

## VYHODNOCENÍ ZKUŠEBNÍHO PROVOZU DESINFEKCE PITNÉ VODY UV-ZÁŘENÍM

**Ing. Jana Michalová<sup>1)</sup>, Ing. Ladislav Bartoš<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Severočeské vodovody a kanalizace, a.s., Přítkovská 1689, 41550 Teplice

<sup>2)</sup> Veolia Voda ČR a.s., Pařížská 11, 11000 Praha 1

Dlouhodobě negativní vývoj kvality surové vody v nádržích Krušných a Jizerských hor v parametru  $CHSK_{Mn}$  resp. huminové látky spolu s legislativními požadavky vyvinul tlak na majitele a provozovatele úpraven vod. Převážně jednostupňové úpravní pitných vod, realizované před více než třiceti lety, nebyly dlouhodobě dostatečně schopné snížit obsah zbytkového organického znečištění. Ačkoliv byla a je dodržována předepsaná hodnota parametru  $CHSK_{Mn}$  na výstupu z úpravní, zůstávalo v upravené vodě stále dostatečné množství organických látek schopných účastnit se dalších fyzikálně-chemických procesů a zejména reakcí s chlórem. Vzhledem k tomu, že je a zřejmě ještě dlouho bude chlór jako nejrozšířenější desinfekční prostředek používán, nebylo možné na výstupu z úpravní dodržet předepsanou hodnotu v parametru chloroform.

Vlastník úpraven vod Severočeská vodárenská společnost a.s. a jejich provozovatel Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. tak museli společně hledat cestu, jak se s problematickou situací vypořádat. Byly zvažovány varianty kompletní rekonstrukce technologií, zařazování dalších separačních stupňů, ozonizace apod. Všechny varianty pro dotčené úpravní vyžadovaly souhrnně investice v řádech stovek milionů resp. několika miliard korun. Jednou ze zvažovaných možností řešení bylo využití ultrafialového záření jako účinného způsobu desinfekce na úpravně vody (ÚV) a následné zabezpečení distribučního systému chloraminací, kde směs chloraminů zabezpečuje dlouhodobou desinfekci a zároveň nedochází k reakci s organickými látkami.

Metoda byla testována na ÚV Souš v Jizerských horách a následně na ÚV Jirkov v Krušných horách. Úpravní byly vybrány z důvodu odlišného typu surové vody. Záměrem bylo otestovat účinnost navržené metody v různých podmínkách. První dvě instalace používaly tzv. středotlakou technologii. Následující jsou vybaveny technologií nízkotlakou. Aplikace uvedeného způsobu desinfekce měla ve všech případech pozitivní efekt na kvalitu upravené vody. V některých případech se vyskytly problémy technického rázu, které byly ve spolupráci s dodavatelem technologie odstraněny v průběhu zkušebního provozu. Vzhledem k tomu, že se s instalacemi technologií UV-zářením započalo již v roce 2004, je nyní k dispozici dostatek zkušeností a dat, na základě kterých je možné opatření vyhodnotit. Hodnocení je provedeno z hlediska technicko-provozního a vlivu na kvalitu upravené vody.

### Vyhodnocení provozu

Na ÚV Bedřichov (Jizerské hory) byly instalovány dvě lampy Wedeco vybavené automatickým stíráním křemenných trubic, chemickým čištěním vnitřního prostoru reaktoru a automatickou regulací výkonu. Z hlediska provozu se v počátku vyskytovaly

problémy s automatickým systémem stírání na jedné lampě, který se zasekával. Závada byla jako záruční oprava odstraněna technikem dodavatele lamp firmy Disa v.o.s. Brno. Regulace výkonu fungovala po celou dobu bez závad, což je z hlediska životnosti zářičů a spotřeby elektrické energie poměrně důležité hledisko kvality provozu. Byla instalována dvě zařízení BX 1200. Každé má příkon 4,5 kW při plném výkonu. Vzhledem k tomu, že je výkon plynule automaticky regulován podle průtoku a intenzity záření vyhodnocované snímačem, je velmi problematické stanovení spotřeby elektrické energie na litr resp. m<sup>3</sup> upravené vody. Při stejných průtocích může být významný rozdíl v příkonu v důsledku rozdílné kvality vody a to až v desítkách procent. Elektroměr u zařízení nebyl instalován. Při průměrné výrobě 200 l/s a plném výkonu jednoho zařízení je spotřeba 6,25 W/m<sup>3</sup>. Kromě nákladů na elektrickou energii je nutné uvažovat s výměnami zářičů, jejichž životnost je garantována na 12.000 hodin (cca 160.000,- Kč ročně). Obsluha jednotek prakticky žádná není. Vše běží plně automaticky. Pouze 1x za cca 2-3 měsíce provede obsluha odstavení jednotky a její vyprání čistícím roztokem (celkem cca 1 hodina práce).

Na ÚV Souš (Jizerské hory) byla původně instalována jedna středotlaká lampa Wedeco. Vzhledem k požadavku na vyšší výrobu po dokončení rekonstrukce byla původní lampa přesunuta na ÚV Litvínov a nově byly instalovány dvě lampy Wedeco identické s lampami na ÚV Bedřichov vybavené automatickým stíráním křemenných trubic, chemickým čištěním vnitřního prostoru reaktoru a automatickou regulací výkonu. Z hlediska provozu nebyly zaznamenány žádné vážnější problémy. Regulace výkonu fungovala spolehlivě stejně jako systém stírání. V některých případech bylo nutné lampy odstavit z provozu kvůli probíhající rekonstrukci celé úpravny Souš. I na této úpravně je provoz zařízení bezproblémový s pouze občasnou kontrolou.

Na ÚV III. Mlýn (Krušné hory) byly instalovány dvě lampy Wedeco automatickým stíráním křemenných trubic, chemickým čištěním vnitřního prostoru reaktoru a automatickou regulací výkonu. Z hlediska provozu nebyly u samotných lamp zaznamenány žádné vážnější problémy. Regulace výkonu fungovala spolehlivě stejně jako systém stírání. Při požadavku na zvýšený výkon úpravny byl zaznamenán problém s hydraulikou celého systému. Od určitého požadavku na průtok upravené vody do distribuční sítě je nutné provozovat obě lampy současně a případně část průtoku pouštět obtokem. Při běžném provozu je vše v pořádku. Problém je způsoben komplikovanými hydraulickými podmínkami v prostoru, do kterého bylo nutné lampy umístit. Vše bude vyřešeno po dokončení kompletní rekonstrukce úpravny. Byla instalována dvě zařízení BX 650. Každé má příkon 3,0 kW při plném výkonu. Vzhledem k tomu, že je výkon plynule automaticky regulován podle průtoku a intenzity záření vyhodnocované snímačem, je bez elektroměru velmi problematické stanovení okamžité spotřeby elektrické energie na litr resp. m<sup>3</sup> upravené vody. Při stejných průtocích může být významný rozdíl v příkonu v důsledku rozdílné kvality vody a to až v desítkách procent způsobený rozdíly v kvalitě vody. Elektroměr u zařízení nebyl instalován. Při průměrné výrobě 100 l/s a plném výkonu jednoho zařízení je spotřeba 8,33 W/m<sup>3</sup>. Náklady na výměnu zářičů, jejichž životnost je garantována na 12.000 hodin, představují ročně částku cca 110.000,- Kč ročně. Obsluha jednotek prakticky žádná není. Vše běží plně automaticky. Pouze 1x za cca 2-3 měsíce provede obsluha odstavení jednotky a její vyprání čistícím roztokem (celkem cca 1 hodina práce).

Na ÚV Litvínov (Krušné hody) byla přesunuta lampa Wedeco z ÚV Souš, která již byla dlouhodobě provozně vyzkoušena. Jedná se o středotlakou lampu s třístupňovou

regulací výkonu. V době instalace lampy na úpravně vody Souš docházelo k jejím opakovaným výpadkům z provozu. Původně jsme se domnívali, že se jedná o vadu lampy. Ve spolupráci s dodavatelem bylo zjištěno, že problém je způsoben elektrickou sítí úpravní vody. Při spuštění velkých strojů docházelo k velkým výkyvům napětí na což ochranný systém lampy reagoval odstavením z provozu. Dodavatel následně instaloval kompenzaci, která zajistila stabilní chod. Systém od té doby pracuje zcela automaticky a spolehlivě. Odstavení a praní je nutné provádět častěji, neboť vlivem vysoké teploty zářiče dochází k „natavování“ zbytků organických látek na povrch ochranné křemenné trubice. Poměrně velká část příkonu je přeměněna na teplo. I tak je možné hodnotit instalaci UV-lampy pozitivně.

Na ÚV Jirkov byla instalována identická středotlaká lampa. Po její instalaci na úpravně se nám podařilo odhalit nestandardní podmínky v odtokovém potrubí mezi filtrační a akumulací, o kterých jsme před tím neměli informace. Konkrétně se jednalo o zavzdušňování potrubí. Na vzduch, který se dostal až do reaktoru lampy, zareagoval její ochranný systém a lampu vypnul. Úpravou odtokových poměrů došlo ke zlepšení kvality vody a stability provozu lampy.

Na ÚV Chřibská (Lužické hory) byly instalovány dvě lampy LIT bez stírání křemenných trubic pouze s chemickým čištěním vnitřního prostoru reaktoru a bez regulace výkonu. Z hlediska provozu byl z počátku problém s kvalitou samotných zářičů, které nebyly funkční již při samotné instalaci. Dále byly častěji než u ostatních instalací zaznamenány poklesy výkonu a požadavek na chemické praní vnitřní části reaktoru a tím i vyšší nároky na obsluhu. Praní je nutné provádět cca 1x měsíčně, což obsluhu úpravní výrazněji nezatěžuje a je to akceptovatelné. Porovnání účinnosti s ostatními lampami je poměrně problematické, neboť instalované lampy nemají regulaci výkonu a dávka UV-záření a tedy i spotřeba energie je stejná při jakékoliv kvalitě vody i jakémkoliv průtoku. Je možné se tedy oprávněně domnívat, že spotřeba energie bude vyšší než u zařízení vybavených regulací. Vzhledem ke garantované délce provozu 8.000 hodin se dá předpokládat, že náklady na výměnu zářičů budou cca o 50 % vyšší než u konkurenčních zařízení. Kratší životnost je zřejmě způsobena i tím, že zařízení nemá regulaci a zářiče běží stále na plný výkon. Podle dokumentace by měl být příkon jednoho zařízení 5 kW. Při průměrné výrobě 45 l/s je spotřeba 30 W/m<sup>3</sup>. Zařízení běží automaticky a spolehlivě.

### **Vyhodnocení výsledků měření**

Pro vyhodnocení UV-lamp na úpravnách vody Bedřichov, Souš, Chřibská, Jirkov, III.Mlýn a Litvínov bylo použito výsledků databáze LABSYS - mikrobiologických a biologických rozborů. Byla vyhodnocována následující odběrná místa: vstup do úpravní (voda surová), nátok na lampu, odtok z UV-lampy a odtok z úpravní vody (voda upravená). U těchto analýz bylo porovnáno, zda vyhovují nebo nevyhovují limitům Vyhl. č. 252/2004 Sb. v platném znění.

#### **a) Vyhodnocení UV-záření dle % vyhovujících mikrobiologických a biologických analýz za r. 2007**

Pro vyhodnocení bylo použito porovnání % vyhovujících mikrobiologických a biologických analýz s limity platné legislativy.

U všech ukazatelů se zvyšuje hodnota % vyhovujících analýz směrem od surové vody k vodě upravené. Cílem je samozřejmě na odtoku z lampy dosáhnout u všech ukazatelů 100 % vyhovujících analýz.

### Mikrobiologické ukazatele:

Na odtoku z UV-lampy bylo naměřeno 100 % vyhovujících vzorků u všech mikrobiologických ukazatelů s výjimkou 1 měření na Jirkově a ÚV Litvínov, kde došlo opakovaně k nálezům *Clostridia perfringens* a koliformních bakterií. Bylo to však způsobeno nižší účinností lampy, protože kvůli netěsnícím uzavíracím klapkám nebylo možno nainstalovanou lampu odstavit a chemicky vyprat. K zamezení mikrobiologického znečištění bylo nutné razantně zvýšit chloraci. Jako příklad vyhodnocení je v tabulce 1 uvedena úprava vody Jirkov.

**Tabulka 1. Vyhodnocení ÚV Jirkov**

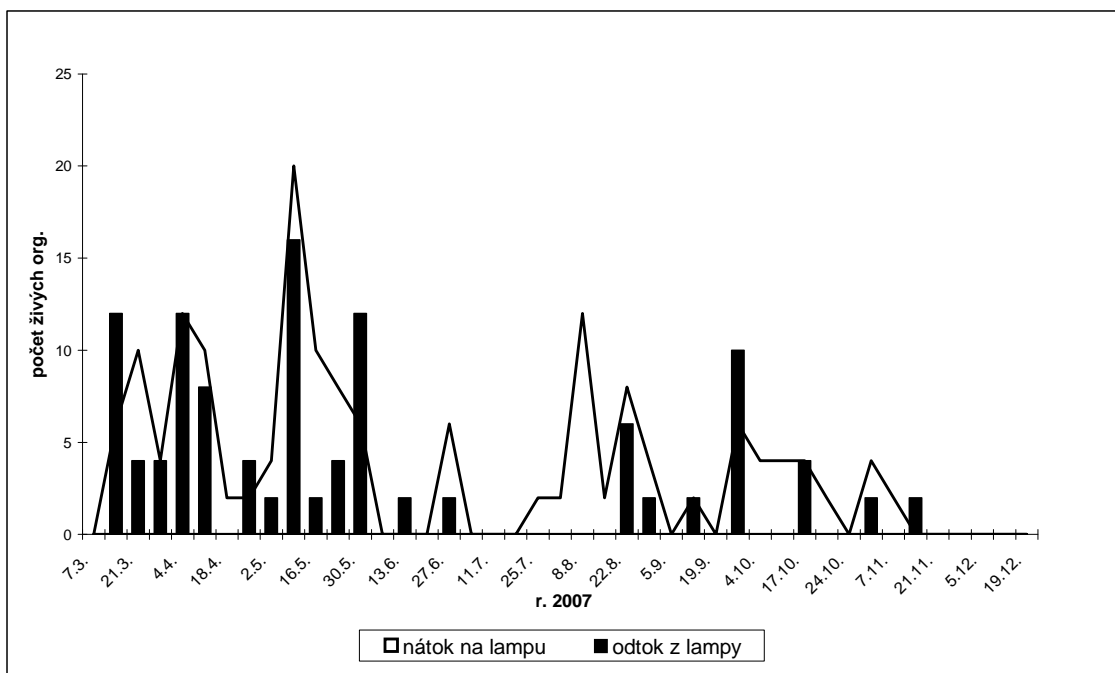
Jirkov ÚV	% vyhovujících analýz			
	ÚV surová	lampa přítok	lampa odtok	ÚV upravená
koliformní bakterie	3,8	98,4	100	100
Escherichia coli	64,6	100	100	100
Enterokoky	33	98,4	100	100
<i>Clostridium perfringens</i>	25	96,8	98,4	100
kultivovatelné mikroorganismy 36°C	53,5	98,4	100	100
kultivovatelné mikroorganismy 22°C	90,7	98,3	100	100
mikroskopický obraz - živé organismy	0	98,4	100	100
mikroskopický obraz - počet organismů	40,5	100	100	100

### Biologické ukazatele :

Na úpravnách vody Jirkov, III. Mlýn a Litvínov nacházíme obvykle velmi malý počet organismů v surové vodě, již při nátoce na UV-lampu nedetekujeme žádné živé organismy. Rozdílná situace je na úpravnách vody Bedřichov, Souš a Chřibská. Surová voda je více oživena, na lampu se dostává větší počet organismů, z toho některé živé. Při porovnání nátoce a odtoku z lampy bylo zjištěno, že se organismy nedaří průtokem lampou usmrtit, i když se % vyhovujících analýz zvyšuje.

#### **b) Grafické porovnání celkového počtu živých organismů při nátoce na lampu a při odtoku z lampy**

Grafické znázornění počtu živých organismů při nátoce na UV zářič a při odtoku z něho bylo provedeno pouze pro více oživené vody, a to ÚV Bedřichov, Souš a Chřibská. Porovnáním nátoce a odtoku se zdá, že dochází při průchodu UV-zářením ke snížení počtu živých organismů. Snížení počtu ale nestačí, protože vzorek je vyhovující pouze v tom případě, kdy nález živých organismů = 0.



**Obr. 1. ÚV Bedřichov - porovnání počtu živých organismů při průchodu UV zářením v r. 2007**

**c) Výpočet % úspěšnosti odstranění skupin organismů typických pro jednotlivé úpravné vody**

Pro toto vyhodnocení nebyly vzaty souvztažné vzorky, ale počty zjištěných živých organismů bez ohledu na to, zda k nálezu došlo v ten samý den. Porovnáním vstupu a výstupu bylo vypočítáno % úspěšnosti odstranění živých organismů.

**Tabulka 2. Posouzení úspěšnosti odstranění živých org. průchodem UV-zářením**

ÚV Bedřichov	vstup	výstup	% úspěšnosti odstranění	Upřesnění organismů
	Počet nálezu živ. organismů			
Organismy 1	22	16	27,3	Obrněnky (peridinia, gymnodinia)
Organismy 2	14	6	57,1	skrytěnky (kryptomonády)
Organismy 3	2	0	100	zelené řasy (kokální, bičíkovci)

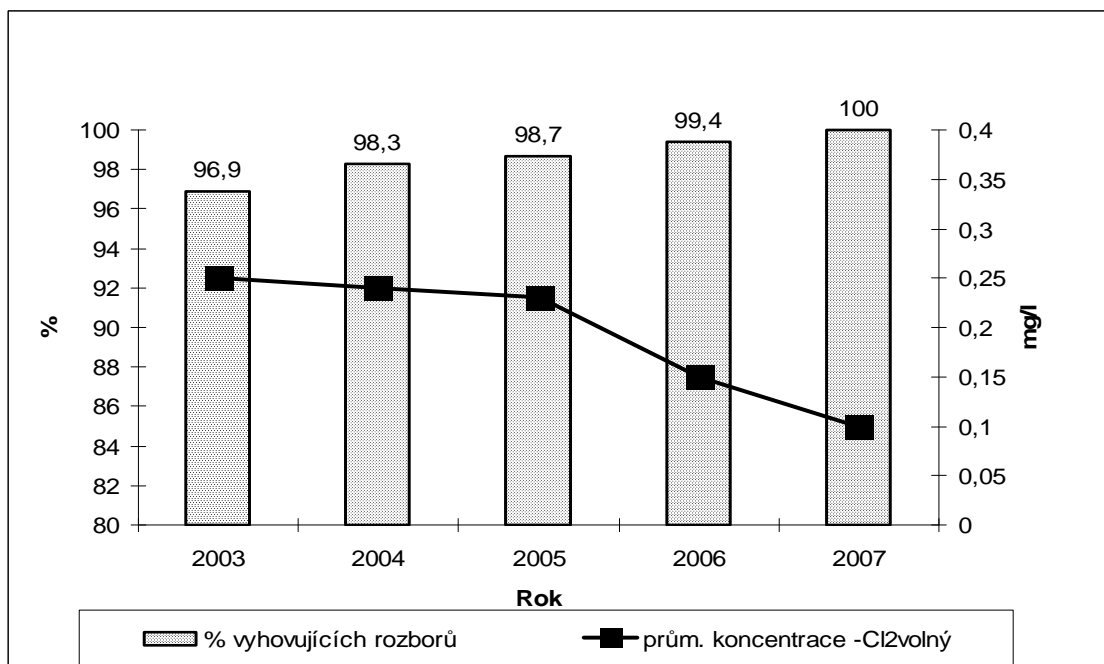
Z výsledků lze vyvodit, že dochází sice ke snížení absolutnímu počtu průniků živých organismů, rozhodně ale nemůžeme mluvit o 100 % úspěšnosti.

Velmi malou účinnost, resp. žádnou, má UV-zářením na odstraňování obrněnek, zejména peridinií.

**d) Vyhodnocení desinfekce současně UV-zářením a chloraminací**

Rozhodnutí o instalaci UV-lamp přišlo v období, kdy distribuce za ÚV Hradiště, Jirkov, III.Mlýn, Chřibská, Bedřichov a Souš nevyhovovala platné Vyhl. č. 252/2004 Sb. v ukazateli chloroform. Na úpravnách vody došlo z tohoto důvodu ke změně hygienického zabezpečení z chlorace na chloraminaci. Množství volného chloru na výstupu z úpravené vody se snížilo, na některé mikroorganismy, jako jsou např. Clostridia by bylo naprosto nedostačující. Při současném působení chloraminace a UV-

záření jsou však tyto organismy **zničeny**, proto si můžeme dovolit snížení koncentrace volného chloru na výstupu z úpravný vody a provozování distribuční oblasti zásobené takto hygienicky zabezpečenou vodou bez dochlorace. Následující graf dokládá pozitivní výsledky tohoto provozování.



**Obr.2. ÚV Jirkov v letech 2003–2007, % vyhovujících rozborů mikrobiologických a biologických v porovnání s prům. koncentrací volného chloru na výstupu z ÚV**

### Závěry :

Z dosud získaných provozních výsledků je možné doporučit instalaci UV-lamp i na další úpravný povrchové a následně i podzemní vody. Bezesporu se jedná o významný bezpečnostní prvek zajišťující kvalitu pitné vody. Úroveň chlorace resp. chloraminace je na uvedených úpravkách na minimální úrovni, pouze pro zajištění hygienického zabezpečení vody dopravované distribučním systémem.

Průnik mikrobiologie separačním stupněm filtrace u sledovaných úpraven vody je poměrně nízký, přesto je možné konstatovat, že tam, kde k tomuto průniku došlo, jsou UV-lampy účinné. Bez UV-záření by na inaktivaci *Clostridia perfringens* byly nutné vysoké dávky chloru (až 1,0 mg/l volného chloru).

Na vyšší organismy jsou UV-lampy účinné v daleko menší míře. Při průchodu UV-lampou můžeme mluvit o určité úspěšnosti snižování počtu živých organismů. Minimální účinnost má však záření na obrněnky, zejména peridinia a zelené řasy. Pro separaci biologických organismů bude proto nutná buď vyšší účinnost filtrace (dvouvrstvé filtry) nebo další technologický stupeň (např. flotace).

Instalace UV-záření spolu s chloraminací má pozitivní vliv na organoleptické vlastnosti vody, zejména zápach, což omezilo stížnosti zásobovaných obyvatel. Je možné snížit koncentraci volného chloru na výstupu z ÚV a minimalizovat dochloraci na distribučních trasách. Jedná se o progresivní metodu pro hygienického zabezpečení pitné vody.