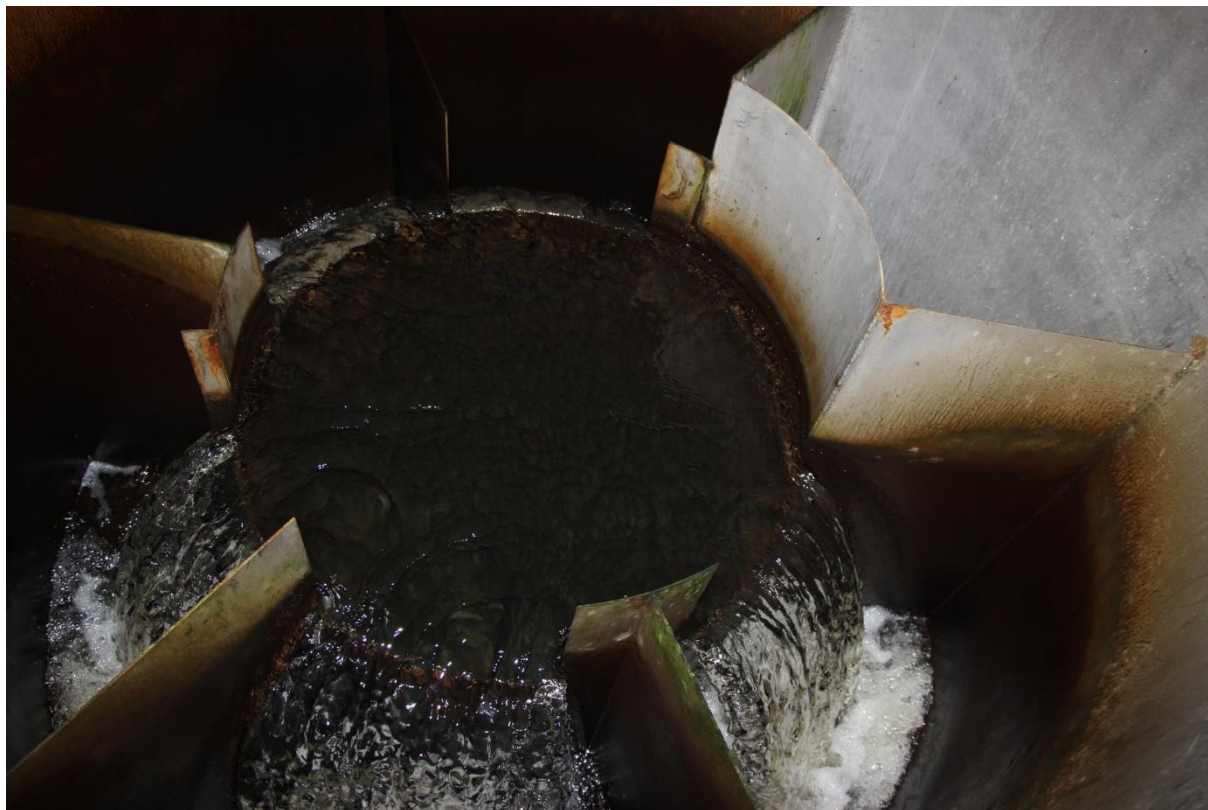
Oxidace manganu a železa probíhá na začátku technologické linky, kde projde voda nejprve aerací, po které je dávkován hydroxid sodný za účelem zvýšení pH vody z pH 7 na pH 7,5. Následuje 1. separační stupeň tvořen klarifikátorem (speciální usazovací nádrž). Zde dochází následkem nadávkování koagulantu, manganistanu draselného, k vyvločkování a následné separaci vloček. Zbytek vloček je separován pomocí druhého separačního stupně.



Obr. 6. 3 Klarifikátor – usazovací nádrž atypického provedení [zdroj: Simona Krupicová]

Druhý separační stupeň

Voda zde přichází přes rozdělovací objekt na 5 pískových filtrů, kde dochází k odseparování zbytku vloček a ostatních nečistot. Otevřené rychlofiltry obsahují 1,5 m pískové filtrační náplně a jejich praní probíhá po 24 hodinách v délce 45 minut.



Obr. 6. 4 Rozdělovací objekt [zdroj: Simona Krupicová]

Kalové hospodářství, akumulace

Kaly z usazovací nádrže a filtrů putují na kalové pole, jež jsou vyvážena třikrát ročně. Upravená voda z filtrů je čerpána do akumulační nádrže, tvořené ze dvou komor o objemu 750 m³, celkem tedy 1500 m³. Každá komora je čištěna pravidelně jednou ročně a voda je z ní vedena na čerpací stanici Lednice a Sedlec. Před nátokem do nádrží je dávkován oxid chloričitý pro hygienické zabezpečení.

Dezinfekce vody

Pro deaktivaci patogenních mikroorganismů se na úpravně vody využívá oxid chloričitý (chlordioxid), jež se vyrábí na místě z kyseliny chlorovodíkové (HCl) a chloritanu sodného (NaClO₂). Tyto chemikálie jsou skladovány ve zvláštních nádobách, každá o objemu 1500 l. Tato zásoba vystačí zhruba na 3 měsíce a doplňování chemikálií probíhá z cisterny, z které se čerpá do nádob. Tento proces musí být prováděn maximálně opatrně a v žádném případě nesmí dojít k záměně chemikálií. Výroba je prováděna pomocí výrobní jednotky chlordioxidu značky Siemens, dodané firmou F.T.W.O. Zlín, a.s. (obr. 6.6). V první fázi dochází ke smíchání kyseliny chlorovodíkové (30 – 38%) a chloritanu sodného (25%) a ve fázi druhé

se vzniklý roztok chlordioxidu, který obsahuje 15g.l^{-1} ClO_2 ředí vodou na koncentraci 2g.l^{-1} ClO_2



Obr. 6. 5 Skladovací nádrž NaClO_2 a dávkovací čerpadla, jedno provozní a druhé rezervní [zdroj: Simona Krupicová]



Obr. 6. 6 Výrobní jednotka chlordioxidu, provozní a rezervní [zdroj: Simona Krupicová]



Obr. 6. 7 Skladovací nádrž kyseliny chlorovodíkové, umístěné v samostatné místnosti [zdroj: Simona Krupicová]

Tento zředěný roztok chlordioxidu se do upravené vody dávkuje injektorem na nátoku do akumulace. Dávkuje se kolem $0,30 \text{ mg.l}^{-1}$ a v průběhu roku se dávky dle kvality vody mohou měnit v rozmezí od $0,05$ do $0,25 \text{ mg.l}^{-1}$. Ve vodovodní síti se koncentrace pohybuje kolem $0,25 \text{ mg.l}^{-1}$. Provoz dezinfekce je bez poruch, co se týče servisních zásahů, tak probíhá pravidelně na dávkovací čerpadla a přibližně dvakrát ročně pak servis výrobní jednotky. Všechny zařízení pro výrobu a dávkování dezinfekce jsou duplicitní, pro případnou odstávku, kdyby se vyskytla porucha. Všichni zaměstnanci, mohou obsluhovat používaná zařízení, avšak při práci musí používat ochranné pomůcky, jako štít, rukavice, ochrannou obuv a oděv a zároveň se musí pravidelně podrobit školení. Provozní rozbory vody probíhají pravidelně jednou týdně, a na jejich základě je patrné, že ve vodě nevznikají vedlejší produkty dezinfekce. Dusitany ve vodě nevznikají, obsah dusičnanů se pohybuje kolem 4 mg.l^{-1} a chloridy se pohybují kolem 67 mg.l^{-1} , jejich obsah se však po trase mění. Vzniklé chloritany nepřekračují limity dle vyhlášky. Hygienické zabezpečení pitné vody po trase je zabezpečeno dávkováním plynného chloru na 12 objektech (VDJ nebo ČS) skupinového vodovodu Lednice – Mikulov.

Dezinfekce před rekonstrukcí

Na úpravně vody byl dříve využíván plynný chlor, z něž se upustilo především kvůli bezpečnosti (při provozu se s chlorem musí mnohem častěji manipulovat, což přináší

mnohem větší riziko i pro zaměstnance). Přejít z plynného chloru na chlordioxid musel být bezpečný, a proto se přecházelo postupně a pod pečlivým dohledem. Chlordioxid působí na usazeniny ve vodovodní síti a jeho větší dávky mohly způsobit rozpuštění sedimentů a nepřípustný zákal pitné vody. Přejít tedy probíhal ve třech fázích, kdy se z počátku k dávkování plynného chloru přidávaly malé dávky chlordioxidu. V další fázi byl dávkován již samostatný chlordioxid v menších dávkách, kdy se velmi pečlivě sledovala kvalita vody ve vodovodní síti a. Současné se provádělo častěji odkalování vodovodní sítě, aby byl odstraněn případný zákal. Následně se dávka postupně zvyšovala až na doporučené hodnoty. [52]

6.2 Břeclavská úprava vody v Kančí oboře

- Využití chlordioxidu

Úprava vody Kančí obora zásobuje pitnou vodou město Břeclav a její městské části, obec Ladnou a město Podivín, celkem přibližně 30 000 obyvatel. Surová voda je odebírána z 28 vrtů ze dvou jímacích území, JÚ Charvátské a JÚ Hlohovské louky. Jímací území se nachází na okraji přírodního parku Niva Dyje. Toto území má velmi příznivé podmínky pro vznik, akumulaci a oběh podzemních vod. Hlavním zdrojem využitelných mělkých podzemních vod je množství vody infiltrující z koryt vodních zdrojů, zejména řeky Dyje.



Obr. 6. 8 Letecký snímek zrekonstruované úpravy vody v Kančí oboře [56]

Úprava byla uvedena do provozu počátkem 70. let s následnou rekonstrukcí a navýšením výkonu na cca 100 l.s⁻¹. Se zvyšováním počtu obyvatel, a s tím související narůstající potřebou pitné vody bylo nutné přistoupit k celkové rekonstrukci ÚV. Ta proběhla v letech 2014 – 2015, jejíž součástí byla modernizace stávající technologické linky a vystrojení úpravy vody. Nově byly vybudovány také výtlačné řady upravené vody do vodojemů Poštorná a Břeclav a modernizací prošla také laboratoř pro kontrolu kvality vyrobené vody.

Došlo k navýšení kapacitního průtoku na 140 l.s^{-1} , přičemž technologický postup úpravy vody zůstal zachovaný. Rekonstrukce probíhala za nepřetržitého provozu.

Surová voda je do úpravny vody přiváděna ze dvou pramenišť a dále je upravována směsná surová voda kategorie A2, charakteristická vysokým obsahem železa a manganu. Technologická linka ÚV je dvoustupňová. Přivedená voda prochází nejprve aerací, kde dochází k odvětrání nežádoucích plynů (CO_2) a částečné oxidaci (Fe), homogenizací, kde se dává vápenné mléko s následnou flokulací a sedimentací v podélných usazovacích nádržích s horizontálním průtokem.

Druhý separační stupeň je tvořen filtrací. Pískové filtry, jejichž filtrační vrstva sestává z 1,5 m křemičitého písku frakce 1 – 2 mm, v počtu 4 kusů, jsou postupně prány jednou denně po dobu 40 minut. Po filtraci je upravená voda přiváděna do akumulární nádrže.

Dezinfekce vody

Hygienické zabezpečení je prováděno chlordioxidem (ClO_2), který je dávkován injektorem na nátok do akumulace. Chlordioxid je vyráběn na místě z 32% kyseliny chlorovodíkové (HCl) a 25% chloritanu sodného (NaClO_2). Pro výrobu chlordioxidu je vyhrazena místnost, v níž je uskladněno $3,83 \text{ m}^3$ chloritanu sodného a stejné množství kyseliny chlorovodíkové. Obě chemikálie jsou uskladněné ve speciálních nádržích. Úpravna vody je vybavena zásobní nádrží o objemu $3,2 \text{ m}^3$ a provozní nádrží objemu $0,63 \text{ m}^3$, zvláště pro obě chemikálie. Ze zásobní nádrže, která se pravidelně doplňuje z cisterny, se postupně přečerpává do nádrže provozní.



Obr. 6. 9 Nádrže kyseliny chlorovodíkové (v popředí) a chloritanu sodného (v pozadí). [zdroj: Simona Krupicová]



Obr. 6. 10 Dávkování chlordioxidu do upravené vody na nátok do akumulace [zdroj: Simona Krupicová]

Chlordioxid je vyráběn zařízením od firmy ProMinen. Chlordioxid se vyrábí jako vodný roztok přímo na místě použití. Pro přímé dávkování do vody jsou nejvhodnější 5% vodné roztoky. Dávkuje se dle průtoku vody $0,25 \text{ mg.l}^{-1}$. Při zacházení se všemi chemickými látkami jako i dezinfekcí musí pracovníci dodržovat bezpečnostní pokyny a využívat ochranné pracovní pomůcky. Proškoleni je 8 zaměstnanců, kteří mají k chemikáliím přístup. Provozování je bez zvláštních servisních zásahů, ty se týkají pouze jednou ročně dávkovacího čerpadla.



Obr. 6. 11 Jedno ze dvou zařízení pro výrobu chlordioxidu (na ÚV je provozní a rezervní zařízení)
[zdroj: Simona Krupicová]

Před rekonstrukcí úpravny vody se zde využíval k hygienickému zabezpečení plynňý chlor. Z toho se upustilo zejména z bezpečnostního důvodu, kvůli riziku při skladování a manipulaci s tlakovými lahvemi obsahujícími toxický plyn. V tomto ohledu je použití chlordioxidu výhodnější.

Z plynňého chloru se však muselo přecházet na chlordioxid postupně, jelikož chlordioxid uvolňuje vzniklé inkrusty v rozvodné síti a ve vodě se může objevit zákal. Proto byl přechod na chlordioxid velmi pozvolný. K plynňému chloru se zpočátku začalo dávkovat malé množství chlordioxidu a postupně se dávky zvyšovaly. Nakonec se plynňý chlor vypustil a dávky chlordioxidu se upravily tak, aby koncentrace v síti odpovídaly normám. Vše probíhalo pod neustálým dohledem a po celou dobu bylo prováděno častější odkalování vodovodní sítě, aby se předešlo případnému zhoršení organoleptických vlastností vody. Obsah chloridů se v upravené vodě pohybuje kolem 60 mg.l^{-1} a množství vzniklých chloritanů nepřekračuje limity dle vyhlášky 252/2004 Sb. Ve vodě v současné době nevznikají žádné vedlejší produkty dezinfekce.

6.3 Úpravna vody Ivančice

- Použití plynného chloru

Tato úpravna vody, nacházející se asi 30 km jihozápadně od Brna, zásobuje obce skupinovým vodovodem Ivančice - Rosice a spadá do divize Brno – venkov, která funguje od roku 1993. Provozovatelem je VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s., která patří v České republice k největším provozovatelům vodovodů a kanalizací, se vznikem roku 1993.



Obr. 6. 12 Mapa divize Brno – venkov [68]



Obr. 6. 13 Obr. 6.13 ÚV Ivančice [73]

Rekonstrukce ÚV

Úpravna prošla v roce 2013 rozsáhlou rekonstrukcí, kdy hlavním důvodem bylo zkapacitnění vodních zdrojů a zlepšení kvality upravené vody. Před samotnou rekonstrukcí byla dodávána pitná voda z devíti zdrojů podzemní vody, kdy mezi nejvydatnější zdroje patřily Ivančice, Moravské Bránice, Tetčice a Rosice u Brna. Skupinový vodovod v této době zásoboval cca 30 000 obyvatel. Postupně však díky rozvíjející se výstavbě požadavky na množství dodávané vody rostly. Původní výkon úpravní vody byl 25 l.s^{-1} .

Nově byl vybudován odběrný objekt na břehu řeky Jihlavy a objekty řízené a přirozené infiltrace (otevřené pískové filtry). Zrekonstruovány byly současně i stávající budovy úpravní, do kterých bylo osazeno nové technologické vybavení. Vzhledem k rozsahu rekonstrukce, probíhaly veškeré práce při odstávce ÚV.

V současné době je možné na ÚV Ivančice upravovat surovou vodu z původních zdrojů podzemní vody a nově i vodu povrchovou z řeky Jihlavy. Hlavní zdroje vody jsou:

- 5 stávajících podzemních zdrojů (vrty a studny) HV3, HV7, HV101, S VII a ST1 s celkovou vydatností 20 l.s^{-1} ,
- Povrchová voda z řeky Jihlavy s maximálním odběrem 40 l.s^{-1} protékající přes řízenou (20 l.s^{-1}) a neřízenou (20 l.s^{-1}) infiltraci.

Podzemní zdroje jsou umístěny v areálu ÚV, kdy z vrtů a studní je voda nasávána do sběrné studny. Voda z povrchového zdroje je čerpána do úpravní na předúpravu na 4 pískové rychlofiltry, odkud je gravitačně vedena na objekty infiltrace, kdy se upřednostňuje řízená infiltrace. Odtud je voda vedena opět do sběrné studny, ve které je osazeno 7 násosek a 2 výtlačná potrubí s ponornými čerpadly. Primárně se čerpá voda z podzemních zdrojů, kdy voda z řeky Jihlavy se využívá zejména jako rezervní zdroj, v případě nízkých stavů podzemní vody. Z centrální sběrné studny je voda čerpána na vlastní úpravu vody.

Úprava vody

Voda přitékající na úpravnu je vedena na dvě dvoustupňové technologické linky, které jsou shodné a mají gravitační průtok vody. Každá linka je tvořena provzdušňovacím reaktorem, dvěma čističi a dvěma pískovými rychlofiltry.

První separační stupeň:

Do provzdušňovacího reaktoru je dávkován hydroxid sodný pro korekci pH (alkalizaci) a jako koagulát síran železitý, který zajišťuje shlukování částic obsažených ve vodě. Voda z provzdušňovacích reaktorů přitéká na čističe, které jsou vybavené pulzačními pádly, které udržují vločkový mrak ve vznosu. Kal přepadá kalovými štěrbinami do kalových nádrží. Kal je odkalován periodicky bez přerušení provozu. Z hladiny flokulačně-separační nádrže a dvou kalových nádrží je voda rovnoměrně odebírána odběrnými žlaby s přelivnými hranami. Pohon mechanického pádla zajišťuje elektromotor s převodovkou a frekvenčním měničem. Maximální výkon jednoho čističe je 15 l.s^{-1} , tudíž 60 l.s^{-1} při plném provozu.

Druhý separační stupeň:

Z čističů je voda přiváděna na čtyři evropské rychlofiltry, kde dochází k odstranění sloučenin železa a manganu. Filtry jsou vybaveny filtračním mezidnem se scezovacími hlavicemi, rozvodným žlabem s průlinovým dnem, rovnou přelivovou hranou a deflektorem. Náplň tvoří filtrační písek FP2 o výšce 1m.

Třetí separační stupeň:

Jako třetí stupeň separace slouží na ÚV dodatečně instalované tlakové filtry s granulovaným aktivním uhlím. Čtyři tlakové GAU filtry jsou umístěny v blízkosti hlavní provozní budovy a byly instalovány kvůli výskytu TOC (celkový organický uhlík).



Obr. 6. 14 Čtyři GAU filtry instalované na ÚV [zdroj: Simona Krupicová]

Hygienické zabezpečení vody

K dezinfekci vody se na úpravně využívá plyný chlor. Ten je na úpravně vody uchováván v tlakových lahvích, z nichž dvě jsou uloženy v samostatném skladu chemikálií a dvě napojeny na chlorátor. Plyný chlor je odebírán vždy z jedné lahve, která vystačí zhruba na 2 měsíce. Dávkování probíhá pomocí chlorátoru a dávka chloru je určována analyzátozem a v průběhu roku se nemění. Dávkuje se kolem $0,25 \text{ mg.l}^{-1}$ a to v závislosti na aktuálním průtoku vody. Dávkuje se do upravované vody v přívodním potrubí do akumulace a to pomocí injektoru.



Obr. 6. 15 Dezinfekce chlorem, napojení tlakových lahví [zdroj: Simona Krupicová]

Mezi servisní zásahy patří pouze pravidelné servisy chlorátoru, které probíhají každého půl roku. S plynným chlorem operují na pracovišti celkem 4 zaměstnanci, kteří jsou povinni využívat při manipulaci ochranné pomůcky. Těmi jsou maska s filtrem, rukavice, ochranné oděvy a obuv a v místnosti, kde je uložen plynný chlor, je využíván detektor pro jeho únik do ovzduší.

Hygienické zabezpečení po trase

Vzhledem ke krátkodobému účinku některých dezinfekčních činidel, jako je tomu u použití plynného chloru, musí být dezinfekce do vody aplikována i v některých místech po trase, zejména u delších vodovodních sítí. Příkladem je tomu vodojem Alexandrovce, kam přitéká voda z úpravny v Ivančicích a kde dochází k dávkování chlornanu sodného (NaClO).



Obr. 6. 16 Vodojem Alexandrovce [zdroj: Simona Krupicová]

Vodojem o objemu 100 m^3 leží nedaleko Ivančic a slouží k zásobě pitnou vodou jedné z několika městských částí. Chlornan sodný se zde dávkuje z 50l galonu, který obsahuje již naředěnou chemikálii destilovanou vodou v poměru 1:3 (jeden díl chlornanu sodného, tři díly destilované vody). Ředění zajišťují pracovníci úpravní a do vody se magnetickým membránovým dávkovacím čerpadlem dopravuje $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$ chlornanu sodného. Galony se uchovávají v počtu 3 kusů na úpravně vody v Ivančicích a z úpravní se pak jednotlivé galony dováží do vodojemu. Spotřeba je kolem 1 galonu chlornanu měsíčně, v závislosti na spotřebě vody.



Obr. 6. 17 Napojení 50l galonu NaClO na membránové dávkovací čerpadlo [zdroj: Simona Krupicová]

6.4 Skupinový vodovod Říčky

Obec Mokrý – Horákov, kde se nachází vodojem pro zásobování skupinového vodovodu Říčky pitnou vodou, leží asi 10 km severovýchodně od Brna. Provozovatelem je VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s. Upravovaná voda je čerpána z pěti vrtů, které se nachází na okraji Brna v oblasti Mariánského údolí. Dva vrty o hloubce 400 m, jeden vrt o hloubce 200 m a dva vrty hluboké 60 m, zajišťují dodávku vody pro zhruba 12 000 obyvatel. Zásobuje se několik obcí, od Viničných Šumic, přes Tvarožnou a Velatice, včetně obce Mokrý - Horákov. Nejhlubší artézské vrty jsou původní z roku 1964, odkud se začala čerpat voda o čtyři roky později. Voda je čerpána zhruba z hloubky 50 m a svou kvalitou spadá do kategorie A1. Krasová podzemní voda je čerpána zrekonstruovanými přivaděči přes přerušovací vodojem Myslivna dále samospádem do vodojemu v obci Mokrý – Horákov.



Obr. 6. 18 Vodojem Mokrá – Horákov [zdroj: Simona Krupicová]

Dezinfekce vody

Upravovaná voda je vyhovující kvality a proto je pouze hygienicky zabezpečena dezinfekcí. Ta je prováděna chlornanem sodným z 200l barelu, odkud je čerpán čerpadlem a injektorem vstřikován do nátoky do akumulace. Akumulační komory jsou dvě, každá o objemu 1000 m³. Potřebnou dávku vyhodnocuje analyzátor, který měří koncentraci dezinfekce na odtoku z akumulacích nádrží. Aplikovaná dávka chlornanu sodného se pohybuje kolem 0,15 mg.l⁻¹, nepřekračuje se pak dávka 0,20 mg.l⁻¹. Dezinfikovaná voda nemění svou kvalitu během roku a kvalita upravené vody je pak pravidelně každý měsíc kontrolována rozbory.



Obr. 6. 19 Napojení NaClO na dávkovač a dávkování do vody pomocí injektoru [zdroj: Simona Krupicová]

Množství 200 l chlornanu sodného vystačí zhruba na 5 měsíců a je dovážen ze skladu s chemikáliemi, který se nachází mimo území vodojemu. S dezinfekcí operují 2 zaměstnanci, kteří jsou proškoleni a při manipulaci využívají ochranné pomůcky, a to štít, rukavice, zástěru a gumáky. Servisní zásahy nejsou potřebné, pravidelně se však servisuje čerpadlo na dávkování chemikálie, které je nahrazeno druhým čerpadlem, rezervním. S provozem nejsou spojeny žádné potíže a následkem dezinfekce nevznikají ve vodě žádné vedlejší produkty.



Obr. 6. 20 Měření množství volného chloru ve vodě [zdroj: Simona Krupicová]

Rekonstrukce

V roce 2015 byla dokončena rozsáhlá rekonstrukce vodovodních přívaděčů a vodojemů, jež probíhala zejména z důvodu nedostatku pitné vody. Došlo ke zkapacitnění vodních zdrojů a celkově k modernizaci vodárenských objektů. Před touto rekonstrukcí se na zkoušku začal pro dezinfekci využívat místo chlornanu sodného plynný chlor. Ten se však neosvědčil a vrátilo se zpět k dávkování chlornanu sodného. Při použití plynného chloru na tomto místě vznikala problém s tím, že odběr vody nebyl tak vysoký a láhev chloru byla na místě dlouhou dobu, než se chlor spotřeboval. Z důvodu bezpečnosti (zejména riziko úniku) se z dezinfekce plynným chlorem nakonec ustoupilo.

6.5 Úpravna vody Mostiště

Úpravna se nachází 60 km severozápadně od Brna nedaleko Velkého Meziříčí a je provozovaná Vodárenskou akciovou společností. ÚV je v provozu od roku 1964 a maximální výkon byl 110 l.s^{-1} upravené vody. V roce 2005 se kvůli havárii na hrázi vodní nádrže, odkud je voda přiváděna, snížila hladina vody a bylo nutné provést tzv. havarijní opatření v podobě instalace technologie flotace (místo původní usazovací nádrže). Rozsáhlá rekonstrukce proběhla v letech 2012 - 2014, kdy byla doplněna a zmodernizována celá technologická linka, zrekonstruován celý objekt úpravy a výtlačný řad do VDJ Vídeň. Maximální výkon ÚV byl zvýšen na 200 l.s^{-1} upravené vody a v současné době upravuje vodu pro zhruba 80 000 obyvatel a je tedy významným vodárenským objektem.



Obr. 6. 21 Úpravna vody Mostiště [74]

Surová voda je jímána z vodárenské nádrže Mostiště ve třech stupních. Ty se nachází v 9 m, 14,4 m a 19,4 m nade dnem nádrže. Převážně se jímá voda z prostředního stupně, na přelomu léta s podzimem a zimy s jarem se jímá voda ze spodního stupně, kvůli výskytu sinic. Spodní stupeň se jinak nevyužívá, protože u dna je vysoký obsah manganu a železa.



Obr. 6. 22 Vodní nádrž Mostiště [75]

Vodní zdroj má tři velké nevýhody. Nádrž je mělká, její maximální hloubka v místě odběrného místa je kolem 30 m, a její objem je $11\,000\,000 \text{ m}^3$, což není ideální pro odběr

surové vody. V oblasti kolem přehrady se nachází málo lesního porostu a v lokalitě je časté zemědělství. Vzhledem k tomu, že se v současnosti využívá velké množství pesticidů a mezi nejčastěji pěstovanou plodinu patří řepka olejná a kukuřice, dochází v období dešťů ke splavení pesticidů do vodní nádrže. Kvůli odběru vody pro účely úpravy vody na vodu pitnou, je sledováno vzhledem k okolnostem několik desítek metabolitů pesticidů. Mezi další nevýhodu vodního zdroje patří také to, že v oblasti je zásobována spousta vesnic bez odkanalizování a odpadní voda teče do nádrže. Posledním úskalím je skutečnost, že nad nádrží se nachází soustava rybníků, která má větší objem vody, než je objem nádrže. Při vypuštění rybníku, a to na podzim, přiteče voda z rybníku do nádrže a stávající voda zcela změní svůj charakter. Teplota vody v průběhu roku je velmi kolísavá. V zimním období je teplota kolem 0,5 °C a v letních měsících dosahuje až ke 20 °C. Kvalita vody v průběhu roku je tedy velmi proměnlivá a veškeré procesy na úpravě vody se těmito okolnostem musí přizpůsobit. Jakostí spadá vodní zdroj do kategorie A3.

Na přítoku surové vody do úpravní vody se měří a reguluje průtok a dále se sleduje zákal, ÚVT absorbance, teplota, pH vody a obsah O₂. Surová voda je na ÚV přiváděna řadem DN 600. Na potrubí surové vody je osazena aerace a dále je do surové vody na úpravě možné dávkovat oxid uhličitý, vápenný hydrát ve formě vápenné vody a manganistan draselný. Nadávkovaná surová voda je vedena do reakční nádrže s dobou zdržení 20 minut, kde je oxidován mangan do nerozpustné formy.

Dále se dává koagulant, síran železitý a následným procesem úpravy je flotace se dvěma stupni (pomalé a rychlé míchání), kde dochází k provzdušňování a tvoření vloček. Tyto vločky jsou vyneseny na povrch hladiny, kde jsou shrabovány a zespodu je odebírána vyčištěná voda. Účinnost tohoto procesu je vysoká, 90 % nerozpuštěných látek je odseparováno.

Oproti původnímu provedení, kde byla využívána sedimentace, je tato metoda velmi úsporná. Není tolik náročná na prostor a z technologického hlediska je tento způsob účinnější v případě výskytu sinic. Sinice mají tendenci se držet na hladině vody, odkud je voda odebírána v případě sedimentace. U flotace se sinice zachytí do vrstvy kalu na hladině a vzhledem k odběru vody ode dna, se sinice nedostávají nadále do upravované vody. Kal u současné metody je mnohem více koncentrovaný.

Druhý separační stupeň je tvořen filtrací, a to přes dvouvrstvý filtr tvořený 80 cm křemenného písku a 60 cm antracitu. Původní jen křemenný písek, který se zpočátku ve filtrech využíval, nebyl vhodný z důvodu zavzdušňování. Byl velmi rychle ucpán, protože nejmenší frakce se seskupila a filtr ucpala.

Z filtrů je voda dopravována do kontaktní nádrže, kde je aplikován ozon. Ten je zde dávkován jako silné oxidační činidlo, jež oxiduje organické i anorganické látky ve vodě, především dusitany. K výrobě ozonu se používá kapalný kyslík, který je na úpravu vody dovážen. Přebytný ozon prochází přes destruktor ozonu, ten je ale dávkován tak, aby žádný zbytkový ozon nezůstal. Následně je voda přivedena na 4 GAU filtry. Výška náplně filtru je 1,4 m a kromě zlepšení organoleptických vlastností, jako jsou pachy a chuť, především odstraňuje pesticidy, které se ve vodě vyskytují v hojném množství. Absorbuje také

rozpuštěné organické znečištění. Životnost náplně se uvažuje kolem 4 – 6 let, poté je GAU možno reaktivovat.



Obr. 6. 23 Výrobní jednotka ozonu a nádrž na kapalný kyslík [zdroj: Simona Krupicová]

Hygienické zabezpečení vody

Pro dezinfekci upravené vody se na úpravně využívá UV záření. Jednotka UV záření je instalována na odtokovém potrubí z GAU filtrů. Osazen je jeden generátor, který obsahuje 10 nízkotlakých UV lamp. Součástí je automatický stírací čistící systém, senzor UV intenzity, teplotní čidlo a průtokoměr. Intenzita UV lamp je nastavena dle zkušeností z provozu během dvou let.

Dodavatelem tohoto zařízení je firma DISA v.o.s. a zařízení je kalibrované podle ÖNORM. Instalovány jsou také měřiče UVT a měřiče částic a tyto hodnoty dosahují výborných hodnot. Dávka UV se nemění v závislosti na průtoku a vykazuje 1170 l.m^{-2} (dle ČSN 400 J.m^{-2}), je tedy mnohonásobně překročena a inaktivace mikroorganismů je tedy spolehlivá.



Obr. 6. 24 Instalovaný UV reaktor [zdroj: Simona Krupicová]

Servisní zásahy jsou pravidelné a souvisí s rámcovou smlouvou od dodavatele UV zařízení. Pravidelně probíhá každého půl roku kalibrace měřících zařízení a kontrola, jednou ročně pak probíhá chemické čištění UV reaktoru a UV lamp kyselinou fosforečnou. Čištění je víceméně preventivní, protože voda nezanechává na UV lampách žádné povlaky. V případě potřeby jiných zásahů, například pro výměnu poškozené UV lampy, je k dispozici smluvený servisní technik. Zaručená životnost UV lamp jsou dva roky.

Po dezinfekci UV zářením je na odtoku do akumulace dávkován vápenný hydrát ve formě vápenné vody a oxid uhličitý. Tímto se zvýší pH vody a omezí se její agresivní účinky na vodovodní potrubí. Měkká voda může narušovat železné nebo litinové potrubní systémy a uvolňovat železo do pitné vody, což je nežádoucí.

Vzhledem k tomu, že hygienické zabezpečení pomocí UV záření je pouze v místě aplikace, je potřeba zaručit hygienickou nezávadnost vody až k odběrateli. K tomu na ÚV slouží aplikace síranu amonného, plynného chloru a oxidu chloričitého ještě před nátokem do akumulace. Po trase vodovodu je pak na jistých místech aplikován chlornan sodný.

Chlor je uchováván v sudech o objemu 600 kg v počtu 3 kusů, přičemž na chlorátor je napojený jeden provozní a jeden záložní sud. Dávka se pohybuje standardně kolem $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ a maximální dávky pak kolem 1 mg.l^{-1} . Dávkování probíhá v podtlakovém režimu a roztok chloru je vstřikován injektorem do potrubí před akumulací.



Obr. 6. 25 Skladované a provozní sudy s kapalným chlorem [zdroj: Simona Krupicová]

Před rekonstrukcí ÚV nebylo využíváno UV záření pro hygienické zabezpečení a dávky chloru se pohybovaly okolo 3 mg.l^{-1} . Spotřeba chloru byla okolo 600 kg za měsíc, v současnosti toto množství vystačí téměř na rok.



Obr. 6. 26 Dávkovací systém chloru [zdroj: Simona Krupicová]

Amonné ionty ve formě síranu amonného se přidávají k chlorové vodě a vznikají chloraminy. Kombinovaný aktivní chlor (vázaný) zajišťuje přebytek chloru po delší dobu než při samotné chloraci a zajišťuje tak hygienickou nezávadnost dopravované vody po velkou vzdálenost. Dávky síranu amonného se pohybují kolem $0,15 \text{ mg.l}^{-1}$ a nejvyšší dávky se aplikují na jaře při oblevě, na podzim z důvodu výskytu sinic a řas, nebo v případě záplav.

Posledním aplikovaným dezinfekčním činidlem je chlordioxid. Ten je na úpravně vyráběn výrobní jednotkou chlordioxidu a to z chloru, chloritanu sodného a vody.



Obr. 6. 27 Výrobní jednotka chlordioxidu [zdroj: Simona Krupicová]

Hygienické zabezpečení na úpravně vody je složitým procesem a to zejména vzhledem k charakteru surové vody, jejíž kvalita se navíc v průběhu roku výrazně mění. UV zařízení je nasazeno z důvodu inaktivace odolných mikroorganismů, vyskytujících se ve vodě. Mezi ně se řadí například kryptosporidy, které způsobují u lidí nemoci zažívacího traktu a ohrožující infekce. Ty jsou obvyklým dávkám chloru rezistentní. Kombinace chlordioxidu, plynného chloru a síranu amonného je zvolena s ohledem na charakter vodovodní sítě a tvorbu vedlejších produktů dezinfekce.

Chlorové hospodářství je vyhrazené technické zařízení a řídí se svým provozním řádem a bezpečnostními předpisy. Ke kontrole možných výparů v ovzduší slouží detektory umístěné uvnitř místností s chemikáliemi.



Obr. 6. 28 Zařízení, jež zobrazuje naměřené koncentrace Cl₂ v ovzduší [zdroj: Simona Krupicová]

Celý proces úpravy vody je pečlivě monitorován a jakost vody je sledována za jednotlivými technologickými stupni úpravy vody kontinuálními analyzátory.



Obr. 6. 29 Instalované analyzátory sledující kvalitu vody [zdroj: Simona Krupicová]

Upravená voda putuje do akumulčních nádrží o celkovém objemu 1700 m³. Jedna akumulční nádrž se skládá ze dvou propojených nádrží o objemu dvakrát 500 m³ a druhá nádrž o objemu 250 m³ a 500 m³. Z těchto akumulčních nádrží se voda čerpá do dílčích vodojemů. Čištění nádrží s jejich odstávkou probíhá dvakrát do roka.

7 ASPEKTY NAVRHOVÁNÍ HYGIENICKÉHO ZABEZPEČENÍ PITNÉ VODY

Jednotlivé dezinfekční metody mají své výhody a nevýhody a při výběru vhodného způsobu dezinfekce pak záleží na provozovateli, které vlastnosti jsou při výběru primární pro daný provoz. V zájmu provozovatelů úpraven vod je vyrábět a dodávat spotřebitelům kvalitní pitnou vodu, bez organoleptických závad a především vodu, která vyhoví legislativním požadavkům. Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, vyhláška č. 252/2004 Sb., mimo jiné upravuje hygienické limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů jakosti pitné vody.

Jedním z nejdůležitějších faktorů při výběru vhodné dezinfekční metody je kvalita surové vody a technologie její úpravy na vodu pitnou. I při horší kvalitě vody může být v případě moderní a funkční technologické linky úpravy vyrobena kvalitní pitná voda. Po mikrobiologické stránce jsou nejdůležitějšími procesy úpravy koagulace s následnou filtrací a případně i mikrofiltrací, kdy se těmito procesy odstraní největší množství mikroorganismů a prekursorů.

Každé dezinfekční činidlo má své specifické vlastnosti, výhody a nevýhody a je více či méně vhodné pro konkrétní vstupní hodnoty (kvalita surové vody, její složení, změna kvality vody v průběhu roku, obsah organických látek atp.). Provozovatel musí tyto aspekty zvážit, mohou mít různou váhu při rozhodování, protože pro některé z nich může být více či méně směrodatná cena, pro jiné zase náročnost na obsluhu. V tabulce 7-1 je srovnání dezinfekčních činidel, kterým jsem se v první části bakalářské práce zabývala.

Tab. 7- 1 Srovnání výhod a nevýhod jednotlivých dezinfekčních činidel

	výhody	nevýhody
plynný chlor	nižší provozní náklady rozpustnost, oxidační účinky vysoká baktericidní účinnost	vznik THM a dalších DBP závislost účinnosti na pH nebezpečnost při manipulaci negativní ovlivnění senzorických vlastností
chlordioxid	rozpustnost, oxidační účinky nezávislost na pH vody netvoří THM, HAAs, chlorfenoly ve vodě stálější než chlor nevznikají organoleptické problémy	nutná výroba v místě použití vyšší provozní náklady složitější obsluha vznik chloridů, chloritanů, chlorečnanů
chlornan sodný	nízké provozní náklady snadné skladování, přeprava jednoduchá obsluha a dávkování	potřeba delší doby kontaktu s vodou riziko vzniku chlorečnanů rychlý rozklad látky
chloramin	menší množství DBP přebytek chloru po delší dobu nemění pH vody lepší chuť a vůně oproti chloru	nižší dezinfekční účinnost možnost tvorby organických chloraminů možné korozivní účinky na vodovodní síť

UV záření	fyzikální proces, krátká reakční doba nízké provozní náklady bez obsluhy a dávkování chemikálií neovlivňuje organoleptické vlastnosti v porovnání s chlorem nevznikají DBP nemění se složení vody účinek nezávisí na chemismu a teplotě vody	vysoké pořizovací náklady nevytváří reziduum
Ozón	silné oxidační a dezinfekční činidlo zlepšení organoleptických vlastností	vysoké provozní náklady výroba plynu na místě ozonizované vody náchylné k reaktivaci mikroorganismů nevytváří reziduum

Co se týče složení surové vody, je zásadní znát zastoupení jednotlivých mikroorganismů, jelikož různé patogeny reagují více či méně na určitý typ dezinfekčního činidla. Například prvok *Cryptosporidium parvum*, který se vyskytuje zejména v povrchových vodách, je velmi odolným mikroorganismem, který není možné inaktivovat plynným chlorem. Chlordioxid je v tomto účinnější, avšak nejlépe prvok inaktivuje UV záření. Různé oxidační činidla, zejména na bázi chloru, reagují s látkami obsaženými ve vodě, tzv. prekursor, za vzniku nežádoucích látek. Mezi podstatné patří přírodní organické látky, které je potřeba minimalizovat. Tyto pak mohou reagovat za vzniku vedlejších produktů dezinfekce, které mají negativní vliv na lidské zdraví. S těmito organickými látkami pak nejvíce reaguje plynný chlor za vzniku DBP.

V následující tabulce 7-2 je srovnání jednotlivých provozů, kterými jsem se v této práci zabývala. Můžeme vidět, jaké dezinfekční činidla jsou využívány pro tyto úpravy s různou charakteristikou.

Tab. 7- 2 Shrnutí jednotlivých provozů

	dezinfekční činidlo	PO	rok rekonstrukce	před rekonstrukcí	jakost surové vody	separační stupně	výkon úpravy
ÚV Lednice	chlordioxid ClO_2	50 000	2008	plynný chlor	A2, podzemní, vysoký obsah Mn a Fe	2; koagulace, sedimentace, filtrace	140 l.s^{-1}
ÚV Břeclav	chlordioxid ClO_2	30 000	2015	plynný chlor	A2, podzemní, vysoký obsah Mn a Fe	2; flokulace, sedimentace, filtrace	141 l.s^{-1}
ÚV Ivančice	plynný chlor Cl_2	30 000	2013		A2, podzemní, Fe, Mn	3; koagulace, sedimentace, filtrace, GAU filtrace	60 l.s^{-1}
ÚV Mostiště	oxidace ozonem, UV záření, plynný chlor, chloramin, chlordioxid	80 000	2014	plynný chlor, chlordioxid	A3, povrchová	3; koagulace, flotace, filtrace, GAU filtrace	200 l.s^{-1}
skupinový vodovod Mokrá - Horákov	chlornan sodný NaClO	12 000	2015	chlornan sodný / plynný chlor	A1, krasová	bez separace	-

Všechny ÚV, které jsem navštívila, prošly v posledních letech celkovou rekonstrukcí ať už stavebních, tak i technologických částí a modernizací technologické linky. Jelikož upravená voda ze všech úpraven splňuje limity vyhlášky 252/2004 Sb., můžeme tyto rekonstrukce označit za vydařené.

Vzhledem ke kvalitě vody a počtu zásobených obyvatel, jsou na ÚV Lednice, ÚV Břeclav a ÚV Ivančice, využívány nejčastěji používané dezinfekční prostředky. ÚV Ivančice využívá plynný chlor, který je nejčastěji používaným prostředkem. Vzhledem k instalované GAU filtraci na ÚV jsou odstraněny prekusory pro tvorbu DBP, která u této metody hrozí nejvíce a je minimalizována hrozba jejich vzniku. Na ÚV Břeclav a ÚV Lednice byl plynný chlor po rekonstrukci nahrazen chlordioxidem, který se v posledních letech dostává oproti plynnému chloru do popředí a to díky lepším vlastnostem. Zásadní pro přechod na tuto metodu byla v tomto případě bezpečnost zaměstnanců, kteří s toxickým plynem museli manipulovat.

Úprava vody pro skupinový vodovod Mokrý – Horákov je v porovnání s výše zmiňovanými ÚV menšího měřítka. Z toho důvodu, že je surová voda kvality A1 a není potřeba úpravy vody, stačí ji pouze hygienicky zabezpečit dezinfekčním činidlem. K tomu zde slouží chlornan sodný, který je pro své vlastnosti, jako jednoduchost skladování, obsluhy a dávkování, vhodný pro použití na takových místech. Toto dezinfekční činidlo se rovněž často využívá pro zabezpečení po trase.

Jako jediná mnou navštívená ÚV využívající surovou vodu z povrchového zdroje kvality A3 je ÚV Mostiště, která využívá řadu dezinfekčních metod. Vzhledem k charakteru vody a výskytu odolných mikroorganismů je instalováno UV záření a ještě před tím dochází k oxidaci ozonem. Mikrobiologické zabezpečení po trase zabezpečuje dávkování plynného chloru, chlordioxidu a chloraminace. Vyrábí se velké množství vody a kombinace dezinfekčních činidel je zvolená s ohledem na splnění limitů dle vyhlášky.

V případě nepříznivých vstupních podmínek je potřeba dezinfekční metody kombinovat, jako je tomu např. na ÚV Mostiště. Pokud by se v takových případech využíval například jenom jeden dezinfekční prostředek, nemuselo by dojít k inaktivaci všech patogenních mikroorganismů a zřejmě i dávky činidla by byly vysoké, což by mohlo podpořit vznik DBP. V těchto případech, většinou u povrchových vod, je potřeba zvolit vhodnou kombinaci dezinfekčních činidel.

8 ZÁVĚR

V první části bakalářské práce jsem se zaměřila na jednotlivá dezinfekční činidla, která se nejčastěji využívají pro hygienické zabezpečení pitné vody. Nejprve jsem popisovala dezinfekční činidla na bázi chloru, a to plynný chlor, chlordioxid, chlornan sodný a chloramin. Každý dezinfekční prostředek má své specifické vlastnosti a popsala jsem tedy jejich charakteristické vlastnosti a mechanismy vzhledem k použití pro dezinfekci pitné vody. Následně jsem se zaměřila na bezchlorové dezinfekční prostředky a to na UV záření a ozonizaci. U fyzikální metody dezinfekce UV zářením jsem představila mechanismus inaktivace mikroorganismů a popsala komponenty UV reaktoru, princip provozu a použití. Metodu dezinfekce vody založenou na oxidaci ozonem jsem představila kompletně od vzniku ozonu, jeho výrobu v průmyslovém měřítku, až po aplikaci a mechanismus ve vodě. U všech metod jsem se zaměřila i na tvorbu vedlejších produktů dezinfekce, které jsou v posledních letech čím dál více diskutované. Dále jsem uvedla výhody a nevýhody jednotlivých dezinfekčních metod.

V bakalářské práci jsem se také zabývala provozováním bez využití dezinfekce vody na bázi chloru. Ačkoli je tento způsob velmi rozšířený v mnohých evropských státech, v České republice je tento způsob teprve v počátcích a přišlo mi vhodné, tuto možnost provozování v práci zmínit.

V následující části této práce jsem uvedla praktické ukázky z provozů, které jsem navštívila ve spolupráci s Vodárenskou akciovou společností a akciovou společností Vodovody a kanalizace Břeclav. Zabývala jsem se dvěma úpravami vod, které využívají vodu z podzemních zdrojů a hygienické zabezpečení provádí pomocí chlordioxidu, který se v posledních letech dostává oproti plynnému chloru do popředí. Následně jsem se zabývala úpravou vody s využitím plynného chloru, který je stále nejčastěji používaným dezinfekčním prostředkem při úpravě vod. Popisovala jsem i úpravu vody vysoké kvality, kde probíhalo pouze hygienické zabezpečení chlornanem sodným, který je vhodný zejména pro menší množství upravené vody. Nakonec jsem se zabývala úpravou, kde je zdrojem povrchová voda horší kvality a je zapotřebí kombinace více metod hygienického zabezpečení vody.

V poslední části bakalářské práce srovnávám výhody a nevýhody používaných dezinfekčních činidel a zaměřuji se na jednotlivé typy úpraven vod a zhodnocuji využití dezinfekčních metod.

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. Vodárenství: Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia [online]. Brno: VUT v Brně, 2006 [cit. 2012-03-26].
- [2] Tradiční a nové technologie úpravy vody : ASIO, spol. s r.o. [online]. Brno, c2011-2018 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/173.tradicni-a-nove-technologie-upravy-vody>
- [3] ČR. Vyhláška 120/2011 Sb. In: Sbírka zákonů. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, p.o., 6. května 2011, roč. 2011, č. 120, částka 46.
- [4] LETTERMAN, Raymond D. Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1999. ISBN 0070016593.
- [5] Water chlorination/chloramination practices and principles. 2nd ed. Denver, CO: American Water Works Association, c2006. ISBN 1583214089.
- [6] BENEČKO, Vladimír a František KOŽÍŠEK. 100. VÝROČÍ PRAVIDELNÉ DEZINFEKCE PITNÉ VODY A JEJÍ DALŠÍ VÝVOJ [online]. Praha, 2009 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: https://hygiena.szu.cz/artkey/hyg-200904-0008_100-vyroci-pravidelne-dezinfekce-pitne-vody-a-jeji-dalsi-vyvoj.php
- [7] Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In: . 2004, 82 (30. 4. 2004), 252/2004. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>
- [8] BIELA, Renata; BERÁNEK, Josef. Úprava vody a balneotechnika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. 164 s. ISBN: 80-214-2563-6.
- [9] DŘÍMAL, Jiří. OZON.CZ [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.ozon.cz/cz/dezinfekce-ozonem.htm>
- [10] Chlorine [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/chlorine#section=Experimental-Properties>
- [11] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. Chemie a technologie vody. 2. dopl. vyd. Brno: ARDEC, 2006, 329 s. ISBN 80-86020-50-9.
- [12] Chlorine as disinfectant for water [online]. c1998-2018 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.lenntech.com/processes/disinfection/chemical/disinfectants-chlorine.htm>
- [13] SOMMER, Regina, Alexander CABAJ a Georg HIRSCHMANN. Dezinfekce pitné vody UV zářením [online]. Wien [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.smv.cz/res/archive/013/001611.pdf>
- [14] Technické informace: Tlakový ocelový sud na kapalný chlor GHC 600 [online]. 2008 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.ghcinvest.cz/files/uploaded/UserFiles/File/soubory/prezentace/Technicke%20informace%20chlorove%20sudy%20GHC%20600%20kg.pdf>
- [15] BEZPEČNOSTNÍ LIST: CHLOR KAPALNÝ [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://www.spolana.cz/CZ/Produkty/Documents/BL_Chlor_%20kapalny_techicky_CZ.pdf

- [16] Chlorovna Bohemia-lázně [online]. In: . c2010 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.ghcinvest.cz/cz/reference/upravny-chlorovny/chlorovna-bohemia-lazne-karlovy-vary/c3549>
- [17] Periodická tabulka: Chlor [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/17.html>
- [18] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a Marek SLAVÍČEK. Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03534-4.
- [19] ZDENĚK, KITNER. Technologie vody. Ediční středisko VUT Brno.
- [20] The Disinfection of Drinking Water - Drinking Water and Health: Volume 2 [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK234590/#ddd00147>
- [21] ŽÁČEK, Ladislav. Chemické a technologické procesy úpravy vod. Brno: NOEL 2000, 1999. ISBN 80-86020-22-2.
- [22] Drinking Water Chlorination [online]. 2016 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://chlorine.americanchemistry.com/Chlorine-Benefits/Safe-Water/Disinfection-Practices.pdf>
- [23] Free and combined chlorine - understand the difference [online]. 2016 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.palintest.com/en/support/research-insight/free-and-combined-chlorine-understand-difference>
- [24] SOVAK Časopis oboru vodovodů a kanalizací: Distribuce pitné vody bez zbytkové chemické dezinfekce: zdůvodnění, strategie a případová studie [online]. 2014, (12/2014) [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez_dezinfekce/Kozisek_SOVAK_2014.pdf
- [25] KUČERA, Tomáš a Tomáš FUKS. Možná rizika plynoucí z dezinfekce pitné vody - TZB-info [online]. Brno, 2012 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/8568-mozna-rizika-plynouci-z-dezinfekce-pitne-vody>
- [26] Disinfectants Chlorine Dioxide [online]. C1998-2018 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.lenntech.com/processes/disinfection/chemical/disinfectants-chlorine-dioxide.htm>
- [27] Zařízení na výrobu chlórdioxidu Bello Zon [online]. c2018 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.prominent.cz/cs/Výrobky/Výrobky/Dezinfekční-systémy-a-oxidační-systémy/Zařízení-na-výrobu-oxidu-chloričitého/p-bello-zon-cdlb-multiple-dosing.html>
- [28] Determination of Sodium Hypochlorite Levels in Bleach [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.okbu.net/chemistry/mrjordan/hslabs/bleach2.pdf>
- [29] SODIUM HYPOCHLORITE [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://sodiumhypochlorite-bleach.weebly.com/history.html>
- [30] Sodium Hypochlorite [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/23665760#section=Odor>
- [31] Disinfectants Sodium hypochlorite [online]. C1998-2018 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.lenntech.com/processes/disinfection/chemical/disinfectants-sodium-hypochlorite.htm>

- [32] KOŽÍŠEK, FRANTIŠEK. CHLOREČNANY V PITNÉ VODĚ: PŘEHLÍŽENÉ RIZIKO [online]. Praha, 2015, 122 - 123 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://hygiena.szu.cz/pdfs/hyg/2015/03/14.pdf>
- [33] Chloramines in Drinking Water [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/dwreginfo/chloramines-drinking-water>
- [34] Disinfection with Chlorine & Chloramine [online]. c2014 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/public/water_disinfection.html
- [35] KOZA, Michael. Science of Chloramination [online]. 2010 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.mwua.org/wp-content/uploads/2010/09/MWUACHloramination61510.pdf>
- [36] Chloramine [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Monochloramine#section=Stability>
- [37] Sanikill: ABOUT MONOCHLORAMINE [online]. c2015 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.sanikill.com/it/home-2/>
- [38] Chloramines as a disinfectant [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.lenntech.com/processes/disinfection/chemical/disinfectants-chloramines.htm>
- [39] KOŽÍŠEK, František, Jiří KOS a Petr PUMANN. *HYGIENICKÉ MINIMUM PRO PRACOVNÍKY VE VODÁRENSTVÍ* [online]. Druhé, upravené vydání. Praha, 2007 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/hygmin2.pdf>
- [40] PERCIVAL, Steven L. Microbiology of waterborne diseases: microbiological aspects and risks. Second edition. Amsterdam: Elsevier, Academic Press, 2014. ISBN 978-0-12-415846-7.
- [41] Dezinfekce chlorem a jeho sloučeninami [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.vo-da.cz/encyklopedie-wiki/dezinfekce-chlorem-a-jeho-slouceninami/>
- [42] Monochloramine in Drinking-water [online]. 2004 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/chemicals/chloramine-background.pdf
- [43] U.S. Environmental Protection Agency: ULTRAVIOLET DISINFECTION GUIDANCE MANUAL. EPA 815-D-03-007. Washington, DC, USA, 2003
- [44] History of UV [online]. c2018 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://viqua.com/water-treatment/uv-water-treatment/the-history-of-uv/>
- [45] BRANDT, Malcolm J. Twort's water supply. 7th edition. Cambridge, MA: Elsevier, 2016. ISBN 978-0-08-100025-0.
- [46] KOPECKÝ, Jaroslav. Dezinfekce UV - zářením - technologie pro úpravu pitných vod [online]. 2003 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://jako.cz/>
- [47] The History of Ultraviolet Germicidal Irradiation for Air Disinfection [online]. 2010 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2789813/>
- [48] GRAHAM, Smith. UV Intensity and UV Dose - Contractors - Fluidquip Australia [online]. c2009 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.fluidquip.com.au/contractors/uv-intensity-and-uv-dose/>

- [49] ŠAŠEK, Jaroslav, Jaroslav KOPECKÝ a František KOŽÍŠEK. Problematika dezinfekce vody UV zářením [online]. 2000 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.jako.cz/SZU-UV-Sasek-Kopecky-Kozisek-000418.pdf>
- [50] ŠAŠEK, Jaroslav. Stanovení účinnosti UV dezinfekce pitné vody [online]. In: . 2006 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/dezinf/sasek1.pdf>
- [51] Použití UV záření pro dezinfekci pitné vody - TZB-info [online]. 2013 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/9697-pouziti-uv-zareni-pro-dezinfekci-pitne-vody>
- [52] Citace – Látal M., Drda M.: Rekonstrukce úpravny vody Lednice. Sborník konference Pitná voda 2008, s. 329-332. W&ET Team, Č. Budějovice 2008. ISBN 978-80-254-2034-8
- [53] Genetika - Biologie: Mutageny [online]. c2010-2014 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.genetika-biologie.cz/mutagenyL>
- [54] Vyhláška o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody. In: . 2005, 409/2005 Sb. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-409>
- [55] KOPECKÝ, Jaroslav. Dezinfekce UV-zářením: Validace UV-zařízení [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/dezinf/kopecky.pdf>
- [56] Břeclav – úpravna vody Kančí obora. In: *Arko Brno* [online]. 2016 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://arko-brno.cz/cs/o-nas/aktuality/breclav-upravna-vody-kanci-obora>
- [57] Vznik a výskyt ozonu [online]. C2011 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.ozontech.cz/vznik-ozonu>
- [58] Ozon: Problematika ztenčování ozónové vrstvy [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://www.sci.muni.cz/~dobro/ozon_1.htm
- [59] Ozone Production [online]. In: . c2017 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.oxidationtech.com/ozone/ozone-production.html>
- [60] Ozón O3 [online]. C2012-2018 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.healozone.org/ozon-o3.html>
- [61] Aplikace ozónových technologií: OZÓN A JEHO POUŽITÍ [online]. c20005-2006 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.aplikaceo3.cz/?page=3&subp=2>
- [62] Kyslík [online]. 2005 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/jaro2005/C2442/skripta/kapitola0802.html>
- [63] Co je ozon? [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://profiozon.cz/co-je-ozon/>
- [64] Ozone Decomposition [online]. c1998-2018 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.lenntech.com/library/ozone/generation/ozone-generation.htm>
- [65] Drinking Water Disinfection: Ozonation / Ozone Water Treatment[online]. c2018 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.waterprofessionals.com/learning-center/ozonation/>
- [66] Všechno co jste kdy chtěli vědět o ozonu a UV (ale báli jste se zeptat). ASIO čištění a úprava vod [online]. 2013 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z:

- <http://www.asio.cz/cz/161.vsechno-co-jste-kdy-hteli-vedet-o-ozonu-a-uv-ale-bali-jste-se-zeptat>
- [67] RAKNESS, Kerwin L. Ozone in drinking water treatment: process design, operation, and optimization. Denver, CO: American Water Works Association, c2005. ISBN 1-58321-379-1.
- [68] *VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s.: divize Brno - venkov* [online]. In: . c2009 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.vodarenska.cz/divize-brno-venkov/kontakty>
- [69] Redox Reactions: Oxidation Reduction Chemistry of the Elements[online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.wou.edu/las/physci/ch412/redox.htm>
- [70] GUIDANCE MANUAL FOR COMPLIANCE WITH THE FILTRATION AND DISINFECTION REQUIREMENTS FOR PUBLIC WATER SYSTEMS USING SURFACE WATER SOURCES [online]. Washington, D.C.: U.S. EPA, 1991 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/guidance_manual_for_compliance_with_the_filtration_and_disinfection_requirements.pdf
- [71] OZON VE VODĚ: ÚČINKY NA ORGANIZMUS, LIMITY, METODY STANOVENÍ [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.ozon.cz/cz/ozon-ve-vode.htm>
- [72] DEZINFEKCE VODY A JEJÍ NEŽÁDOUCÍ VEDLEJŠÍ PRODUKTY [online]. 2004 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/2004/11/02.pdf>
- [73] SV Ivančice – Rosice. In: *COLAS CZ - Generální dodavatel silničního stavitelství* [online]. c2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.colas.cz/nase-stavby/silnicni-vystavba/sv-ivancice-rosice-zajisteni-kvality-pitne-vody/>
- [74] ÚPRAVNA VODY MOSTIŠTĚ [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.vaecontrols.cz/files/documents/news/261/referencni-list.pdf>
- [75] Vodní nádrž - přehrada Mostiště [online]. In: . 2008 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.obecnetin.cz/vodni-nadrz-prehrada-mostiste/g-2964>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2. 1 Schéma dvoustupňové separace	7
Obr. 3. 1 Uložení kapalného chloru v sudu (vlevo) a uložení v tlakových lahvích (vpravo) [14, 16].....	10
Obr. 3. 2 Schéma aplikace chloru	11
Obr. 3. 3 Vliv pH na množství kyseliny chlorné (HClO) a chlornanového iontu (ClO^-) [20]..	12
Obr. 3. 4 Chlorační křivka v nepřítomnosti amoniaku [11]	14
Obr. 3. 5 Chlorační křivka v přítomnosti amoniaku [11].....	14
Obr. 3. 6 Výrobní jednotka chlordioxidu [27]	18
Obr. 3. 7 Závislost tvorby jednotlivých chloraminů na hodnotě pH [37]	22
Obr. 4. 1 Elektromagnetické spektrum se zvýrazněním UV záření [44]	26
Obr. 4. 2 Závislost log inaktivace na dávce UV záření [43]	29
Obr. 4. 3 Schéma UV reaktoru [45]	29
Obr. 4. 4 InLine UV systém (vlevo, UV lampy kolmé k průtoku vody) a tradiční UV systém (vpravo, UV lampy souběžné s průtokem vody) [55].....	31
Obr. 4. 5 Štěpení molekuly O_2 následkem elektrického výboje [59]	34
Obr. 4. 6 Popis komerčně dostupného generátoru ozonu s elektrickým výbojem [67]	36
Obr. 4. 7 Vliv koncentrace kyslíku na produkci ozonu při odlišném elektrickém proudu [64]	37
Obr. 4. 8 Kontaktní nádrž s probubláváním ozonu [64].....	37
Obr. 6. 1 Budova ÚV Lednice [zdroj: Simona Krupicová]	43
Obr. 6. 2 Technologické schéma úpravy vody po rekonstrukci [52]	44
Obr. 6. 3 Klarifikátor – usazovací nádrž atypického provedení [zdroj: Simona Krupicová] ..	44
Obr. 6. 4 Rozdělovací objekt [zdroj: Simona Krupicová].....	45
Obr. 6. 5 Skladovací nádrž NaClO_2 a dávkovací čerpadla, jedno provozní a druhé rezervní [zdroj: Simona Krupicová].....	46
Obr. 6. 6 Výrobní jednotka chlordioxidu, provozní a rezervní [zdroj: Simona Krupicová]	46
Obr. 6. 7 Skladovací nádrž kyseliny chlorovodíkové, umístěné v samostatné místnosti [zdroj: Simona Krupicová]	47
Obr. 6. 8 Letecký snímek zrekonstruované úpravní vody v Kančí oboře [56]	48
Obr. 6. 9 Nádrže kyseliny chlorovodíkové (v popředí) a chloritanu sodného (v pozadí). [zdroj: Simona Krupicová]	49
Obr. 6. 10 Dávkování chlordioxidu do upravené vody na nátok do akumulace [zdroj: Simona Krupicová].....	50

Obr. 6. 11 Jedno ze dvou zařízení pro výrobu chlordioxidu (na ÚV je provozní a rezervní zařízení) [zdroj: Simona Krupicová].....	51
Obr. 6. 12 Mapa divize Brno – venkov [68]	52
Obr. 6. 13 Obr. 6.13 ÚV Ivančice [73]	52
Obr. 6. 14 Čtyři GAU filtry instalované na ÚV [zdroj: Simona Krupicová]	54
Obr. 6. 15 Dezinfekce chlorem, napojení tlakových lahví [zdroj: Simona Krupicová].....	54
Obr. 6. 16 Vodojem Alexandrovce [zdroj: Simona Krupicová]	55
Obr. 6. 17 Napojení 50l galonu NaClO na membránové dávkovací čerpadlo [zdroj: Simona Krupicová].....	56
Obr. 6. 18 Vodojem Mokrá – Horákov [zdroj: Simona Krupicová]	57
Obr. 6. 19 Napojení NaClO na dávkovač a dávkování do vody pomocí injektoru [zdroj: Simona Krupicová]	57
Obr. 6. 20 Měření množství volného chloru ve vodě [zdroj: Simona Krupicová].....	58
Obr. 6. 21 Úprava vody Mostiště [74]	59
Obr. 6. 22 Vodní nádrž Mostiště [75]	59
Obr. 6. 23 Výrobní jednotka ozonu a nádrž na kapalný kyslík [zdroj: Simona Krupicová]....	61
Obr. 6. 24 Instalovaný UV reaktor [zdroj: Simona Krupicová].....	62
Obr. 6. 25 Skladované a provozní sudy s kapalným chlorem [zdroj: Simona Krupicová].....	63
Obr. 6. 26 Dávkovací systém chloru [zdroj: Simona Krupicová]	63
Obr. 6. 27 Výrobní jednotka chlordioxidu [zdroj: Simona Krupicová]	64
Obr. 6. 28 Zařízení, jež zobrazuje naměřené koncentrace Cl ₂ v ovzduší [zdroj: Simona Krupicová].....	65
Obr. 6. 29 Instalované analyzátory sledující kvalitu vody [zdroj: Simona Krupicová].....	65

SEZNAM TABULEK

Tab. 3- 1 Závislost obsahu nehydrolyzovaného chloru (%) na pH [21]	12
Tab. 3- 2 Vedlejší produkty dezinfekce chlorem	15
Tab. 4- 1 Dávka UV v J.m^{-2} při 254 nm pro 99,99% inaktivaci [49].....	28
Tab. 4- 2 Závislost CT faktoru [70]	39
Tab. 7- 1 Srovnání výhod a nevýhod jednotlivých dezinfekčních činidel	66
Tab. 7- 2 Shrnutí jednotlivých provozů	67

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

DBP	disinfection by-products (vedlejší produkty dezinfekce)
DNA	deoxyribonucleic acid
GAU	granulované aktivní uhlí
HAAs	halooctové kyseliny
HANs	halogenované acetonitrily
LP	low pressure
LPHO	low pressure high output
MP	medium pressure
pH	záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů
RED	redukční ekvivalentní dávka
RNA	Ribonukleová kyselina
SZU	státní zdravotní ústav
THM	trihalogenmethany
TZW	Technologiezentrum Wasser (technologické centrum vody)
USA	Spojené státy americké
UV	ultrafialové záření
UVT	UV transmittance (UV propustnost)
ÚV	úpravna vody
%	procento
°C	jednotka teploty
mg.l ⁻¹	jednotka koncentrace
Pa	jednotka tlaku
ppm	jednotka koncentrace (parts per milion)

SUMMARY

In the first part of my bachelor thesis I focused on individual disinfectants, which are most often used for hygienic drinking water supply. I first described chlorine-based disinfectants, namely chlorine gas, chlorine dioxide, sodium hypochlorite, and chloramine. Each disinfectant has its specific properties and I have described its characteristics and mechanisms with regard to its use for disinfection of drinking water. Subsequently, I focused on chlorine-free disinfectants, namely UV radiation and ozonization. In the physical UV disinfection method, I introduced the mechanism of inactivation of microorganisms and described the components of the UV reactor, the principle of operation and use. The water disinfection method based on ozone oxidation has been introduced completely since the formation of ozone, its production on an industrial scale after application and a mechanism in water. For all methods, I have also focused on the development of disinfection by-products, which have been increasingly discussed in recent years. Finally, I have mentioned the advantages and disadvantages of individual disinfection methods.

Last but not least, I have been dealing with chlorine-free water disinfection. Although this method is very widespread in many European countries, this method is only in the beginning in the Czech Republic, and I have found it appropriate to mention this possibility of operating at work.

In the following part of this bachelor thesis I have provided practical examples of the operations I have visited in cooperation with water joint-stock company and the joint-stock company water supply and sewerage Břeclav. I have dealt with two water treatment plants using water from underground sources, and hygiene is done with chlorine dioxide, which has come to the forefront in recent years with chlorine gas. Subsequently I dealt with water treatment using chlorine gas, which is still the most commonly used disinfectant in water treatment. I also described the treatment of high quality water, where only hygienic safety of sodium hypochlorite took place, which is particularly suitable for smaller quantities of treated water. Finally, I worked on a treatment plant where it is the source of poor quality surface water, and a combination of more water hygiene methods is needed.

In the last part of the bachelor thesis I compare the advantages and disadvantages of used disinfectants and focus on individual types of water treatment plants and evaluate the use of disinfection methods.