

Martina VESELÁ*

APLIKACE UV ZÁŘENÍ PRO DEZINFEKCI VYČIŠTĚNÝCH ODPADNÍCH VOD

DISINFECTION OF TREATED WASTEWATER BY UV RADIATION

Abstrakt

Problematika sledování mikrobiální kontaminace povrchových vod v České republice je velice aktuální, zejména v souvislosti se vstupem do Evropské unie, neboť došlo k podstatnému zpřísnění legislativy v této oblasti. Velmi významně k mikrobiálnímu znečištění povrchových vod přispívá vypouštění vyčištěných, ale nedezinfikovaných odpadních vod z čistíren odpadních vod, které obsahují velmi vysoké počty nežádoucích mikroorganismů. V příspěvku jsou uvedeny výsledky provozního testování dezinfekce vyčištěných odpadních vod UV zářením v ČOV ve Slavkově u Brna a v ČOV v Havířově. Na závěr je provedena komplexní analýza ekonomicko-technických aspektů dezinfekce odpadních vod UV zářením ve srovnání s dezinfekcí chlornanem sodným.

Abstract

Monitoring of microbial contamination of surface water is of immediate interest in the Czech Republic nowadays, since the related legislative has become more stringent as a consequence of joining the European Union. As major surface water microbial pollutant factor the waste water can be considered which has been discharged from waste water treatment plants. Such waste water has been treated, but it has not been disinfected. Consequently, it contains a big amount of undesirable micro-organisms. This paper provides results of trial testing of disinfection of the treated waste water by means of ultraviolet (hereafter UV) irradiation in the WWTP of Slavkov u Brna as well as in the WWTP of Havířov. Finally, a comprehensive analysis of economic and technical aspects has been carried out, comparing the UV disinfection with sodium chlorate disinfection.

Keywords : disinfection of wastewater, UV irradiation, chlorination, microbial contamination of surface water

Úvod

Stanovení mikrobiologických parametrů u vypouštěných vyčištěných odpadních vod není konkrétně požadováno ani základním dokumentem týkajícím se vypouštění odpadních vod do vod povrchových, jímž je v současné době nařízení vlády č. 61/2003 Sb. (účinnost od 1.3.2003). S danou situací je samozřejmě spojeno, že u čistíren odpadních vod nejsou přijímána žádná speciální technologická opatření pro snižování počtů mikroorganismů ve vypouštěných vodách. Výjimkou jsou pouze zařízení, ve kterých jsou čištěny odpadní vody, u nichž je zvýšené riziko výskytu patogenních organismů (např. infekční oddělení nemocnic apod.). Čistíren tohoto typu je však velmi málo, např. v povodí řeky Odry činí pouze necelých 5 % ze všech ČOV [2].

Legislativa

Nařízení vlády 61/2003 Sb. podstatně zpřísnuje limity pro mikrobiální znečištění v povrchových vodách, jež slouží jako zdroje pitné vody – ve srovnání s nařízením vlády 82/1999 Sb. pro vodárenské toky je pro koliformní bakterie limit 40x nižší, pro termotolerantní koliformní bakterie 20x nižší a pro intestinální

* Ing., Ph.D., Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a.s., 28. října 169, 709 45 Ostrava,
e-mail: martina.vesela@smvak.cz

enterokoky 10x nižší. U nově zavedené kategorie povrchových vod, jež jsou využívány, nebo u nichž se předpokládá jejich využití pro koupání osob dochází rovněž k podstatnému zpřísnění přípustných hodnot imisních standardů pro mikrobiální znečištění oproti povrchovým vodám obecně. Navíc od konce roku 2012 vstoupí v platnost tzv. „cílové“ imisní standardy ukazatelů přípustného znečištění povrchových vod pro koupání osob, které jsou ještě podstatně přísnější než ty, které jsou platné v současnosti.

Dezinfekce odpadních vod

Pro zamezení mikrobiální kontaminace povrchových vod odpadními vodami z ČOV, které byly vyčištěny běžnými mechanicko-biologickými procesy, je nutno zařadit navíc i další stupeň čištění – dezinfekci. Dezinfekce vyčištěných odpadních vod jednak zabraňuje zvýšení mikrobiální kontaminace povrchových vod, ale také současně umožňuje recyklovat vyčištěné odpadní vody. K nejzajímavějším aplikacím recyklace vyčištěných a dezinfikovaných odpadních vod patří např. závlaha veřejných parků, sportovních a golfových hřišť atd. Tento způsob recyklace vyčištěných odpadních vod funguje i v České republice, a to ve Slavkově u Brna, kde část mechanicko-biologicky vyčištěných odpadních vod z ČOV je dezinfikována a slouží jako závlahová voda pro golfové hřiště.

Dezinfekční výkon UV jednotky charakterizuje tzv. dávka (fluence) UV záření:

Dávka UV záření [$J \cdot m^{-2}$] = intenzita UV záření [$W \cdot m^{-2}$] · doba expozice [s]

Co se týče výpočtu dávky UV záření, je to ve skutečnosti velice komplikovaná záležitost, i když na první pohled jde o pouhý součin dvou čísel, a to intenzity UV záření a doby expozice. Dávka UV záření je funkcí nejen průtoku vody reaktorem, kvality vody a intenzity ozáření, ale též hydraulických poměrů v ozařovací komoře (každý element vody má v UV reaktoru jinou dráhu, tzn. i jinou dobu zdržení) [1]. Velikosti dávek UV záření při experimentálním testování dezinfekce UV zářením byly vypočteny samotným výrobcem zařízení na základě poskytnutých hodnot skutečných průtoků dezinfikované vody UV reaktorem a hodnot absorbance dezinfikované vody při 254 nm. Výpočet dávek UV záření byl proveden metodou „POINT SOURCE SUMMATION“, která principiálně vychází z průměrné intenzity ozáření v reaktoru – jedná se o způsob matematického modelování.

V rámci experimentálních provozních zkoušek dezinfekce UV zářením byly testovány dva druhy průtočných UV reaktorů (výrobce WEDECO AG Water Technology), jejichž rozdíl je jednak ve velikosti možného průtoku odpadní vody reaktorem a rozdílná je taktéž geometrie uložení UV lamp (viz tabulka č. 1). První UV reaktor – typ WEDECO LBA 30 – byl testován v ČOV ve Slavkově u Brna, druhý – typ WEDECO E 10 v ČOV v Havířově.

V rámci experimentálních zkoušek bylo prováděno testování dávek UV záření v rozmezí cca 200 – 1400 $J \cdot m^{-2}$. Změna velikosti dávek UV záření byla prováděna změnou velikosti průtoku odpadní vody UV reaktorem, a tedy změnou doby expozice.

Ve vzorcích odpadní vody po dezinfekci UV zářením byla sledována zbytková mikrobiální kontaminace (B), přičemž tyto hodnoty byly srovnávány s příslušnými hodnotami v nedezinfikované odpadní vodě, která byla vstupní vodou pro dezinfekční proces (A) – z těchto hodnot byly vypočteny odpovídající účinnosti (U) odstranění sledovaných mikroorganismů: $U = [(A-B)/A] \cdot 100$ (%),

Tabulka 1: Technické údaje testovaných UV reaktorů

typové označení UV reaktoru	WEDECO E 10	WEDECO LBA 30
objem reaktoru	cca 4,5 litrů	cca 26 litrů
celkový příkon	0,23 kW	1,14 kW
pracovní teplota	0 – 35 °C	
typ UV zářiče	konvenční nízkotlaká lampa NLR 1579 W	amalgámový zářič Spektrotherm® SLR 25113
příkon 1 lampy	30 W	170 W
vyzařovaný výkon při 254 nm	12,5 W	63 W
počet zářičů	6 ks	6 ks
životnost zářiče	cca 8 000 hodin	cca 10 000 hodin
kontrola intenzity UV záření	senzor WEDECO, procentuální signalizace aktuální hodnoty intenzity UV záření vzhledem k původní hodnotě	
světelná signalizace chodu každé lampy, počítadlo provozních hodin		

Dezinfekce UV zářením – ČOV Havířov

Z výsledků experimentálního testování UV jednotky E 10 (viz. tabulka č. 2) instalované na odtoku z ČOV v Havířově je zřejmé, že UV záření je velice účinná dezinfekční metoda pro hygienické zabezpečení vyčištěných odpadních vod. I nejnižší testovaná dávka UV záření 340 J.m⁻² odstranila veškeré koliformní bakterie, termotolerantní koliformní bakterie a Escherichia coli i intestinální enterokoky.

Tabulka 2: Výsledky testování UV jednotky E 10 - ČOV Havířov

Průtok vody UV jednotkou	m ³ .h ⁻¹	Nedezinfikovaný odtok z ČOV	Odtok z ČOV po dezinfekci				
			3,79	2,83	1,96	1,46	1,21
Absorbance (254 nm)	(-)		0,1975	0,1985	0,2059	0,2124	0,2042
Použitá dávka UV záření	J.m ⁻²		340	460	660	890	1 070
Koliformní b.	KTJ. 1ml ⁻¹	720	0	0	0	0	0
Term. koliformní b.		190	0	0	0	0	0
Escherichia coli		120	0	0	0	0	0
Enterokoky		310	0	0	0	0	0

POZN. KTJ = kolonie tvořící jednotku.

Dezinfekce UV zářením – ČOV Slavkov u Brna

Tabulka č. 3 – Výsledky testování UV jednotky LBA 30 - ČOV Slavkov u Brna

Průtok vody UV jednotkou	m ³ .h ⁻¹	Nedezinfikovaný odtok z ČOV	Odtok z ČOV po dezinfekci				
			11,3	15,7	23,5	31,6	55,4
Absorbance (254 nm)	(-)		0,2220	0,2286	0,2069	0,2324	0,2454
Použitá dávka UV záření	J.m ⁻²		1 473	1 037	730	508	277
Koliformní b.	KTJ. 1ml ⁻¹	16 000	0	3	7	36	95
Term. koliformní b.		3 700	0	0	0	1	10
Escherichia coli		2 700	0	0	0	1	7
Enterokoky		1 500	0	0	0	4	24
Psychrofilní b.		140 000	102	240	360	520	3 800
Mezofilní b.		94 000	12	28	110	230	2 100
Průtok vody UV jednotkou	m ³ .h ⁻¹	Nedezinfikovaný odtok z ČOV	Odtok z ČOV po dezinfekci				
Absorbance (254 nm)	(-)		19,0	24,8	32,7	50,0	55,4
Použitá dávka UV záření	J.m ⁻²		0,3837	0,4418	0,4037	0,4524	0,4228
Koliformní b.	KTJ. 1ml ⁻¹	31 000	17	49	190	710	1 100
Term. koliformní b.		7 100	3	12	20	150	210
Escherichia coli		4 400	3	8	15	100	130
Enterokoky		5 500	2	14	88	210	250
Psychrofilní b.		420 000	630	1 200	4 700	13 700	23 400
Mezofilní b.		138 000	320	1 000	1 600	6 900	11 300

Z výsledků experimentálního testování UV jednotky LBA 30 (viz. tabulka č. 3) instalované na odtoku z ČOV ve Slavkově u Brna je zřejmé, že UV záření je velice účinná dezinfekční metoda pro hygienické zabezpečení vyčištěných odpadních vod (viz. tabulka č. 4). I nejnižší testovaná dávka UV záření cca 200 J.m⁻² snížila výskyt koliformních bakterií o 96,5 %, termotolerantních koliformních bakterií a Escherichia coli o 97,0 %, intestinálních enterokoků o 95,5 %, mezofilních bakterií o 94,4 % a psychrofilních bakterií o 91,8 % (viz obr. 1).

Tabulka č. 4 – Výsledky testování UV jednotky LBA 30 - ČOV Slavkov u Brna

Mikrobiologický ukazatel	Účinnost snížení počtu mikroorganismů (%)				
	1 473 J.m ⁻²	1 037 J.m ⁻²	730 J.m ⁻²	508 J.m ⁻²	277 J.m ⁻²
Koliformní bakterie	100,00	99,98	99,96	99,78	99,41
Term. koliformní b.	100,00	100,00	100,00	99,97	99,73
Escherichia coli	100,00	100,00	100,00	99,96	99,74
Enterokoky	100,00	100,00	100,00	99,73	98,40
Psychrofilní b.	99,93	99,83	99,74	99,63	97,29
Mezofilní b.	99,99	99,97	99,88	99,76	97,77
Mikrobiologický ukazatel	Účinnost snížení počtu mikroorganismů (%)				
	599 J.m ⁻²	416 J.m ⁻²	336 J.m ⁻²	203 J.m ⁻²	193 J.m ⁻²
Koliformní bakterie	99,95	99,84	99,39	97,71	96,45
Term. koliformní b.	99,96	99,83	99,72	97,89	97,04
Escherichia coli	99,93	99,82	99,66	97,73	97,05
Enterokoky	99,96	99,75	98,40	96,18	95,45
Psychrofilní b.	99,85	99,71	98,88	96,74	94,43
Mezofilní b.	99,77	99,28	98,84	95,00	91,81

Ekonomicko-technické zhodnocení dezinfekce odpadních vod

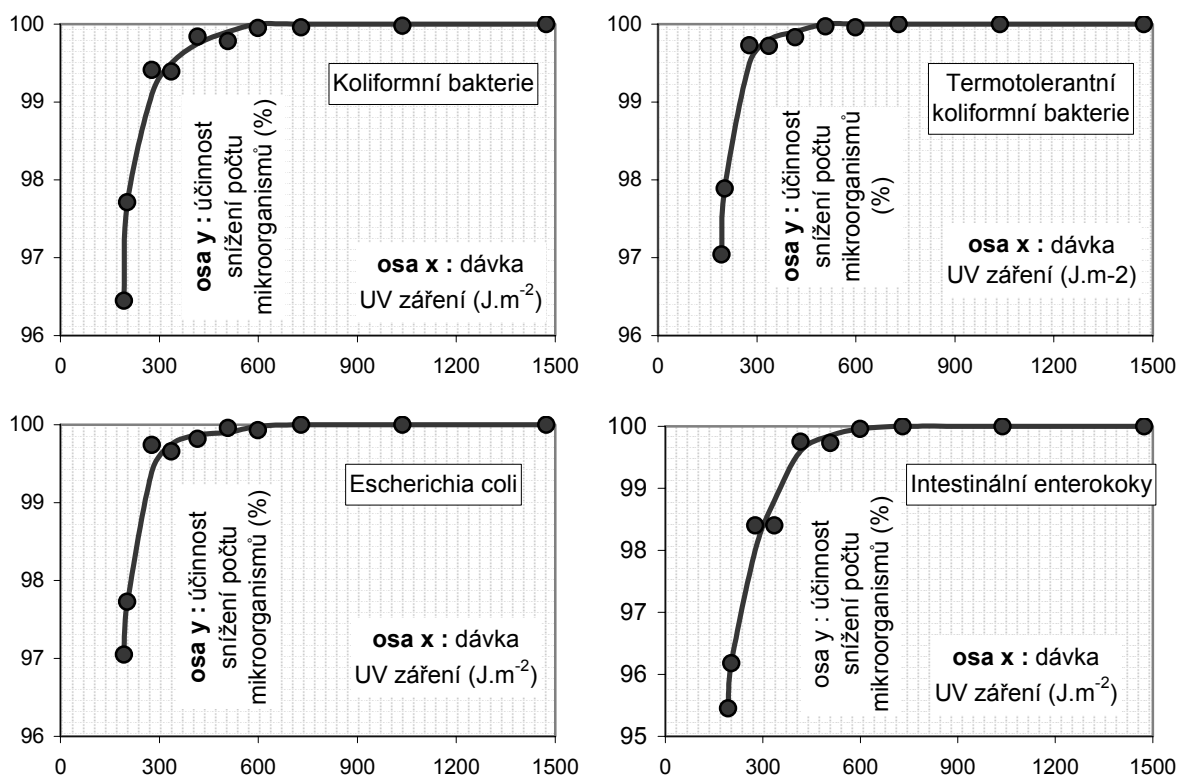
Vzhledem ke skutečnosti, že dezinfekce UV zářením je považována za metodu finančně mnohem náročnější ve srovnání s dezinfekcí chlorací, byla provedena komplexní analýza, při níž byly sledovány ekonomicko-technické aspekty dezinfekce odtoku z ČOV. Byly srovnány 2 návrhy řešení hygienického zabezpečení odtoku z ČOV Bílá – chlorací a UV zářením.

V současné době jsou vyčištěné odpadní vody na odtoku z této ČOV chlorovány – chlornan sodný je dávkován pomocí chlorátoru DANED (dávkování chlornanu sodného není v současné době závislé na velikosti průtoku vody, ale je konstantní, přičemž průměrná dávka chloru je cca 1-2 mg.l⁻¹). Důvodem vyžadované dezinfekce vyčištěných odpadních vod je fakt, že recipientem je významný vodní tok (Bílá) a ČOV se nachází v pásmu hygienické ochrany vodárenské nádrže Šance.

Návrh byl proveden pro požadovanou dávkou chloru ve výši 1 mg.l⁻¹ (dávkován chlornan sodný); a pro požadovanou dávku UV záření ve výši 300 J.m⁻² (pro dezinfikovanou vodu s absorbcí 0,2 při 254 nm). Hodnoty požadovaných dávek chloru a UV záření byly v souladu s výsledky experimentálního testování obou dezinfekčních metod.

Jako vhodné technické řešení dezinfekce chlorací bylo navrženo dávkování chlornanu sodného za pomoci membránového čerpadla, přičemž monitoring zbytkového chloru by byl prováděn za pomoci kompaktního měřicího systému. Toto řešení umožní napojení tohoto technologického celku do automatizovaného systému, včetně jeho řízení přes dispečink, což je v dnešní době již běžnou součástí ČOV, které umožňuje kontinuální sledování správné činnosti, hlášení mimořádných stavů atd.

Pro dezinfekci UV zářením byl navržen průtočný UV reaktor, s nízkotlakým rtuťovým zářičem umístěným v ochranné křemenné trubici, přičemž sledování intenzity UV záření je pomocí senzoru. Pro odstraňování usazenin z povrchu křemenných trubíc byla navržena externí prací jednotka umožňující vyčištění povrchu křemenných trubíc přímo v UV reaktoru.



Obr. 1: Výsledky testování UV jednotky LBA 30 - ČOV Slavkov u Brna

Pro obě metody byla provedena kalkulace předpokládaných investičních a provozních nákladů na vlastní zařízení pro hygienické zabezpečení odtoku z ČOV, tj. nebyly zde zahrnuty náklady na stavební úpravy stávajících objektů, případnou výstavbu nových objektů. V tomto konkrétním případě lze očekávat, že by náklady na stavební úpravy byly srovnatelné pro obě navržené varianty. Z celkových investičních nákladů byly vypočteny průměrné investiční náklady připadající na 1 rok provozu daného zařízení, přičemž se vycházelo z předpokládané životnosti zařízení dle údajů poskytnutých výrobcem. Z těchto údajů byla stanovena výše investičních a provozních nákladů připadající na 1 rok provozu zařízení, z nichž byly následně vypočteny náklady připadající na dezinfekci 1 m³ vyčištěné odpadní vody.

Do investičních nákladů pro chloraci byly zahrnuty náklady na pořízení membránového čerpadla a kompaktního měřicího systému, včetně náhradních dílů, které bude nutno vyměnit během předpokládané životnosti zařízení. Provozní náklady představovaly náklady na chlornan sodný a el. energii.

Pro dezinfekci UV zářením byly do investičních nákladů zahrnuty náklady na pořízení UV jednotky, včetně externí prací jednotky. Provozní náklady představovaly náklady na el. energii, náhradní UV zářiče a chemikálie pro externí prací jednotku.

Náklady na hygienické zabezpečení odtoku z ČOV Bílá chlornanem sodným při použití technického řešení, jež je popsáno výše byly stanoveny na 0,53 Kč / 1 m³; pro dezinfekci UV zářením pak na 0,55 Kč / 1 m³.

Závěr

Lze tedy říci, že náklady na obě metody jsou ve srovnatelné výši, přičemž nutno brát v potaz, že zde nejsou zakalkulovány ceny na bezprostředně související stavební práce. Pokud ale srovnáme obě metody z hlediska jejich vlivu na životní prostředí, je nutno konstatovat, že při chloraci vzniká řada nežádoucích

vedlejších produktů, a to v nezanedbatelných koncentracích (při experimentálním testování chlorace vyčištěných odpadních vod bylo zjištěno, že již při dávce chloru 1 mg.l^{-1} dochází ke zvýšení hodnoty AOX v dezinfikované vodě až na trojnásobek ve srovnání s hodnotou před chlorací). Dále přítomnost zbytkového chloru na odtoku z ČOV (byť v nízké koncentraci) je nežádoucí z důvodu možného narušení přirozené ekologické stability a aquatických systémů zajišťujících samočisticí schopnost toku. Při použití UV záření nevznikají nežádoucí vedlejší produkty, nevnašíme do vody žádné chemikálie a UV zářením nelze vodu předávkovat. Z výše uvedených důvodů bych doporučovala řešit hygienické zabezpečení odtoku z ČOV dezinfekcí UV zářením, neboť se jedná o metodu šetrnější k životnímu prostředí.

Literatura

- [1] BENEŠ, J.: Aspekty ovlivňující výběr UV jednotky. In *Sborník příspěvků VI. Mezinárodní konference VODA ZLÍN 2002, Zlín 26. – 27. března 2002, ISBN 80-238-8326-7.*
- [2] SOLDÁN, P.: Mikrobiální kontaminace vodních toků. *Zpráva výzkumného úkolu Výzkumného ústavu vodohospodářského TGM, Praha, prosinec 2001.*

Summary

Disinfection of the treated waste water has become very topical since more stricter criteria have been introduced by water protection legislation of Czech Republic after joining the European Union. It follows from experimental testing of two disinfecting methods being applied that the both methods (disinfection by sodium chlorate and disinfection by UV radiation in through-flow UV reactors) have a sufficiently high efficiency in terms of elimination of microbial activation of disinfected water. From this point of view the economic efficiency of both methods is comparable.

If the both methods are confronted in terms of environmental impact it is clear that chlorination results into many undesirable by-products. Concentration which is reached by some of its by-products cannot be neglected. Furthermore, the presence of residual chlorine in the waste water plant discharge stream (even with a low concentration) is not desirable because it could impair natural ecological stability as well as the aquatic systems that ensure self-cleaning of water. UV radiation does not produce any undesirable by-products, it does not add any chemicals into water, and no overdosing is possible when UV radiation is applied. And last not least the UV irradiation is the more efficient means for eliminating a microbial contamination.

For these reasons it is recommended to disinfect the waste water treatment plant stream by UV irradiation. This method is highly efficient, up-to-date and very promising for future. It has many advantages when compared with chlorination.

Recenzenti: Ing. Luděk Trdlíka, VÚV TGM Ostrava, Macharova 5, 702 00 Ostrava,
Prof. Ing. Boleslav Taraba, CSc., Ostravská univerzita.