Nové technologie úpravy pitných vod – kontinuální iontová výměna a separace, UV-oxidace & UV-dezinfekce

Ing. Jaroslav Kopecký, CSc.
Jako, s.r.o.

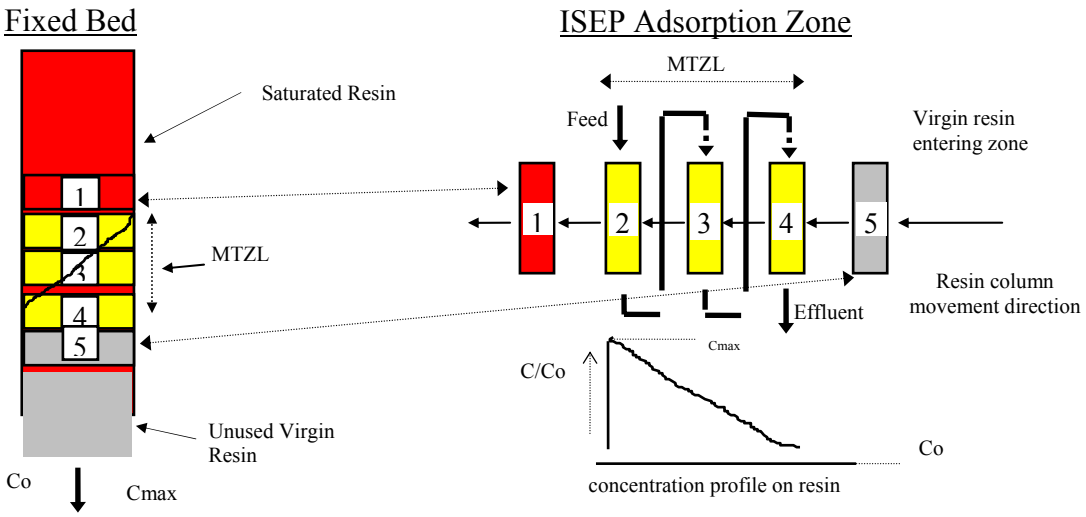
Kontinuální iontová výměna a separace, UV-oxidace a **dezinfekce UV-zářením** jsou fyzikální (v případě UV-oxidace fyzikálně-chemické) metody pro úpravu pitných, odpadních a průmyslových vod, které doplňují klasické metody úpravy vod.

Dezinfekce UV-zářením patří mezi technologie, které jsou v poslední době stále častěji používány pro zkvalitnění technologie úpravy pitných vod. Používá se zejména pro snížení či úplnou náhradu chemických dezinfekčních prostředků (chlór, chlórdioxid). Naproti tomu **kontinuální iontová výměna a separace** a **UV-oxidace** jsou aplikačně mladé technologie, u nichž teprve praxe příštích let ukáže, zda budou přínosem pro vodárenství, či zda těžiště jejich uplatnění bude nalezeno v jiných odvětvích úpravy kapalné fáze (čištění odpadních a průmyslových vod, farmaceutické či jiné aplikace).

Kontinuální iontová výměna a separace

Kontinuální iontová výměna a separace je založena větším počtu **kolon umístěných na otáčivém karuselu** a **rozdělovacím ventilu**, který distribuje a dávkuje použité kapaliny. Princip je znázorněn na obrázku č. 1., praktická aplikace odstraňování chloristanových iontů na obrázku č. 2.

Obr. 1: Princip kontinuální iontové výměny a separace



ISEP Continuous v Fixed Bed Batch Adsorption

Výhodou této metody je podstatná úspora náplně kolon (iontoměničů, aktivního uhlí, silikagelu, či jiných vhodných náplní), úspora použitých chemikálií pro regeneraci náplní, vysoká koncentrace produktů, vysoké výtěžky, flexibilita, jednoduchý a snadný provoz.

Z **aplikací** lze vyjmenovat iontovou výměnu, čištění, odbarvování, separaci ve farmaceutickém, potravinářském průmyslu, v papírenství, cukrovarnictví, při úpravě pitných, odpadních vod a průmyslových vod.

Ve **vodárenství** se jedná o selektivní odstraňování některých iontů, zejména **dusičnanů** a **chloristanů**, ale také síranů, chloridů, fluoridů, olova, rtuti, mědi a dalších látek.

Obr. 2: Odstraňování chloristanů

UV-oxidace - UV & H_2O_2

UV-oxidace je oxidační proces, který využívá energii **UV-záření** k rozkladu silných oxidačních látek, např. **peroxidu vodíku** na hydroxylové radikály, viz rovnice 1. Hydroxylové radikály rychle napadají molekuly kontaminantů, následuje řetězová reakce a výsledkem je úplná oxidace na oxid uhličitý a vodu, viz rovnice 2.

$$H_2O_2 + UV\ (< 300\ nm) \rightarrow 2\ ^{\cdot}OH \qquad (1)$$

$$\text{benzen} \rightarrow \text{fenoly} \rightarrow \text{karboxylové kyseliny} \rightarrow CO_2 + H_2O \qquad (2)$$

V tabulce 1. jsou uvedeny relativní oxidační potenciály pro různá oxidační činidla. Je zřejmé, že hydroxylové radikály mají nejvyšší relativní oxidační potenciál a patří tudíž mezi nejsilnější oxidační látky.

Tabulka 1. Relativní oxidační potenciál pro různá oxidační činidla

hydroxylový radikál	2.06
ozón	1.52
peroxid vodíku	1.31
manganistan	1.24
chlórdioxid	1.15
chlór	1.00

V tabulce 2. jsou uvedeny příklady sloučenin reagující s hydroxylovými radikály různou rychlostí.

Tabulka 2. Příklady sloučenin reagující s hydroxylovými radikály rychle, středně a pomalu

VC, PCE, TCE, DCE, BTEX,fenol, PCP, PCB, kresol, DDT, atrazin,, dioxany, THF, NDMA	rychle
MeOH, EtOH, ethylenglykol, hydraziny, MtBE, TNT, DNT, aceton, MEK, kyaidy	středně
TCA, DCA, DCM, freony, chloroform	pomalu

Poznámka: Sloučeniny, uvedené v tabulce 2, představují vhodné sloučeniny pro metodu UV-oxidace.

Dezinfekce UV-zářením

UV-záření je elektromagnetické 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 chemickým prostředkům (např. chlóru, chlórdioxidu a ozónu) je spolehlivost dezinfekce, žádná tvorba vedlejším produktů dezinfekce jako THM v případě chloru, 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.

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

UV-dávka ($mJ.cm^{-2}$) = **intenzita** UV-záření ($mW.cm^{-2}$) * **expozice** (s)

Pro správný výběr vhodného typu UV-zařízení je nutné **stanovit a zaručit určitou dávku UV-záření** (např. pro dezinfekci pitných vod 25 $mJ.cm^{-2}$ v Holandsku, 25-30 $mJ.cm^{-2}$ v ČR, 40 $mJ.cm^{-2}$ 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 $mJ.cm^{-2}$ při použití MultiWave UV-lampy inaktivuje 99.99 % *Escherichia coli*, ale jen 99.00 % viru Polio 3).

Účinnost. Z hlediska **účinnosti** je důležité znát aplikovanou intensitu 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 $mJ.cm^{-2}$ 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 monochromatické UV-lampy**, které vyzařují UV záření při **254 nm**. V poslední době se stále více prosazují **středotlaké polychromatické vysoceúčinné** (MultiWave) **UV-lampy**, které vyzařují UV-záření při ca **200-400 nm**.

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

Dalším rozdílem je **možnost měnit velikost vyzářené UV-energie**. Nízkotlaké monochromatické UV-lampy vyzařují UV-energii v jedné hladině zatímco středotlaké polychromatické vysoceúčinné 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 intensity vyzařované UV-energie je **schopnost nahradit 10-12 nízkotlakých monochromatických UV-lamp jednou středotlakou polychromatickou vysoceúčinnou** (MultiWave) **UV-lampou**. To vede ke zmenšení rozměrů UV-zařízení a jejich kompaktnosti. **Nízkotlaké monochromatické UV-lampy** jsou doporučovány pro nižší průtoky do ca 5 $l.s^{-1}$, je-li stálý průtok a kvalita upravované vody. **Středotlaké polychromatické vysoceúčinné** (MultiWave)

UV-lampy jsou doporučovány pro vyšší průtoky (cca 3-10 000 $l.s^{-1}$), mění-li se průtok a kvalita upravované vody (cca ± 30 %) a je-li důležitá teplota.

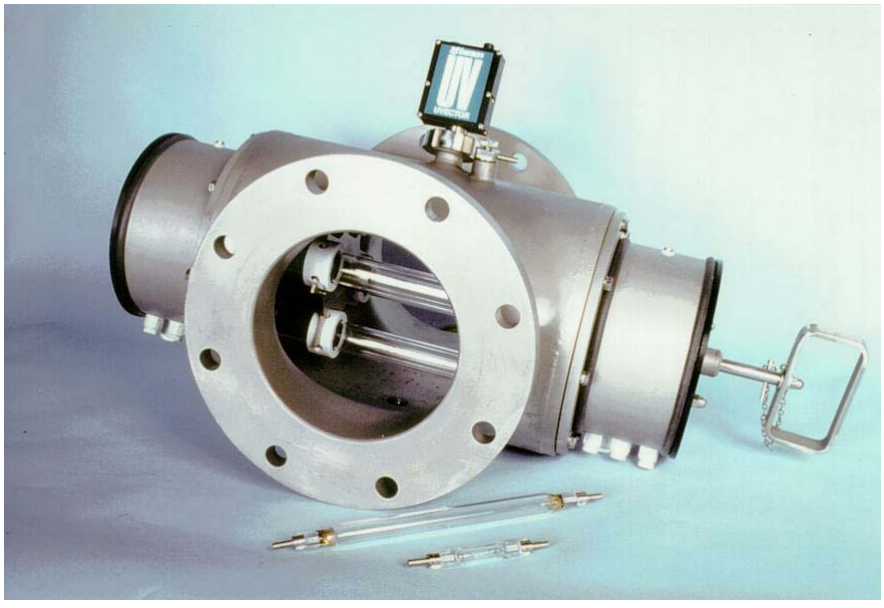
Druhotné znečištění, které můžeme charakterizovat jako opětovný růst mikroorganismů způsobený vnějšími vlivy, bylo druhou vážnou námitkou hygieniků proti UV dezinfekci.

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 polychromatickým lamp o velkém výkonu**.

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

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.

Obr. 3: UV-zařízení typ InLine vybavený středotlakými polychromatickými vysoceúčinnými MultiWave UV-lampami



Použitá literatura:

1. B. Dutré: ISEP & CSEP a Novel Separation Technique for Process Engineers, Procedings of CHISA, B4.9, Praha, August 2002
2. The AOT Handbook. Calgon Carbon Corporation, Pittsburgh, 1996
3. EPA 811-R-96-002: Ultraviolet Light Disinfection Technology in Drinking Water, September 1996
4. M. M. Baas: New generation of Ultra Violet disinfection systems for the 21th century. Procedings of Germex Universidad Autónoma Metropolitana, Mexico City, July 1997
5. D. Traksel: Drinkwater disinfection with UV-light from a distribution perspective: regroth and secondary contamination. Berson, Nuenen, the Netherlands, July 1998
6. B. F. Kalisvaart: The microbiological effects of MultiWave UV lamps. Berson, Nuenen, the Netherlands, October 1998
7. EPA 815-R-99-014: Alternative Disinfectants and Oxidants, Ultraviolet Radiation. April 1999
8. B. F. Kalisvaart: Photobiology effects of polychromatic medium pressure UV lamps. Water Sci. Technol., 43:191-197, 2001
9. W. J. Masschelein: Ultraviolet light in water and waste water Sanitation. CRC Press LLC, 2002
10. B. F. Kalisvaart: Photobiological effect of bersonMultiWave® and medium pressure UV lamps in the prevention of Photoreactivation. Berson, Nuenen, the Netherlands, 2002
11. 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. Aplied and Environmental Microbiology, Vol.68, No.7, 3293-3299, 2002

Ing. Jaroslav Kopecký, CSc.
Jako, s.r.o.
Družstevní 72
250 65 Líbeznice
tel.: 283-981-432, -128
tel.: 603-416-043
fax: 283-980-127
email: jako@jako.cz
web: www.jako.cz