

OZONOVÉ TECHNOLOGIE PRO PLAVECKÉ BAZÉNY

Doc. RNDr. Jiří Dřimal, CSc., Doc. RNDr. Aleš Hrdlička, CSc.
Lifetech s.r.o., Brno

Úvod

Ozon hraje nezastupitelnou roli v úsilí o zajištění optimálního prostředí (voda, ovzduší) plaveckých bazénů. Veřejnost je již řadu let informována o možnostech aplikace ozonových technologií k úpravě bazénové vody. Mnohdy je však pohled na tuto nejmodernější vodárenskou technologii rozporuplný. Příčiny tkví až příliš často v návrhu ozonové technologie nevhodné pro daný bazén nebo v chybně provedené instalaci zařízení. Typickým negativním příkladem je přenášení technologie nízkých dávek ozonu z privátních do veřejných bazénů.

V České republice není k dispozici závazná norma pro úpravu bazénové vody ozonovými technologiemi. Vyhláška MZ ČR č. 135/2004 Sb., *kteřou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch, uvádí pouze maximální povolenou koncentraci ozonu, 0,05 mg/l, před vstupem vody do bazénu. V případě bazénů pro kojence a batolata musí být do recirkulačního okruhu zařazen před vstupem vody do bazénu deozonizační stupeň, přítomnost ozonu ve vodě bazénu není tolerována.* Hlavním cílem tohoto článku je seznámit co nejširší veřejnost se stavem v této oblasti aplikace ozonových technologií. Jistě nám dáte za pravdu, že je moudřejší poučit se z chyb druhých, než tyto chyby opakovat a draze za ně platit. Dalším důvodem k jeho uveřejnění je fakt, že lze jen velice obtížně přesvědčit někoho o kvalitách nové technologie, když má s „touto“ technologií předchozí negativní zkušenost. Z těchto důvodů si dovoluujeme předložit následující informace o ozonových technologiích pro plavecké bazény a přispět tak k Vaší orientaci v dané oblasti.

Ozon

Ozon je za normálních podmínek bezbarvý plyn charakteristického štiplavého zápachu, který má velmi silné oxidační vlastnosti - je výrazně silnějším oxidovadlem než chlor. Oxidace ozonem je proto neselektivní. Ozon reaguje zpravidla velmi rychle prakticky se všemi oxidovatelnými sloučeninami přítomnými ve vodě a působí jako velmi silné dezinfekční činidlo. Narozdíl od jiných oxidačních činidel, např. chloru, nevznikají při úpravě bazénové vody ozonem toxické produkty, které by bylo třeba odstranit. Tříatomová molekula O_3 je vytvářena rekombinací atomárního kyslíku s molekulou kyslíku. Molekula ozonu je nestabilní a za normálních podmínek se sama během několika desítek minut rozpadá za vzniku molekul kyslíku O_2 . Ozon proto nelze skladovat a musí se vyrábět na místě použití. Zdrojem kyslíku pro výrobu ozonu je suchý vzduch, případně

je použito kyslíku izolovaného ze vzduchu v generátoru kyslíku. Odpadají tedy problémy s přepravou a skladováním.

Aplikace ozonu v plaveckých bazénech

Ozon se – společně s OH-radikály produkovanými při tzv. pokročilých oxidačních procesech ozon/UV a ozon/peroxid vodíku – řadí mezi nejsilnější dezinfekční a oxidační činidla, která lze k úpravě vody použít. Je proto při úpravě bazénové vody aplikován jako primární oxidační a doplňkové dezinfekční činidlo, v privátních bazénech může sloužit i jako primární dezinfektant.

Ozon likviduje běžně se vyskytující bakterie, např. *Escherichia coli*, asi stokrát rychleji než chlor. Kromě toho rychle a spolehlivě ničí i různé druhy a formy patogenních mikroorganismů, jako jsou např. cysty resp. oocysty smrtelně nebezpečných parazitujících prvoků rodu *Giardia* a *Cryptosporidium* a různé viry, které se vyskytují v plaveckých bazénech a klasickými dezinfekčními prostředky je nelze inaktivovat nebo je nelze inaktivovat za přijatelných podmínek. Základním předpokladem úspěchu dezinfekce je ovšem dodržení správné koncentrace ozonu a doby inaktivace (viz dále CT faktor). Celosvětově byla akceptována skutečnost, že k aplikaci správné dávky ozonu je nutno použít alespoň tzv. *technologie bočního toku* (Slip Stream Technology), nejlépe však *úplné ozonové technologie* (Full Ozone Technology). Od používání *technologie nízkých dávek ozonu* (Low Dose Technology, Compact, Fractional or Trickle Ozone Technology) ve veřejných bazénech se již dávno upustilo. *Technologie nízkých dávek ozonu je vhodná pouze pro privátní bazény!*

Chlorace nebo aplikace nízkých dávek ozonu nejsou schopny likvidovat vysoce rezistentní a nebezpečné patogeny, jako jsou např. kryptosporidia. Provozovatelé veřejných bazénů proto nemohou považovat *technologie nízkých dávek ozonu* za dostatečnou ochranu proti nim. Již před mnoha lety iniciovala hongkongská vláda v reakci na úmrtí několika plavců, kteří se infikovali v bazénech, detailní studii této problematiky. Studie dospěla k závěru, že skutečnou hygienickou ochranu veřejných bazénů může zaručit pouze *úplná ozonová technologie*. Důkazem, že se podobné problémy nevyhýbají ani západoevropským zemím, je uzavření sportovního centra v Doncasteru ve Velké Británii před dvěma lety v důsledku kontaminace vody kryptosporidii. V minulosti se mnohokrát stalo, že se některé firmy snažily přenést *technologie nízkých dávek ozonu* z privátních do veřejných bazénů, aby si tak rozšířily trh. Časem se však prokázala neadekvátnost tohoto postupu. Tyto instalace zapříčinily negativní postoj potenciálních uživatelů k ozonovým technologiím jako takovým a bylo nutno vyvinout značné úsilí k nápravě těchto škod.

Použití ozonu k úpravě vody značně přispívá k její hygienické nezávadnosti. Protože je však koncentrace ozonu ve vodě daná Vyhl. 135/2004 Sb. příliš nízká (max. 0,05 mg/l O₃ před vstupem vody do bazénu), zabezpečuje se sanitace bazénu dlouhodobě působícím dezinfekčním činidlem, tj. zpravidla chlorací. Vyhláška však nevylučuje použití i jiných než chlorových dezinfekčních přípravků, v úvahu tak přichází např. aplikace aktivního bromu. Spotřeba dezinfekčních činidel je nižší než při technologii nevyužívající ozon, protože nejsou spotřebovávány na oxidaci nečistot, ale slouží jako primární dezinfekční činidla.

Aplikace ozonu je však provázena dalšími významnými pozitivními efekty. Při chloraci bazénové vody neupravované ozonem vznikají jako vedlejší produkty škodlivé, zapáchající a těžko odstranitelné vedlejší produkty – chloraminy (monochloramin), produkty chlorace kreatininu a

močoviny i chloroform a další chlorované látky, které vznikají chlorací sloučenin obsažených v moči, potu a kosmetických přípravcích. Ozon oxiduje jednak prekurzory vedlejších produktů chlorace, jednak tyto látky samotné. Při chloraci kombinované s aplikací ozonu proto dojde k odstranění škodlivých látek z bazénové vody, vymizí typický „chlorový“ zápach a nedochází k dráždění očí a nosní sliznice. Sníží se rovněž finanční náklady na ventilaci vzduchu. Koncentrace organických dusíkatých a chlorovaných látek v bazénové vodě je snížena na minimum.

Je-li plnicí voda přiváděna do bazénu z vrtu nebo povrchového zdroje, lze oxidačních schopností ozonu s výhodou využít nejen k její dezinfekci, ale také k její chemické úpravě spočívající v odstranění železa, manganu, zabarvení vody a zápachu a ke snížení hodnoty CHSK.

Nezanedbatelný přínos ozonizace spočívá v dosažení dokonale průzračné, jiskřivě čisté vody. Je to důsledek mikroflokulačního efektu, při němž přítomné organické látky oxidované ozonem na polárnější sloučeniny váží kationty vápníku, hořčíku, železa, hliníku a manganu za tvorby látek s nízkou rozpustností odstranitelných filtrací.

Ozonizační technologie

Podle typu a zatížení bazénu se volí jedna ze tří hlavních ozonizačních technologií:

- úplná ozonová technologie,
- technologie „bočního“ toku,
- technologie nízkých dávek ozonu.

Úplná ozonová technologie (Full Ozone Technology)

Tato technologie vychází z evropských, především německých zkušeností a je zakotvena v normě DIN 19 643, kterou převzaly i jiné státy. Je používána pro veřejné bazény s vysokou návštěvností a akvaparky s vodními atrakcemi, kde jsou kladeny vysoké nároky na technologii udržující nejen vysokou kvalitu vody ale i ovzduší.

V těchto bazénech je voda upravována dávkou ozonu 0,8-1,2 mg/l při kontaktní době minimálně 3 min (kontaktní nádrž součástí technologie). Směšování ozonu s vodou se provádí pomocí injektoru. Aby nemohla dojít k překročení limitní koncentrace ozonu v ovzduší nad hladinou vody (*většinou akceptována koncentrace ozonu nad hladinou bazénu do 0,2 mg/m³, v ČR situace upravena Vyhl. MZ č. 6/2002 Sb. platnou od 1.7. 2003 stanovující pro prostředí „staveb pro zotavovací akce“ limitní hodinovou koncentrací ozonu 100 µg/m³*), je zavedena maximální koncentrace rozpuštěného ozonu ve vodě bazénu 0,05 mg/l. Z tohoto důvodu se zařazuje za kontaktní nádrž deozonizační uhlíkový filtr, ve kterém je zbytkový rozpuštěný ozon rozložen (viz schéma dle DIN 19 643). Kontakt vody s ozonem o dostatečně vysoké koncentraci a po dostatečně dlouhou dobu (splnění CT kritéria) lze zajistit v samostatné kontaktní nádrži nebo v kombinované kontaktní a deozonizační nádrži. Nosný plyn (vzduch) obsahující zbytkový nerozpuštěný ozon, prochází přes destruktory ozonu, aby se zamezilo jeho úniku do okolí bazénu.

Technologie „bočního“ toku, technologie částečné dávky ozonu (Slip Stream System)

Tato technologie má svůj původ v Británii, kde se při experimentech s úpravou bazénové vody prokázalo, že kvalita vzduchu a vody zůstane velice dobrá, i když bude dávka ozonu v porovnání s *úplnou ozonovou technologií* nižší. Předností této technologie oproti předchozí je její

ekonomická výhodnost při zachování prakticky stejných kvalitativních ukazatelů vody a ovzduší. Malý podíl recirkulované vody (jednotky % až 25% průtoku) je odveden z cirkulačního okruhu do obtoku a zde upraven „úplnou“ ozonovou technologií. V závislosti na zatížení bazénu je minimálně jednou za den celý objem bazénu vystaven dávce ozonu odpovídající DIN 19 643. Celková dávka ozonu se tak pohybuje typicky mezi 10% až 20% dávky odpovídající *úplné ozonové technologii*, což znamená, že koncentrace ozonu vztažená na celkový průtok vody se pohybuje od 0,1 do 0,2 mg/l O₃.

Zjednodušená varianta *technologie bočního toku* používá pouze nerezové kontaktní nádoby bez zařízení na odstranění zbytkového plynného ozonu. Dávka ozonu však musí být volena tak, aby koncentrace zbytkového ozonu ve vodě tekoucí do bazénu nepřekročila 0,05 mg/l.

Technologie byla podrobena britskou institucí Electricity Council za účasti lékařského poradce britské Amatérské plavecké asociace nezávislým testům na krytém plaveckém bazénu Cirencester Sports Centre v Gloucestershire v letech 1985/86. Závěrem bylo konstatováno, že se při aplikaci této technologie radikálně snížil zápach, poklesla spotřeba chloračního činidla a prakticky vymizelo dráždění očí a sliznic i alergické reakce astmatiků.

Technologie bočního toku bývá instalována v rekonstruovaných veřejných bazénech, kde není dostatek prostoru a prostředků pro zavedení *úplné ozonové technologie*, ve školních bazénech a ve veřejných bazénech s nízkým zatížením. Pro veřejné bazény s vysokou zátěží a akvaparky je nutno použít *úplnou ozonovou technologii*.

Technologie nízkých dávek ozonu (Low Dose, Compact, Fractional or Trickle Ozone Systems)

Tento systém se používá pro úpravu vody v privátních, hotelových, rehabilitačních a školních bazénech. V důsledku aplikace velmi nízkých dávek ozonu není nutný deozonizační stupeň snižující koncentraci ozonu rozpuštěného ve vodě. Dávky ozonu se pohybují v rozsahu 0,05 až 0,1 mg/l. Systémy jsou nabízeny s odvzdušňovacím zařízením (odstranění nosného plynu a zbytkového nerozpuštěného ozonu), případně bez odvzdušnění. Systémy s odvzdušněním jsou vhodnější, protože bubliny vzduchu způsobují často hluk v potrubí cirkulačního okruhu. U systémů bez odvzdušnění je třeba dbát na to, aby koncentrace ozonu nad vodní hladinou bazénu nepřekročila povolený limit.

Technologie nízkých dávek ozonu instalovaná v privátních bazénech je aplikací, při níž mohou nízké dávky ozonu působit jako jediné dezinfekční a oxidační činidlo. Je však vhodné doplnit působení ozonu dávkováním algicidního přípravku, který má také bakteriostatické účinky a je kompatibilní s ozonovou technologií (např. přípravek BlueSpark).

Shrnutí

Správná volba ozonové technologie je nutná k tomu, aby se dosáhlo odstranění „chlorového“ zápachu a koroze zařízení a současně aby bylo dosaženo kvalitní, průzračné a hygienicky dokonale zabezpečené vody. Je třeba podotknout, že k mikroflokulačnímu efektu (viz výše) dochází pouze u *úplné ozonové technologie*.

I když spotřeba chloračního činidla při aplikaci ozonové technologie poklesne, není toto snížení příliš významné z hlediska ekonomiky provozu a také v něm nespočívá hlavní přednost ozonizace. Nejvýznamnějším přínosem správně zvolené a instalované ozonové technologie je, že chlor dávkovaný do vody veřejného bazénu zůstane ve formě volného (aktivního) chloru s dezinfekčními účinky a není inhibován vazbou na organické látky. To je velmi podstatný fakt,

protože chlor musí zajistit hygienickou bezpečnost a zamezit přenosu infekcí. Dále dojde k minimalizaci tvorby vedlejších produktů chlorace, o nichž je prokázáno, že jsou toxické, mohou se stát příčinou dermatologických obtíží a některé se řadí mezi předpokládané lidské karcinogeny. Tyto látky vstupují do organismu především přes pokožku.

Je ozon bezpečný?

Následující řádky jsme zařadili proto, že na příliš mnoha instalacích, které jsme navštívili, unikal ozon do okolí a ohrožoval zdraví lidí. Při instalaci ozonové technologie je třeba věnovat maximální pozornost tomu, aby nemohlo dojít k úniku ozonu. Správně provedená instalace ozonové technologie neohrožuje zdraví lidí!

V plynné fázi je ozon pro člověka akutně toxický. Při nízkých koncentracích cca 0,1 mg/m³ je zaznamenávána pouze nasládlá vůně ozonu a nejsou pozorovány žádné negativní zdravotní příznaky. Při růstu koncentrace a v závislosti na době expozice dochází postupně k dráždění sliznice očí a dýchacího traktu, dále k bolestem hlavy a dýchacím obtížím až – při velmi vysokých koncentracích – k poškození plic, krvácení z plic i smrti.

Riziko spojené s použitím ozonové technologie musí být vyloučeno správným návrhem a instalací technologie, zaškolením její obsluhy a správným provozováním technologie. Nezávisí na tom, zda se jedná o podtlakový nebo přetlakový systém. I v případě podtlakového systému existuje riziko úniku ozonu do okolí v cirkulačním okruhu bazénové vody. Maximální pozornost proto musí být věnována kontaktním, deozonizačním a odvzdušňovacím nádržím a k nim příslušejícím ventilům a nádobám s aktivním uhlím. Z tohoto hlediska je třeba učinit následující opatření:

- a) obsluha musí mít k dispozici prostředky indikující přítomnost ozonu v ovzduší a musí být obeznámena s postupy doplňování aktivního uhlí a s funkcí odvzdušňovacího zařízení,
- b) bezpečnostní vypínač musí být umístěn vně místnosti, ve které je instalována ozonová technologie,

U systémů s vyšším výkonem ozonizátoru je dále nutné:

- c) umístit do místnosti technologie detektor úniku ozonu s audio-vizuálním alarmem,
- d) mít k dispozici ochranné prostředky chránící proti ozonu.

Úprava bazénové vody dle normy DIN 19 643

Nejuznávanější normou pro plavecké bazény je stále německá DIN 19 643. Její obsah byl poprvé publikován ve formě příručky v červnu 1972, v roce 1982 byla oficiálně přijata za německou normu a později převzata ve Švýcarsku, Rakousku a Nizozemí. Velká Británie a Francie z ní převzaly značnou část do svých norem pro úpravu bazénových vod, a to především co se týká použití ozonu.

Norma DIN 19 643 „Úprava a dezinfekce vody plaveckých a koupelových bazénů“ uvádí pravidla pro všechny způsoby úpravy vod v bazénech, včetně flokulace, ozonizace, užití aktivního uhlí, chlorace atd. Schváleny jsou čtyři technologie úpravy vody, z nichž pouze jedna využívá ozonizace. Bez ohledu na to, která z technologií bude použita, je vyžadována stejná kvalita

upravené vody. Jedním z požadavků DIN 19 643 je, aby kvalita vody, ať již upravené nebo doplňované, splňovala normu pitné vody.

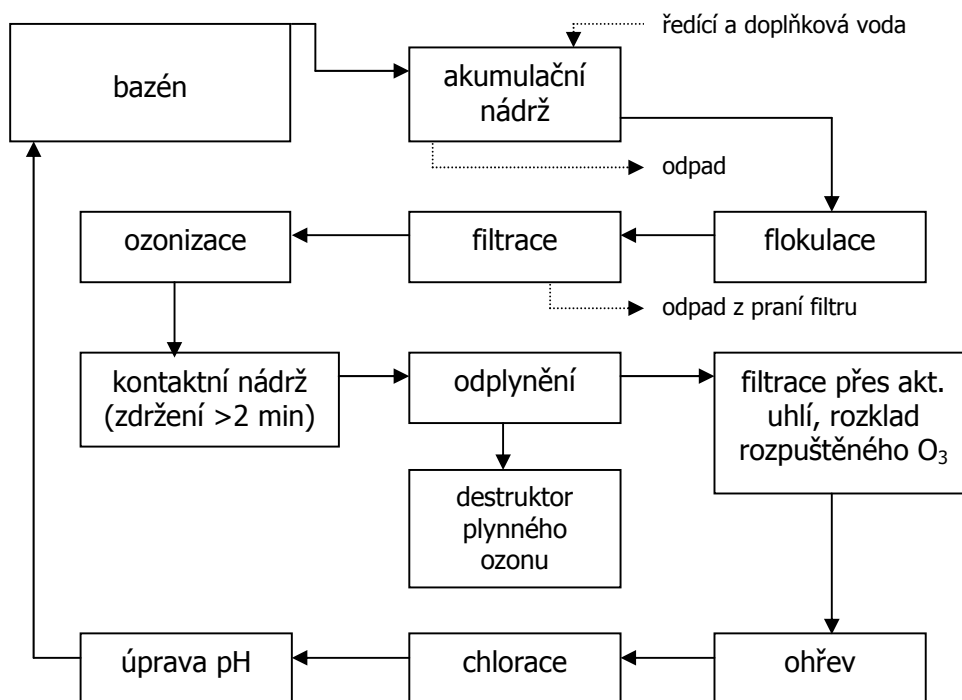
Technologie úpravy bazénové vody využívající ozonizace vyžaduje, aby minimální koncentrace generovaného ozonu byla 18 g/m^3 . Tento požadavek automaticky vylučuje nejen použití UV zářičů ke generaci ozonu ale i těch generátorů ozonu, které nepoužívají dostatečně suchý vzduch nebo kyslík, protože neumožňují dosažení potřebné koncentrace ozonu.

Základní technologie úpravy vody dle DIN 19 643 zahrnuje následující kroky:

- a) vstup upravené vody do bazénu dnovými tryskami, odvádění vody z bazénu do akumulární nádrže přelivem přes hranu bazénu,
- b) kontinuální vypouštění části vody z akumulární nádrže do odpadu (30 l na návštěvníka), nahrazení vypouštěné vody přítokem ředící vody o stejném objemu,
- c) čerpání vody z akumulární nádrže a její úprava chemickou flokulací,
- d) filtrace na pískovém nebo vícevrstevném filtru,
- e) v případě ozonizace dávka $1\text{--}1,2 \text{ mg/l O}_3$ při minimální koncentraci produkovaného ozonu $1,5\%$ váh. a kontaktní době minim. 3 min,
- f) filtrace na granulovaném aktivním uhlí - odstranění dalších látek sorpcí a rozložení zbytkového ozonu,
- g) úprava pH přidáním anorganické kyseliny nebo CO_2 ,
- h) chlorace – minimální koncentrace volného aktivního chlóru $0,2 \text{ mg/l}$, maximální koncentrace $0,5 \text{ mg/l}$,
- i) vstup upravené vody do bazénu.

Chlor je jediným dezinfekčním činidlem, jehož použití v bazénech je v Německu povoleno. Ozon nesmí být v bazénu přítomen v koncentracích vyšších než $0,05 \text{ mg/l}$, aby se zamezilo jeho nashromáždění nad vodní hladinou a vdechování plavci. Jak již bylo uvedeno, voda musí dosahovat parametrů pitné vody. Mimo jiné to znamená, že zákal nesmí překročit hodnotu $0,2 \text{ NTU}$ v upravené vodě vstupující do bazénu a hodnotu $0,5 \text{ NTU}$ v bazénu.

Recirkulace bazénové vody s ozonovou technologií podle DIN 19 643



Rozpustnost ozonu ve vodě

Jedním velice významným aspektem ozonové technologie je požadavek na generování ozonu o vysoké koncentraci při minimálních nárocích na spotřebu elektrické energie. Mnohem těžším úkolem je však rozpustit co největší množství ozonu ve vodě, aby se tak co nejefektivněji mohl využít k oxidačním a dezinfekčním účelům. Přenos ozonu do vody se děje nejčastěji pomocí porézních difuzérů a injektorů. Vzhledem k tomu, že ozon je omezeně rozpustný ve vodě, hraje koncentrace plynného ozonu velmi důležitou roli.

Rozpustnost plynů v kapalinách závisí na jejich parciálním tlaku nad kapalinou (roztokem), na teplotě a na chemické povaze rozpuštěného plynu a rozpouštědla. U soustav, jejichž složky spolu nereagují, je podle Henryho zákona rozpustnost plynu (ozonu) v kapalině (vodě) přímo úměrná parciálnímu tlaku plynu v plynné fázi:

$$x = H \cdot p$$

V tomto vztahu reprezentuje x koncentraci ozonu ve vodě, p je parciální tlak ozonu v plynné fázi a H je Henryho konstanta, jejíž hodnota je pro danou teplotu a uvažovanou soustavu stálá. Protože voda v našem případě není chemicky čistou vodou, mají její vlastnosti jako pH a iontová síla vliv na hodnotu konstanty H . Henryho zákon platí v oboru nízkých a středních tlaků pro plyny, které nejsou příliš rozpustné, což odpovídá podmínkám, při nichž je prováděna ozonizace.

Z Henryho zákona plyne, že čím vyšší bude koncentrace generovaného ozonu, tím více ozonu se rozpustí ve vodě. V tabulce Tab. I jsou uvedeny hodnoty rozpustnosti ozonu v závislosti na teplotě. Je třeba zdůraznit, že uvedené hodnoty platí za rovnovážných podmínek. Tato situace

však v praxi nenastává – ozon je směřován s vodou velice rychle, obvykle za podtlaku a rychlého proudění vody. Kromě toho probíhají také oxidační reakce ozonu s látkami rozpuštěnými ve vodě. Z těchto důvodů nelze údaje v Tab. I plně přenést do reálných podmínek, ilustrují však trend rozpustnosti ozonu plynoucí z Henryho zákona.

Tab. I: Rozpustnost ozonu ve vodě

t (°C)	Koncentrace plynného ozonu (% váh.)					
	0,001	0,1	1	1,5	2	3
	Rovnovážná koncentrace ozonu ve vodě (mg/l)					
5	0,007	0,74	7,39	11,09	14,79	22,18
25	0,004	0,35	3,53	5,29	7,05	10,58
30	0,003	0,27	2,70	4,04	5,39	8,09

Dezinfekce ozonem - CT faktor

Ve vodě se nachází značné množství mikrobiologických kontaminantů – bakterií, virů, plísní, prvoků, jejichž inaktivace vyžaduje rozdílné dávky ozonu. Mikroorganismy ve formě cyst jsou nejvíce rezistentní ke všem dezinfekčním činidlům díky své ochranné slupce. Rozsah jejich inaktivace nebo destrukce závisí na součinu koncentrace dezinfektantu (C, v jednotkách mg/l) a kontaktního času (T, v minutách). Součin těchto dvou veličin se nazývá CT faktor (mg/l·min).

V červnu 1989 vyhlásil federální Úřad pro ochranu životního prostředí - U.S. Environmental Protection Agency (EPA) - normy pro dezinfekci pitné vody, které zahrnovaly koncepci CT faktoru definovaného pro každý dezinfektant používaný při úpravě pitné vody (chlor, chlordioxid, ozon) pro rozsah pH 6 až pH 9 a při teplotách vody od 0,5°C do 25°C. Čím vyšší je teplota vody, tím nižší hodnota CT je nutná k dostatečné dezinfekci.

Četné mikroorganismy uváděné v této normě se nachází i v bazénové vodě. Jedná se například o cysty rodu *Giardia*, střevní (enterické) viry, bakterie rodu *Legionella*, koliformní bakterie a heterotrofní mikroorganismy. Pro dezinfekci ozonem při teplotách <1°C doporučuje EPA dosažení hodnoty CT 2,9 mg/l·min. Hodnota CT se snižuje na 0,48 mg/l·min při teplotách nad 25°C. Dosažení hodnot CT při uvedených teplotách zaručuje inaktivaci 99.9% (3log, tj. snížení počtu mikroorganismů na jednu tisícinu původního počtu) cyst *Giardia* a současně inaktivaci vyšší než 99.999% (5log) střevních virů. Je-li dosaženo této úrovně inaktivace cyst *Giardia* a střevních virů, je rovněž dosaženo úplné destrukce bakterií rodu *Legionella*, *E. coli* a heterotrofních mikroorganismů.

V Tab. II (EPA) jsou uvedeny v závislosti na teplotě hodnoty CT faktorů, při kterých dochází k různému stupni inaktivace cyst *Giardia lamblia* ozonem. I když se dosáhne pouze 0,5log inaktivace cyst *Giardia* ozonem, při stejné hodnotě CT se dosáhne více než 5log inaktivace střevních virů a současně budou likvidovány všechny bakterie. Vezmeme-li do úvahy rozpustnost ozonu ve vodě (Tab. I.) a potřebné hodnoty CT na dezinfekci vody, je patrné, že těchto parametrů lze dosáhnout při přípravě ozonu v generátorech, nelze jich však dosáhnout ozonem produkovaným působením UV záření.

Budeme-li ozon generovat v ozonizátorech, dosáhneme minimální požadované koncentrace 1,5% váh. (18 mg/l). Při doporučené dávce ozonu (1,0 mg/l pro plavecké a 1,3 mg/l pro

koupelové bazény) dosáhne koncentrace ozonu rozpuštěného ve vodě snadno hodnot 0,3 až 0,5 mg/l. Budeme-li udržovat tuto koncentraci minimálně po dobu dvou minut, bude dosaženo hodnoty CT faktoru 0,6 až 1,0 mg/l·min, která je podle EPA normy pro pitnou vodu postačující k úplné dezinfekci vody při teplotě 25°C.

Tab. II: CT faktor pro inaktivaci cyst rodu *Giardia* ozonem

Inaktivace	Teplota (°C)					
	<1	5	10	15	20	25
0,5log	0,48	0,32	0,23	0,16	0,12	0,08
1log	0,97	0,63	0,48	0,32	0,24	0,16
1,5log	1,5	0,95	0,72	0,48	0,36	0,24
2log	1,9	1,3	0,95	0,63	0,48	0,32
2,5log	2,4	1,6	1,2	0,79	0,60	0,40
3log	2,9	1,9	1,43	0,95	0,72	0,48

Reakce ozonu s anorganickými kontaminanty

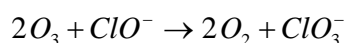
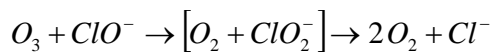
Anorganické kontaminanty přítomné v bazénech zahrnují amoniové kationty, volný chlór (kyselina chlorná HClO a její anionty ClO⁻) a monochloramin (NH₂Cl), případně volný brom (kyselina bromná HBrO, bromnany BrO⁻) a bromidový anion (Br⁻). Jedná-li se o vodu podzemní, mohou se – při její úpravě na plnicí vodu – řadit mezi kontaminanty také kationty železa, manganu a hydrogensulfidové anionty, případně sirovodík.

Reakce ozonu s amoniovými kationty

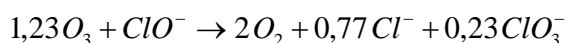
Rychlost reakce ozonu kationty NH₄⁺ je při pH 6,5-8,0 obvyklém v bazénech, příliš pomalá, aby mohla mít nějaký praktický význam. Teprve při pH > 9.0 jsou oxidovány ozonem přijatelně rychle. Není tedy pravda, že ozon oxiduje amoniové kationty přítomné v bazénové vodě.

Reakce ozonu se sloučeninami chloru

Volný chlor se v bazénové vodě o pH 6,5 až 8,0 nachází ve formě kyseliny chlorné a chlornanových aniontů ClO⁻. Haag a Hoigné prokázali, že ozon nereaguje s HClO, ale s jejími anionty, které jsou přeměněny ze 77% na chloridové a z 23% na chlornanové anionty podle rovnic:



Celkový děj lze tedy vyjádřit souhrnným schématem:



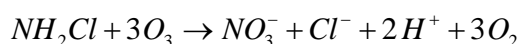
Pro výše uvedené schéma stanovili Haag a Hoigné rychlostní konstanty druhého řádu a. Tyto konstanty mají při 20°C hodnoty 120 l·mol⁻¹·s⁻¹ pro úbytek ozonu a 98 l·mol⁻¹·s⁻¹ pro úbytek chlornanového aniontu.

Přestože nedisociovaná kyselina chlorná nereaguje s ozonem, je třeba vzít v úvahu její disociační rovnováhu - při pH 7,5 bude v bazénu stejná koncentrace nedisociované kyseliny (pKa 7,5) a jejího aniontu. Při ozonizaci bazénové vody se koncentrace chlornanového aniontu snižuje, což vede k disociaci kyseliny chlorné. Pokud tyto reakce budou probíhat po dostatečně dlouhou dobu s dostatečným množstvím ozonu a do bazénu nebude přidáván další chlorační prostředek, bude postupně přítomný volný chlor přeměněn na chloridové a chlorečnanové anionty. V plaveckých a koupelových bazénech je však chlorace prováděna kontinuálně, aby se udržovala alespoň minimální koncentrace volného chloru. Proto je zde ve srovnání s koncentrací ozonu vždy přebytek volného chloru. V důsledku toho lze očekávat, že značná část přidávaného ozonu bude odstraněna reakcí s chlornanovými anionty. To platí především v případě, kdy je aplikováno jen *malé množství ozonu*, navíc bez kontaktní nádrže. Tento fakt je jedním z argumentů proti užívání *technologie nízkých dávek* ve veřejných plaveckých bazénech. *Malé dávky ozonu nemohou poskytnout potřebné množství rozpuštěného ozonu po dostatečnou dobu, aby se dosáhlo dezinfekce a oxidace organických kontaminantů.*

Na rozdíl od těchto technologií je v bazénech, jejichž voda je upravována v souladu s normou DIN 19 643, koncentrace volného chlóru nízká (0,2 – 0,5 mg/l). Část vody na výstupu z bazénu je vypouštěna do odtoku a stejné množství čerstvé vody je přidáno - tím dojde k poklesu koncentrace volného chlóru. Je dodán flokulant a následuje filtrace, během které se hladina chlóru dále sníží. Ozon je přidáván po filtraci v dávkách 1 mg/l, koncentrace ozonu na výstupu z ozonizátoru je minimálně 18 mg/l. Znamená to, že koncentrace ozonu v reaktoru se pohybuje v rozmezí 0,2 až 0,5 mg/l (viz tabulka Tab. I). Za těchto podmínek se poločas života volného chlóru pohybuje v rozmezí od 50 min při pH 7 až do 15 min při pH 8. Protože kontaktní doba ozonu je 2-3 minuty a poté následuje odplynění vody a destrukce zbytkového ozonu ve vodě na aktivním uhlí, je jen malé množství volného chlóru přítomného v kontaktní nádobě odstraněno v důsledku reakce ozonem.

Reakce ozonu s monochloraminem

Haag a Hoigné rovněž prokázali, že ozon pomalu oxiduje monochloramin za tvorby dusičnanových a chloridových aniontů:



Hodnota rychlostní konstanty (20°C) úbytku ozonu činí $26 \text{ l}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, pro úbytek monochloraminu platí hodnota $6 \text{ l}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. Tyto hodnoty jsou výrazně nižší než rychlostní konstanty pro oxidaci chlornanového aniontu ozonem, avšak v bazénech s recyklací vody má uvedená reakce význam. *Čím vyšší bude koncentrace ozonu, tím větší destrukce chloraminů nastane. I tento fakt podporuje aplikace ozonových technologií využívajících vyšší dávky ozonu.*

Postupně se prosazuje technologie úpravy vody spočívající v kombinované aplikaci ozonu a UV záření, při které vznikají OH-radikály schopné oxidovat chloraminy a další látky s vysokou účinností.

Závěr

Ozonové technologie výrazně zvyšují úroveň hygienického zabezpečení bazénů, což ve svých důsledcích znamená ochranu zdraví plavců i obsluhy bazénů. Technologie nízkých dávek ozonu však není vhodná pro veřejné bazény. Aplikace správně zvolené ozonové technologie:

- ✓ značně sníží koncentrace vedlejších produktů chlorace, které negativně ovlivňují lidské zdraví,
- ✓ odstraní „chlorový“ zápach, nebude docházet k dýchacím obtížím a dráždění očí, sliznic a pokožky,
- ✓ sníží spotřebu energie pro provoz klimatizace,
- ✓ sníží korozi zařízení,
- ✓ zvýší průzračnost vody,
- ✓ sníží spotřebu chloračního činidla.

Správně navržená a realizovaná ozonová technologie přispěje podstatnou měrou ke zlepšení kvality bazénové vody a ovzduší bazénové haly a rozšíří tak počet spokojených návštěvníků bazénu.