

# Dezinfekce UV-zářením - technologie pro úpravu pitných vod

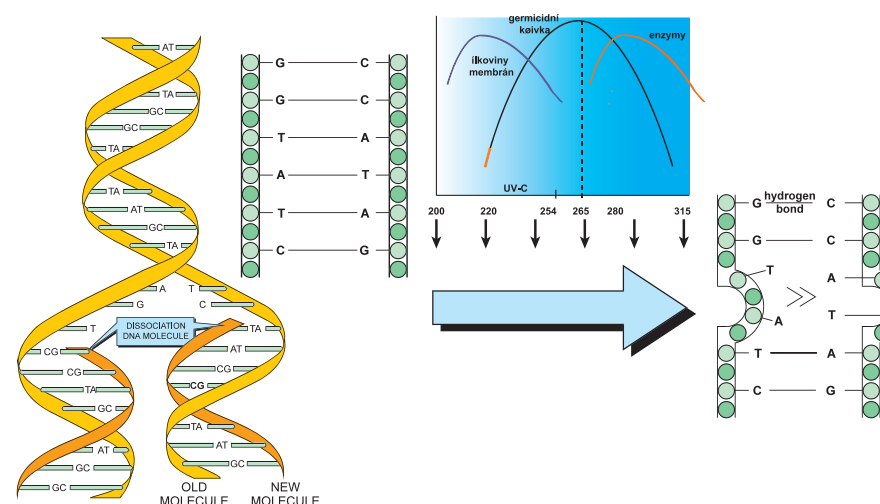
Jaroslav Kopecký

## Klíčová slova

UV-záření – Ultrafialové záření - UV-dezinfekce – nízkotlaké monochromatické UV-lampy – středotlaké polychromatické UV-lampy – MultiWave UV-lampy - úprava pitných vod

## Souhrn

Dezinfekce ultrafialovým zářením (UV) patří mezi technologie, které jsou v poslední době stále častěji používány pro zkvalitnění úpravy pitných vod. UV je elektromagnetické záření od cca (10) 100 do 400 nm. Využitelné germicidní účinky má oblast UV-záření cca 240-290 nm. Princip UV-dezinfekce je fotochemická změna deoxyribonukleové kyseliny DNA při maximu 260-265 nm (dimerizace pyrimidinových molekul), která způsobuje inaktivaci reprodukce mikroorganismů a/nebo jejich usmrcení. Oproti chemickým prostředkům UV-dezinfekce většinou nevytváří žádné vedlejší produkty, nevyvolává žádnou změnu organoleptických vlastností upravované vody, nemá žádný dopad na životní prostředí. UV-dezinfekce je bezpečná a snadno provozovatelná metoda dezinfekce pitných vod.



Obr. 1. Princip dezinfekce UV-zářením – fotochemická změna DNA

## UV-záření a dezinfekce

Ultrafialové záření (UV) je elektromagnetické záření od cca 100 do 400 nm (100-200 nm vakuové UV, 200-280 nm UV-C, 280-315 nm UV-B, 315-400 nm UV-A) [1,2]. Někdy se uvádí širší oblast UV-záření 10-400 nm [3]. Prakticky využitelné germicidní účinky má oblast UV-záření cca 240-290 nm [2, 4, 5].

Princip dezinfekce UV-zářením je fotochemická změna deoxyribonukleové kyseliny DNA při maximu 260-265 nm, která způsobuje inaktivaci reprodukce mikroorganismů (inhibici replikace DNA) a/nebo jejich usmrcení (obr. 1). Absorpční maximum při 200 nm není prakticky využitelné [6]. Absorpce DNA a RNA nad 210 nm je způsobena purinovými bázemi adeninem (A), guaninem (G), a pyrimidinovými bázemi cytosinem (C) thyminem (T) v případě DNA, a uracilem (U) v případě RNA. Nejčastějším fotochemickým produktem je dimer thyminu [7].

Výhodou dezinfekce UV-zářením oproti chemickým prostředkům (např. chlóru, chlórdioxi-

du nebo ozónu) je spolehlivost dezinfekce, prakticky žádná tvorba vedlejších produktů dezinfekce jako THM v případě chlóru, chloritanů v případě chlórdioxidu, či bromičnanů v případě ozónu, žádná změna organoleptických vlastností upravované vody, žádný dopad na životní prostředí, snadnost a bezpečnost provozu UV-zařízení. Případný vznik vedlejších produktů je omezen na specifické případy a je ve většině případů zanedbatelný [8]

## Typy UV-lamp a reaktivace mikroorganismů

Běžně jsou používány klasické nízkotlaké monochromatické UV-lampy (tlak  $10^2$  až  $10^3$  Pa; 0.01-0.001 mbar), které vyzařují UV-záření při 254 nm. V poslední době se stále více prosazují středotlaké polychromatické a vysoce účinné polychromatické MultiWave UV-lampy (tlak 10 až 30 Mpa; 1-3 bar), které vyzařují UV-záření při ca 185-400 nm (obr. 2) [3,9]. Dalším typem polychromatických lamp jsou pulsní xenonové UV-lampy [10].

Nízkotlaké monochromatické UV-lampy poškozují pouze DNA, ale ne enzymy a jiné biomolekuly mikroorganismů. Ty mohou za určitých podmínek opravit poškozené místo DNA (reparovat, reaktivovat DNA) a umožnit další pomnožování mikroorganismů (obr. 3).

Reaktivace poškozeného místa DNA může proběhnout na světle (fotoreaktivace) nebo bez účasti viditelného světla (dark repair). Fotoreaktivace probíhá za účasti enzymů, reaktivace bez účasti viditelného světla za účasti bílkovin přítomných v mikroorganismu [2, 5].

Možnost reaktivace mikroorganismu byla jednou z hlavních námitek hygieniků proti náhradě chlóru UV-zářením při úpravě pitných vod v České republice.

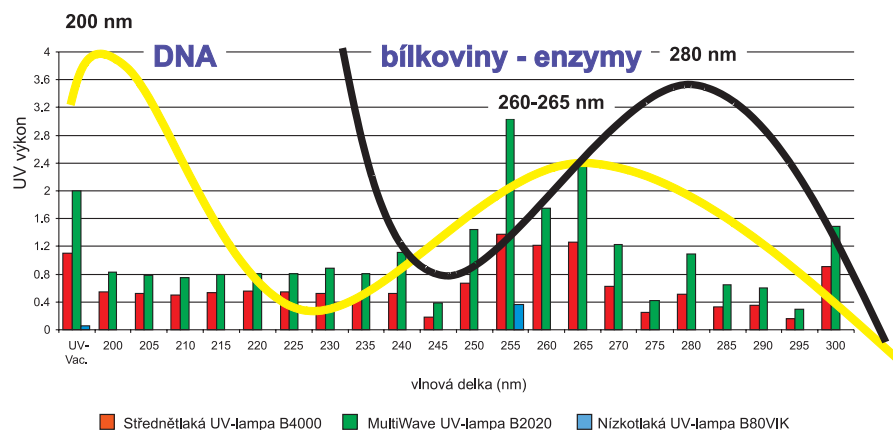
Středotlaké polychromatické vysoce účinné „MultiWave“ UV-lampy vyzařují polychromatické UV-záření (185-400 nm) o vysoké intenzitě, které poškozují nejen DNA, ale také enzymy při cca 280 nm a buněčné bílkoviny při cca 220 nm, a tím vylučují možnost reaktivace mikroorganismů [11, 12].

## Vlastnosti UV-lamp a jejich využití

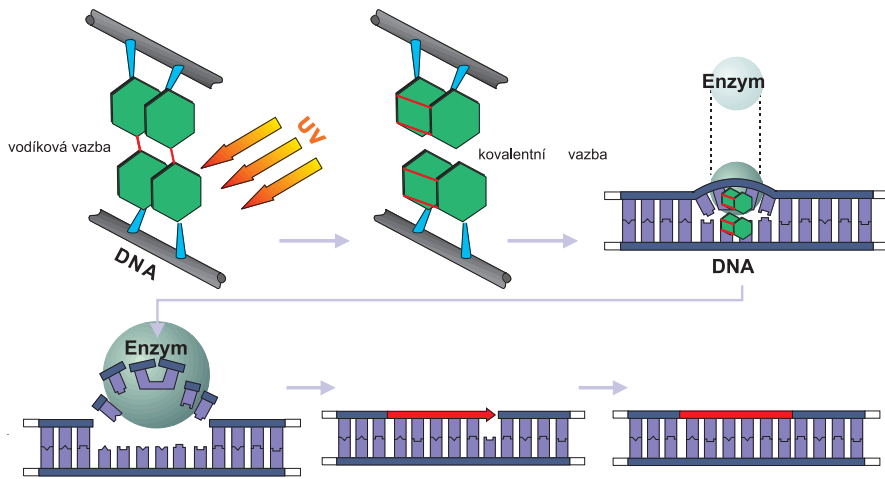
Kromě výše popsané vlastnosti monochromaticnosti či polychromaticnosti emitovaného UV-záření je důležitým faktorem možnost měnit velikost vyzařené UV-energie. Nízkotlaké monochromatické UV-lampy vyzařují UV-energií pouze v jedné hladině, zatímco středotlaké polychromatické UV-lampy mohou vyzařovat UV-energií 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 [13].

Důsledkem rozdílné intenzity vyzařované UV-energie je schopnost nahradit 10-12 nízkotlakých monochromatických UV-lamp jednou středotlakou polychromatickou vysoceúčinnou MultiWave UV-lampou. Dalším rozdílem je délka: cca 80 cm u nízkotlakých monochromatických oproti cca 25 cm u středotlakých polychromatických vysoceúčinných MultiWave UV-lamp. To vede ke zmenšení rozměrů UV-zařízení a jejich kompaktnosti.

Dalším rozdílem je závislost výkonu UV-lampy na teplotě upravované vody. Intenzita vyzařované UV-energie nízkotlakých monochromatic-



Obr. 2. Nízkotlaké monochromatické, středotlaké polychromatické a vysoceúčinné polychromatické MultiWave UV-lampy



Obr. 3. UV-dezinfekce monochromatickými UV-lampami a reaktivace DNA

kých UV-lamp je silně závislá na teplotě - pracovní oblast je cca 15-35 °C. Intenzita vyzařované UV-energie středotlakých polychromatických UV-lamp není závislá na teplotě v širokém rozsahu teplot cca 0 až 70 °C [13].

**Nízkotlaké monochromatické UV-lampy** jsou doporučovány pro nižší průtoky do cca 5 L/s, je-li stálý průtok a kvalita upravované vody a tam, kde nehrozí reaktivace mikroorganismů.

**Středotlaké polychromatické vysoceúčinné „MultiWave“ UV-lampy** jsou doporučovány pro vyšší průtoky (cca 3-10,000 L/s), mění-li se průtok a kvalita upravované vody, je-li důležitá teplota a tam, kde je nebezpečí reaktivace mikroorganismů, tj. **při úpravě a distribuci pitné vody ke koncovým uživatelům.**

### Design UV-zařízení

V **tradičním UV-zařízení** jsou UV-lampy umístěny rovnoběžně se směrem průtoku pitné vody. V tomto UV-zařízení se běžně používají nízkotlaké monochromatické i středotlaké polychromatické UV-lampy. UV-zařízení, kde UV-lampy (středotlaké polychromatické vysoceúčinné MultiWave) jsou umístěny kolmo na směr průtoku pitné vody, se nazývají **InLine**, protože jsou vloženy do osy potrubí dopravující upravovanou pitnou vodu (obr. 4).



InLine UV-systém

Tradiční UV-systém

Obr. 4. Typy UV-zařízení – InLine a tradiční UV-systém

### Dávka UV-záření a návrh zařízení

**Dávka UV-záření** je součin **intenzity** UV-záření (vlastnost UV-lampy) a doby **expoze** (vlastnost průtoku při konstantním objemu radiační komory UV-zařízení) [2, 3].

Důležitá je doba dezinfekce (expoze). Pro jednotlivé typy UV-lamp se liší. Při použití nízkotlakých monochromatických UV-lamp je obvyklá expoze 5-10 s, pro středotlaké polychromatické UV-lampy 1-2 s a pro středotlaké polychromatické vysoceúčinné Multiwave UV-lampy méně než 1 s [13].

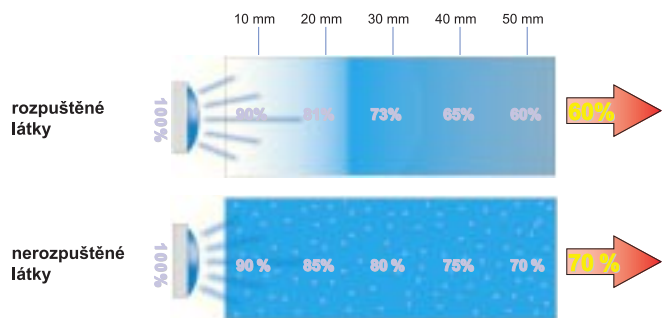
EU, WHO ani USEPA neudávají limit pro **dávku UV-záření**. Pro ČR se uvádí 250-300 J/m<sup>2</sup> (25-30 mJ/cm<sup>2</sup>) [14], Norsko 16 mJ/cm<sup>2</sup>, Rakousko 30 mJ/cm<sup>2</sup>, americká ANSI a NSF uvádějí 38 mWs/cm<sup>2</sup> pro třídu A (POU i POE) a 16 mWs/cm<sup>2</sup> pro třídu B (POU) [1, 15].

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

**UV-dávka** je různá pro různé mikroorganismy a její velikost je rozhodující pro účinnost dezinfekce [1, 2, 15].

Průnik UV-záření upravovanou pitnou vodou je ovlivněn propustností ( $T_{10} = 10^4$ ;  $T_{10}$  = propustnost media na vzdálenost 10 mm; A = absorbance při 254 nm na vzdálenost 10 mm). **Propustnost** silně závisí na koncentraci a typu **rozpuštěných a nerozpuštěných látek** (obr. 5). Z anorganických látek silně absorbují zejména železo a kobalt, z organických huminové látky a organická barviva. Nerozpuštěné látky mohou UV-zářením odrážet, částečně nebo úplně pohlcovat [16].

Pro správný **výběr vhodného typu UV-zařízení** je nutné **stanovit dávku UV-záření** podle průtoku a kvality pitné vody z hlediska propustnosti a **zaručit tuto dávku UV-záření** u stěny radiační komory UV-zařízení na konci životnosti UV-lampy.

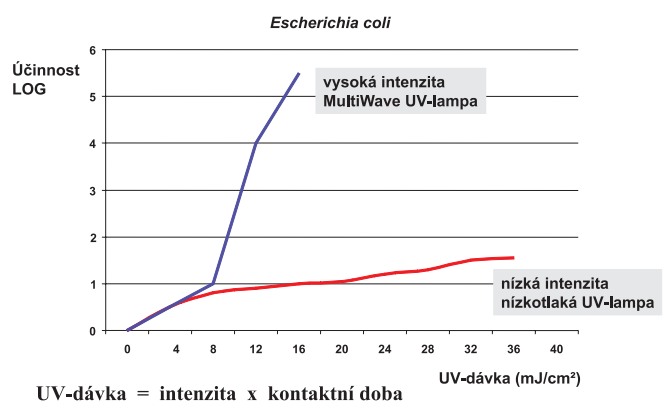


$$\text{UV-dávka} = \text{intenzita} * \text{expoze}$$

Obr. 5. Dávka UV-záření a vliv rozpuštěných a nerozpuštěných látek

### Účinnost dezinfekce

Z hlediska **účinnosti dezinfekce** je důležité znát aplikovanou intenzitu UV-záření a dobu expoze. UV-dávka tvořená vysokou intenzitou (středotlaké polychromatické vysoceúčinné MultiWave UV-lampy) a krátkou dobou expoze má výrazně vyšší účinnost dezinfekce než stejná UV-dávka tvořená nízkou intenzitou (nízkotlaké monochromatické UV-lampy) a dlouhou dobou expoze (obr. 6) [5, 17].



Obr. 6. Účinnost dezinfekce v závislosti na typu UV-lamp

### Druhotné znečištění

Druhotné znečištění, které můžeme charakterizovat jako opětovný růst mikroorganismů mezi úpravou vody a koncovým uživatelem 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

nápojením na síť, udržováním biologické stability upravené vody v síti (např. sledováním AOC-Assimilable Organic Carbon - živina pro mikroorganismy), udržováním nízké teploty dopravované pitné vody, vyloučením kontaktu s viditelným světlem, zkracováním doby zdržení mezi úpravou a koncovým uživatelem a **používáním středotlakých polychromatických lamp o velkém výkonu**, které obvykle zaručují požadovanou účinnost dezinfekce a vylučují možnost reaktivace mikroorganismů [18].

### UV-dezinfekce v ČR

První použití UV-zářením na úpravě pitné vody v ČR je ÚV Mokošín na Pardubicku (podzemní voda, max. 66 L/s). Takto upravená a dezinfikovaná voda je distribuována pro cca 19 000 obyvatel. Uvedení do trvalého provozu v roce 2000 předcházelo 15-ti měsíční odzkoušením. UV-zářením je vybaveno středotlakými polychromatickými vysoceúčinnými MultiWave UV-lampami [19].

### Proč používat k dezinfekci UV-zářením?

Dezinfekce UV-zářením je:

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

**Ing. Jaroslav Kopecký, CSc.**

**Jako, s.r.o.**

**Družstevní 72, 250 65 Líbeznice**

**tel.: (+420) 283 981 432, 283 980 128**

**fax: (+420) 283 980 127**

**email: jako@jako.cz, web: www.jako.cz**

### Literatura:

- [1] USEPA 811-R-96-002, Ultraviolet Light Disinfection Technology in Drinking Water Application-An Overview, September 1996.
- [2] USEPA 815-R-99-014, Alternative Disinfectants and Oxidants, Ultraviolet Radiation, April 1999.
- [3] W.J.Masschelein: Ultraviolet Light in Water and Wastewater Sanitation. CRC Press LLC, 2002.
- [4] J.Jagger: Introduction to Research in Ultraviolet Photobiology. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1967.
- [5] W. Harm: Biological Effects of Ultraviolet Radiation, Cambridge University Press, Cambridge, 1980.
- [6] C. von Sonntag: Disinfection by free radicals and UV-radiation. International workshop on water disinfection, Compagnie Générale des Eaux, Mulhouse, 1986.
- [7] C.S.Adams: The biochemistry of the Nucleid Acids, Chapman Hall, 10<sup>th</sup> ed., 1986.
- [8] E.Hrabcová: Rizika při dezinfekci vody UV zářením, Sovak (10), 6, 2001.

- [9] B.F.Kalisvaart: Photobiology effects of polychromatic medium pressure UV lamps. Water Sci. Technol., 43:191-197, 2001.
- [10] J.L.Clancy, T.M.Hargy, M.M.Marschall, and J.E.Dyksen: Inactivation of Cryptosporidium parvum Oocysts in Water Using Ultraviolet Light. Conference proceedings, AWWA International Symposium on Cryptosporidium and Cryptosporidiosis, Newport Beach, ca, 1997.
- [11] B.F.Kalisvaart: Photobiological effect of bersonMultiWave® and medium pressure UV lamps in the prevention of Photoreactivation. Berson, Nuenen, the Netherlands, 2002.
- [12] J.L.Zimmer and R.M.Slawson: Potential repair of Escherichia coli DNA following exposure to UV radiation from both medium- and low-pressure UV sources used in drinking water treatment. Applied and Environmental Microbiology, Vol.68, No.7, 3293-3299, 2002.
- [13] B.F.Kalisvaart: Characteristics of Various Disinfection Lamps, Berson, Nuenen, 1999.
- [14] Vyhláška Ministerstva zdravotnictví o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody č. 37/2001 Sb.
- [15] J.Šašek, J. Kopecký, F. Kožíšek: Problematika desinfekce vody UV zářením, Státní zdravotní ústav, Praha 2001.
- [16] B.F.Kalisvaart: Comparison of UV Irradiation to Chlorination, Guidance for achieving Optimal UV Performance, Berson, Nuenen, 1999.
- [17] B.F.Kalisvaart: The microbiological effects of MultiWave UV lamps. Berson, Nuenen, the Netherlands, October 1998.
- [18] D.Traksel: Drinkwater disinfection with UV-light from a distribution perspective: regrowth and secondary contamination. Berson, Nuenen, July 1998.
- [19] Z.Janeba, J.Kopecký: Pokroky technologie úpravy pitných vod - dezinfekce pitné vody UV-zářením v úpravě vody Mokošín, SOVAK (11), 17-18, 2002.

---

### Key Words

*UV-radiation – Ultraviolet radiation - UV-disinfection – low pressure monochromatic UV-lamps – medium pressure polychromatic UV-lamps – MultiWave UV-lamps - drinking water treatment*

---

*UV-disinfection - Technology for Drinking Water Treatment (Kopecký Jaroslav)*

**Disinfection by means of UV-radiation (UV) belongs to a technology that is recently more frequently used for drinking water treatment. UV is electromagnetic radiation between ca (10) 100 - 400 nm. UV-radiation of ca 240-290 nm provides efficient germicidal effects. Principle of UV-disinfection is photochemical reaction of deoxyribonucleic acid DNA at maximum 260-265 nm (dimerization of pyrimidine molecules) that causes inactivation of microorganism replication and/or its killing. In comparison with chemicals UV-disinfection does not usually produce any byproducts, does not effect organoleptic properties of treated water, and has no influence on environment. UV-disinfection is safe, easily operated method for disinfection of drinking water.**