



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

# VYUŽITÍ POKROČILÝCH OXIDAČNÍCH PROCESŮ PŘI ÚPRAVĚ BAZÉNOVÝCH VOD

USE OF ADVANCED OXIDATION PROCESSES IN POOL WATER TREATMENT

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Jakub Trávníček**

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Renata Biela, Ph.D.**

**BRNO 2023**

## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav vodního hospodářství obcí
Student:	<b>Bc. Jakub Trávníček</b>
Vedoucí práce:	<b>Ing. Renata Biela, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2022/23
Studijní program:	N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Využití pokročilých oxidačních procesů při úpravě bazénových vod**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Pokročilé oxidační procesy (AOP) je možné využít pro dezinfekci bazénových vod, proto první část diplomové práce bude zaměřena na dezinfekční technologie bazénových provozů s důrazem na AOP. V praktické části diplomové práce bude proveden průzkum využití pokročilých oxidačních procesů u bazénových areálů v České republice dotazníkovou formou, vybrané areály budou navštíveny osobně. Závěrem práce bude provedeno vyhodnocení využívání AOP procesů v bazénových provozech.

#### **Cíle a výstupy diplomové práce:**

V rámci diplomové práce bude dosaženo následujících cílů:

1. vytvoření rešeršní části práce zaměřené na dezinfekční technologie bazénových provozů s důrazem na pokročilé oxidační procesy,
2. provedení průzkumu využití pokročilých oxidačních procesů u bazénových areálů v České republice dotazníkovou formou,
3. závěrečné vyhodnocení využívání AOP procesů v bazénových provozech.

**Seznam doporučené literatury a podklady:**

- [1] KRIŠ, J. Bazény a kúpaliská. 1. vydání. Bratislava: Jaga group, 2000. 199 s. ISBN 80-88905-30-3.
- [2] PERKINS, P. Swimming pools. 4. edition. London and New York: Taylor & Francis, 2000. 231 p. ISBN0-419-23590-6.
- [3] BIELA, R., BERÁNEK, J. Úprava vody a balneotechnika. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelstvíCERM, 2004. 164 s. ISBN 80-214-2563-6.
- [4] ŠŤASTNÝ, B. Stavba a provoz bazénů. 1. vydání. Praha: ABF, a.s. – Nakladatelství ARCH, 2003. 137 s. ISBN 80-86165-56-6.
- [5] LHOTÁKOVÁ, Z. Bazény. 2. vydání. Brno: Vydavatelství ERA, 2005. 119 s. ISBN 80-7366-015-6.
- [6] Odborné články ze sborníků konferencí a seminářů.
- [7] Podklady získané místním šetřením na vybraných bazénových provozech.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2022

L. S.

---

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
vedoucí ústavu

---

Ing. Renata Biela, Ph.D.  
vedoucí práce

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.  
děkan

## **ABSTRAKT**

Rešeršní část diplomové práce je zaměřena na problematiku využití pokročilých oxidačních procesů při úpravě bazénových vod. V první části jsou popsány běžné desinfekční technologie, které jsou využívány v tuzemsku a v zahraničí k úpravě bazénových vod. V druhé části se pak rešerše zaměřuje na základní typy pokročilých oxidačních procesů použitelných v bazénových provozech a na ostatní obdobné technologie laboratorního měřítká s potenciálem pro budoucí využití v lázeňském odvětví.

Praktické zaměření diplomové práce se skládá ze dvou částí. V první části jsou zpracovány data z dotazníku vybraných bazénových provozů v České republice, která shrnují, jaké technologie jsou u nás v rámci úpravy bazénových vod používány. Druhou část tvoří případová studie, která rozebírá vliv na jakost upravované vody před a po instalaci pokročilých oxidačních procesů do recirkulačního okruhu bazénu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

dezinfekce, úprava bazénových vod, pokročilé oxidační procesy, vázaný chlor, volný chlor, ozonizace, UV záření

## **ABSTRACT**

The research part of the thesis is focused on the use of advanced oxidation processes in the treatment of swimming pool waters. In the first part, the common disinfection technologies that are used domestically and abroad for the treatment of swimming pool waters are described. In the second part, the research focuses on the basic types of advanced oxidation processes used in swimming pool facilities and other similar laboratory-scale technologies with potential for future use in the spa industry.

The practical focus of the thesis consists of two parts. In the first part, data from a questionnaire of selected swimming pool facilities in the Czech Republic are processed, which summarizes what technologies are used in the treatment of swimming pool waters in the Czech Republic. The second part consists of a case study that analyses the effect on the quality of treated water before and after the installation of advanced oxidation processes system in the pool recirculation circuit.

## **KEYWORDS**

disinfection, pool water treatment, advanced oxidation processes, bound chlorine, free chlorine, ozonisation, UV radiation

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TRÁVNÍČEK, Jakub. *Využití pokročilých oxidačních procesů při úpravě bazénových vod*. Brno, 2023. 86 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Využití pokročilých oxidačních procesů při úpravě bazénových vod* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. 1. 2023

---

Bc. Jakub Trávníček  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Využití pokročilých oxidačních procesů při úpravě bazénových vod* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2023

---

Bc. Jakub Trávníček  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád v první řadě poděkoval Ing. Renatě Biele, Ph.D., za vedení mé diplomové práce, její čas a cenné rady. Dále bych rád poděkoval panu Janu Ježkovi za poskytnutí dat ze Sportovního a rekreačního areálu Kraví hora a slečně Michaele Polákové za konzultaci ohledně dotazníku pro plavecké bazény.



## OBSAH

1	ÚVOD .....	13
2	ZNEČIŠTĚNÍ V BAZÉNOVÝCH VODÁCH.....	14
2.1	ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ V BAZÉNOVÝCH VODÁCH .....	15
2.2	LEGISLATIVA HYGIENICKÝCH POŽADAVKŮ NA BAZÉNOVÉ VODY .....	15
2.1	DRUHY EXPOZICE.....	16
2.2.1	Ingesce.....	16
2.2.2	Inhalace .....	17
2.2.3	Dermální kontakt.....	19
2.2.4	Proměnná rizika .....	19
2.2.5	Mikrobiologická rizika .....	20
2.2.6	Chemická rizika.....	22
3	ÚPRAVA BAZÉNOVÝCH VOD .....	23
4	DEZINFEKČNÍ TECHNOLOGIE .....	25
4.1	CHLOR.....	25
4.2	OZON .....	27
4.2.1	Úplné ozónování .....	27
	Varianta 1.....	28
	Varianta 2.....	28
	Varianta 3.....	28
	Varianta 4.....	28
	Varianta 5.....	28
4.2.2	Boční ozónování .....	29
4.2.3	Technologie malých dávek .....	29
4.3	BROM .....	29

4.4	JÓD .....	29
4.5	SMĚSNÉ OXIDANTY .....	30
4.6	STŘÍBRO A MĚĎ .....	30
4.7	ELEKTROCHLORACE .....	31
4.8	UV ZÁŘENÍ .....	31
5	POKROČILÉ OXIDAČNÍ PROCESY .....	33
5.1	OBECNÝ PRINCIP POKROČILÝCH OXIDAČNÍCH PROCESŮ .....	33
5.2	CHEMICKÉ OXIDAČNÍ PROCESY .....	35
5.2.1	Fentonova reakce a peroxid vodíku .....	35
5.2.2	Peroxon .....	36
5.2.3	Elektrochemická oxidace .....	37
5.2.4	SCWO – Superkritická oxidace vody .....	38
5.3	FOTOCHEMICKÉ OXIDAČNÍ PROCESY .....	40
5.3.1	HETEROGENNÍ FOTOKATALÝZA .....	40
5.3.2	HOMOGENNÍ FOTOKATALÝZA .....	41
	Fotolýza ozonu .....	41
	Fotolýza H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	42
	Fotofentonova reakce .....	42
	Fotolýza O <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	43
	VUV fotolýza .....	44
5.4	OSTATNÍ AOP .....	45
5.4.1	Kavitační procesy .....	45
	Akustická kavitace .....	45
	Elektrohydraulická kavitace .....	46
	Hydrodynamická kavitace .....	46

5.4.2	Procesy AOP využívající různé druhy záření.....	46
	Proces využívající gama záření.....	46
	Proces využívající rentgenové záření.....	47
	Proces využívající elektronový paprsek .....	47
6	Praktická část.....	48
6.1	Dotazník.....	50
6.1.1	Forma .....	50
6.1.2	Typy bazénů .....	51
6.1.3	Recirkulační okruhy .....	52
6.1.4	Objem bazénové vody.....	54
6.1.5	Základní hygienické zabezpečení .....	55
6.1.6	Sekundární hygienické zabezpečení .....	57
6.1.7	Doplňující informace .....	60
6.2	Vyhodnocení dotazníku.....	60
6.2.1	Kryté bazénové provozy .....	62
6.2.2	Venkovní bazénové provozy .....	62
6.2.3	Shrnutí.....	63
6.3	AOP v provozu – bazénový areál Kraví hora .....	63
6.3.1	Důvod instalace systému AOP.....	66
6.3.2	Vybrané řešení a instalace AOP .....	67
6.3.3	Výsledky instalace AOP .....	70
6.3.4	Vyhodnocení .....	75
7	ZÁVĚR.....	77
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	79
9	SEZNAM ZKRATEK.....	82

10	SEZNAM TABULEK.....	83
11	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	84
12	SUMMARY.....	86

# 1 ÚVOD

Již od starověkého Říma je vyspělost civilizací pevně spjata s jejich schopností umožnit svým obyvatelům přístup k vodě a jejím využitím pro nejprve rekreační, léčebné a později i sportovní účely. Je to právě lázeňství, jež bylo od pradávna symbolem bohatých a pokrokových říší, které se v dnešní době mírně pozměnilo a vedle wellness center má dnes obyvatelstvo přístup také k zařízením specializujícím se na sportovní plavání, skoky do vody, ale i například potápění. Nároky na kvalitu vody prošly od těchto dob radikální změnou a se zvyšující se oblibou těchto zařízení stoupají i nároky na množství znečištění, které musí být schopny vyčistit.

V průběhu let se technologie vyvíjela, snažila se udržet po boku moderních standardů a vyhýbat se neosvědčeným způsobům, až nabrala podobu, jakou známe dnes. Plynný chlór, jako nejrozšířenější činidlo při úpravě vody, s sebou přináší jak pozitiva, tak i svá negativa a bylo nasnadě, že bude potřeba přijít s vhodnějším řešením, které bude únosné jak po technické, tak po ekonomické stránce.

Pokročilé oxidační procesy byly původně určeny pro průmyslovou aplikaci a sanaci kontaminovaných podzemních vod, ale na přelomu tisíciletí si získaly svoji pozornost i v problematice úpravy pitné vody. Úprava bazénových vod byla v tomto směru velice podobná a aplikace pokročilých oxidačních procesů v tomto odvětví na sebe nenechala dlouho čekat. [2]

Má práce si v první části klade za cíl přehledně zpracovat technologie, které mají moderní bazény k dispozici pro úpravu a dezinfekci svých vod, proč jsou tyto technologie v určitých ohledech nedostatečné a také proč a jestli vůbec jsou pokročilé oxidační procesy řešením pro bazénový provoz.

V druhé části jsem pak oslovil některé provozovatele bazénů v České republice, zjistil jsem, jaké technologie pro dezinfekci a úpravu vod používají, a u některých z nich jsem rozebral, jak výraznou změnou pro ně bylo zařazení pokročilých oxidačních procesů do provozu.

## 2 ZNEČIŠTĚNÍ V BAZÉNOVÝCH VODÁCH

Znečištění v bazénových vodách pochází z mnoha zdrojů. Nejobjemnějším znečištěním jsou látky, které do vody přináší sami plavci. Jedná se nejčastěji o mikroorganismy a znečištění smyté z kůže, jako je například kožní tkáň, kožní maz, sliny dutiny ústní a nosní a bakterie v nich obsažené, vlasy nebo zbytky kosmetiky a také znečištění na plaveckém úboru. Často se také jedná o znečištění potem, močí a dalšími exkrečními produkty. Tyto látky obsahují nadále čpavek, kreatin, kreatinin a aminokyseliny. Ačkoli mnohé z těchto látek nejsou pro lidské zdraví nikterak ohrožující, způsobují zásadní zhoršení organoleptických vlastností vody, často reagují a vyčerpávají dezinfekční činidlo obsažené ve vodě. Navyšují tak množství recirkulované vody potřebné k udržení hygienických standardů.

Druhým druhem znečištění, které pro člověka představuje mnohdy závažnější zdravotní riziko, jsou mikroorganismy zachycené na stěnách bazénu, v mezerách mezi obklady a na jiných místech s omezenou obměnou vody a tedy i dezinfekčních činidel. Dochází zde k jejich množení a zásadnímu zvyšování rizika přenosu, které by za normálních podmínek nebylo možné. Plavci jsou během pobytu v bazénu ochlazováni vodou a jsou s ní v přímém kontaktu, což má za následek snížení odolnosti sliznic a zvýšené náchylnosti k přenosu patogenů jak ve vodě, tak ve vzduchu (ve formě aerosolu).

Mezi nejčastější zdravotní projevy v případě bakterií, virů a parazitů patří kožní vyrážky nebo průjem. Ve vážnějších případech ale může jít i o zvracení, horečky, žloutenku, infekci dýchacích cest a v těžkých případech i o záněty mozku či srdce nebo celkovou paralýzu. Nejvíce ohroženou skupinou jsou tak děti a lidé s omezenou funkcí imunitního systému.

Především z těchto důvodů je nutné udržovat hygienické standardy při úpravě bazénových vod. Nutno podotknout, že právě v případě mikroorganismů je použití pokročilých oxidačních procesů (Advanced Oxidation Processes – AOP) velice účinné. [24][25]

## **2.1 ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ V BAZÉNOVÝCH VODÁCH**

Pitná voda, která se pro napouštění bazénů používá, pochází z vodovodní sítě. Tato voda je před vstupem do sítě hygienicky zabezpečena, a pokud nedojde k její kontaminaci na cestě mezi úpravnou a spotřebitelem, je hygienicky nezávadná.

Za předpokladu, že je provoz úpravny vody pro daný bazén pečlivě čištěn a udržován, je jediným znečištěním, které je do bazénu zanášeno, znečištění od návštěvníků.

Pokud bereme v úvahu vnitřní bazény, je jejich situace, co se druhů a zdrojů znečištění týče, poněkud jednodušší než u bazénů venkovních. Vnitřní bazény jsou zpravidla konstruovány tak, aby návštěvník prošel přes převlékárny a cesta k bazénu vedla přes sprchy a toalety. Návštěvník je nabádán, aby se před vstupem do prostorů bazénu umyl, čímž se zásadně snižuje znečištění vnesené do bazénu. Venkovní bazény často tyto prostory takto rozdělené nemají a umožňují přístup k bazénu přímo z okolí odpočinkové zóny. K znečištění se tak přidává vnos z okolního zatravnění či písku z přidružených hřišť. Vzhledem k faktu, že venkovní bazény jsou především letní záležitostí, objem vnesených krémů a jiných přípravků na péči o kůži je výrazně vyšší. Nezřídka kdy se stává, že takto velké venkovní vodní plochy přitahují ptactvo a hlodavce, jejichž trus se může podílet na zhoršení jakosti vody. [17]

## **2.2 LEGISLATIVA HYGIENICKÝCH POŽADAVKŮ NA BAZÉNOVÉ VODY**

První zmínky k otázce jakosti bazénových vod se začínají objevovat v polovině 20. let minulého století. Zhoršující se kvalita povrchových vod způsobená odpadními vodami, které při vypouštění do recipientu nebyly čištěny přímo, ovlivňovala hygienická rizika nově vznikajících lázní a bazénů. Ačkoli na to u nás bylo ze strany odborné veřejnosti často upozorňováno, právní formu nabyla nápravná opatření až v 50. letech. Na zákon o hygienické a protiepidemické péči jsme si tak museli počkat až do roku 1952, jehož důsledkem byl vznik první hygienické služby. V následujících desetiletích bylo vydáno hned několik směrnic a regulačních opatření, které posouvaly a zlepšovaly kvalitu vody nejen lázeňství, ale také ve venkovních bazénech a koupalištích. Důležitým se pak stal rok 1965, kdy byl směrnicí vyžadován závazný provozní řád schválený řídicím národním

výborem. Dalším zásadním posunem se stala směrnice č. 48/1978, která se díky své pokrokovosti udržela v platnosti až do roku 2000. Po vstupu České republiky do Evropské unie se v roce 2004 legislativně ukotvila povinnost sledovat a vyhodnocovat jakost vody po každé uplynulé sezoně a byla provedena transpozice dosavadních českých směrnic na směrnice evropské. V současné chvíli je v platnosti vyhláška číslo 238/2011 Sb. „...o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních herních ploch“. [16][18]

## **2.1 DRUHY EXPOZICE**

Návštěvník přichází během pobytu v bazénu do kontaktu nejen se znečištěnou vodou, ale také s chemickými látkami, které ve vodě vznikají reakcí dezinfekčního činidla se vneseným znečištěním. Z tohoto pohledu lze rozdělit riziko dvojího druhu, a to na riziko mikrobiologické a riziko chemické. Způsob, jakým je zmíněným rizikům návštěvník vystaven, se dělí do tří odvětví:

- Ingesce
- Inhalace
- Dermální kontakt

### **2.2.1 Ingesce**

Riziko ingesce neboli požití vzniká při přímém kontaktu návštěvníka s vodou. Ačkoliv dospělým lidem se polknutí bazénové vody děje zřídka kdy, u dětí se toto riziko předpokládá zásadně vyšší. Dle studií je množství požití vody u dětí více jak dvakrát vyšší než u dospělých. Pro stanovení limitních hodnot se tedy využívá maximální příjem vody dítětem stanovený na 100 ml. Množství požití vody je rozdílné nejen u žen a mužů, ale má na něj také vliv především:

- Věk
- Plavecká zkušenost
- Druh aktivity



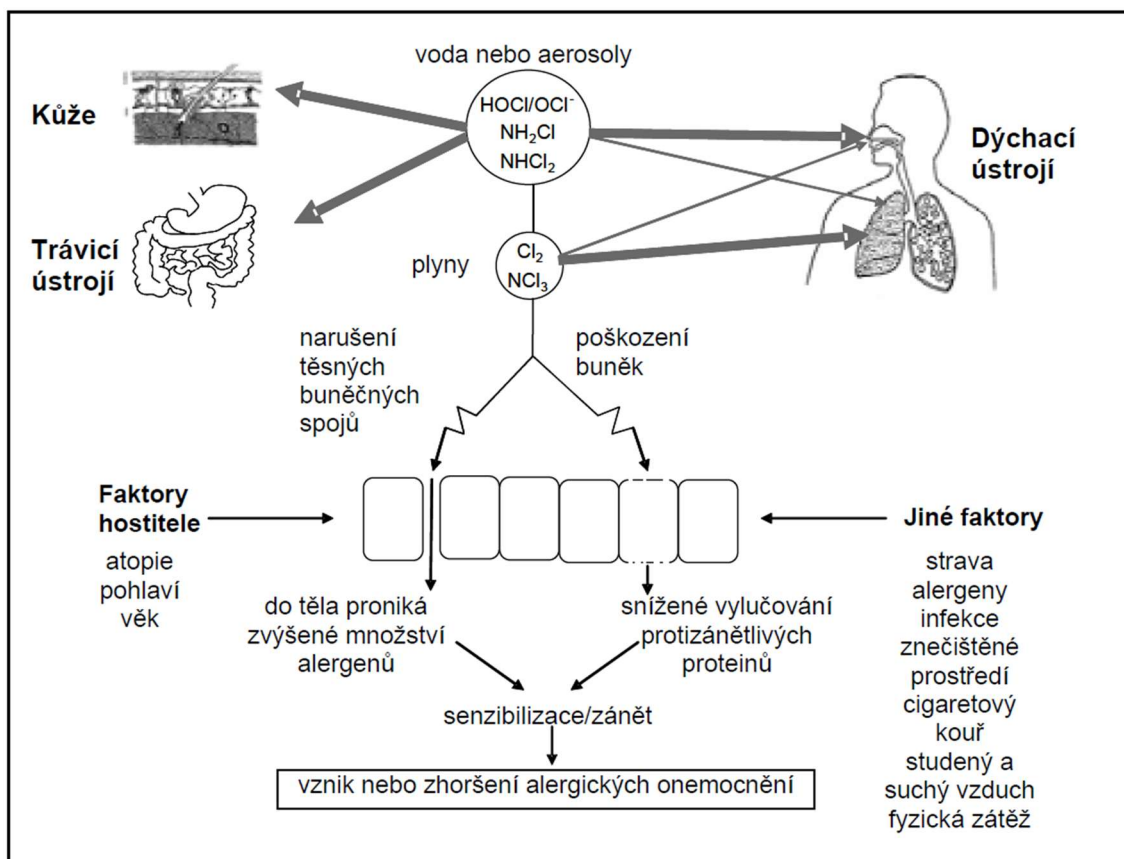
Ingescí se do těla dostávají jak mikroorganismy z vody, tak chemické látky pro její úpravu. Nejběžnějším onemocněním se tak stávají problémy se zaživacím ústrojím, jejichž projevem jsou bolesti břicha a průjem. [17][19]

### 2.2.2 Inhalace

Inhalace neboli vdechnutí je dalším způsobem expozice. Dochází u ní ke vdechování aerosolů nejen z vodní hladiny, ale také například ve sprchách nebo v nejbližším okolí bazénu. Vliv na množství inhalovaných látek má především:

- Druh aktivity
- Intenzita námahy
- Délka expozice
- Koncentrace těkavých látek

Závodní plavci při tréninku inhalují přibližně od 3 do 5 m<sup>3</sup> vzduchu. Při takovém objemu je množství vstřebaných těkavých látek díky inhalaci a kožní resorpci vyšší než při vypití 2 litrů chlorované vody. Těkavé látky především leptají sliznice dýchacích cest, a proto není žádným překvapením, že mezi nejčastější projevy závodních plavců patří, mimo jiné, respirační problémy. Studie prokázaly, že existuje spojení mezi vznikem respiračních obtíží a výskytem chloraminů v bazénové vodě. Mezi nejčastější onemocnění způsobované patogenními organismy přijímanými respirací patří legionelóza, granulomatózní pneumonitida a různé druhy mykobakterióz.



**Obr. 1 Mechanismy narušení epitelové bariéry oxidanty na bázi chloru ve vodě nebo v ovzduší [19]**

Plavci ovšem překvapivě nejsou ti, kteří by na tom v ohledu inhalace byli nejhůře. Studie ukazují, že hůře na tom jsou plavčíci a další zaměstnanci bazénů, kteří jsou vystavováni expozici trichloraminů pravidelně a dlouhodobě v rámci své profese. Co se koncentrace týče, až třikrát hůř jsou na tom plavčíci pracující ve vodních zábavních centrech než jejich kolegové u běžných plaveckých bazénů. Zvýšená expozice je přičítána faktu, že v zábavních a rekreačních centrech je udržována vyšší teplota vzduchu a víření vody od tobogánů, vířivek a jiných atrakcí je zásadně vyšší. Průzkum dotazníkovou formou mezi zaměstnanci bazénu prokázal korelaci mezi respiračními onemocněními a koncentrací trichloraminů. [17][19]

### 2.2.3 Dermální kontakt

Dermálním kontaktem je myšlena expozice pokožky. Ačkoliv se může zdát, že ze tří způsobů expozice je dermální kontakt nejméně problematický, opak může být pravdou. V případě resorpce chemických látek kůží je totiž obejit průchod játry a krevní oběh roznáší látku přímo k orgánům. Množství resorbovaných látek závisí především na [17][19]:

- Době expozice
- Teplotě vody
- Koncentraci chemických látek

**Tab. 1 Možné infekce z vody umělých bazénů a koupališť [17]**

Postižený orgán	Onemocnění	Původce
Kůže	dermatitida (zánět kůže)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , kvasinky, <i>Mycobacterium marinum</i> a jiná atypická mykobakteria, dermatofyty
	folikulitida (zánět vlasového váčku a mazové žlázy)	<i>P. aeruginosa</i>
	bradavice	lidský papilomavirus, <i>Moluscum contagiosum</i>
Uši	otitida (zánět středního ucha nebo zevního zvukovodu)	<i>P. aeruginosa</i>
Oči	konjunktivitida (zánět spojivek)	<i>Chlamydia trachomatis</i> , moraxela, adenoviry, echoviry, <i>P. aeruginosa</i>
	keratitida (zánět a poškození oční rohovky)	<i>Acanthamoeba</i>
Mozek	meningitida, meningoencefalitida	echoviry, améby ( <i>Naegleria fowleri</i> , <i>Acanthamoeba</i> )
Plíce	pneumonie (atypická)	legionely, adenoviry, viry coxsackie, ECHO viry, mykobakteria, <i>P. aeruginosa</i>
Játra	hepatitida (virový zánět jater doprovázený zvětšením jater a žloutenkou)	viry hepatitidy A, E, F
Urogenitální trakt	infekce urogenitálního traktu	<i>Mycobacterium avium</i> , <i>P. aeruginosa</i>
Trávicí ústrojí	gastroenteritida (zánět žaludku nebo střev)	<i>Shigella</i> , <i>E. coli</i> O157, <i>Cryptosporidium</i> , <i>Giardia</i> , echoviry, adenoviry, noroviry, rotaviry

### 2.2.4 Proměnná rizika

V dnešní době jsme u velkého množství bazénových provozů dosáhli hygienických standardů, které snižují riziko vážnějších onemocnění na nutné minimum. V ideálním případě nám do bazénu vstupuje řádně osprchovaný a zdravý návštěvník. V reálném provozu jsme ale od modelového návštěvníka na míle vzdálení. Zatímco nedostatek hygieny v případě jednoho jedince nehraje roli pro nějaké zásadnější zhoršení kvality vody v objemu celého bazénu, tak zdravotní stránka věcí může hrát roli mnohem

zásadnější. Je to právě nezodpovědné chování nemocných návštěvníků, se kterými si sebelepší provoz poradí jen těžko a které je problémem především pro osoby s poruchami imunitního systému. Průzkumy při šetření vodní epidemie v Nebrasce (USA, 2000) odhalily, že 18 % lidí se koupalo ačkoliv mělo příznaky průjmového onemocnění a 32 % se koupalo během nemoci nebo do 2 týdnů po ní.

Míra expozice může být snížena kratším pobytem v bazénu nebo preciznějším provozem úpravy bazénových vod. V případě znečištění, a především přenosu nemocí, bude i při dosavadním zlepšování technologií na konci dne největším problémem samotný návštěvník. Je nasnadě, zda v moderní společnosti nevěnovat pozornost především prevenci a osvětě návštěvníků, než přistoupíme k ještě sofistikovanějším a bezesporu dražším způsobům úpravy vody, než které máme k dispozici dnes. [17][19][20]

**Tab. 2 Aktivní chlor, chloraminy a hlavní vedlejší produkty dezinfekce [19]**

Aktivní chlor kyselina chlorná chlornan	Halogenované acetonitrily (HCN) dichloracetonitril bromchloracetonitril dibromacetonitril trichloracetonitril
Chloraminy monochloramin dichloramin trichloramin (chlorid dusitý)	Chlorfenoly 2-chlorfenol 2,4-dichlorfenol 2,4,6-trichlorfenol
Anorganické vedlejší produkty chlorečnany chloritany chlor	Chlorpikrin Chloralhydrát
Trihalometany (THM) chloroform bromdichlormetan dibromchlormetan bromoform	Chlorkyan Halogenoctové kyseliny (HAA) kyselina monochloroctová kyselina dichloroctová kyselina trichloroctová kyselina monobromoctová kyselina dibromoctová
Halogenketony (HK) 1,1-dichlorpropanon 1,1,1-trichlorpropanon	

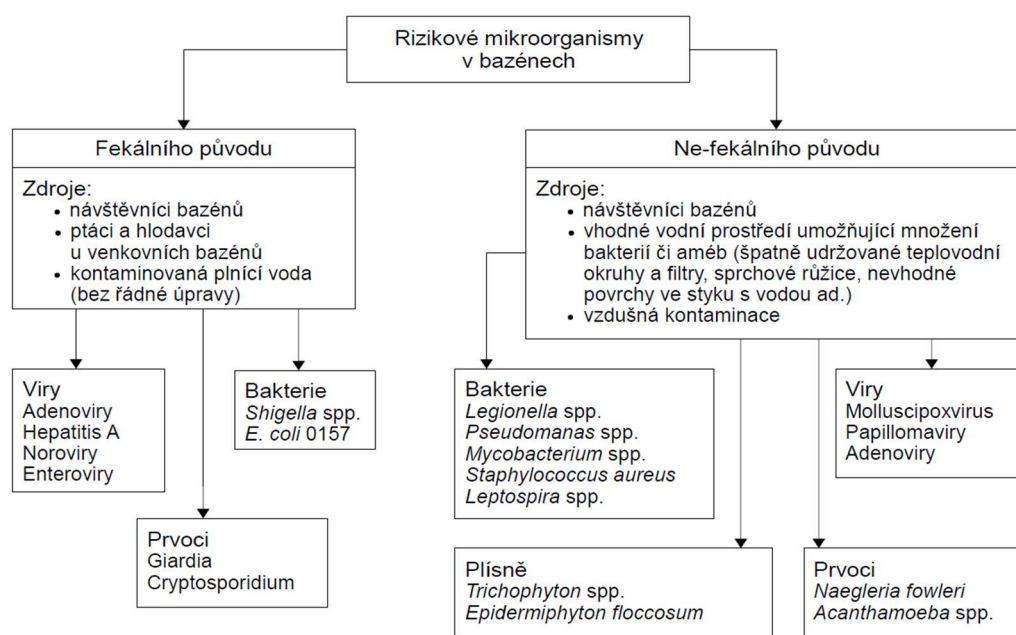
### 2.2.5 Mikrobiologická rizika

Jak již bylo zmíněno dříve, největší částí se na znečištění vody podílí sám návštěvník smyvem nečistot z těla a plaveckého úboru. Mezi mikrobiologická rizika řadíme:

- Bakterie

- Viry
- Parazitické prvky
- Améby
- Mykobakterie
- Plísně
- Řasy

Na riziko přenosu organismu z vody na člověka má vliv několik faktorů. Mezi nejhlavnější patří fakt, zdali je bazénová voda upravovaná, čímž může riziko vzrůst až o 20 %. Dále pak teplota vody, ale také rychlost její recirkulace, celkové zatížení od návštěvníků a druh její dezinfekce. Nutno podotknout, že na různé druhy patogenů mohou platit výše uvedené faktory s různou efektivitou. Například, i když se obecně většině patogenů daří v teplejší vodě, patogeny střevní se naopak při vyšší teplotě inaktivují rychleji.

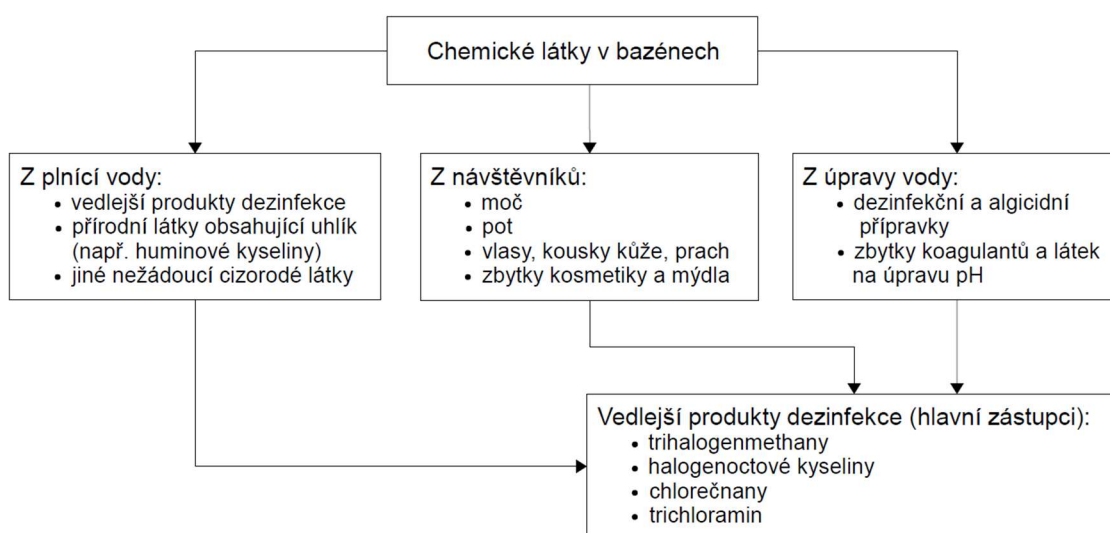


**Obr. 2 Zdroje a druhy mikrobiologické kontaminace vody v bazénech a okolí [17]**

## 2.2.6 Chemická rizika

Chemické látky oslabující nebo přímo ohrožující zdraví člověka nacházejícího se v bazénové vodě jsou nejčastěji vedlejšími produkty jejich dezinfekce. Ačkoliv se v této otázce nejčastěji setkáváme s chlórem a jeho dalšími sloučeninami, neměli bychom opomínat i ostatní druhy dezinfekce, jako je ozon, brom, oxid chloričitý a další méně používané prostředky.

Chloraminy, také zvané jako „vázaný chlór“, jsou deriváty čpavku, kde jsou 1–3 atomy vodíku nahrazeny atomy chloru. Mezi nimi je nejdůležitější trichloramin, který je zodpovědný za typický chlorový zápach bazénů a také za dráždivé vlastnosti chlorované vody. Vzniká reakcí chlóru a do vody vnesené močoviny a potu. Močovina a pot jsou během fyzické námahy ve vodě nevyhnutelným znečištěním, neboť regulují vlhkost kůže. Nelze se jich zbavit úplně, ale lze je zásadně zredukovat důslednou sprchou před vstupem do bazénu. Chlorečnany jsou dalším vedlejším produktem na bázi chlóru, které přispívají ke vzniku kožních a dýchacích obtíží. Vznikají reakcí chlornanů s oxidačními činidly, jako je ozon nebo oxid chloričitý. Dle výzkumu se dá dosáhnout redukce jejich vzniku, pokud je k dezinfekci použita kombinace ozonu a chlornanu sodného. [17][19][20]



**Obr. 3 Zdroje a druhy chemické kontaminace vody v bazénech a jejich okolí [17]**

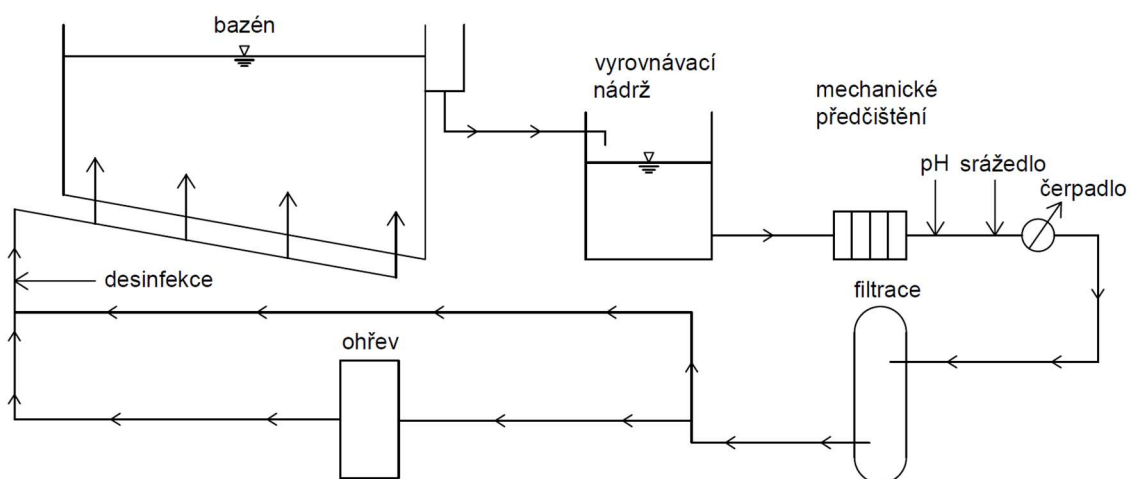
### 3 ÚPRAVA BAZÉNOVÝCH VOD

Správně zvolený způsob a posloupnost úprav bazénových vod je základním kamenem úspěchu pro čistou a zdravotně nezávadnou recirkulaci vody. Během recirkulace voda přepadává přes okraj bazénu a už zde dochází k prvotnímu předčištění. Přepadové mřížky brání vniknutí větších předmětů do systému a samotný soustředěný odtok z přepadů je osazený mřížkou, na které se zachytí většina malých předmětů, jako jsou například úlomky plovacích desek, prstýnky a podobně.

Voda gravitačně natéká do vyrovnávací nádrže, odkud pokračuje dál na mechanické předčištění, které je většinou ve formě lapáku vlasů a jiných drobných nečistot. Mechanické předčištění má jednak za úkol ochranu čerpadel, neboť by se především vlasy rychle navinuly na osy oběžných kol, a jednak napomáhá menšímu zanášení filtrů, které by mohlo znesnadnit jejich praní. Za mechanickým předčištěním se nachází dávkování neutralizačního činidla na úpravu pH a dávkovač koagulantu.

Výkyvy pH mohou být jak do kyselé, tak do zásadité oblasti, na což má vliv především znečištění návštěvníky, dávkování koagulantu a dezinfekčního činidla. Pro správné fungování je nutné stanovit dávkování na základě provozních zkoušek. Hodnota pH bazénové vody se dle vyhlášky 238/2011 Sb. má pohybovat v rozmezí 6,5–7,6 pH, ideálně však kolem 7 pH, což zajišťují přídatná činidla. Mezi nejčastější činidla pro zvýšení pH z kyselé oblasti se používá uhličitan sodný a hydroxid sodný. Pro snížení pH ze zásadité oblasti se naopak používá kyselina chlorovodíková, kyselina sírová nebo hydrogensíran sodný. Nejčastějším koagulantem používaným v lázeňství je pak síran hlinitý.

Čerpadlo takto upravenou vodu přečerpává skrze koagulační filtr. Ten je zpravidla tvořen pískovou náplní, ale často se také setkáváme s pískovými filtry v kombinaci s aktivním uhlím. Část vody je pak vedena k ohřevu, část obtéká ohřev a před dezinfekcí dochází k opětovnému smíchání. Do vody je následně přimícháno dezinfekční činidlo před tím, než je opět vrácena do bazénu. [5][16]



**Obr. 4 Schéma recirkulačního okruhu [5]**



## 4 DEZINFEKČNÍ TECHNOLOGIE

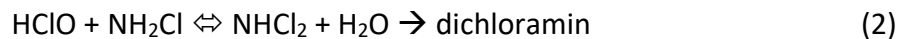
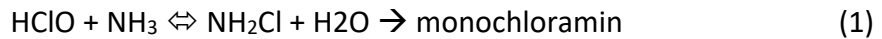
Dezinfekční technologie se u bazénových provozů zaměřují na sterilizaci a odstranění patogenních organismů z bazénové vody. Činidla musí být schopna spolehlivě usmrtit patogeny nejen během jejich dávkování do recirkulační vody, ale také musí mít dostatečnou residuální koncentraci v bazénu, aby byla schopna plnit svoji preventivní funkci. Tato skutečnost je pro udržení kvality vody naprosto zásadní, neboť ihned po načerpání upravené vody zpět do bazénu dojde ke smíchání s vodou neupravenou a může trvat i hodiny, než se takto smíchaná voda opět vrátí do úpravy. Zajištění residuální koncentrace dezinfekčního činidla je tedy stejně důležité jako úprava samotná. V následujících kapitolách bude popsána dezinfekce:

- Chlorem
- Ozonem
- Bromem
- Jodem
- Směsnými oxidanty
- Stříbrem a mědí
- Elektrochlorací
- UV zářením

### 4.1 CHLOR

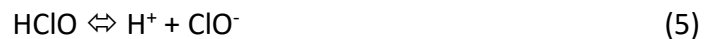
Chlor je zdaleka nejrozšířenějším dezinfekčním činidlem. Pro spoustu bazénových provozů je první a logickou volbou nejen proto, že je velice účinným prostředkem k hubení patogenních organismů, ale zároveň si dokáže poradit i s organickým znečištěním, ať už ve formě roztoku nebo suspenze. Zbytkový chlor pak nadále zůstává ve vodě a slouží jako residuum při smíchání s neupravenou vodou.

Nevýhodou chloru je jeho zápach, který způsobují jeho komplexní sloučeniny. Nejčastějšími takovými sloučeninami jsou chloraminy (1)(2)(3), které vznikají reakcí s amoniakem a jsou původcem podráždění očí, které se chlorované vodě často přisuzuje.

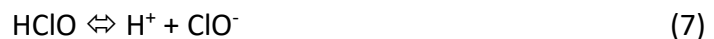
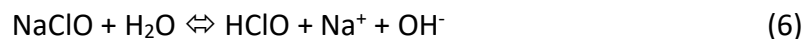


Vlhké a tekuté formy chloru jsou silně korozivní vůči oceli i PVC, nejvhodnějším skupenstvím je tedy chlor suchý, který neohrožuje železné slitiny ani měď.

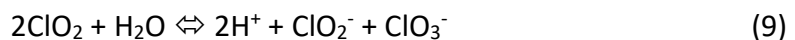
Chlor bývá skladován zpravidla jako zkapalněný plyn v kontejnerech a ocelových lahvích. Jeho aplikace je prováděna takzvaným paralelním zapojením, kdy je smíchán s vodou a dávkován do recirkulačního potrubí. Smícháním vzniká kyselina chlorovodíková a kyselina chlorná (4), která dále disociuje dle rovnice (5):



Pro potřeby bazénových provozů se také často využívá chlornan sodný, který je vysoce rozpustný ve vodě. Uskladňuje se v plastových lahvích jako roztok. Dávkování je prováděno za pomoci dávkovacích čerpadel do recirkulačního potrubí. S vodou reaguje dle rovnice (6) a kyselina chlorná dále disociuje dle rovnice (7):



Třetí formou chloru je oxid chloričitý neboli chlordioxid. Jeho výhoda spočívá v téměř nulové tvorbě chloraminů a chlorfenolů, čímž zásadně snižuje zápach vody a dráždění sliznic. Vzniká reakcí chloritanu sodného s plynným chlorem (8) a s vodou reaguje za vzniku vodíku, chlordioxidu a chlordioxidového kationtu (9):



Poslední formou chloru jsou chlorované izokyanáty, také známé jako chlorové tablety nebo granule. Na jejich použití u veřejných bazénů v podstatě nenarazíme, neboť je

jejich použití vysoce neefektivní. Svoji funkci však hojně plní při dezinfekci domácích bazénů. [1][5]

## 4.2 OZON

Ozon je tříatomová molekula kyslíku, která je účinným dezinfekčním prostředkem pro odstraňování patogenních organismů a zároveň je silným oxidačním činidlem. Jeho oxidační schopnosti efektivně rozkládají organické znečištění, při správném použití po sobě nezanechává žádnou pachovou či chuťovou stopu, redukuje tvorbu chloraminů a vytváří minimální množství nežádoucích látek.

Nevýhodou ozonu je, že je velmi nestálý, nezanechává po sobě téměř žádné zbytkové residuum pro zajištění hygienizace bazénové vody a je nutné ho vyrábět na místě. Jeho rozpad je také ovlivněn teplotou vody, takže při dezinfekci například vody ve vířivkách je potřeba zvýšit vstupní koncentraci. Je tedy vhodným činidlem pouze jako sekundární hygienické zabezpečení. Pro dosažení residuální hygienizace vody se kombinuje s malým množstvím jiného dezinfekčního prostředku, kterým může být například chlor.

Ozon je potřeba vyrábět na místě užití. Výroba probíhá v takzvaných ozonizátorech z kyslíku za pomoci elektrického výboje (10) [1][5]:



Smísením se vzduchem je následně přiváděn do vody. To je prováděno trojím způsobem.

- Úplné ozónování
- Boční ozónování
- Technologie malých dávek

### 4.2.1 Úplné ozónování

Varianty se dále dělí podle místa, na kterém je ozon do recirkulačního okruhu dávkován.

### ***Varianta 1***

Ozónování se nachází za koagulační filtrací. Jedná se o spojení ozonizace a sekundární sorpční filtrace. Varianta vyžaduje oddělené zařízení pro směšování, reakci a následné odstranění zbytkového ozonu. Filtrace probíhá přes dvouvrstvý filtr, skládající se z písku a aktivního uhlí.

### ***Varianta 2***

Ozónování se nachází před filtry. Varianta je použitelná v případě, že se při výstavbě počítá s osazením ozonizátoru. Filtry musí být otevřené, dvouvrstvé. Jako reakční nádoba se využívá vyrovnávací nádrž, která musí být vzduchotěsně a protikorozně ošetřena. Srážedlo a regulátor pH jsou předřazeny vyrovnávací nádrži. Pro prací vodu se pak musí vytvořit samostatný zásobník. Na filtru probíhá zároveň koagulační filtrace, sorpce i odstranění zbytkového ozonu.

### ***Varianta 3***

Obdoba varianty 2, avšak odstranění ozonu probíhá již ve vyrovnávací nádrži a filtry jsou vícevrstvé, tlakové.

### ***Varianta 4***

Ozon je dávkován před filtry za pomoci směšného zařízení (reaktor nebo hydraulický mísič). Před filtry se také dávkuje koagulant a upravuje pH. Filtry jsou vícevrstvé, tlakové. Horní vrstva je tvořena směsí pemzy a aktivního uhlí, spodní vrstva pískem.

### ***Varianta 5***

Do reaktoru naplněného smáčecími tělísky (např. Raschigovy kroužky) je zespodu přiváděna směs vzduchu a ozonu. V horní části je pak rozstříkována bazénová voda. Voda s ozonem je pak čerpána na vícevrstvé rychlofiltry. [5]

#### 4.2.2 Boční ozónování

V případě bočního ozónování je část vody přiváděna k úplné ozonizaci. Voda se pak vrací do recirkulace, kde se mísí. [5]

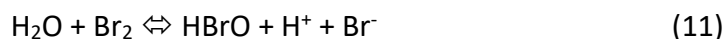
#### 4.2.3 Technologie malých dávek

Vhodné pouze pro provozy s nižším a regulovatelným zatížením. Ozonizace je zařazena přímo do recirkulace, kde je v malém množství dávkována. Slouží především ke zlepšení organoleptických vlastností vody. [5]

### 4.3 BROM

Brom patří do stejné skupiny prvků jako chlor a jsou si podobní, co se chemických vlastností týče. Stejně jako chlor je brom silné oxidační činidlo a germicid. Ve vodě se rozpouští, vytváří kyselinu bromnou a dále ve vodě disociuje (11)(12). Podobně jako chlor tvoří sloučeniny s amoniakem – bromaminy. Ačkoli použití bromu nedráždí oči a sliznice, bylo zaznamenáno, že u některých plavců způsobuje podráždění pokožky.

Ve veřejných bazénech se brom nepoužívá kvůli vysoké ceně. Svoje využití ale našel v menších plaveckých bazénech – především v soukromých bazénech, klubech a hotelích. [1]



### 4.4 JÓD

Třetím ze skupiny halogenů, jód, je látka pevného skupenství, která také nachází své místo při úpravě bazénových vod. Jeho redoxní potenciál je mezi halogeny nejnižší, ale je příkladnou ukázkou toho, že i slabé oxidační činidlo může být dobrým dezinfekčním prostředkem. Jeho pomalejší reakce při vytváření trihalogenmethanů zaručuje dlouhodobější residuum v upravené vodě a je tedy vhodný v kombinaci s například výše zmíněným ozonem. Odradzující od použití ve veřejných provozech je především jeho

cena. Ve vodě vytváří kyselinu jódovou a dále disociuje na vodíkové a jodnanové ionty (13)(14) [6][7]:



#### 4.5 SMĚSNÉ OXIDANTY

Inaktivace patogenních organismů se především v poslední době stala důležitým objektem zájmu. S výskytem organismů odolnějších na běžné dezinfekční prostředky a ohledem na vedlejší produkty vznikající při běžné úpravě vody chlorem se v hledáčku optimálních řešení objevily i směsné oxidanty (MIOX).

Směsné oxidanty vznikají mechanickým smícháním více oxidačních činidel. Jedná se tak nejběžněji o směs chloru a následujících oxidantů:

- O<sub>3</sub>
- ClO<sub>2</sub>
- ClO<sub>2</sub><sup>-</sup>
- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Kombinací dosahujeme znatelně lepších výsledků při inaktivaci jinak těžce odstranitelných organismů. Silný oxidační potenciál zároveň odstraňuje biofilm v potrubí a na stěnách bazénu. Snížená potřeba chloru tak druhotně napomáhá ke zlepšení organoleptických vlastností vody, stejně jako její průhlednosti, a omezuje tvorbu chloraminů, čímž tolik nedráždí oči a sliznice. [3]

#### 4.6 STŘÍBRO A MĚĎ

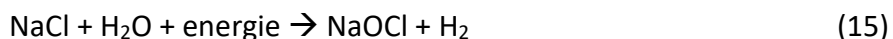
Použití stříbrných a měděných iontů pro úpravu vody sahá až do 20. let 19. století. Princip fungování je založený na vytváření kladně nabitých kovových iontů, které se vážou na záporně nabitě nekovové ionty v upravované vodě. Dochází tak k vytváření mikro-vloček, mnohem menších než jaké vytváří běžné flokulanty, které se následně zachytí na filtrech. Proces probíhá na kovových plátech, skrze které protéká

recirkulovaná voda. Pláty jsou nabitě elektrickým proudem, při čemž uvolňují kovové ionty.

Vzhledem k velikosti vloček je průtok filtry až dvojnásobný, neboť se vločky dostávají hlouběji do filtru a neucpávají tak jeho svrchní část. Část volných iontů zůstává ve vodě i po průchodu filtry a podobně jako u jiných dezinfekčních činidel slouží jako residuum – stříbro je známé pro své baktericidní vlastnosti. Neexistuje však žádný jednoduchý způsob, jak detekovat a kvantifikovat množství volných iontů ve vodě, což je pro drtivou většinu bazénových provozů nepřekonatelná obtíž. [1]

#### 4.7 ELEKTROCHLORACE

Pro úpravu silně zasolených vod je elektrochlorace jedním z nejvhodnějších řešení. Pomocí katody a anody umístěné v recirkulačním okruhu dochází k elektrolýze obsaženého NaCl a uvolňování aktivního chloru za vzniku NaOCl a vodíku dle rovnice (15). Na anodě probíhá reakce dle rovnice (16), na katodě dle rovnic (17)(18):



Katoda:



Anoda:



Faktorem limitujícím úpravu je množství NaCl obsažené ve vodě, volba vhodného materiálu anody pro dané znečištění a poměr velikosti plochy povrchu anody ke katodě. [13]

#### 4.8 UV ZÁŘENÍ

Ultrafialové záření (z ang. *Ultra-violet*, tedy UV) je formou světelné radiace, která se v začátcích 20. století osvědčila při rozkladu a sterilizaci patogenních organismů. Základním předpokladem je úplná světelná prostupnost ošetřovaným médiem a použití

zařízení se správnou světelnou vlnovou délkou. Optimální pro sterilizaci organismů se ukázala vlnová délka mezi 250–280 nanometry.

Požadavek na světelnou prostupnost je v případě UV zásadní, aby se dosáhlo úplného účinku na všechny organismy v médiu. Všechny suspendované a rozpuštěné látky musí být z vody před nasazením UV odstraněny, proto se tato technologie osazuje zpravidla na konec recirkulačního okruhu. Pro správné fungování UV je tedy potřeba zajistit, že i předešlé úpravné procesy plní svůj účel. Při UV záření z podstaty věci nelze dojít k tomu, že by došlo k předávkování, do ošetřované vody totiž nepřidává žádné chemické látky. Systém zvládne ošetřit až 50 m<sup>3</sup> vody za hodinu a účinnost inaktivace patogenních organismů je v běžných provozech přes 90 %.

Nevýhodou tohoto typu dezinfekce je, že nezanechává žádné residuum pro přetrvání v upravené vodě. Pořizovací a provozní cena systému je také poměrně vysoká. [1]



## 5 POKROČILÉ OXIDAČNÍ PROCESY

Pokročilé oxidační procesy (z ang. Advanced Oxidation Processes – AOP) vznikly původně pro průmyslové využití k čištění odpadních vod. Se zpřísněním legislativy zaměřené na ochranu životního prostředí a lidského zdraví se však stávaly stále atraktivnějším řešením nově vznikajících problémů s kvalitou pitné vody. Nejpalčivějším problémem za poslední čtyři dekády se staly mikropolutanty, jak se nazývají zbytky léčiv, hormonů, plastů, detergentů, tenzidů, pesticidů a jim podobné látky. Jejich zvyšující se množství v pitné vodě je alarmující a AOP by mohly být řešením tohoto problému. [2]

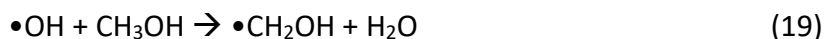
**Tab. 3 Rozdělení typů AOP dle technologie**

Chemické AOP	Fotochemické AOP	Ostatní AOP
Fentonova reakce a H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Heterogenní fotokatalýza	Akustická kavitace
Peroxon	Fotolýza ozonu	Elektrohydraulická kavitace
Elektrochemická oxidace	Fotolýza H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hydrodynamická kavitace
SCWO	Fotofentonova reakce	Proces využívající gama záření
	Fotolýza O <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Proces využívající rentgenové záření
	VUV Fotolýza	Proces využívající elektronový paprsek

### 5.1 OBECNÝ PRINCIP POKROČILÝCH OXIDAČNÍCH PROCESŮ

Pro proces pokročilé oxidace je zásadní uvolňování reaktivních forem kyslíku jako jsou například hydroxylové ionty OH<sup>•</sup>. Tyto volné radikály mají vysoký redoxní potenciál, takže jsou schopny oxidovat jiné molekuly. Redukcí komplexních toxických látek dochází k jejich degradaci na látky nekomplexní a méně toxické. Mezi takové radikály patří například alkoxylový radikál RO<sup>•</sup> nebo radikál kyslíku O<sub>2</sub><sup>•</sup>. Hydroxylové ionty jsou však nejvíce reaktivní, a tedy nejvhodnější pro úpravu vody. K tvorbě hydroxylových radikálů se nejčastěji používá ozon nebo peroxid vodíku. [8][9]

Pro ilustraci tohoto procesu použijeme rovnici reakce radikálu OH<sup>•</sup> s nasycenými alkoholy, kde dochází k odštěpení vodíku (19). V případě adiční reakce dojde k rozbití vazby nenasyčených uhlovodíků (20) [2]:



K výrobě hydroxylového radikálu z ozonu a peroxidu vodíku se přistupuje dvěma způsoby. Prvním je jejich chemický rozklad, a to buď reakcí jednotlivých oxidantů, heterogenní ozonizací oxidy kovů, anebo za pomoci katalyzátorů kovových iontů Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> a Mn<sup>4+</sup>. Druhým způsobem je tvorba fotochemickým procesem za pomoci UV nebo radiolýzy. [9]

**Tab. 4 Porovnání absolutních a relativních oxidačně-redukčních potenciálů jednotlivých oxidačních činidel [21]**

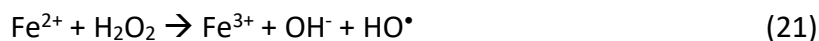
Činidlo	Oxidačně-redukční potenciál [V]	Relativní oxidačně-redukční potenciál
Fluor	3,06	2,25
Hydroxylový radikál OH <sup>•</sup>	2,80	2,05
Hydratovaný elektron e <sup>-</sup> <sub>aq</sub>	-2,70	-
Kyslík O( <sup>1</sup> D)	2,42	1,78
Vodíkový radikál H <sup>•</sup>	-2,30	-
Ozon O <sub>3</sub>	2,08	1,52
Peroxid vodíku H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1,78	1,30
Ionty kyseliny manganisté MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1,67	1,23
Chlornany ClO <sup>-</sup>	1,49	1,10
Chlor Cl	1,36	1,00
Chlor Cl <sub>2</sub>	1,27	0,93
Kyslík O <sub>2</sub>	1,23	0,90

## 5.2 CHEMICKÉ OXIDAČNÍ PROCESY

Oxidační procesy v této podkapitole se zaměřují na hydroxylové ionty vznikající reakcí příslušných oxidantů nebo jejich katalýzou kovovými ionty.

### 5.2.1 Fentonova reakce a peroxid vodíku

Hydroxylové ionty jsou v případě Fentonovy reakce tvořeny rozkladem peroxidu vodíku katalýzou za pomoci  $\text{Fe}^{2+}$  (21), respektive  $\text{Fe}^{3+}$  (22)(23). Ideální rozsah pH je 2,0 až 4,0. Při vyšším pH se volné železnaté ionty stabilizují jako železité a při zásaditém pH se peroxid vodíku rozpadá na kyslík a vodík, čímž ztrácí své oxidační schopnosti. Pro vznik každého hydroxylového iontu je potřeba jeden iont  $\text{Fe}^{2+}$ , reakce tudíž vyžaduje vysoké dávkování. Nevýhodou procesu je vznik železného kalu, který tvoří ionty  $\text{Fe}^{3+}$ . [8][10]



Při modelování řetězových reakcí je proces rozdělen do tří stádií:

1. Iniclace
2. Propagace
3. Terminace

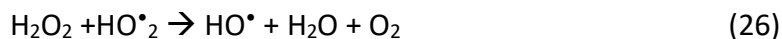
Během iniciace probíhá primární tvorba volných radikálů. V případě peroxidu vodíku je to za pomoci katalyzátoru  $\text{Fe}^{2+}$ , respektive  $\text{Fe}^{3+}$ . Následuje fáze propagace, kdy dochází k nárůstu řetězce reakcí za vzniku stálejších produktů a zároveň dalších volných radikálů. Ve fázi terminace je pak potenciál reakcí vyčerpán a dochází k jejich ukončení.

Při modelování reakce dezinfekce peroxidem vodíku je jedním z hlavních problémů zahrnutí účasti  $\text{Fe}^{2+}$ , respektive  $\text{Fe}^{3+}$  a jejich vliv na vznik hydroxylových radikálů. Bez zahrnutí postupují rovnice následujícím způsobem (24–29) [4]:

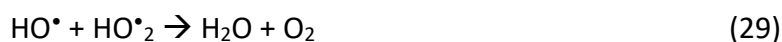
Iniciace:



Propagace:



Terminace:



### 5.2.2 Peroxon

Peroxon, také známý pod chemickou zkratkou  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ , je kombinací ozonu a peroxidu vodíku. Své využití nalezne nejen při úpravě znečištěných vod, ale také při obnově znečištěných zemin a podzemních vod. Poprvé byl představen Engdahlem a Nelanderem v roce 2002. Peroxid vodíku vyvolává rozklad ozonu za vzniku volných radikálů hydroxylylu podle rovnic (30) a (31):



Produkty rovnice (27) se dále účastní na vzniku hydroxylových radikálů dle rovnic (32-37):





Tyto rovnice mohou být zkombinovány pro reprezentaci celkové tvorby radikálů hydroxyly dle rovnice (38):

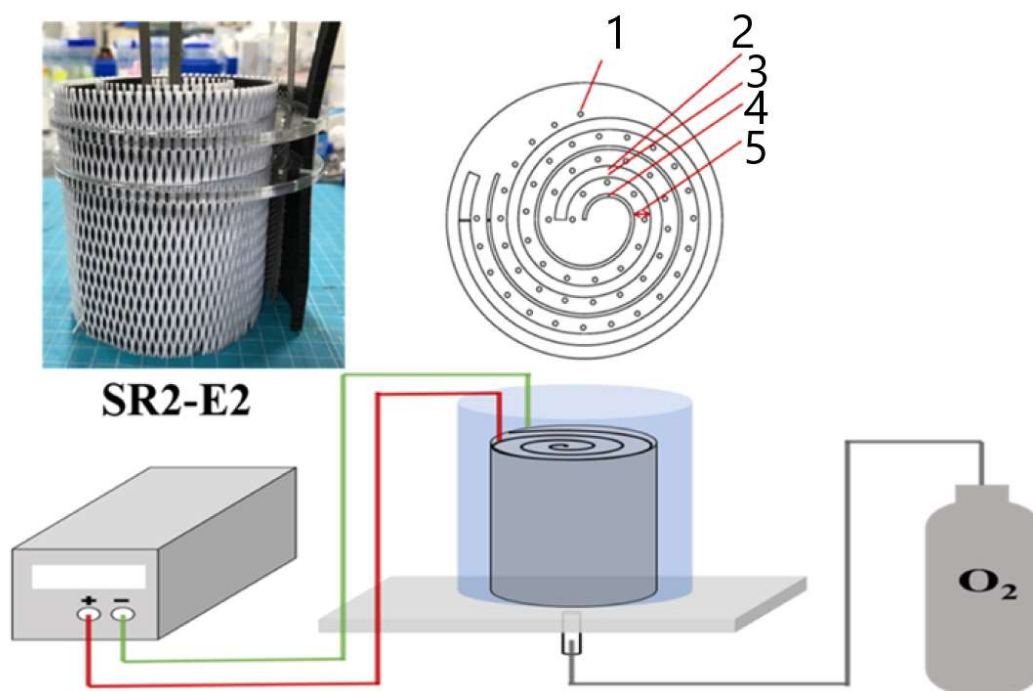


Rovnice nám ukazuje, že pro tvorbu dvou radikálů hydroxyly je zapotřebí jeden mol  $\text{H}_2\text{O}_2$  a dva moly  $\text{O}_3$ . Peroxid vodíku ale zpětně reaguje s radikály, což snižuje efektivitu celého procesu. [11][12]

### 5.2.3 Elektrochemická oxidace

Elektrochemická oxidace se využívá k úpravě kontaminované vody. Během procesu prochází elektrický proud elektrochemickým reaktorem skládajícím se z elektrod, mezi kterými proudí elektrolyt. Na fázovém rozhraní elektroda-elektrolyt dochází k oxidačním a redukčním reakcím za vzniku volných hydroxylových radikálů. Při nepřímé elektrochemické oxidaci na anodě vzniká ozon nebo aktivní chlor ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{ClO}^-$ ), na katodě pak  $\text{H}_2\text{O}_2$  (39). U přímé elektrochemické oxidace vznikají hydroxylové radikály (40) [11][12]:





**Obr. 5 Elektrooxidační systém Swiss-roll SR2-E2**

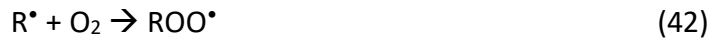
**1 - otvory pro difuzi plynu, 2 - uhlíková plstěná katoda, 3 - síťový izolátor, 4 - síťovinová anoda, 5 - odstup elektrod. [23]**

#### 5.2.4 SCWO – Superkritická oxidace vody

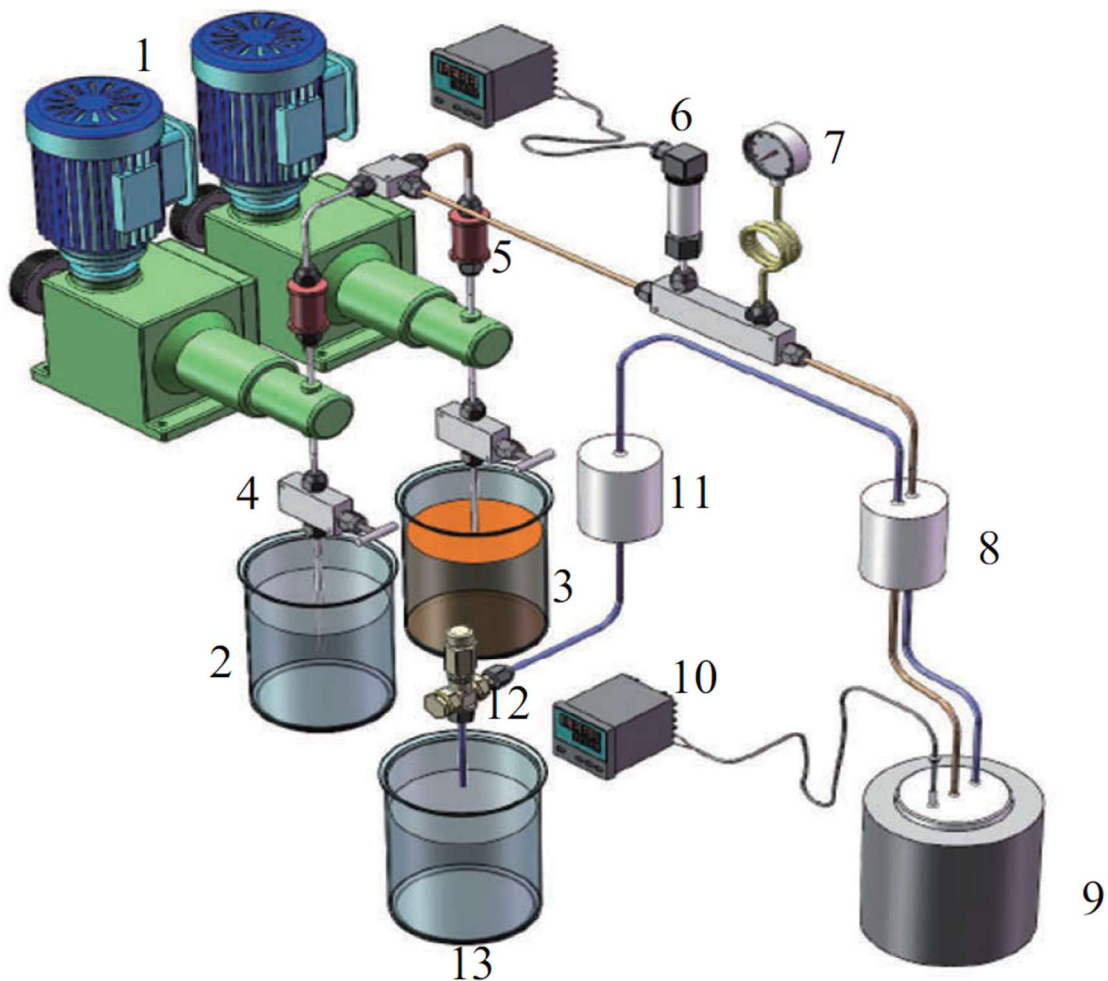
Superkritická oxidace vody (z ang. SCWO – Supercritical water oxidation) je proces, který probíhá při kritickém tlaku a teplotě vody (374 °C; 22 MPa) za přítomnosti dalších oxidantů, jako je O<sub>2</sub> nebo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. V praxi je SCWO prováděna za teplot v rozmezí 400-650 °C a tlaků okolo 25 MPa. Během tohoto stavu se sníží hustota vody až na 78,6 kg/m<sup>3</sup> a viskozita téměř 20krát.

Výsledkem je pak zvýšená pohyblivost iontů, mnohem slabší vodíková vazba a vlastnosti podobné organickým rozpouštědlům. Ostatní nepolární organické sloučeniny a oxidanty jsou v ní dobře rozpustné a následkem toho dochází k velkému množství jinak nemožných reakcí. Při oxidaci O<sub>2</sub> dochází k uvolnění volných radikálů díky odpojení vodíku z C-H nebo O-H vazeb přítomných organických sloučenin. Následuje několik reakcí zahrnujících organické radikály a O<sub>2</sub> v rovnicích (41–44):





Organické peroxidy a  $H_2O_2$  z těchto reakcí se dále rozkládají a tvoří volné radikály hydroxyly. Energetická a procesní náročnost této úpravy je na vysoké úrovni, její použití tedy nadále zůstává jen na specializovaných provozech. [11]



Obr. 6 Schéma zařízení SCWO

1 - vysokotlaké plunžrové čerpadlo, 2 - nádrž s peroxidem vodíkem, 3 - nádrž s odpadní vodou, 4 - plynový ventil, 5 - zpětný ventil, 6 - teploměr, 7 - tlakoměr, 8 - výměník tepla, 9 - ohřívač a reaktor, 10 - záznamník teploty, 11 - kondenzátor, 12 - regulátor zpětného tlaku, 13 - odpadní nádrž. [22]

## 5.3 FOTOCHEMICKÉ OXIDAČNÍ PROCESY

Fotocchemické procesy a z nich vycházející fotokatalytické procesy zahrnují aktivaci fotokatalytických materiálů nebo sloučenin. Aktivace probíhá za pomoci fotonů světla (nejčastěji UV v různých vlnových délkách), které zvyšují účinnost reakce, aniž by byly v průběhu spotřebovány. Existují dvě formy fotokatalýzy – homogenní a heterogenní fotokatalýza. U homogenní fotokatalýzy může být fotokatalyzátorem látka rozpuštěná v kapalině. U heterogenní fotokatalýzy může být fotokatalyzátorem nerozpustná látka obsažená v kapalině nebo látka upevněná na pevném podkladu.

### 5.3.1 HETEROGENNÍ FOTOKATALÝZA

Heterogenní fotokatalýza využívá polovodičové pevné materiály, mezi které patří ZnO, TiO<sub>2</sub>, CdS a ZnS, jež katalyzují vznik radikálových oxidačních prvků ROS (z ang. Radical oxidation species). Fotokatalýza pomocí fotonů zároveň napomáhá rozkládat organické i neorganické znečištění.

Nejčastější polovodič, kterému se v poslední době dostává zvýšené pozornosti a který patří mezi nejužívanější, je oxid titaničitý TiO<sub>2</sub>. Jeho prvenství je způsobeno nejenom jeho vhodnými vlastnostmi pro celý proces, ale také jeho nízkou pořizovací cenou, chemickou stálostí, nízkou toxicitou a vysokou fotoreaktivitou v porovnání s ostatními alternativami.

Energetická nerovnost mezi valenčním a polovodičovým pásmem TiO<sub>2</sub> způsobuje, že absorpce fotonů ve vlnové délce menší jak 384 nm má potenciál odtrhnout elektrony (e<sup>-</sup>) z valenčního do polovodičového pásma, zanechávající ve valenčním pásmu mezery (h<sup>+</sup>) dle rovnice (45). Elektrony a po nich zbylé mezery tak zapříčiňují vznik oxidačních a redukčních reakcí. Při přítomnosti oksličeného vodního roztoku elektrony (e<sup>-</sup>) redukují adsorbovaný O<sub>2</sub> za vzniku superoxidového radikálu (•O<sub>2</sub><sup>-</sup>) dle rovnice (46) a (h<sup>+</sup>) zároveň oxiduje příjemce elektronů, jakým je například voda, čímž dá vzniknout hydroxylovým radikálům (•OH) dle rovnice (47):







Reakce (48) a (49) ukazují vznik peroxidu vodíku, který se rozpadá na dva hydroxylové radikály nebo se stává příjemcem elektronu (49). Reakce (50) a (51) ukazují, jak mezery ve valenčním pásmu ( $h^+_{\text{vb}}$ ) reagují přímo s adsorbovaným organickým dárce elektronu (D) a jak mezera v pásmu polovodiče ( $e^-_{\text{cb}}$ ) redukuje adsorbovaného příjemce elektronu. Rekombinaci dvou nositelů náboje za vzniku  $\text{TiO}_2$  a uvolněného tepla během reakce popisuje rovnice (52) [14]:



### 5.3.2 HOMOGENNÍ FOTOKATALÝZA

#### *Fotolýza ozonu*

Oxidační potenciál ozonu je za běžných podmínek 2,07 eV, během jeho ozáření UV světlem se však zvýší až na 2,8 eV.

Ozon vystavený fotolýze za pomoci UV se rozpadá na dva hydroxylové radikály, které postrádají svoji efektivitu, pokud následně reagují za vzniku peroxidu vodíku (53):



V této reakci jsou přítomny hned tři prvky schopné tvořit hydroxylové radikály – UV,  $\text{O}_3$  i  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Fotolýza ozonu si získala svoji pozornost především díky své schopnosti rozkládat chlorované organické uhlíky, jako jsou  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CCl}_4$ , trichloretylen, tetrachloretylen a 1,1,2-trichloreten. Rozdílné způsoby a provedení  $\text{O}_3/\text{UV}$  fotolýzy si také kladou za úkol

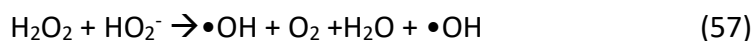
efektivní odstranění pesticidů, endokrinních disruptorů, farmatik, antibiotik, povrchově aktivních látek, nitrobenzenu a barviv. [14]

### **Fotolýza H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

Fotolýza H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ultrafialovým zářením je zajištěna ozařováním peroxidu vodíku rozpuštěného přímo ve vodě. Rozpad molekuly H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> je následován vznikem dvou hydroxylových radikálů dle rovnice (54):



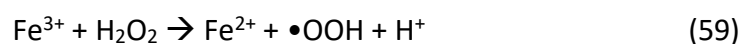
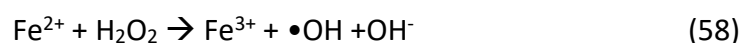
Reakce je přímo závislá na pH a pro efektivní průběh vyžaduje zásadité prostředí. Hydroxylové radikály dále reagují s peroxidem vodíku, což vede k následujícím reakcím (55–57):



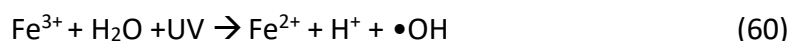
Proces se zprvu zaměřoval na dekontaminaci podzemních vod, neboť efektivně odstraňuje organické polutanty, jako jsou například kyanidy, benzen, trichloretylen a tetrachloretylen. [14]

### **Fotofentonova reakce**

Jak již bylo zmíněné v rámci chemických oxidačních procesů, Fentonova reakce je rozklad H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> za pomoci katalyzátorů Fe<sup>2+</sup>, respektive Fe<sup>3+</sup>, dle rovnic (58)(59):



Fentonova reakce je při účasti UV záření nazývána Fotofentonova. Efektivita výše zmíněných reakcí může být zvýšena ozařováním UV světlem, což má za následek fotolytickou redukci Fe<sup>3+</sup> na Fe<sup>2+</sup>, čímž dochází k regeneraci katalyzátoru a zvýšení produkce hydroxylových radikálů •OH (60):



V kyselém prostředí navíc dochází u komplexů  $\text{Fe}^{3+}$  a hydroxylových radikálů (např.  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ ) k fotolytické redukci dle rovnice (61):



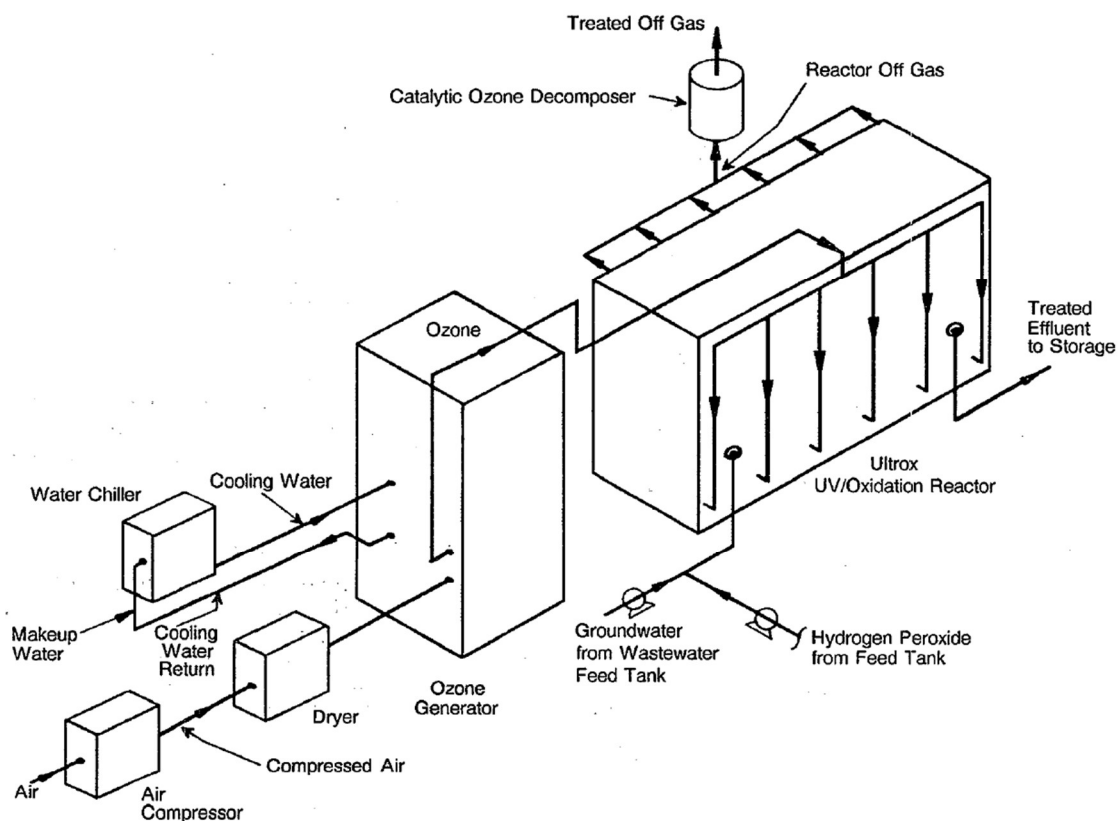
Celková efektivita fotofentonovy reakce je závislá na vlnové délce ozařování. Nepřímou úměrou klesá výtěžek z reakce při zvyšující se vlnové délce – i při nepatrné změně z 313 nm na 360 nm klesá o celý řád. Fotofentonova reakce nachází uplatnění při rozkládání pesticidů, barviv, chlorfenolů a jejich chlornatých sloučenin. [14]

### **Fotolýza $\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$**

Fotolýza  $\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ , také známá jako  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ , je dalším krokem k dokonalejšímu rozkladu organického znečištění zahrnujícího uhlovodíky a aromatické sloučeniny ve vodách málo znečištěných pevnou suspenzí. K jejich odstranění využívá kombinaci ozonu, peroxidu vodíku a UV záření.

Hlavním modulem úpravné jednotky je ozařovací UV reaktor, ozonizátor a dávkovací systém peroxidu vodíku. Během procesu přijde znečištěná voda nejprve cestou do ozařovacího reaktoru do styku s peroxidem vodíku. V reaktoru je znečištěná voda s rozpuštěným  $\text{H}_2\text{O}_2$  ozařována UV lampami. Průtok reaktorem je přesně řízen, aby došlo k požadované délce hydraulického zdržení. Do reaktoru je navíc ode dna přiváděn ozon, který probublává znečištěnou vodou. Fotolýza peroxidu vodíku a ozonu vytváří hydroxylové radikály  $\bullet\text{OH}$ . Ozon, který není spotřebován během reakcí, je odváděn do destrukturu. [14][15]

V reaktoru probíhají obdobné reakce jako při fotolýze  $\text{O}_3$  a  $\text{H}_2\text{O}_2$ , podrobně zmíněné v předešlých kapitolách, umocněné zvýšeným množstvím hydroxylových radikálů z takto zkombinovaného procesu. [15]



Obr. 7 Schéma systému Ultrox [15]

### VUV fotolýza

VUV (z ang. Vacuum ultraviolet) fotolýza je od UV fotolýzy odlišná tím, na jaké molekuly UV záření působí. Běžné UV v používaných rozpětích vlnových délek cílí na molekuly látek obsažených ve vodě, jako je  $O_3$  nebo  $H_2O_2$ . VUV fotolýza naopak cílí na samotné molekuly vody, které štěpí, a vytváří tak hydroxylové radikály, hydratované elektrony, vodíkové radikály a vodíkové kationty.

Název je odvozen od faktu, že UV záření ve vlnové délce, kterou používá VUV fotolýza je snadno pohltitelná i vzduchem, a tak je k jeho šíření zapotřebí vakuum. Při ozařování vody pohltí 99 % záření již prvních 40 nm kapaliny, proto je nutné zajištění vysoce provzdušněného, turbulentního proudění.

Fyzikálně se UV dělí na UV-A (380–315 nm), UV-B (315–280 nm), UV-C (280–200 nm), V-UV (200–100 nm) a extrémní nebo také hluboké UV (100–1 nm). Fotolýza vody UV

zářením o 185 nm vlnové délky je vysoce efektivním způsobem tvorby hydroxylových radikálů. Jejich tvorba probíhá dle následující rovnice (62):



Problémem spojeným s využíváním VUV je tvorba vedlejších produktů, především dusitanů, které ve vodě vznikají fotolýzou dusíku. [14]

## 5.4 OSTATNÍ AOP

V této kapitole jsou popsány další typy AOP, které jsou zatím použitelné pouze v laboratorním měřítku. Ačkoliv je jejich zařazení do běžného provozu v tuto chvíli nemožné ať už z technologického či finančního hlediska, tak jejich výzkum a výzkum procesů v nich probíhajících může být základním stavebním kamenem pro budoucí technologie úpravy vod.

### 5.4.1 Kavitační procesy

#### *Akustická kavitace*

Akustická kavitace funguje na principu střídání délek ultrazvukových vln. Ve vodě střídavě dochází ke změně tlaku při expanzi a kompresi délek akustických vln. Při změně tlaku dochází ke vzniku kavitací, které ze stejného důvodu implodují. Plyn stlačený implozí dosahuje teplot až 5500 stupňů Celsia, čímž napomáhá rozkladu pyrolýzou látek obsažených v plynu. Při zhroucení je jejich objem okamžitě vyplněn okolní vodou. Během tohoto procesu vznikají za pomoci pyrolýzy  $\text{H}_2\text{O}$  hydroxylové radikály  $\bullet\text{OH}$ , rozklad probíhá dle rovnice (63):



Radikály  $\bullet\text{OH}$  tak vznikají v těsné blízkosti organického znečištění, které je rozkládáno přímo uvnitř implodující kavitace nebo na jejím povrchu. [11]

### ***Elektrohydraulická kavitace***

U tohoto typu procesu je kavitace dosaženo pomocí elektrického výboje mezi dvěma elektrodami ponořenými ve vodě. Elektrody vysílají do vody vysokoproudé a vysokonapěťové výboje ve velice krátkých 20 mikrosekundových pulsech. Vznikající plazma vlivem rozpínání vytváří vysokotlaké rázové vlny. Odrážející se vlny od okolních materiálů s různou akustickou impedancí dají vzniknout kavitaci.

Princip rozkladu znečištění je obdobný jako v případě akustické kavitace. Rozdíl je, že vznikající plazma má teplotu až 13000 stupňů Celsia, čímž účinně za pomoci pyrolýzy rozkládá znečištění, ovšem jen v rámci svého omezeného dosahu. Plazma také vyzařuje slabé, rentgenové záření a vysokoenergetické UV záření, čímž dodatečně napomáhá vzniku  $\bullet\text{OH}$  radikálů. [11]

### ***Hydrodynamická kavitace***

System funguje obdobně jako dva předchozí s tím rozdílem, že kavitace je podnícena tlakem v okolí vody pod hranici, kdy se voda začíná vypařovat. Změnami tlaku nad a pod tuto hranici dochází ke kavitaci. Vznik  $\bullet\text{OH}$  radikálů probíhá stejně jako u akustické kavitace.

## **5.4.2 Procesy AOP využívající různé druhy záření**

### ***Proces využívající gama záření***

Gama záření je v tomto případě nejčastěji vyzařováno při radioaktivním rozpadu radioizotopu kobaltu 60 ( $^{60}\text{Co}$ ). Při ozařování vody gama zářením dochází až k několika tisícům reakcí, které dávají vzniknout třem reaktantům ( $\bullet\text{OH}$ ,  $e\text{-aq}$ ,  $\bullet\text{H}$ ), kteří se podílí na rozkladu organických sloučenin ve vodě. Vzhledem k výborné prostupnosti gama záření vodou, kdy se 90 % paprsků dostane až do hloubky 76 cm, je proces vhodný k úpravě jak stojaté, tak tekoucí vody. [11]

### ***Proces využívající rentgenové záření***

Proces je velice podobný jako u gama záření. Ačkoli jde o rozdílný typ záření, oba využívají elektronů s vysokým energetickým potenciálem k iniciaci chemických reakcí v ozařované vodě. Rozdílem je, že ačkoli gama záření prochází vodou až do 76 cm hloubky, rentgenové záření pronikne pouze do 27 cm. Vznik reaktantů je u obou typů shodný. [11]

### ***Proces využívající elektronový paprsek***

V tomto případě se opět jedná o využívání elektronů jako iniciátorů chemických reakcí. Elektrický proud je pouštěn wolframovým vláknem umístěným ve vakuu. Proud elektronů je usměřován elektrickým polem do paprsku, který je skrze tenkou vrstvu titanové fólie vyzařován do upravované vody. Na rozdíl od svých předchůdců, elektronový paprsek pronikne do hloubky nanejvýš 4 mm, čímž se stává použitelný jen ve velice mělké vodě. [11]

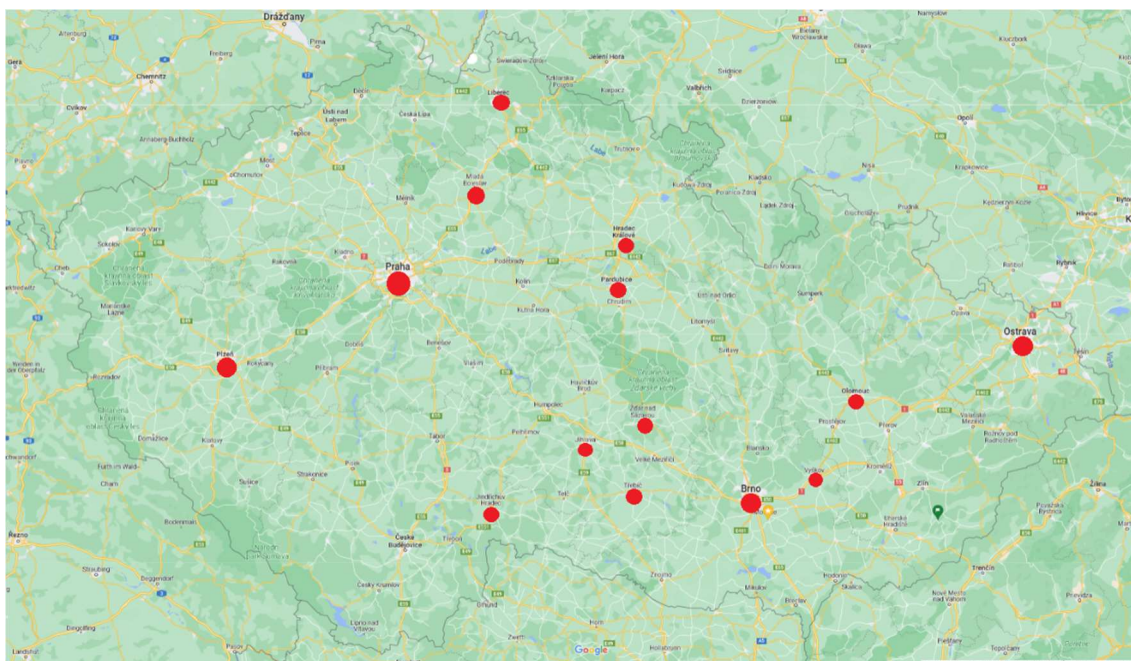
## 6 Praktická část

Veškeré informace a data zpracovávaná v této části jsou získaná ať už osobním šetřením vybraných bazénových provozů, z vyplněných formulářů nebo získaná konzultací s vedoucím daného provozu. Osobně byly navštíveny tři provozy a to bazén na Kraví hoře, aquapark Kohoutovice a lázně Rašínova. Všechny tyto provozy odpověděly na dotazník, mají z důvodu anonymity přiřazeno kódové označení a jsou součástí výsledků.

Cílem dotazníku bylo najít a úspěšně kontaktovat co nejvyšší počet bazénů, u kterých je vysoká šance, že do své úpravy zařadily pokročilé oxidační procesy. Zároveň však bylo nutné, aby ve vybraném vzorku byly i bazény bez pokročilých oxidačních technologií (AOP), k zajištění diverzity výsledků. Takové diverzity by šlo lehce dosáhnout výběrem nejmodernějších bazénů v republikových metropolích na jedné straně a malých lokálních bazénů na straně druhé. Hodnota ve srovnání takových výsledků by ale byla nulová. Z této úvahy vzešly hned dvě podmínky pro prvotní výběr, vycházející z ekonomické stránky věci.

Bazény se tedy musí vyskytovat v lokalitě, která má dost finančních prostředků a zároveň musí být tyto lokality co nejpodobnější, aby mělo srovnání výsledků co nejvyšší hodnotu. Logickou volbou jsou tedy Praha, Ostrava a Brno a větší krajská města. Nákup, instalace, údržba a provoz jsou základním kamenem úrazu pro menší lokality a dá se očekávat, že tato města nebudou mít s touto ekonomickou obtíží problém. Nutno podotknout, že v Praze, Ostravě i Brně byl osloven více jak jeden bazén a některé bazény měly jak venkovní, tak vnitřní provoz.





**Obr. 8 Města v ČR, kde se vyskytují oslovené bazény**

Dalším hlediskem byla vytíženost. Ačkoliv se bazén nemusí nacházet ve velkém městě, jako je Praha, nebo v některém z krajských hlavních měst, může se jednat o frekventovaně navštěvované zařízení. Tato logická úvaha vychází z faktu, že denně vytížené bazény jsou vlivem vysokého znečištění z velké návštěvnosti donuceny hledat efektivnější způsoby úpravy vody, a tudíž se zde zvyšuje šance, že se rozhodly zařadit do provozu AOP. Z hlediska frekvence návštěv jsem vycházel z předpokladu, že zájem veřejnosti je sezónní a ne nutně pravidelný. Co se pravidelnosti týče, na tom je nejlépe specifická skupina lidí a to jsou sportovci. V tomto doplňkovém výběru šlo tedy o to vybrat bazény s pravidelnou aktivitou vodního sportu.

Z vlastní zkušenosti vím, že mezi nejčastější vodní sporty patří závodní plavání. Rozhodl jsem se tedy kontaktovat trenérku závodního plaveckého družstva Kometa Brno Michaelu Polákovou. S jejími zkušenostmi ze závodů po celé České republice jsme byli schopni doplnit seznam o lokality mimo největší města České republiky. Z vybraných 25 lokalit se na můj dotazník vrátilo 21 odpovědí. Na mapě oslovených bazénů se nachází pouze 14 lokalit, jelikož v některých městech bylo osloveno více bazénových zařízení. Z těchto bylo 13 odpovědí na bazény vnitřní a 8 na bazény venkovní.

Druhá část praktického zaměření diplomové práce se zabývá rozbořem a zhodnocením dat, která se týkají provozu AOP ve Sportovním a rekreačním areálu Kraví hora. V této části jsem porovnával vybrané ukazatele jakosti vody před a po instalaci UV lamp a ozonizátoru do recirkulačního okruhu plaveckého bazénu.

## 6.1 Dotazník

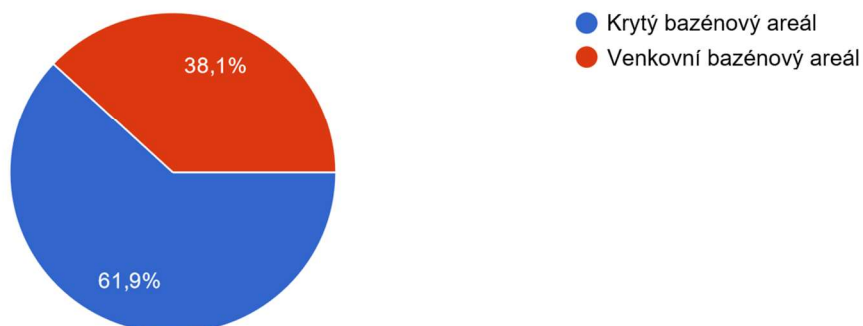
Dotazník měl za úkol sesbírat základní informace o bazénových provozech. Tyto jsou detailněji popsány v této kapitole, stejně jako jeho forma a položené otázky. Získaná data byla zpracována zcela anonymně a každému bazénu bylo místo jeho názvu pro potřeby práce přiřazeno číselné označení. V rámci každé podkapitoly jsou graficky ilustrována surová data tak, jak je vyhodnotil Google formulář.

### 6.1.1 Forma

Dotazník byl vytvořený přes webovou aplikaci Google formuláře. Po rozkliknutí odkazu byl uživatel požádán o vyplnění názvu bazénu a následně o výběr, zda se jedná o bazén venkovní či vnitřní. Dotazník se jeho výběrem dělí a odkazuje dále na otázky dle zvoleného typu provozu. Vzhledem k tomu, že jeden provozovatel měl pod sebou často více bazénů v daném městě, bylo umožněno formulář opakovaně vyplnit.

O jaký typ areálu se jedná?

21 odpovědí



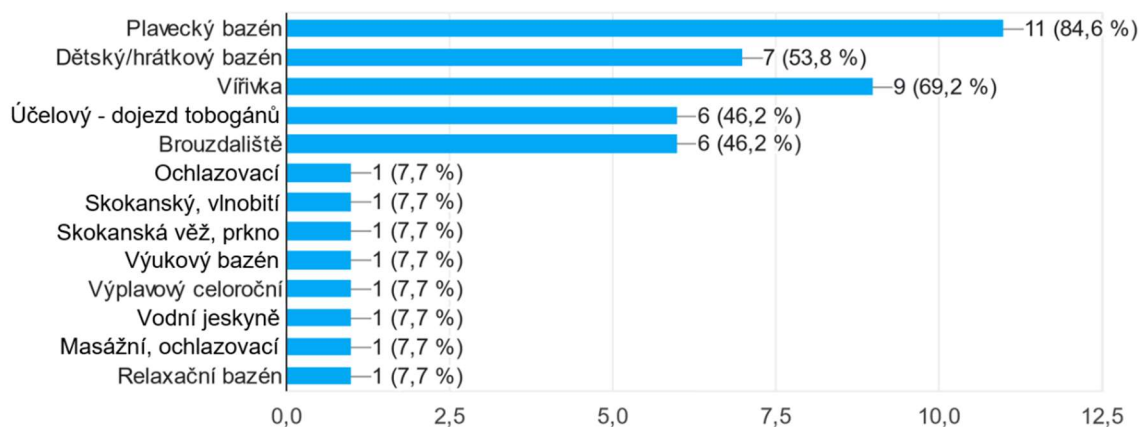
Obr. 9 Typ bazénového areálu

## 6.1.2 Typy bazénů

První otázka v dotazníku si kladla za úkol zjistit, jaké typy bazénu se na daném provozu nachází. Tím je myšleno, zda se jedná o bazén plavecký, hrátkový, brouzdaliště, vířivku a další.

Jaké typy bazénů se u vás nachází?

13 odpovědí

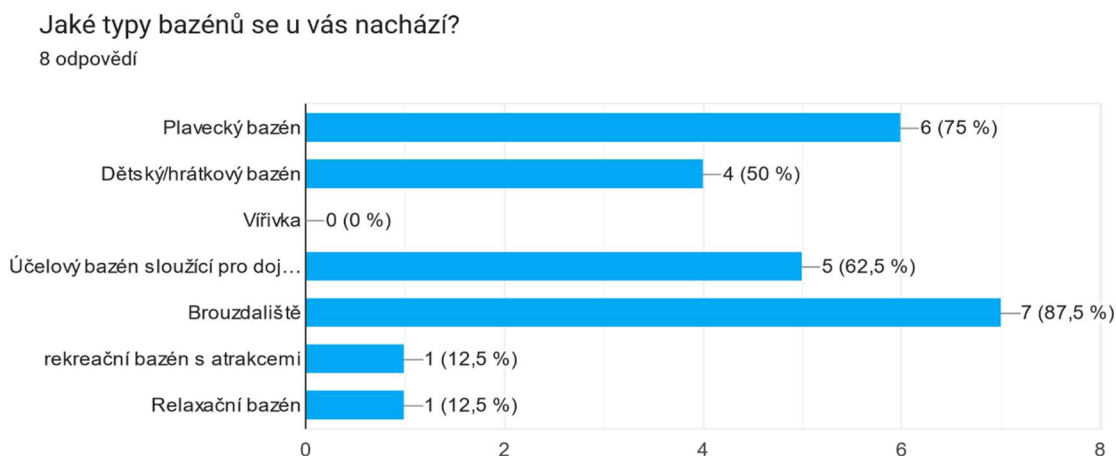


**Obr. 10 Typy bazénů krytých bazénových areálů**

Jak je vidět na předchozím obrázku (**Obr. 10**), mezi nejčastější typy bazénů vnitřních areálů sestupně patří bazény plavecké (84,6 %), vířivky (69,2 %), dětské/hrátkové bazény (53,8 %) a účelové bazény a brouzdaliště (obě po 46,2 %). Tyto čtyři druhy jsou zdaleka nejčastějším typem vzhledem k pouhým 7,7 %, které získaly bazény ostatní. Na základě těchto informací se dá říct, že provoz jsou ve většině případů tvořeny kombinací některých z těchto čtyř základních typů s nejvyššími procenty a bazény, které se vyskytovaly v 7,7 % případů, jsou jejich doplňkem.

Z pohledu technického se nejedná o tak složitý problém, neboť dojezdové, rekreační, ochlazovací a podobné bazény jsou svými rozměry poměrově menší, než plavecké bazény, které jsou ve většině provozů přítomny a dají se tedy zahrnout do jednoho recirkulačního okruhu. To stejné platí například pro brouzdaliště, relaxační nebo masážní

bazény, u kterých se dá předpokládat vyšší teplota a dají se zahrnout do recirkulačního okruhu k vířivce, jako druhého nejčastějšího typu.



**Obr. 11 Typy bazénů venkovních bazénových areálů**

V případě venkovních bazénů (**Obr. 11**) je situace poněkud rozdílná. Z dotázaných bazénů nemá venkovní vířivku ani jeden z nich. Čtveřice nejčastějších bazénů zmíněných v předchozím odstavci se opět vyskytuje na prvních čtyřech místech s velice podobným procentuálním rozložením. Rekreační a relaxační bazény se s 12,5 % drží na spodních příčkách, stejně jako specifické typy bazénů u vnitřních areálů.

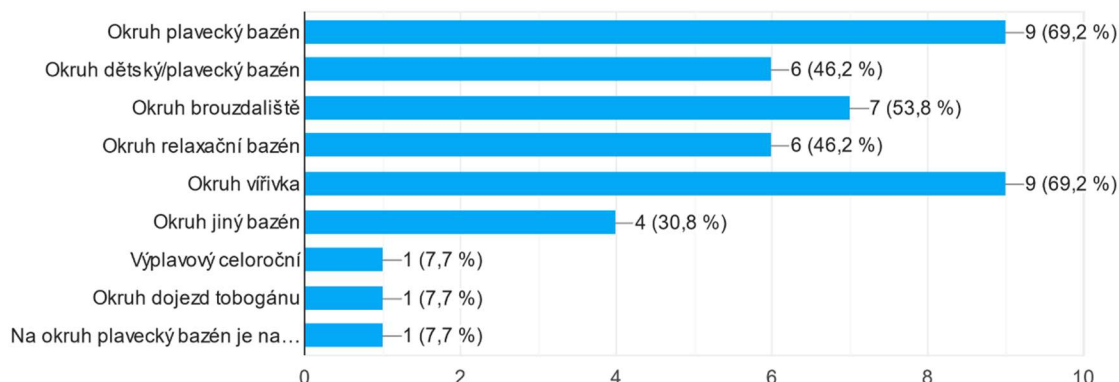
Ačkoli je vzorek osmi respondentů poměrně malý, i zde se dá vyčíst jednoznačný trend plaveckých, dětských a účelových bazénů a brouzdališť. Dá se tedy říct, že ve většině případů se venkovní provoz skládá z brouzdaliště a plaveckého bazénu, které jsou často doplněny o bazén dětský anebo o vodní atrakci, která ústí do účelového bazénu. Rekreační a relaxační bazény jsou spíše výjimkou.

### 6.1.3 Recirkulační okruhy

Otázka zaměřená na recirkulační okruhy zjišťovala, kolik recirkulačních okruhů bazény mají a které typy bazénů tyto okruhy tvoří.

Jaké máte v rámci úpravy vody samostatné recirkulační okruhy?

13 odpovědí

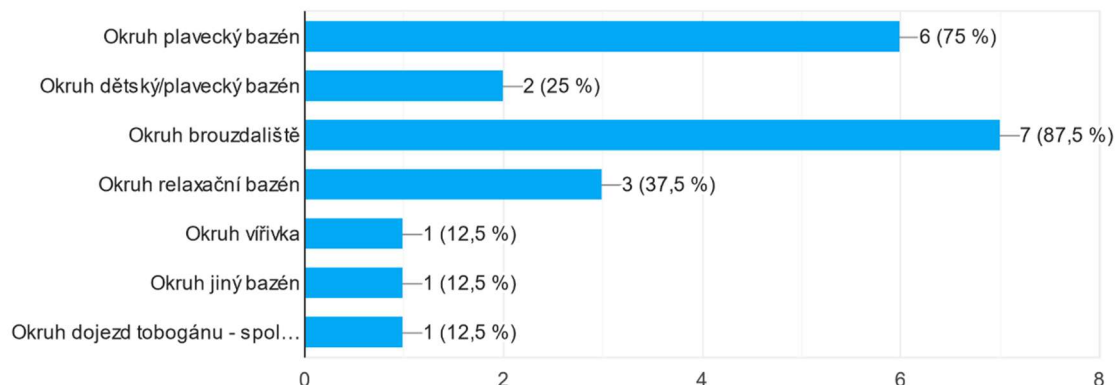


**Obr. 12 Přehled recirkulačních okruhů krytých bazénových areálů**

Na obrázku výše (**Obr. 12**) můžeme vidět jaké všechny recirkulační okruhy se na krytých bazénových provozech nacházejí. V tomto kontextu nám obrázek příliš nevypovídá o tom, které okruhy jsou spojeny dohromady a které jsou samostatné, ale vzhledem k vysokému procentu u většiny odpovědí se dá říct, že obecně je u vnitřních provozů trend jednotlivé okruhy oddělovat zvlášť. Dvě předposlední odpovědi jsou dosti specifické a dá se očekávat, že právě tyto typy budou vyžadovat svůj vlastní recirkulační okruh – ať už z důvodu zvláštních provozních požadavků nebo například proto, že byly postaveny dodatečně. Poslední odpověď je plavecký bazén spojený s vířivkou do jednoho recirkulačního okruhu, což vyžaduje specifický přístup k tepelnému hospodářství.

Jaké máte v rámci úpravy vody samostatné recirkulační okruhy?

8 odpovědí



**Obr. 13** Přehled recirkulační okruhů venkovních bazénových areálů

Venkovní areály jsou ve většině případů (**Obr. 13**) složeny z recirkulačního okruhu plavecký bazén anebo brouzdaliště, což je vzhledem k rozdílným nárokům na jakost vody pochopitelné. Ostatní odpovědi se nenachází ve větší frekvenci než je 38 %, což nasvědčuje faktu, že jsou často napojeny na recirkulační okruhy k plaveckému bazénu nebo brouzdališti.

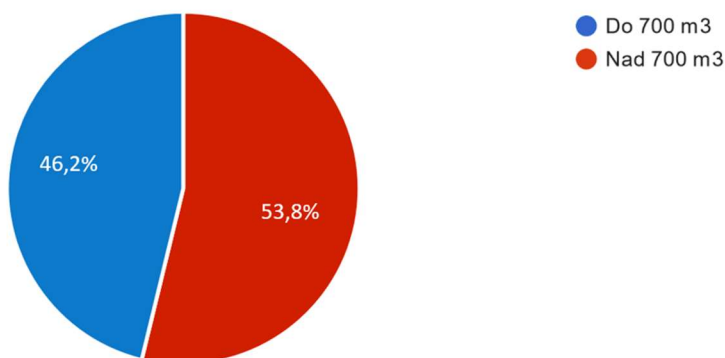
#### 6.1.4 Objem bazénové vody

Tato otázka sloužila k hrubému rozdělení na bazény do a nad 700 m<sup>3</sup> (vnitřní bazény), respektive 1600 m<sup>3</sup> (venkovní bazény) celkového objemu vody ve všech bazénech dohromady.

Objem bazénové vody vnitřních provozů (**Obr. 14**) rozdělený na bazény do a nad 700 m<sup>3</sup> se přibližuje hodnotě 50 % a v případě venkovních areálů (**Obr. 15**) je to přesných 50 %. Takové hodnoty nasvědčují správnému výběru v rozsahu jak malých, tak větších bazénů a napomáhají zvýšit hodnotu zjišťovaných výsledků.

Jaký objem bazénové vody celkem (pro všechny vnitřní bazény) má váš areál?

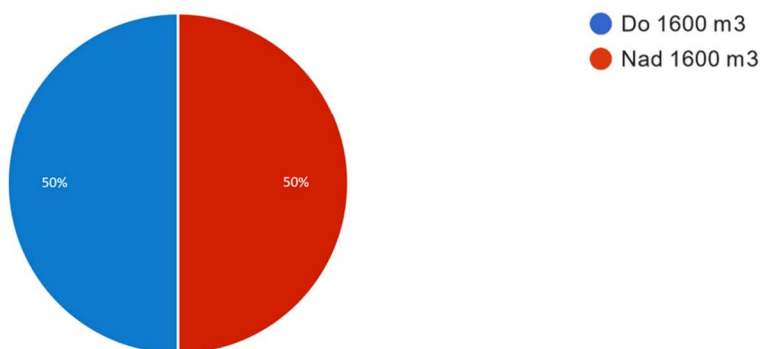
13 odpovědí



**Obr. 14 Objem bazénové vody krytých bazénových areálů**

Jaký objem bazénové vody celkem (pro všechny venkovní bazény) má váš areál?

8 odpovědí



**Obr. 15 Objem bazénové vody venkovních bazénových areálů**

### 6.1.5 Základní hygienické zabezpečení

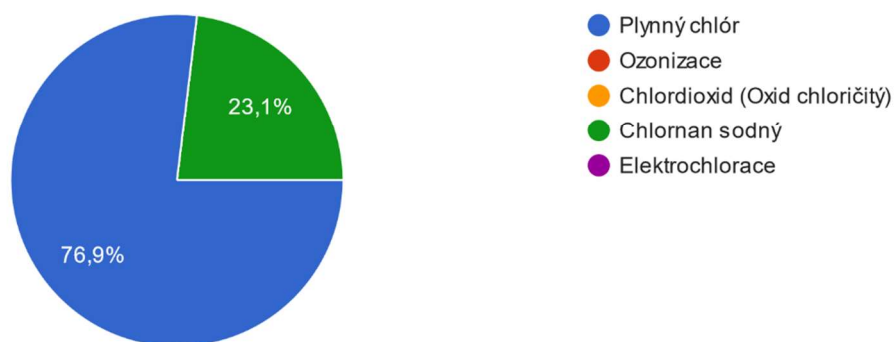
Otázka míří na primární způsob úpravy vody. Mezi možnostmi byl plynný chlor, ozonizace, chlordioxid, chlornan sodný, elektrochlorace a možnost „Jiné“.

Základní hygienické zabezpečení (**Obr. 16**) dopadlo pro vnitřní provozy poměrně jednoznačně. Máme zde pouze dva výsledky a tím je plynný chlor (76,9 %) a chlornan sodný (23,1 %). Že jsou tyto dva druhy dezinfekce ve vybraných provozech jediné dva používané, není žádným překvapením. Patří k levnějším prostředkům na trhu, které jsou

zároveň schopné vodu nejen efektivně dezinfikovat, ale zanechat v ní i dostatečné dezinfekční residuum. Rozdíl v používání jednoho nebo druhého typu dezinfekce se odvíjí od jejich ceny, ale také od navržené technologie při výstavbě areálu.

Jaké používáte základní hygienické zabezpečení (desinfekci) vody?

13 odpovědí



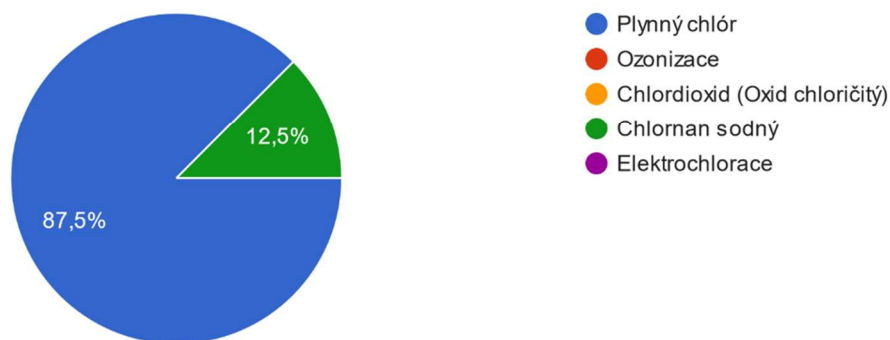
**Obr. 16 Primární dezinfekce vody krytých bazénových areálů**

U venkovních areálů (**Obr. 17**) se nám trend těchto dvou dezinfekčních činidel opakuje s tím rozdílem, že chlornan sodný pro úpravu vody používá pouze jeden venkovní areál. Venkovní bazény jsou zpravidla dimenzovány na mnohem vyšší návštěvnost, a tedy i znečištění. Je nasnadě, že pro dezinfekci vody v tak velkém množství je použito co nejlevnější dezinfekční činidlo. Existenci jednoho případu chlornanu sodného přičítám tomu, že se jedná o stejnou technologii úpravy, která byla použita pro venkovní i vnitřní provoz téhož bazénového areálu.



Jaké používáte základní hygienické zabezpečení (desinfekci) vody?

8 odpovědí



**Obr. 17 Primární dezinfekce vody venkovních bazénových areálů**

#### 6.1.6 Sekundární hygienické zabezpečení

Ve způsobech sekundárního hygienického zabezpečení bylo na výběr z možností UV, ozonizace, ozonizace + UV, plynný chlor, chlornan sodný, žádné a „Jiné“.

Co se týká sekundárního hygienického zabezpečení (**Obr. 18**), tady je situace ztlačně rozdílnější. Nejčastějším typem je UV záření (46,2 %), následované kombinací ozonizace a UV záření (23,1 %). Všechny ostatní způsoby se vyskytují ve stejném množství a to ve 7,7 % případů.

Ve srovnání se základním hygienickým zabezpečením zde vidíme, že ačkoli je využití UV poměrně rozšířené, tak není narušena celková diverzita používaných technologií. Graf nám v podstatě říká dvě věci. První je, že sekundární hygienické zabezpečení vody je o dost složitější než to primární, neboť na něj neexistuje jeden osvědčený způsob úpravy, který by vyhovoval jak technické, tak finanční stránce věci. Zadruhé nám říká, že navrhne-li do recirkulačního okruhu ozonizaci v kombinaci s UV zářením, neuděláme z hlediska dodržení hygienických limitů chybu.

Ačkoli to na první pohled není vidno, obě tvrzení se potkávají. Sekundární hygienizace je do provozu zařazena ne z důvodu, že by snad primární hygienizace neplnila svoji funkci,

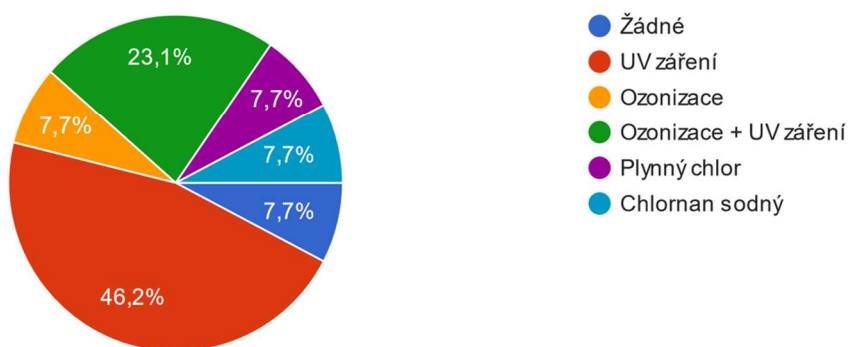
ale že s sebou přináší vedlejší produkty spojené s chlorováním vody, a tedy množstvím volného a vázaného chloru. Zařazením sekundární hygienizace se sníží potřebné množství vázaného chloru, což vede ke zlepšení jakosti vody. A pokud chceme dosáhnout co nejlepších výsledků, je to právě ozonizace v kombinaci s UV zářením, které nám k tomu dopomohou.

Do této úvahy nám samozřejmě vstupuje ekonomická stránka věci a to je důvod, proč je v našem grafu zastoupen každý jednotlivý způsob dezinfekce. Ačkoli je ozonizace v kombinaci s UV zářením nejefektivnější způsob, je ekonomicky zdaleka nejnáročnější. Ne všechny provozy jsou však zatíženy tak moc, že by vyžadovaly i ozonizátor, a proto od něj bazény upustí a zůstanou jen u využívání UV záření. Na základě této informace obsažené v grafu se dá říct, že co se úpravy bazénových vod týče, UV záření je možností nejpreferovanější, a tedy pravděpodobně i z dostupných možností nejvýhodnější, co se týká poměru ceny a výkonu .

Zbylé způsoby úpravy jsou zastoupeny v řádu jednotlivců. Jedná se nejspíše o bazény, které nejsou tak zatížené znečištěním a na jejich úpravu tak stačí méně komplexní technologie.

Jaké používáte sekundární hygienické zabezpečení (desinfekci) vody?

13 odpovědí



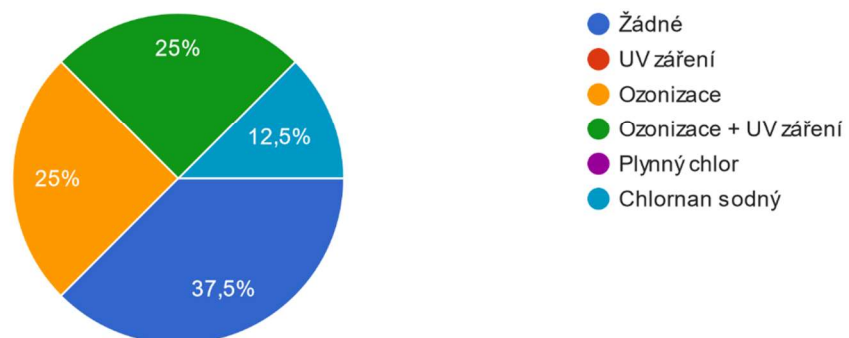
**Obr. 18 Sekundární dezinfekce vody krytých bazénových areálů**

U venkovních bazénů (**Obr. 19**) je situace rozdílná. Bezmála 40 % nevyužívá žádnou sekundární dezinfekci. Ozonizace, stejně jako ozonizace + UV záření, se dělí o druhou příčku s 25 %. S pouhými 12,5 % je chlornan sodný nejméně využívaný dezinfekční prostředek. Tyto výsledky nejsou nikterak překvapivé, vzhledem k faktu, že je u venkovních bazénů povoleno dvakrát vyšší množství ředící vody než u bazénů vnitřních, což je finančně méně náročná možnost než instalace dodatečných zařízení, která by se během provozu u tak velkého množství vody prodražila. Zvláště pak, když jsou venkovní bazény sezónní záležitostí.

V polovině případů se vyskytuje alespoň ozonizace, popřípadě ozonizace doplněná o UV záření. Tuto skutečnost přikládám tomu, že se buď jedná o malý areál s velkou návštěvností, kde se daná technologie ufinancuje, nebo je tato technologie použita pouze pro malé okruhy s vysoce zatíženou vodou, jako jsou dětská brouzdaliště nebo relaxační bazény. Zbylé bazény v areálu s menším zatížením jsou pak dezinfikovány pouze chlornanem sodným.

Jaké používáte sekundární hygienické zabezpečení (desinfekci) vody?

8 odpovědí



**Obr. 19 Sekundární dezinfekce vody venkovních bazénových areálů**

### 6.1.7 Doplnující informace

Po vyplnění předchozích informací mají provozovatelé možnost do dotazníku přidat doplňující informace pro případ podrobnějšího popisu provozu. Vzhledem k tomu, že této možnosti nikdo nevyužil, se s touto kategorií dále nepracuje.

## 6.2 Vyhodnocení dotazníku

Výstupní data z Google formuláře nám dají dobrou představu o počtu účastníků, množství a procentuálním rozložení odpovědí. Pro detailnější vyhodnocení dat je však nutné odpovědi přeskupit do přehledné tabulky a každému provozu přiřadit jednotlivé odpovědi. Následují dvě tabulky. První je pro kryté bazény (**Tab. 5**), kdy byly jednotlivé provozny označeny zkratkou KA (krytý areál) a bylo jim přiřazeno pořadové číslo. Druhá tabulka (**Tab. 6**) je obdobná pro bazény venkovní se zkratkou VA (venkovní areál).

Tab. 5 Provozy krytých areálů, souhrnná tabulka

KRYTÝ	Plavecký	Hrátkový	Vířivka	Účelový	Brouzdaliště	Jiné	Okr.Plav.	Okr.Hrát.	Okr.Brouzd.	Okr. Relax.	Okr.Víř.	Okr.Jiný	Nad 700	Primární	Sekundární
KA1														Chlornan	Ozon+UV
KA2														Chlor	UV
KA3														Chlor	UV
KA4														Chlor	UV
KA5														Chlor	Chlor
KA6														Chlor	Ozon+UV
KA7														Chlor	Žádné
KA8														Chlor	UV
KA9														Chlornan	UV
KA10														Chlor	Ozon
KA11														Chlor	UV
KA12														Chlornan	Ozon+UV
KA13														Chlor	Chlornan

19

Tab. 6 Provozy venkovních areálů, souhrnná tabulka

VENKOVNÍ	Plavecký	Hrátkový	Vířivka	Účelový	Brouzd	Jiné	Okr.Plav.	Okr.Hrát.	Okr.Brouzd.	Okr. Relax.	Okr.Víř.	Okr.Jiný	Nad 1600	Primární	Sekundární
VA1														Chlor	Žádné
VA2														Chlor	Ozon
VA3														Chlor	Ozon+UV
VA4														Chlornan	Žádné
VA5														Chlor	Žádné
VA6														Chlor	Ozon
VA7														Chlor	Chlornan
VA8														Chlor	Ozon+UV

### **6.2.1 Kryté bazénové provozy**

Tabulka popisuje jednotlivé provozy a je rozdělena zleva na pět částí. První část je sloupec s kódovým označením areálu. Druhá jsou typy bazénů, které se v daném areálu vyskytují. Zeleně jsou označeny bazény, které areál má, a červeně ty, které areál nemá. V třetí části jsou barevně rozlišeny jednotlivé recirkulační okruhy opět na okruhy, které bazén má a které nemá. Tlustou čarou jsou označeny recirkulační okruhy, které jsou technicky spojeny jako jeden okruh. Ve čtvrté části jsou zeleně označeny areály s celkovým objemem vody na 700 m<sup>3</sup>, respektive nad 1600 m<sup>3</sup>. V páté části je uvedena primární a sekundární dezinfekce vody, přičemž provozy s AOP jsou vyznačeny oranžově.

Nejdůležitější kolonkou jsou právě areály, které využívají AOP. V případě vnitřních provozů se jedná o 3 z 13, což je 23 % z dotázaných bazénů. Za povšimnutí také stojí, že nejrozšířenější skupinou jsou provozy, které využívají kombinaci plynného chloru a UV záření – přibližně 46 %. Z rozhovoru s hlavním technologem bazénů Sportovního a rekreačního areálu na Kraví hoře v Brně a po nahlédnutí do záznamů pravidelných měření vyplynulo, že už při zařazení UV záření klesly hodnoty volného a vázaného chloru na tak nízké hodnoty, že přídatná ozonizace přinesla jen minimální změny. Na základě této informace usuzují, že i mnoho dalších bazénů došlo ke stejnému závěru, a proto je kombinace chlorace a UV záření nejrozšířenějším způsobem dezinfekce.

### **6.2.2 Venkovní bazénové provozy**

U venkovních bazénových provozů se technologie AOP vyskytuje u 2 z 8 respondentů, což je 25 % případů. Ačkoli je to procentuálně více jak u provozů vnitřních, s přihlédnutím k počtu respondentů se může jednat o chybu v rámci malého počtu vzorků. Překvapivé je, že se zde technologie rozcházejí do obou extrémů. Na jedné straně provozy, které nevyužívají žádné sekundární hygienické zabezpečení (pokud zde řadíme i provoz VA7, který sice používá chlornan sodný, ale principiálně se jedná stále jen o chloraci), a na straně druhé provozy, které využívají ozonizaci nebo přímo kombinaci ozonu a UV záření. Nasnadě je otázka, proč tomu tak je, jelikož se technologie úpravy nedá vztáhnout například k faktu, že by korelovala s typy bazénů s vyšším zatížením. Například

provoz VA3 využívá AOP a zároveň se v areálu nachází pouze brouzdaliště a relaxační bazén, což by nasvědčovalo tomu, že je zde technologie zařazena z důvodu většího zatížení znečištěním. Naproti tomu provoz VA4 má jak brouzdaliště, tak relaxační bazén, ale nemá v recirkulačním okruhu zařazenou sekundární dezinfekci. Obdobně bychom mohli uvažovat o provozu VA5 a VA8.

### **6.2.3 Shrnutí**

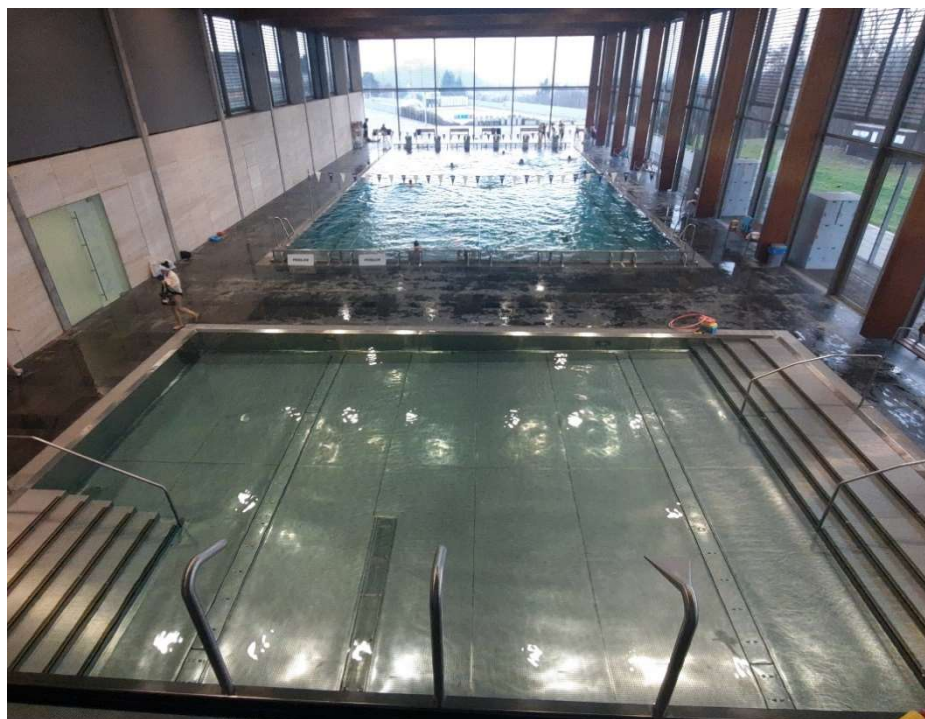
Dotazník jako takový splnil svůj úkol a rámcově nastínil problematiku, co se počtu technologií AOP na bazénech v ČR týče. S ohledem na výsledky průzkumu se dá tvrdit, že ačkoli se AOP nachází v menším počtu než tradiční způsoby dezinfekce, nemusí to nutně znamenat nedostatečnou úroveň úpravy bazénové vody pro daný areál. S přihlédnutím ke skutečnosti, že většina vnitřních provozů využívá chlorace v kombinaci s UV zářením, je otázkou, zdali jsou vůbec AOP pro úpravu bazénové vody nutností. Dá se předpokládat, že pokud má bazén s nízkým nebo středním návštěvnickým zatížením problém s jakostí vody, řešením bude pravděpodobně zařazení technologie UV záření do jeho provozu. Ačkoli nelze z důvodu anonymity jmenovat jednotlivé bazény, tak lze říct, že provoz, které zařadily do úpravy vody i UV záření i ozonizaci, patří z pohledu návštěvnosti k těm nejzatíženějším – což platí jak pro vnitřní, tak venkovní areály.

Co se venkovních areálů týče, ty mají vyšší limity pro množství ředící vody a zároveň je u nich menší problém se zápachem, neboť jsou v otevřeném prostoru. Z tohoto důvodu odpadají hned dva z hlavních důvodů pro instalaci AOP, z čehož usuzuji, že v jejich případě ani do budoucna nemusíme očekávat dodatečnou instalaci pokročilých technologií.

### **6.3 AOP v provozu – bazénový areál Kraví hora**

V rámci průzkumu účinnosti AOP jsem požádal o zpřístupnění provozních dat z provozu bazénů Sportovního a rekreačního areálu Kraví hora. Krytý bazénový areál se skládá ze tří typů bazénů – plaveckého, hrátkového a vířivky. Plavecký a hrátkový bazén jsou napojeny na jeden recirkulační okruh, vířivka pak na druhý recirkulační okruh. Součástí hrátkového bazénu jsou tři masážní chrliče a jedna masážní bublinková tryska. Vířivka má po celém obvodu masážní bublinkové trysky a jednu výkonnější bublinkovou trysku

ve středu. Areál se do roku 2007 potýkal s vysokými hodnotami vázaného chloru a tím i potažmo se zvýšenou potřebou ředící vody, spojenou s náklady na její ohřev. Základní hygienické zabezpečení bylo prováděno chlornanem sodným za pomoci membránových dávkovacích čerpadel. Koagulace byla dosažena přidavkem síranu železitého.



**Obr. 20 Interiér vnitřního bazénového areálu na Kraví hoře**



**Obr. 21 Dávkování chlornanu sodného**



Provoz je rozdělen na dva samostatné recirkulační okruhy – jeden pro plavecký a hrátkový (též označený jako „malý“) bazén, druhý pro vířivku. Recirkulační okruh plaveckého bazénu je jinak poměrně standardní. Přepadová voda natéká do akumulární nádrže, odtud je třemi čerpadly čerpána přes tlakové filtry. Před filtry je dávkován koagulant, za filtry je dávkováno dezinfekční činidlo.



**Obr. 22 Membránové dávkovací čerpadlo chlornanu sodného, detail**



**Obr. 23 Dávkování chlornanu sodného do potrubí, recirkulační okruh vířivka**

### 6.3.1 Důvod instalace systému AOP

V září roku 2006 byl proveden pravidelný odběr vzorků vyhotovený třemi na sobě nezávislými subjekty – společnostmi Lifetech s.r.o., hlavním technologem bazénů na Kraví hoře a krajskou hygienickou stanicí. Všechna měření se shodovala, že množství volného a vázaného chloru ve vzorcích neodpovídá požadovaným hodnotám (tyto jsou označeny žlutým podbarvením políček v tabulkách) tehdy platných vyhlášek 135/2004 Sb. a 292/2006 Sb.

**Tab. 7 Měření volného a vázaného chloru, vnitřní bazénový provoz, Lifetech s.r.o.**

Odběrové místo	Teplota vody (°C)	Vzorek	Zařízení	Volný chlor (mg/l)	Celkový chlor (mg/l)	Vázaný chlor (mg/l)
bok plaveckého bazénu	27,4	1A	HACH, DR 850	0,27	0,95	0,68
		1B	Lovibond,	0,46	0,99	0,53
malý bazén pod chrlič	26,5	2A	HACH, DR 850	0,37	1,25	0,88
		2B	Lovibond,	0,77	1,18	0,41
vířivka, druhý schod	31,7	3A	HACH, DR 850	0,61	1,16	0,55
		3B	Lovibond,	0,68	1,16	0,48
plavecký, za senzory	27,4	4A	HACH, DR 850	0,27	0,88	0,61
		4B	Lovibond,	0,35	0,83	0,48
			ISE, displej	0,39	-	-
malý, za senzory	26,5	5A	HACH, DR 850	0,30	0,96	0,66
		5B	Lovibond,	0,39	0,87	0,48
			ISE, displej	0,32	-	-
vířivka, za senzory	31,7	6A	HACH, DR 850	0,84	1,41	0,57
		6B	Lovibond,	1,01	1,38	0,37
			ISE, displej	0,43	-	-

Již z první tabulky od společnosti Lifetech s.r.o. lze vidět, že volný chlor byl mimo vymezené hodnoty na 6 odběrných místech z 15. Dnes již nahrazená vyhláška 135/2004 Sb. tehdy stanovovala dovolenou koncentraci volného chloru pro plavecké bazény v rozpětí od 0,3 do 0,6 mg/l a pro bazény do 32°C v rozpětí od 0,5 do 0,8 mg/l. Koncentrace vázaného chloru nesměla v žádném z bazénů překročit hodnotu 0,3 mg/l. Vázaný chlor byl mimo povolené hodnoty ve všech případech měření. Ani během měření hlavním technologem Kraví hory a KHS hodnoty vázaného chloru nebyly v žádném z případů měření v mezích kritéria daného vyhláškami. Volný chlor se ve většině případů

dařilo udržet v zákonem stanoveném limitu a předpokládalo se, že jsou tyto hodnoty nižší důsledkem úbytku volného chloru v čase mezi odběrem a měřením, neboť měření probíhalo v laboratořích mimo areál. [26]

**Tab. 8 Měření volného a vázaného chloru, vnitřní bazénový provoz, hl. technolog KH**

Odběrové místo	Teplota vody (°C)	Vzorek	Zařízení	Volný chlor (mg/l)	Celkový chlor (mg/l)	Vázaný chlor (mg/l)
plavecký, za senzory	-	4D	Lovibond,	<b>0,18</b>	0,95	<b>0,77</b>
			ISE, displej	0,42	-	-
malý, za senzory	-	5D	Lovibond,	0,39	0,96	<b>0,57</b>
			ISE, displej	<b>0,42</b>	-	-
vířivka, za senzory	-	6D	Lovibond,	0,52	1,09	<b>0,57</b>
			ISE, displej	<b>0,5</b>	-	-

**Tab. 9 Měření volného a vázaného chloru, vnitřní bazénový provoz, KHS**

Odběrové místo	Teplota vody (°C)	Vzorek	Zařízení	Volný chlor (mg/l)	Celkový chlor (mg/l)	Vázaný chlor (mg/l)
přítok (strojovna)	-	-	-	<b>0,25</b>	0,61	<b>0,36</b>
plavecký	-	-	-	0,36	0,72	<b>0,36</b>
malý (hrátkový)	-	-	-	<b>0,27</b>	0,61	<b>0,34</b>
vířivka	-	-	-	<b>0,26</b>	0,72	<b>0,46</b>

Důsledkem tohoto zjištění byla nutnost navrhnout a zhotovit technologické řešení přetrvávajícího problému. Po konzultaci a ekonomickém a technickém zhodnocení byl zhotoven návrh na instalaci UV lamp a ozonizátoru od společnosti Lifetech s.r.o. jak pro recirkulační okruh plaveckého a hrátkového bazénu, tak pro recirkulační okruh vířivky.

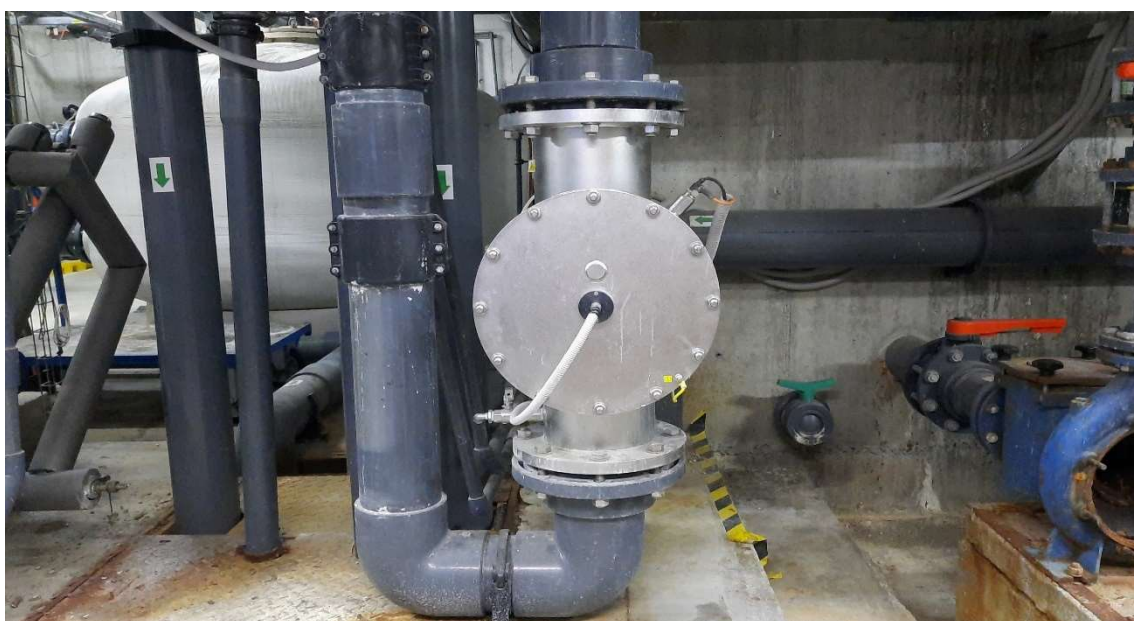
### 6.3.2 Vybrané řešení a instalace AOP

Základním požadavkem bylo snížit hodnoty vázaného chloru. Vzhledem k omezeným prostorům strojovny se muselo jednat o systém, který nebude rozměrově náročný a v ideálním případě se dá nainstalovat přímo do recirkulačního okruhu. Zároveň bylo nežádoucí, aby byl provoz bazénu přerušen a instalace musela být rychlá a nenáročná.

Na základě těchto požadavků byl pro oba recirkulační okruhy zvolen produkt LifeOX® od společnosti Lifetech s.r.o., který se skládá ze středotlakého systému UV lampy typu UVM a ozonizátoru. Vzhledem k vysoké návštěvnosti bazénu byla upřednostněna varianta UVM (středotlaká) s automatickým stěračem křemenného pouzdra před variantou UVL (nízkotlaká). Absolutní kapacita tohoto systému je až 700 m<sup>3</sup>/h s maximálním výkonem 5,5 kW. Instalace byla provedena v průběhu dubna 2007 na již existující potrubí recirkulačních okruhů za dávkováním chlornanu sodného.



**Obr. 24 Systém LifeOX® typu UVM, UV lampa, recirkulační okruh plavecký bazén**



**Obr. 25 Systém LifeOX® typu UVM, UV lampa pro recirkulační okruh vířivky**



Ozonizátor je napojen boční ozonizací, tzv. bypass, kdy dochází ke smíchávání s bazénovou vodou mimo recirkulační okruh a obohacená bazénová voda je pak navrácena zpět do recirkulačního okruhu, kde následně protéká přes UV lampu. Celý systém je řízen centrální řídicí jednotkou. UV lampy mají také svou kontrolní jednotku.



**Obr. 26** Centrální řídicí jednotka systému LifeOX®



**Obr. 27** Kontrolní jednotka UV lamp

### 6.3.3 Výsledky instalace AOP

Zprovoznění systému proběhlo v noci z 21. 5. 2007 na 22. 5. 2007. Okamžitý výsledek se však první den provozu nedostavil. Během května se průměrná návštěvnost pohybuje mezi 800–900 návštěvníky za den, jedná se o jeden z prvních teplejších měsíců, zatížení bazénové vody znečištěním od návštěvníků je tak velice vysoké. Na vině je také fakt, že otevírací doba bazénu je do pozdních nočních hodin, samotná instalace před spuštěním zabrala nějaký čas, voda se nestihla recirkulovat v plném množství, a ranní odběry tak neukázaly uspokojivé výsledky.

Samotný provoz systému také zprvu vyžaduje správné nastavení a dávkování, čehož se dá dosáhnout pouze provozními zkouškami. Díky zkušenostem hlavního technologa a konzultaci s výrobcem se však podařilo po prvním dni provozu systém plně optimalizovat a ihned další den bylo možné pozorovat zásadní změny v množství vázaného chloru. Podrobné informace jsou v následující tabulce.

Tab. 10 Srovnání vybraných ukazatelů areálu Kraví hora v letech 2006 a 2007

Datum	Spotřeba ředící vody 2006	Spotřeba vody 2007	Vázaný chlor 2006	Vázaný chlor 2007	Návštěvnost 2007
[-]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[mg/l]	[mg/l]	[osob/den]
1. 5.	94,2	68,4	0,27	0,24	626
2. 5.	35,8	72,8	0,29	0,32	632
3. 5.	75,4	100,8	0,23	0,24	564
4. 5.	52,3	59,6	0,51	0,18	733
5. 5.	125,7	77,4	0,28	0,24	930
6. 5.	55,6	57,0	0,27	0,26	1068
7. 5.	83,9	165,4	0,27	0,26	877
8. 5.	66,1	32,9	0,25	0,30	1079
9. 5.	107,7	132,4	0,52	0,27	759
10. 5.	97,9	54,6	0,28	0,21	876
11. 5.	95,4	32,8	0,25	0,26	800
12. 5.	56,0	83,3	0,29	0,31	810
13. 5.	38,6	71,8	0,28	0,28	1009
14. 5.	88,9	88,3	0,27	0,28	821
15. 5.	108,4	95,3	0,30	0,30	937
16. 5.	41,7	59,9	0,30	0,29	970
17. 5.	56,8	109,9	0,32	0,28	812
18. 5.	69,0	63,5	0,30	0,21	825
19. 5.	92,2	33,7	0,29	0,23	701
20. 5.	28,2	33,5	0,30	0,22	1057
21. 5.	38,6	64,5	0,30	0,33	843
<b>Σ</b>	<b>1508,4</b>	<b>1557,8</b>	-	-	-
<b>Průměr</b>	<b>71,8</b>	<b>74,2</b>	<b>0,30</b>	<b>0,26</b>	<b>844</b>
22. 5.	46,5	68,6	0,21	0,26	956
23. 5.	82,8	113,5	0,28	0,19	915
24. 5.	29,0	41,4	0,21	0,15	823
25. 5.	39,9	87,0	0,30	0,07	897
26. 5.	181,2	120,9	0,27	0,12	1007
27. 5.	229,7	61,9	0,24	0,11	1084
28. 5.	180,2	118,1	0,26	0,20	681
29. 5.	130,0	72,1	0,27	0,11	811
30. 5.	26,4	40,3	0,39	0,08	797
31. 5.	49,5	64,2	0,27	0,12	681
1. 6.	48,7	53,1	0,26	0,11	725
2. 6.	96,4	22,2	0,27	0,15	731
3. 6.	27,3	30,2	0,28	0,16	1063
4. 6.	44,0	68,7	0,26	0,08	650
5. 6.	66,3	58,2	0,28	0,12	736
6. 6.	48,8	57,9	0,27	0,16	831
7. 6.	101,3	22,7	0,29	0,19	717
8. 6.	29,2	3,4	0,30	0,10	617
9. 6.	103,1	1,9	0,25	0,10	457
10. 6.	62,0	2,7	0,30	0,18	572
11. 6.	107,6	2,8	0,30	0,11	586
12. 6.	47,5	2,2	0,30	0,13	682
13. 6.	25,4	3,5	0,31	0,14	666
14. 6.	18,6	3,8	0,25	0,13	598
15. 6.	21,7	44,8	0,27	0,11	540
<b>Σ</b>	<b>1843,1</b>	<b>1166,1</b>	-	-	-
<b>Průměr</b>	<b>73,7</b>	<b>46,6</b>	<b>0,28</b>	<b>0,14</b>	<b>753</b>

Tabulka je rozdělena na dvě poloviny a to do 21. 5. daného roku a na časový interval od 22. 5. daného roku. Již na první pohled lze vidět, že množství vázaného chloru až do zlomu v roce 2007 nabývalo průměrných hodnot blízkých se k horní hranici 0,3 mg/l dané vyhláškou 135/2004 Sb., respektive 292/2006 Sb., jež zakazují její překročení. Tato hranice byla v ojedinělých případech překročena téměř dvojnásobně. Nutno podotknout, že měření probíhalo v ranních hodinách, po minimálně osmi hodinové recirkulaci bazénové vody před vstupem prvních návštěvníků.

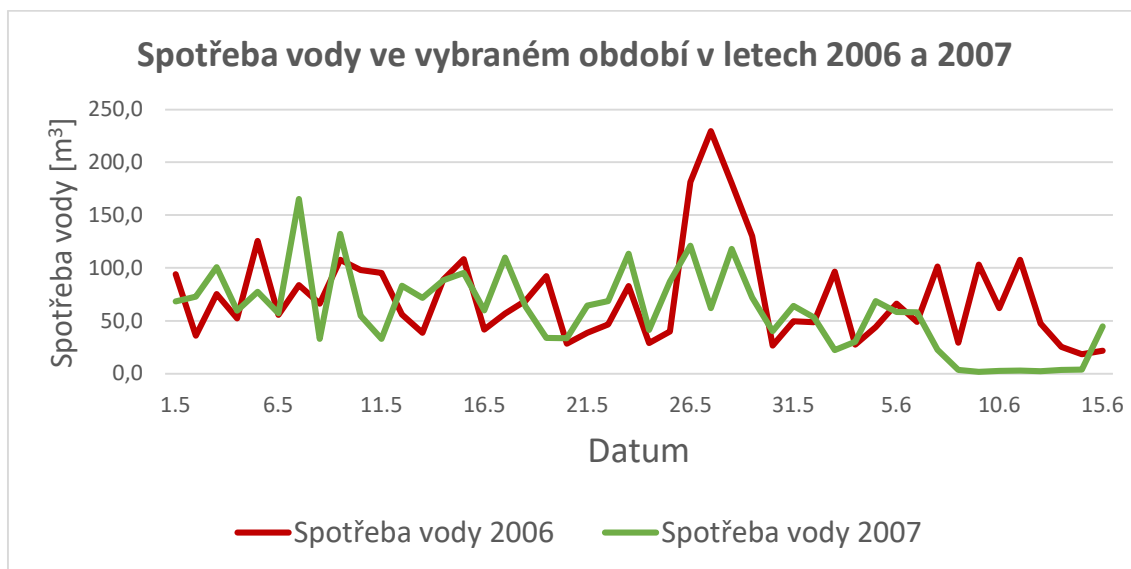


**Obr. 28 Dávkování chlornanu sodného, recirkulační okruh plavecký bazén**

Lze předpokládat, že v takto návštěvně zatíženém měsíci mohl vázaný chlor během provozu dosahovat vlivem přizpůsobování dávkování mnohem větších hodnot. Tomuto předpokladu nasvědčuje i fakt, že se průměrná spotřeba vody pro ředění pohybovala kolem 72 m<sup>3</sup>/den. Při bližším prozkoumání je vidno, že tato spotřeba přímo koreluje s množstvím vázaného chloru. Ten ve většině případů po spuštění systému LifeOX® klesl na téměř polovinu původních hodnot a jeho průměr lehce zvyšuje prvních pár dní, kdy se optimalizoval provoz.



Za povšimnutí stojí především časový interval od 8. 6. 2007 do 14. 6. 2007, kdy byl již systém 14 dní v provozu, návštěvnost se snížila o třetinu (pravděpodobně díky otevření venkovního bazénu) a spotřeba vody klesla na rekordních 1,9-3,8 m<sup>3</sup>/den. Při srovnání s předchozím rokem ve stejném časovém období by se jednalo o téměř 20násobnou úsporu vody. Časový vývoj popisují následující grafy.



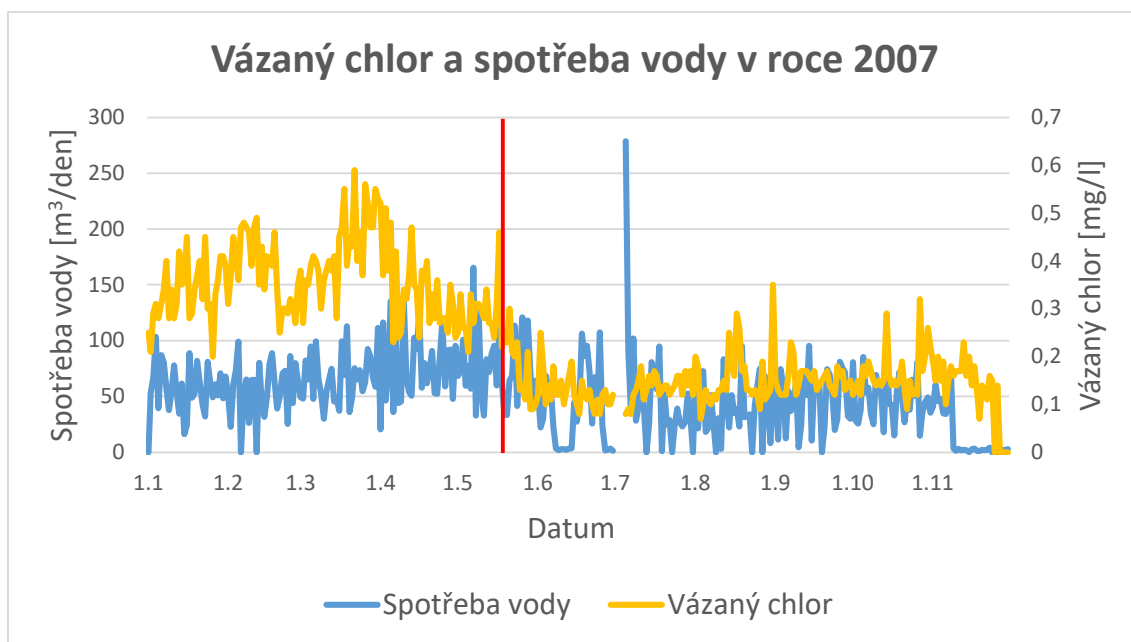
**Obr. 29 Spotřeba ředící vody ve vybraném období v letech 2006 a 2007**



**Obr. 30 Množství vázaného chloru ve vybraném období v letech 2006 a 2007**

Ačkoli se může na první pohled zdát, že tento typ AOP byl pro provoz bazénů na Kraví hoře správným krokem, pro úplnost a ověření dlouhodobého efektu je třeba jej zasadit

do širšího měřítka, než je prvních 14 dní provozu. Následující graf zachycuje vývoj množství vázaného chloru a spotřeby ředící vody v celém roce 2007.



**Obr. 31 Množství vázaného chloru a spotřeba ředící vody v roce 2007**

Červená úsečka v grafu (**Obr. 31**) vytyčuje 22. 5. 2007, tedy první den uvedení do provozu. Jak je vidět, až na některé dny se hodnoty vázaného chloru drží kolem 0,15 mg/l. Občasné výkyvy hodnot jsou pravděpodobně zaviněny výpadkem nebo údržbou systému, avšak nikdy nemají delšího trvání než jeden den. Oproti první polovině roku jde vidět zásadní zlepšení jak v množství vázaného chloru, tak v množství potřebné ředící vody.

V období od 1. 7. 2007 do 4. 7. 2007 chybějí data. To je způsobeno pravidelnou každoroční odstávkou, kdy jsou bazény vypuštěny a procházejí údržbou. To také vysvětluje dramatické zvýšení spotřeby vody ke dni 5. 7. 2007, kdy se bazény opět dopouští. V listopadu pak hodnoty spotřeby vody a následně i množství vázaného chloru padají na velice nízké hodnoty. Pro vysvětlení této skutečnosti nemám dostatečné informace z tohoto období, avšak vzhledem k množství dat z předchozích měsíců to nemá na celkové hodnocení efektivity zařazení AOP do provozu žádný vliv.



**Obr. 32 Ozonizátor od společnosti Lifetech**

#### **6.3.4 Vyhodnocení**

Ze zpracovaných informací lze jasně vyvodit, že zařazení systému LifeOX® do provozu Sportovního a rekreačního areálu Kraví hora bylo z pohledu snížení množství vázaného chloru a ředicí vody správné rozhodnutí. Data jasně prokazují pozitivní vliv na oba sledované parametry. Z této skutečnosti lze také vyvodit, že menší množství ředicí vody vede ke snížení nákladů na její ohřev.

Otázkou zůstává finanční stránka věci, kdy provoz, údržba a případná úplná výměna na konci životnosti budou nutnou, opakující se investicí do tohoto systému. Výrobce uvádí, že při správném užívání je životnost středotlakých UV lamp 18000 a více provozních hodin, což odpovídá přibližně dvouletému provozu. Samotná spotřeba energie je také u typu UVM vyšší než u typu UVL.

Po konzultaci s hlavním technologem jsem zjistil, že po vyzkoušení v provozních podmínkách měla přídavná ozonizace jen zanedbatelný vliv na sledované parametry, neboť samotné UVM bylo dostatečné pro zajištění vysoké jakosti recirkulační vody,

proto byl tento systém vypnut a není v současné chvíli používán. Tímto došlo k ušetření části finančních prostředků, které se dají použít na údržbu UVM.

## 7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit rešerši o desinfekčních technologiích využívaných v bazénových provozech s důrazem na pokročilé oxidační procesy. V praktické části práce byl proveden průzkum využití pokročilých oxidačních procesů u bazénových areálů v České republice dotazníkovou formou. Na základě tohoto dotazníku bylo provedeno vyhodnocení využívání AOP procesů ve vybraných bazénových provozech. Navíc byla zpracována a vyhodnocena data týkající se zařazení AOP do provozu ve Sportovním a rekreačním areálu Kraví hora.

Pokročilé oxidační procesy se v současné chvíli využívají při úpravě bazénových vod. Je průkazné, že jejich zařazení do existujícího recirkulačního okruhu má pozitivní vliv na kvalitu upravované vody. Z mnoha technologií, které jsou v současné chvíli na trhu k dispozici k úpravě znečištěných vod obecně, patří na bazénových provozech mezi nejvíce využívanou sekundární hygienizaci kombinace ozonizace a UV záření. Primární hygienizace je v takovém případě nejčastěji zajištěna plynným chlorem nebo chlornanem sodným.

Jiné technologie pokročilých oxidačních procesů se v dotazovaném vzorku respondentů nevyskytovaly. Bazénové vody mají sice během dne proměnnou koncentraci znečištění, avšak dá se předpokládat, že charakteristiky znečištění jsou u většiny bazénů velice podobné, ne-li shodné. Tomu nasvědčuje i fakt, že způsoby úpravy bazénových vod u dotázaných respondentů se omezují na principiálně velice podobné technologie. Pro nalezení jasnějších souvislostí a spojitostí, proč byly AOP procesy instalovány na určitých bazénových provozech a na jiných ne, nejde z poskytnutých informací s jistotou tvrdit, a tedy by bylo zapotřebí udělat mnohem hlubší analýzu zahrnující širší škálu parametrů.

Zajímavá je v kontextu dotazníku a následného vyhodnocení využívání AOP v případové studii především skutečnost, že nejpoužívanější technologií je kombinace plynného chloru a UV záření. Z případové studie lze odvodit, že je tomu tak proto, že se tato kombinace osvědčila jako nejvýhodnější z pohledu ceny a výkonu. Bazén na Kraví hoře je vzhledem ke své velikosti a dennímu počtu návštěvníků celoročně hojně navštěvovaný areál, a i přes tuto skutečnost tato technologie dokáže více než dostatečně udržet

hygienické standardy v zákonných mezích i během nejvytíženějších dní. S přihlédnutím k faktu, že je tato technologie obdobně využívána na většině provozů, dá se poměrně s jistotou tvrdit, že je to v současné době nejvhodnější způsob úpravy bazénových vod vůbec.

Závěrem je tedy nutné říci, že pokročilé oxidační procesy jednoznačně mají své místo v úpravě bazénových vod. Prozatím jsou nainstalovány procentuálně jen na malém počtu provozů, což je způsobeno tím, že technologie UV záření je pro většinu provozů z pohledu kvality upravené vody dostatečná, a tedy i finančně výhodnější. Nedá se však vyloučit, že v případě zpřísnění hygienických požadavků bude nutná jejich modernizace. V takovém případě může tato práce sloužit jako počáteční vodítko pro provozovatele, které objasní současné trendy v úpravě bazénových vod, a může ho nasměrovat ke správné volbě pokročilé oxidační technologie vhodné pro jeho areál.

## 8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] PERKINS, P. *Swimming pools*. 4. edition. London and New York: Taylor & Francis, 2000. 231 p. ISBN 0-419-23590-6.
- [2] BENEŠ, Jiří. Pokročilé oxidační procesy - AOP. In: *Sborník konference Pitná voda: Pitná voda*. České Budějovice: W&ET Team, 2008, s. 135-140. ISBN 978-80-254-20348.
- [3] SON, Hyunju, Min CHO, Jaeun KIM, Byungtaek OH, Hyenmi CHUNG a Jeyong YOON. Enhanced disinfection efficiency of mechanically mixed oxidants with free chlorine. *Water Research*. 2005, 39(4), 721-727. ISSN 0043-1354. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.10.018>
- [4] BUNDSCHUH, Jochen, I. LITTER, Marta I., Roberto J. J. CANDAL a J. Martín MEICHTRY, ed. *Advanced Oxidation Technologies Sustainable solutions for environmental treatments. Sustainable Energy Developments*. London: Taylor & Francis Group, 2014, (9). ISSN 2164-0645.
- [5] BIELA, Renata a Josef BERÁNEK. *Úprava vody a balneotechnika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 164 s. : il. ISBN 8021425636.
- [6] VERWOLD, Chad, Alejandro ORTEGA-HERNANDEZ, Jillian MURAKAMI, Laura PATTERSON-FORTIN, Jenny BOUTROS, Richard SMITH a Susana Y. KIMURA. New iodine-based electrochemical advanced oxidation system for water disinfection: Are disinfection by-products a concern?. *Water Research*. 2021, 201(117340). ISSN 0043-1354. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117340>
- [7] HAYNES, W. M., R. LIDE, David a Thomas J. BRUNO, ed. *CRC Handbook of Chemistry and Physics: A Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data*. 97. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2017. ISBN 978-0849304798.
- [8] SARAVANAN, A., V.C. DEIVAYANAI, P. Senthil KUMAR, Gayathri RANGASAMY, R.V. HEMAVATHY, T. HARSHANA, N. GAYATHRI a Krishnapandi ALAGUMALAI. A detailed review on advanced oxidation process in treatment of wastewater: Mechanism, challenges and future outlook. *Chemosphere*. 2022, 308(3). ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136524>
- [9] DENG, Y., ZHAO, R. *Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment*. *Curr Pollution Rep* 1, 167-176 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0015-z>.
- [10] JOSEPH, J., PIGNATELLO, E. OLIVEROS & A. MACKAY. *Advanced Oxidation Processes for Organic Contaminant Destruction Based on the Fenton Reaction and Related Chemistry*, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2007, 36, 1-84.
- [11] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Handbook on Advanced Nonphotochemical Oxidation Processes*. 2. Ohio: BiblioGov, 2013. ISBN 1288889070.

- [12] RAO, D. G., R. SENTHILKUMAR, J. ANTHONY BYRNE a S. FERROZ, ed. Wastewater Treatment: Advanced Processes and Technologies. 1. London: CRC Press & IWA Publishing, 2013. ISBN 978-178040-034-1.
- [13] BHATTACHARYA, Mainak, Koyel BANDYOPADHYAY a Anirban GUPTA. Design of a cost-effective electrochlorination system for point-of-use water treatment. Korean Society of Environmental Engineers, 2020, 26(5), 1-9. ISSN 1226-1025. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.4491/eer.2020.437>
- [14] BRIENZA, Monica, Can Burak ÖZKAL a Gianluca LI PUMA. Photo(Catalytic) Oxidation Processes for the Removal of Natural Organic Matter and Contaminants of Emerging Concern from Water. In: GIL, Antonio, Luis Alejandro GALEANO a Miguel Ángel VICENTE, ed. Applications of Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Drinking Water Treatment [online]. Cham: Springer International Publishing, 2019, 2018-04-14, s. 133-154 [cit. 2022-12-10]. The Handbook of Environmental Chemistry. ISBN 978-3-319-76881-6. Dostupné z: doi:10.1007/698\_2017\_189
- [15] OPPELT, E. Timothy. Ultrox international ultraviolet radiation/oxidation technology: Applications analysis report. EPA. United States Environmental Protection Agency, 1990, 5-8. Dostupné také z: [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_Report.cfm?Lab=NRML&dirEntryId=129345](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?Lab=NRML&dirEntryId=129345)
- [16] ČESKO. Vyhláška č. 238/2011 Sb., o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch. In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 9. 1. 2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-238>
- [17] Jeligová, H., Šašek, J., Kožíšek, F. AND Chlupáčová, M. Zdravotní a hygienická rizika z bazénových vod a prostředí bazénů. Hygiena, 2008, vol. 53, iss. 3, p. 84-92.
- [18] Kolář, J., Ratajová, J. AND Kožíšek, F. Vody ke koupání a jejich legislativa. Hygiena, 2008, vol. 53, iss. 3, p. 110-111.
- [19] Voisin, C., Sardella, A. AND Bernard, A. Riziko alergických onemocnění spojené s návštěvou bazénů s chlorovanou vodou. Hygiena, 2008, vol. 53, iss. 3, p. 93-101.
- [20] CRAUN \*, Gunther F, Rebecca L CALDERON a Michael F CRAUN. Outbreaks associated with recreational water in the United States. International Journal of Environmental Health Research. 2007, 15(4), 243-262. ISSN 0960-3123. Dostupné z: doi:10.1080/09603120500155716
- [21] TCHOBANOGLOUS, George, Franklin L. BURTON a H. David STENSEL. Wastewater engineering: treatment and reuse. A International ed., 4th ed. Boston: McGraw-Hill, 2003. ISBN 978-0071122504.
- [22] TAN, Yaqin, Zhemin SHEN, Weimin GUO, Chuang OUYANG, Jinping JIA, Weili JIANG a Haiyun ZHOU. Temperature sensitivity of organic compound destruction in SCWO process. Journal of Environmental Sciences. 2014, 26(3), 512-518. ISSN 10010742. Dostupné z: doi:10.1016/S1001-0742(13)60454-4



- [23] ZHANG, Bei, Toshiya HIRAMATSU, Shinji HAMANO, Manabu FUJII, Mohamed Gar ALALM, Shiro YOSHIKAWA, Hideyuki MATSUMOTO a Shinichi OOKAWARA. Swiss-roll electrodes for efficient degradation of carbofuran by electrochemical advanced oxidation processes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2022, 10(6). ISSN 2213-3437. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108801>
- [24] BONADONNA, Lucia a Giuseppina LA ROSA. A Review and Update on Waterborne Viral Diseases Associated with Swimming Pools. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019, 16(2). ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:[10.3390/ijerph16020166](https://doi.org/10.3390/ijerph16020166)
- [25] BONADONNA, Lucia a Giuseppina LA ROSA. A Review and Update on Waterborne Viral Diseases Associated with Swimming Pools. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019, 16(2). ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:[10.3390/ijerph16020166](https://doi.org/10.3390/ijerph16020166)
- [26] ČESKO. Vyhláška č. 135/2004 Sb., vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 9. 1. 2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-135>

## **9 SEZNAM ZKRATEK**

AOP – Advanced oxidation processes

SCWO – Supercritical water oxidation

UV – Ultraviolet

VUV – Vacuum ultraviolet

ČR – Česká republika

KH – Kraví hora

KA – Krytý areál

VA – Venkovní areál

UVM – Ultraviolet medium

UVL – Ultraviolet light

KHS – Krajská hygienická stanice

## 10 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Možné infekce z vody umělých bazénů a koupališť [17] .....	19
Tab. 2 Aktivní chlor, chloraminy a hlavní vedlejší produkty dezinfekce [19] .....	20
Tab. 3 Rozdělení typů AOP dle technologie .....	33
Tab. 4 Porovnání absolutních a relativních oxidačně-redukčních potenciálů jednotlivých oxidačních činidel [21] .....	34
Tab. 5 Provozy krytých areálů, souhrnná tabulka .....	61
Tab. 6 Provozy venkovních areálů, souhrnná tabulka .....	61
Tab. 7 Měření volného a vázaného chloru, vnitřní bazénový provoz, Lifetech s.r.o. ....	66
Tab. 8 Měření volného a vázaného chloru, vnitřní bazénový provoz, hl. technolog KH	67
Tab. 9 Měření volného a vázaného chloru, vnitřní bazénový provoz, krajská hygienická stanice.....	67
Tab. 10 Srovnání vybraných ukazatelů areálu Kraví hora v letech 2006 a 2007 .....	71

## 11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Mechanismy narušení epitelové bariéry oxidanty na bázi chloru ve vodě nebo v ovzduší [19].....	18
Obr. 2 Zdroje a druhy mikrobiologické kontaminace vody v bazénech a okolí [17].....	21
Obr. 3 Zdroje a druhy chemické kontaminace vody v bazénech a jejich okolí [17].....	22
Obr. 4 Schéma recirkulačního okruhu [5].....	24
Obr. 5 Elektrooxidační systém Swiss-roll SR2-E2 .....	38
Obr. 6 Schéma zařízení SCWO .....	39
Obr. 7 Schéma systému Ultrox [15].....	44
Obr. 8 Města v ČR, kde se vyskytují oslovené bazény.....	49
Obr. 9 Typ bazénového areálu .....	50
Obr. 10 Typy bazénů krytých bazénových areálů.....	51
Obr. 11 Typy bazénů venkovních bazénových areálů .....	52
Obr. 12 Přehled recirkulačních okruhů krytých bazénových areálů .....	53
Obr. 13 Přehled recirkulačních okruhů venkovních bazénových areálů.....	54
Obr. 14 Objem bazénové vody krytých bazénových areálů .....	55
Obr. 15 Objem bazénové vody venkovních bazénových areálů .....	55
Obr. 16 Primární dezinfekce vody krytých bazénových areálů .....	56
Obr. 17 Primární dezinfekce vody venkovních bazénových areálů.....	57
Obr. 18 Sekundární dezinfekce vody krytých bazénových areálů.....	58
Obr. 19 Sekundární dezinfekce vody venkovních bazénových areálů .....	59
Obr. 20 Interiér vnitřního bazénového areálu na Kraví hoře .....	64
Obr. 21 Dávkování chlornanu sodného .....	64
Obr. 22 Membránové dávkovací čerpadlo chlornanu sodného, detail.....	65
Obr. 23 Dávkování chlornanu sodného do potrubí, recirkulační okruh vířivka .....	65
Obr. 24 Systém LifeOX® typu UVM, UV lampa, recirkulační okruh plavecký bazén .....	68
Obr. 25 Systém LifeOX® typu UVM, UV lampa pro recirkulační okruh vířivky, pohled ze strany .....	68
Obr. 26 Centrální řídicí jednotka systému LifeOX® .....	69
Obr. 27 Kontrolní jednotka UV lamp .....	69
Obr. 28 Dávkování chlornanu sodného, recirkulační okruh plavecký bazén .....	72

Obr. 29 Spotřeba ředící vody ve vybraném období v letech 2006 a 2007 .....	73
Obr. 30 Množství vázaného chloru ve vybraném období v letech 2006 a 2007 .....	73
Obr. 31 Množství vázaného chloru a spotřeba ředící vody v roce 2007 .....	74
Obr. 32 Ozonizátor od společnosti Lifetech .....	75

## **12 SUMMARY**

As the popularity of water leisure activities increases, so do the demands for hygienic treatment of pool water. High-use facilities are looking for new ways to ensure water quality even on the busiest days. Recently, advanced oxidation technologies have become one of the most promising options. These original technologies for treating polluted groundwater and wastewater are receiving increasing attention from pool operations and have found their place in pool water treatment.

This thesis aims to shed light on the current pool water treatment options with an emphasis on advanced oxidation processes, both in terms of the technologies currently used and future options currently being tested on a laboratory scale.

The practical part of the thesis deals with a survey of the use of advanced oxidation technologies in swimming pool operations in the Czech Republic in the form of a questionnaire and its evaluation. In the second part there is a case study of the use of advanced oxidation processes in the Kraví hora Recreational and Sports Complex.