

Pokroky technologie úpravy pitných vod - dezinfekce pitné vody UV-zářením v úpravně vody Mokošín

Ing. Zdeněk Janeba ¹⁾, Ing. Jaroslav Kopecký, CSc. ²⁾

1) Vodovody a kanalizace Pardubice, a.s. , 2) Jako, s.r.o.

Dezinfekce UV zářením patří mezi technologie, které jsou v poslední době stále častěji používány pro zkvalitnění úpravy pitných vod ve vodárnách.

Co je UV záření

UV je záření od ca 100 do 400 nm. Germicidní účinky má oblast UV záření ca 200-320 nm.

Princip dezinfekce UV zářením je chemická změna DNA při maximu 260-265 nm, která způsobuje inaktivaci reprodukce mikroorganismů nebo jejich usmrcení.

Výhodou dezinfekce UV zářením oproti jiným prostředkům (např. chloru, chlordioxidu a ozonu) je spolehlivost dezinfekce, žádná tvorba vedlejších produktů dezinfekce jako THM v případě chloru, chloritanů v případě chlordioxidu, či bromičnanů v případě ozonu, žádná změna organoleptických vlastností upravované vody, žádný dopad na životní prostředí, snadnost a bezpečnost provozu UV zařízení.

Reaktivace mikroorganismů

Konvenční **nízkotlaké UV lampy**, které vyzařují UV záření při 254 nm, poškozují pouze DNA, ale ne enzymy a jiné biomolekuly mikroorganismů. Ty mohou za určitých podmínek opravit poškozené místo DNA (reaktivovat DNA) a umožnit další pomnožování mikroorganismů.

Možnost reaktivace mikroorganismů byla jednou ze dvou hlavních námitek hygieniků proti náhradě chloru UV zářením.

Speciální **středotlaké "MultiWave" UV lampy** (holandský výrobce Berson) vyzařují **polychromatické UV záření** (200-400 nm) o vysoké intenzitě, které poškozují nejen DNA, ale také enzymy při ca 280 nm a buněčné membrány při ca 220 nm, a tím **vyklučují možnost reaktivace mikroorganismů**.

Dávka UV záření

Dávka UV záření je součin **intenzity** UV záření (vlastnost UV lampy) a doby **expozice** (vlastnost průtoku při konstantním objemu komory UV zařízení).

$$\text{UV dávka (mJ/cm}^2\text{)} = \text{intenzita UV záření (mW/cm}^2\text{)} * \text{expozice (s)}$$

Pro správný výběr vhodného typu UV zařízení je nutné **stanovit a zaručit určitou dávku UV záření** (např. pro dezinfekci pitných vod 25 mJ/cm² v Holandsku, 25-30 mJ/cm² v ČR, 40 mJ/cm² v Německu, Polsku a Rakousku), **znát** průměrný a maximální **průtok a kvalitu vody** z hlediska propustnosti ($T_{10}=10^{-A}$; T_{10} =propustnost media na vzdálenost 10 mm; A=absorbance při 254 nm na vzdálenost 10 mm).

UV dávka je různá pro různé mikroorganismy a její velikost je rozhodující pro účinnost inaktivace (např. dávka 12 mJ/cm² při použití MultiWave UV lamp inaktivuje 99.99% Escherichia coli, ale jen 99.00% viru Polio 3).

Účinnost

Z hlediska **účinnosti** je důležité znát aplikovanou intenzitu UV záření a dobu expozice. UV dávka tvořená vysokou intenzitou a krátkou dobou expozice má vyšší výrazně vyšší účinnost inaktivace než stejná UV dávka tvořená nízkou intenzitou a dlouhou dobou expozice (např. dávka 12 mJ/cm² při použití středotlakých MultiWave UV lamp inaktivuje 99.99% Escherichia coli, ale jen 90.00% Escherichia coli při použití nízkotlakých UV lamp).

Typy UV lamp a jejich rozdíly

Běžně jsou používány klasické **nízkotlaké UV lampy**, které vyzařují UV záření při **254 nm**. V poslední době se stále více prosazují **středotlaké MultiWave UV lampy**, které vyzařují UV záření při ca **200-400 nm**.

Důležitým faktorem je **teplota** upravované vody (intenzita vyzařované UV energie nízkotlakých UV lamp je silně závislá na teplotě - pracovní oblast je ca 15-25 °C; intenzita vyzařované UV energie středotlakých UV lamp není závislá na teplotě v širokém rozsahu teplot ca -20 až +100 °C)

Dalším rozdílem je **možnost měnit velikost vyzařené UV energie**. Nízkotlaké UV lampy vyzařují UV energii v jedné hladině zatímco středotlaké UV lampy mohou vyzařovat UV energii ve třech různých hladinách. Důsledkem je **možnost reagovat na změnu průtoku a kvality vody** z hlediska propustnosti změnou vyzařované UV energie, a tím **udržovat garantovanou dávku UV záření**.

Důsledkem rozdílné intenzity vyzařované UV energie je **schopnost nahradit 10-12 nízkotlakých UV lamp jednou středotlakou MultiWave UV lampou**. To vede ke zmenšení rozměrů UV zařízení a jejich kompaktnosti.

Nízkotlaké UV lampy jsou doporučovány pro nižší průtoky do ca 5 L/s, je-li stálý průtok a kvalita upravované vody.

Středotlaké "MultiWave" UV lampy jsou doporučovány pro vyšší průtoky (ca 3-10,000 L/s), mění-li se průtok a kvalita upravované vody (ca +/- 30%) a je-li důležitá teplota.

Druhotné znečištění

Druhotné znečištění, které můžeme charakterizovat jako opětovný růst mikroorganismů způsobený vnějšími vlivy, bylo druhou vážnou námitkou hygieniků proti UV dezinfekci.

Druhotnému znečištění můžeme **předcházet správným provozem** rozvodné sítě pitné vody, tj. udržováním přetlaku v síti, pravidelným proplachováním sítě (1-2x/rok), občasnou šokovou dávkou chloru, údržbou sítě (tak, aby se předcházelo poruchám; v případě poruch k rychlému odstranění závady a propláchnutí opraveného místa před napojením na síť), **udržováním biologické stability** upravené vody v síti (např. sledováním AOC) a **používáním polychromatických lamp o velkém výkonu**.

Závěrem uvádím **první použití UV zařízení na úpravu pitné vody na úpravně v ČR** (Pardubice-Mokošín), kdy po ca 15-ti měsíčním odzkoušení bylo UV zařízení vybavené středotlakými MultiWave UV lampami uvedeno do stálého provozu.

Proč používat dezinfekci UV zářením

Dezinfekce UV zářením je:

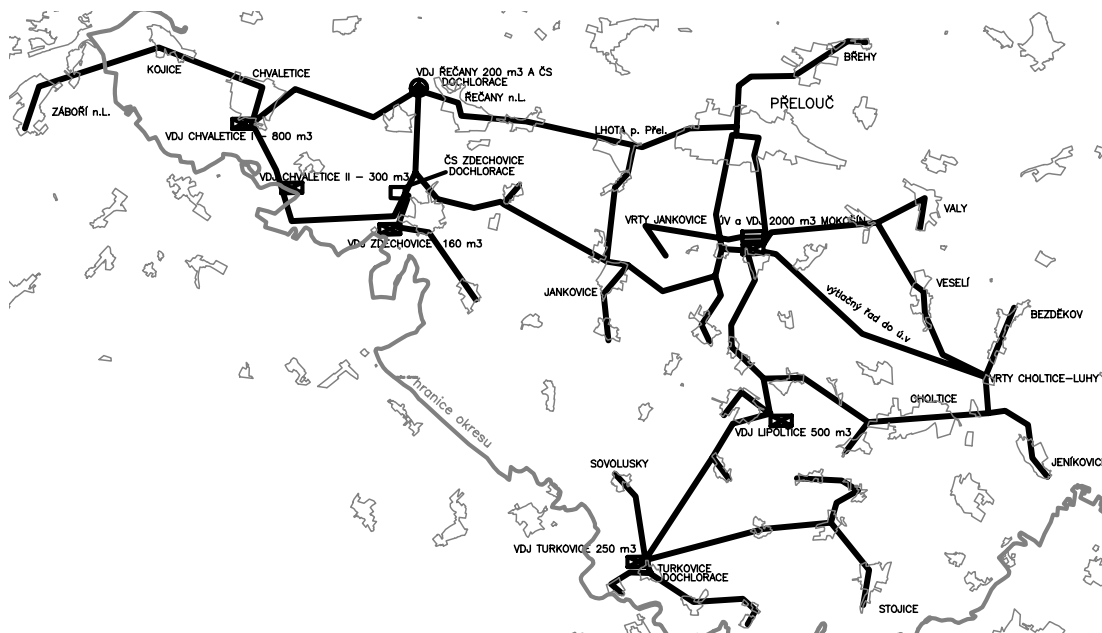
- spolehlivá dezinfekční metoda
- nevytváří žádné vedlejší produkty
- nemění organoleptické vlastnosti vody
- nemá důsledky pro životní prostředí
- je bezpečná a snadno provozovatelná dezinfekční metoda
- vyžaduje minimální finanční nároky na provoz
- vyžaduje minimální nároky

Dezinfekce pitné vody UV-zářením v úpravně vody Mokošín

V květnu roku **1999** byl na **úpravně vody Mokošín** zahájen **zkušební provoz** hygienického zabezpečení pitné vody UV zářením. Vzhledem k tomu, že v té době platná ČSN 75 71 11 Pitná voda umožňovala použití pouze chlóru, musel být pro tuto výjimku vydán souhlas Státního zdravotního ústavu – Centra hygieny životního prostředí, Hlavního hygienika ČR a Okresního hygienika Pardubice.

Úpravna vody Mokošín zásobuje pitnou vodou cca **19 tis. obyvatel**. Na úpravně vody Mokošín jsou ze surové vody odstraňovány pouze železité ionty na otevřených pískových filtrech. Maximální **výkon** úpravny je **66 l/s**, současný výkon je cca 35 – 40 l/s. Vyráběná voda je akumulována v centrálním vodojemu Mokošín a následně gravitačně distribuována do rozvodné sítě, na které jsou umístěny následující zemní vodojemy – Lipoltice, Turkovice, Zdechovice, Řečany, Chvaletice 1, Chvaletice 2. Rozvody skupinového vodovodu Přelouč mají celkovou délku cca 190 km, materiál rozvodných řadů je litina, ocel, osinkocement, PVC, PE. Zdrojem surové vody jsou 4 artézské vrty cca 70 m hluboké, nacházející se v blízkosti podhůří Železných hor. Původní hygienické zabezpečení plynným chlórem bylo umístěno v místě výroby vody na úpravě vody Mokošín a v koncových místech rozvodných řadů v lokalitách Zdechovice, Řečany a Turkovice byla voda dochlorována chlornanem sodným.

Provozní schéma skupinového vodovodu Přelouč je uvedeno na následujícím obrázku:



Pro zabezpečení vody UV zářením bylo vybráno **zařízení** vyráběné firmou **Berson** Milieutechniek BV typ **bersonInline 450**, jehož zářič je osazen 2 středotlakými polychromatickými lampami „berson MultiWawe“. Tyto lampy vyzařují UV záření o vysoké intenzitě v rozmezí od 200 do 400 nm, které poškozuje nejenom DNA, ale též enzymy, buněčné membrány a tímto vylučuje následnou reaktivaci mikroorganismů a jejich pozdější inaktivace je úplná a trvalá. UV zářič je osazen na výstupu upravené vody z úpravny před vtok do vodojemu. Počítačová řídicí jednotka je nastavena tak, aby zaručovala minimální **dávku záření 40 mJ/cm²**. Tato dávka je kontrolována v nejdlehlším místě radiační komory zařízením DG tronic. Toto ve spojení s řízením energie zajišťuje automatickou regulaci vyzařované UV energie v závislosti na průtoku a kvalitě vody z hlediska propustnosti protékající vody. Řízení energie též umožňuje měnit vyzařovanou UV energii v závislosti na stárnutí lamp. Součástí UV zářiče je též mechanické čištění lamp. Pro možnost sledování provozních nákladů je zářič osazen samostatným elektroměrem.

Ověřování tohoto alternativního způsobu **hygienického zabezpečení** trvalo celkem **15 měsíců**. Na základě předchozích provozních zkušeností bylo na skupinovém vodovodu Přelouč vytipováno 17 odběrných míst, kde v minulosti docházelo k častějším bakteriologickým závadám v dodávané pitné vodě. V těchto odběrných místech byly 2 x týdně odebírány vzorky dodávané pitné vody a vyhodnocovány v následujících ukazatelích: PH, dusitany, dusičnany, CHSK, chlór, mezofilní bakterie, psychofilní bakterie, koliformní bakterie, kvasná zkouška a enterokoky. Na úpravně vody bylo též vyhodnocováno množství amoniakálního dusíku. Během zkušebního provozu bylo zpracováno 988 vzorků, na kterých bylo provedeno téměř 10 000 stanovení jednotlivých ukazatelů.

Hodnocení zkušebního provozu UV zářiče

V první polovině zkušebního provozu byla na úpravně snižována dávka chloru z počátečních 0,5 mg/l na nulovou hodnotu. UV zařízení bylo od začátku nastaveno na požadovaných 40 mJ/cm². Po celou dobu zkušebního provozu fungovalo zabezpečení pitné vody UV zařízením a do vodovodní sítě vtékala voda bakteriologicky nezávadná. Během ověření nastaly následující **provozní problémy**:

- **Pokles vyzařované energie** pod úroveň 40 mJ/cm² - příčinou tohoto snížení bylo poškození stíracího O – kroužku křemíkové ochranné trubice, který zároveň plnil funkci stírání optického čidla UVektoru. Na tomto O – kroužku je též gumový výstupek, který při každém setření trubice též stírá vstupní plochu optického hranolu UVektoru. Při opětovném zjištění této závady bylo čidlo nastaveno tak, aby nedocházelo k intenzivnímu stírání vstupní plochy optického čidla. Po správném nastavení optického hranolu čidla k této poruše nedocházelo. Při tomto typu poruchy UV zářič vyzařoval maximální množství energie, které vzhledem k „slepému“ čidlu nebylo zaznamenáno na vyhodnocovací jednotce.
- **Zvyšování množství vyzařované energie** - v určitém období bylo zaznamenáno neobvyklé zvyšování množství vyzařované energie bez jakýchkoliv příčin. Po zvážení všech okolností bylo přistoupeno k výměně UVektoru, po které se jednotka vrátila k vyzařování mírně převyšujícím nastavenou hodnotu 40 mJ/cm². Po analýze funkce původního UVektoru ve výrobním závodě nebyla v jeho funkci shledána žádná závada. Pravděpodobnou příčinou poruchy byl tzv. studený spoj.
- **Popraskání křemíkových trubic** - při odstraňování výše uvedených závad došlo k popraskání krycích křemíkových trubic, kdy přes opatrnost techniků při vyjímání a zasunování trubic bylo nutné použít určitou mechanickou sílu. I přes použití speciálního nástavce občas dochází k rozbití křehké trubice.
- **Obsah dusitanů** v dodávané pitné vodě – při zpracování velkého počtu vzorků se opět stejně jako v předchozích letech projevil problém dusitanů na rozvodné síti. Dusitany se tvoří již na úpravně vody Mokošín během zdržení na filtračním pískovém loži. Jejich zdrojem je patrně biochemická přeměna amoniakálního dusíku obsaženého v surové vodě. Průchodem vody UV zářičem se množství dusitanů nemění. V určitých zásobních řadech se množství dusitanů trvale zmenšuje až na 0, v jiných naopak dochází ke zvětšování obsahu dusitanů. Tento jev neprobíhá po celý rok, je to jev dočasný, patrně závislý na přítomnosti nitrifikačních či denitrifikačních bakterií sídlících v rozvodných řadech, případně klimatických či jiných podmínkách. Z pohledu současné platné vyhlášky 376 Ministerstva zdravotnictví je maximální množství dusitanů limitováno hranicí 0,5 mg/l. Z tohoto pohledu vyhověly veškeré hodnocené rozborů.
- **Bakteriologické rozborů** dodávané pitné vody – během zkušebního období bylo zpracováno více jak 3800 bakteriologických stanovení, ze kterých nevyhověla 2,4 % rozborů. Od ukončení zkušebního provozu do současnosti bylo zpracováno dalších téměř 1500 stanovení, ze kterých nevyhověla 2,2 % rozborů. Toto procento nevyhovujících rozborů je srovnatelné s obdobím, kdy byly rozvody skupinového vodovodu zabezpečovány plynným chlorem (nevyhovující rozborů se pohybovaly mezi úrovněmi 1,7 – 8,8 %).

Ekonomické hodnocení provozu

Během zkušebního provozu byly sledovány následující **provozní náklady**:

- a) **Spotřeba elektrické energie** – ve sledovaném období byla průměrná spotřeba $0,015 \text{ kWh/m}^3$ a při průměrné ceně nasmlouvané energie $2,23 \text{ Kč/kWh}$ činily energetické náklady **$0,034 \text{ Kč/m}^3$** .
- b) **Náklady na výměnu lamp** – za celou dobu provozu se potvrdila **životnost lamp** udávaná výrobcem, tj. **8000 hodin**. Při přepočítání nákladů na výměnu lamp na 1 m^3 vyrobené vody činily tyto **$0,03 \text{ Kč/m}^3$** .
- c) **Odpisy** – předpokládaná životnost výše uvedeného UV zářiče je výrobcem udávaná 15 let. Při odepisování základního prostředku v souladu se stávajícími předpisy činí odpisy stažené na 1 m^3 vyrobené vody v prvním roce provozu $0,024 \text{ Kč/m}^3$ a v následujících letech **$0,05 \text{ Kč/m}^3$** .

Celkové provozní náklady na 1 m^3 vyrobené vody jsou cca **$0,12/\text{m}^3 \text{ Kč}$** .

Trvalý provoz UV zářiče

Na základě provozních zkušeností získaných během zkušebního provozu byl v červenci roku **2000 uveden UV zářič do trvalého provozu**. Okresní hygienik vydal závazný posudek k trvalému provozu UV zářiče, a na základě jeho připomínek byl zpracován dodatek provozního řádu skupinového vodovodu Přelouč. V tomto dodatku jsou uvedeny **podmínky**, za kterých je možno **provozovat zabezpečení pitné vody UV zářením**:

1. Vodovodní síť bude **preventivně jednou za 6 týdnů dezinfikována chlorem** tak, aby jeho přítomnost byla zaznamenána i v nejvíce vzdálených místech skupinového vodovodu.
2. **Preventivní odkalování vodovodní sítě** bude prováděno v souladu se schváleným odkalovacím plánem, mimořádné odkalování bude prováděno v případě nevyhovujících rozborů a po odstranění poruch na vodovodních řádech a přípojkách.
3. **Po opravách vodovodní sítě** bude provedeno nejen odkalení, ale i preventivní jednorázová dezinfekce vody chlorem.
4. Jeden krát měsíčně budou prováděny **bakteriologické rozborů vody ve vodojemech**. V případě zjištění závazného bakteriologického rozboru bude příslušná lokalita dezinfikována chlorem do doby nezávadného rozboru.
5. Při odběrech vzorků bude **kontrolován stavební stav vodojemů** a to zejména stav odvětrání vodojemů (s důrazem na neporušenost ochranných sítěk apod.) a vodotěsnost stropů vodojemů, aby nemohlo docházet ke kontaminaci prosakující srážkovou vodou, případné zjištěné závady budou neprodleně odstraněny.
6. Při pravidelném **čištění vodojemů** budou dezinfikovány stěny a dna dezinfekčními prostředky (vzhledem k uzavřeným prostorům a nebezpečnosti plynného chloru jsou používány prostředky na bázi peroxidu vodíku – CARELA BIO PLUS, CARELA BIO DES).
7. Při **čištění vodojemů** bude při vstupu do komor používána obuv z vnějšku dezinfikovaná chlornanem sodným.

Závěr

Na základě **15 měsíčního zkušebního provozu** a následujícího více jak **ročního trvalého provozu hygienického zabezpečení pitné vody UV zářením** lze konstatovat, že **dodávaná pitná voda** takto zabezpečená **dosahuje stejného stupně bakteriologické nezávadnosti** jako při použití chloru. **Z pohledu lidského zdraví je tento způsob zabezpečení vhodnější.** V souladu s našimi provozními zkušenostmi a zkušenostmi převzatými od provozovatelů obdobných zařízení v zahraničí **můžeme tento způsob zabezpečení doporučit i pro další provozovatele vodovodů.**

Použitá literatura:

1. EPA 811-R-96-002: Ultraviolet Light Disinfection Technology in Drinking Water, September 1996
2. M.M.Baas: New generation of Ultra Violet disinfection systems for the 21th century: Proceedings of Germex Universidad Autónoma Metropolitana, Mexico City, July 1997
3. D.Traksel: Drinkwater disinfection with UV-light from a distribution perspective: regrowth and secondary contamination, Berson, Nuenen, July 1998
4. B.Kalisvaart: The microbiological effects of MultiWave UV lamps, Berson, Nuenen, October 1998

Ing. Zdeněk Janeba
vedoucí technicko provozní činnosti
Vodovody a kanalizace Pardubice, a.s.
Teplého 2014,
530 02 Pardubice
tel.: 040-633-5001
fax: 040-630-4643

Ing. Jaroslav Kopecký, CSc.
Jako, s.r.o.
Družstevní 72
250 65 Líbeznice
tel.: 02-8398-1432, -0128
fax: 02-8398-0127
email: jako@jako.cz
web: www.jako.cz