

614.777:614.485

**POUŽITELNOST ULTRAFIALOVÉHO ZÁŘENÍ K DEZINFEKCI PITNÉ VODY**

(Souborný referát)

RNDr. Jaromír VEGER, CSc.

Výzkumný ústav vodohospodářský, Praha-Podbaba

Předložený referát podává ve zkratce přehled současného stavu znalostí a zkušeností s použitím UV záření k dezinfekci pitné vody. Jde o stručný výťah z podrobné rešeršní studie, zpracované podle údajů světové odborné (142 citací) a patentové (16 spisů) literatury z posledních 20 let.

**1. Citlivost mikroorganismů k ultrafialovému spektru záření**

Biocidní účinnost ultrafialové složky záření, zvláště silně baktericidní vlnové délky 2537 Å, prověřovala celá řada autorů. Podle Stárky 1959 jsou UV paprsky nejúčinnější v zóně od 2600 do 2700 Å, tj. v oblasti, v níž jsou absorbovány nukleovými kyselinami. Nukleoproteidy mají maximum absorpce při 2600 Å a jejich poškozením lze nejlépe vysvětlit účín tohoto záření.

Pro praktické účely bylo nutné zvolit jednu vlnovou délku; stanovena byla délka 2537 Å. I když je poněkud kratší než nejúčinnější vlnová zóna, bude patrně vždy používána vzhledem k snadné a ekonomické výrobě výbojek.

Přes mnohdy protichůdné výsledky pokusů různých autorů lze z množství údajů vysledovat vzájemné rezistenční vztahy mikrobů, které jsou z hlediska dezinfekce vody podstatné.

Předně je důležité, že vysokou, resp. nejvyšší citlivost vykazují gramnegativní mikroby. Dále je podstatný poznatek, že UV záření působí jak na vegetativní formu bakterií, tak i na spory a viry. Mezi těmito skupinami mikroorganismů však existují rozdíly v citlivosti. Většina autorů se shoduje v tom, že spory jsou rezistentnější než střevní vegetativní mikroby, avšak rozdíl není tak velký jako např. u chemických dezinfekčních prostředků. Citlivost střevních patogenů k sobě navzájem a k *E. coli* je možno podle většiny údajů sestavit do řady: *Vibrio cholerae*, *salmonelly*, *shigelly*, *E. coli*. Znamená to tedy, že mikroby *E. coli* je možno považovat za vhodný pokusný model a indikátor běžně požadované dezinfekční účinnosti.

Údajů o účinku na viry je málo a nedávají jasnou představu. Jsou patrně rezistentnější než střevní mikroby a pravděpodobně i vzhledem ke sporám.

Důležitý je ale zásadní fakt, že všechny skupiny uvažovaných mikroorganismů je v zásadě možno ničit UV zářením a že výbojky s vlnovou délkou 2537 Å je tudíž možno použít i k dezinfekci vody kontaminované bojovými biologickými prostředky.

**2. Zdroje ultrafialového záření**

Jako zdroje UV záření se používají lampy, ve kterých dochází k elektrickému výboji v parách rtuti. V závislosti na tlaku par rtuti existují 2 formy výboje:

- a) nízkotlaký výboj — při tlaku 0,01–1 mm Hg sloupce,
- b) vysokotlaký výboj — při tlaku od 100 mm Hg sloupce do několika set atmosfér.

Původně se jako zdroj záření používaly vysokotlaké rtuťokřemičité výbojky. Tyto výbojky vyzařují energii širokého spektra vln infračervených, viditelných i ultrafialových, s maximem záření okolo 3650–3663 Å, tj. v oblasti za hranicí baktericidní části spektra (Sokolov 1951).

Novější nízkotlaké rtuťoargonové výbojky vyzařují většinu energie (80–95 %) v jedné spektrální linii 2537 Å, což je v těsné blízkosti baktericidního maxima. Soustředění na jednu vlnu se dosáhlo přidávkou argonu, čímž se dosáhlo čtyřikrát až pětkrát vyšší baktericidní účinnosti oproti výbojkám rtuťokřemičitým. Podle Kulského 1954 na 1 W potřebné elektrické energie připadá u rtuťokřemičitých výbojek 0,033 W a u argonrtuťových 0,146 W vyzářené baktericidní energie. Sokolov 1951 považuje tyto nové výbojky z hlediska efektivnosti a ekonomiky pro dezinfekční účely za jednoznačně výhodnější. Na druhé straně mají však malou výkonnost, což může znesnadňovat konstrukci aparátů, zvláště pro velká kvanta dezinfikované vody.

Rozdíl mezi výbojkami je také v jejich životnosti. Nízkotlaké mají životnost 2000–3000 hod., zatímco vysokotlaké asi polovinu až třetinu této doby, přičemž baktericidní výkon výbojek pro praxi je nutno propočítávat podle výkonu na konci jejich životnosti, tj. asi na 1/3 nominální hodnoty nové výbojky.

Nízkotlaké výbojky se tedy hodí pro zařízení o malých výkonech (do 20 m<sup>3</sup>/hod.) a méně ekonomické vysokotlaké výbojky pro vysokou výkonnost jsou vhodné pro větší kvanta vody.

Současně s vývojem výbojek se prověřovaly různé druhy skel, použitelných pro lampy a jejich ochranné obaly, protože na složení a síle skel závisí pronikání určitých vlnových délek a určité intenzity. Jako dosud nejlepší se ukázalo být sklo uviolové, které propouští ve značné míře baktericidní paprsky a přitom zadržuje tepelné záření a částečně i záření o vlnách kratších 2000 Å.

V současné době některé státy produkují celou řadu různých druhů a velikostí lamp jako zdrojů UV záření pro nejrůznější účely. V ČSSR jsou dostupné 30W výbojky Philips v rámci prodeje polských sterilizátorů vzduchu a československé germicidní nízkotlaké výbojky 30W/220V a 15W/120V TESLA RNB, jejichž životnost výroby při používání jmenovitého napětí o kmitočtu 50 Hz a při použití správných předřadníků a zapalovačů garantuje na 2000 hodin.

### 3. Dezinfekční aparáty

Principiálně existují 2 konstrukční typy dezinfekčních aparátů:

a) Aparáty s výbojkami umístěnými nad hladinou ozařované vody.

Jsou konstrukčně jednodušší. V podstatě jde o různě řešený a členěný žlab nebo nádobu, kde protékající voda je ozařována výbojkami, umístěnými v reflektorech ve vrchní víkové části aparátů. Aparáty jsou netlakové a pracují pouze v horizontální poloze. Jsou stavěny spíše pro nižší výkony.

b) Aparáty s ponořenými výbojkami.

Konstrukčně jsou obtížnější, zvláště v případech větších výkonů. Základní jednotkou těchto aparátů je výbojka, uzavřená do trubice ze skla, propustného pro UV paprsky (k zamezení přímého styku výbojky s vodou a tím ovlivnění výkonu teplotou vody). Kolem trubice je zpravidla kovový válec. Mezi ním a trubicí okružím protéká voda. Aparáty mohou být tlakové i netlakové. Tento druh aparátů je základním typem pro větší výkony, zvláště pro použití ve vodárenství.

Patentová a odborná literatura uvádí popisy celé řady nejrůznějších aparátů, konstruovaných často pro značné výkony (až 70 m<sup>3</sup>/hod. u typů a); až 3000 m<sup>3</sup>/hod. u typů b)). Pro konstrukci aparátů podal Sokolov 1951 obecné matematické vzorce k výpočtu příslušných parametrů.

### 4. Schopnost různých materiálů odrážet záření 2537 Å

Odráživost různých vlnových délek od různých materiálů je různá. Přitom i odráživost určité vlnové délky — v našem případě 2537 Å — se vzhledem k materiálu a barvě může značně lišit. Z hlediska konstrukce aparátů je to podstatný faktor, mající vliv na celkovou účinnost. Je tedy důležité, z jakého materiálu jsou zhotoveny u aparátů s ponořenými výbojkami vnitřní stěny válců nebo komor obklopujících výbojky a u aparátů s neponořenými výbojkami pak vnitřní povrch van či žlabů a hlavně reflektorová část nad výbojkami. Na základě proměření

a zkušeností se nejlépe osvědčil hliník (odrazivost: napařovaného hliníku 90 %, hliníkové fólie 72 %, hliníkového nátěru 40–75 %). Naproti tomu např. chrom má odrazivost pouze 42 % a stříbro 20 %.

### 5. Faktory ovlivňující účinek dezinfekce

V zásadě mají na účinnost UV záření vliv 2 skupiny faktorů:

- faktory mající vliv na velikost upotřebitelné intenzity záření (typ výbojek, druh skla, materiál odrazových ploch apod.),
- faktory ovlivňující stupeň využití dané energie.

Dále jsou uvedeny hlavní faktory, ovlivňující využití dané UV energie.

#### a) Pohlcování UV záření vodou

Různé druhy vod vykazují různý stupeň absorpce UV záření. Nejlepším ukazatelem pohltivosti je koeficient  $\alpha$ , vyjadřující poměrné oslabení baktericidního záření vrstvou vody 1 cm. Empirický vzorec pro výpočet  $\alpha$  podal Rjadov 1958. Zásadní vliv na velikost tohoto koeficientu mají zákal, barva a obsah železa ve vodě. Určení  $\alpha$  hodnoty je důležité pro výpočet konstrukce aparátů. Aby bylo záření co nejefektivněji využito, musí být sloupec prozařované vody s hodnotou  $\alpha$  v optimální rovnováze.

#### b) Průzračnost, resp. zákal vody

Jedním z důležitých faktorů, ovlivňujících účinek UV záření, je zákal vody. Nejnepatrnější zakalení vody má za následek rozptýl záření na suspendovaných plovoucích částicích ve smyslu Tyndalova jevu a absorpci energie na látkách způsobujících zákal, čímž se ztrácí určitá část celkového baktericidního záření. Mnozí autoři stanovili tento vztah kvantitativně a bylo zjištěno, že stupeň pohltivosti je ovlivňován také druhem látek, způsobujících zákal. Názorově vznikly 2 tábory: jedni tvrdí, že při snížení průzračnosti je UV záření nepoužitelné, jiní nepovažují zákal do 50 % (tj. takový, jaký je normálně zjišťován v praxi) za příliš významný, nesnižující dezinfekční efekt, jsou-li měnitelné korigující faktory (průtok, vrstva vody apod.). Mezi velikostí zákalu a koeficientem  $\alpha$  je přímoúměrný vztah.

#### c) Barva vody

Dalším důležitým ovlivňujícím faktorem je barva vody. Při zvýšení barvy vody o 1° chromokobaltové stupnice vzrůstá koeficient pohltivosti o 0,07–0,09 cm<sup>-1</sup> (Rjadov 1958). Nejen stupeň barvy, ale i příčina (druh) má svůj význam. Např. FeCl<sub>3</sub> zvyšuje koeficient pohltivosti podstatně méně než výtažek z planktonu (Čerkin-skij, Trachtman 1962).

#### d) Chemické složení vody

Obvyklé chemické složení vody nemá podle četných zkušeností na účinnost záření vliv. Ani značná kvanta snadno rozpustných solí a solí způsobujících tvrdost neovlivňují podstatně koeficient pohltivosti. Výjimkou je obsah železa. Zatímco např. 200 mg/l NaCl snižuje účinek jen na 58 %, obsah 1 mg/l Fe sníží účinek na pouhých 7 % (Moorees 1952).

#### e) Vrstva prozařované vody, resp. vzdálenost zářiče od hladiny

Průchod zářivé energie jakoukoliv látkou je doprovázen její ztrátou, spotřebovanou na vzbuzení kmitání elektronů prostředím. Přírodní voda v důsledku obsahu různých příměsí pohlcuje záření v závislosti na koncentraci příměsí, fyzikálně chemických vlastnostech a síle vrstvy prozařované vody. Propustnost, a tím i účinnost záření je tedy závislá také na síle vrstvy vody. Čerkasov a spol. 1956 zjistili při různých vrstvách vody % pohlcení: 1 cm = 0 %, 3–5 cm = 3–4 %, 10 cm = 28 %, 15–20 cm = téměř 100 %.

V případě aparátů s neponořenými výbojkami je navíc podstatná i vzdálenost zářičů od hladiny. Se vzrůstající vzdáleností se účinnost snižuje.

#### f) Počáteční množství mikrobů

Původní počet mikroorganismů v surové vodě také ovlivňuje konečný výsledek dezinfekce. Je to závislost známá i u jiných způsobů dezinfekce. Čím vyšší je původní počet mikrobů, tím větší je nutná energie, resp. expozice, přičemž při dané dávce záření se inaktivuje přibližně stejné procento mikrobů, ale jejich konečný absolutní počet se liší podle absolutní počáteční koncentrace (Lovcevič 1966).

#### g) Teplota vody, teplota povrchu výbojky

Vyšší teplota obecně urychluje biologické procesy. Culloch 1945 uvádí teplotní koeficient pro UV záření hodnotami 1,05–1,1 pro 10 °C. Pro případ aparátů s neponořenými výbojkami teplota vody není tedy podstatným ovlivňujícím činitelem. Uplatňuje se však u aparátů s ponořenými výbojkami, kde nízká teplota vody, zvláště pod 5 °C, podstatně snižuje účinnost. Teplota vody se však neuplatňuje ve smyslu teploty dezinfikovaného prostředí, ale ve smyslu ochlazení výbojky, která pro svoji maximální účinnost potřebuje určitou pracovní teplotu. A to je hlavní důvod, proč jsou výbojky uzavírány do ochranných křemenných (uvíolových) trubíc. Ricks a spol. 1955 zjistili, že poklesem teploty vody z 18 °C na 0 °C se sníží množství vyzařované energie u nechráněné výbojky o 75 %, kdežto u chráněné pouze o 25 %. Množství vyzařované

UV energie je tedy funkcí teploty povrchu výbojky a jako teplotní optimum bylo stanoveno 35–40 °C (Koller 1952). Podle našich měření se této teploty dosáhne u čs. výbojky Tesla za 5 minut po zapnutí.

#### h) Ostatní faktory

Kromě uvedených podstatných ovlivňujících faktorů existují ještě další, kterým pro menší nebo nepodstatný význam byla věnována malá pozornost.

Je jisté, že značně se uplatňuje expozice ozářované vody, resp. výkon, tj. rychlost průtoku. To je ovšem otázka předběžných výpočtů před konstruováním aparátů na základě již známých nutných intenzit ozáření pro ten který druh mikroorganismů. Při vlastním provozu úpravný je možno potřebnou expozici do určitého stupně regulovat dodatečně úpravou průtoku.

Značné oslabení baktericidní účinnosti způsobuje stárnutí výbojek (postupné snižování výkonnosti) a různé druhy usazenin na ochranné trubici u ponořených výbojek. Tyto vlivy je možno zcela odstranit přesným sledováním životnosti výbojek a jejich čištěním v potřebných intervalech.

Podle Rickse a spol. 1955 se uplatňuje také kolísání napětí elektrické sítě. Snížení napětí má za následek snížení intenzity UV záření a naopak. V případě nutnosti je možno tento vliv vyloučit vhodným stabilizátorem.

#### 6. Výhody a nevýhody UV záření proti ostatním dezinfekčním prostředkům

Obdobně jako při použití jiných dezinfekčních prostředků má použití UV záření své přednosti, ale i nevýhody.

Teoretické přednosti:

- okamžitý účinek, vodu možno ihned konzumovat,
- široké spektrum působení (na vegetativní formy mikrobů, spory, viry, plísňe, vajíčka červů, kvasinky, rozrušení toxinů),
- nemění se organoleptické vlastnosti dezinfikované vody,
- žádná změna chemických a fyzikálních vlastností dezinfikované vody,
- nemění se korozivní vlastnosti vody,
- není nebezpečí předávkování,
- oproti chloru bezpečnější pro obsluhující personál,
- cena není nedostupná,
- vhodné pro sítě, nemající žádnou kontaktní nádrž pro dezinfekci, zařízení je zařaditelné přímo do tlakového potrubí,
- u vzdálených malých úpraven není třeba stálé obsluhy,
- snadná kontrola, možné je i automatické zařízení, které při vypnutí výbojek nebo zhoršení podmínek dezinfekce vyvolá poplach, vypne čerpadla apod.

Některé praktické zřetele, které limitují použití:

- výbojky mají určitou životnost, jejich účinnost se časem snižuje, je třeba provádět běžnou kontrolu jejich kvality,
- podstatnou část záření u ponořených výbojek zachycuje sklo ochranné trubice,
- UV záření nemůže pronikat zakalenou vodou, je možné dezinfikovat jen vodu bez většího množství koloidních a zákalotvorných látek,
- poměrně drahý provoz, hodí se spíš pro malé zdroje nebo speciální potřeby,
- je vyloučen dodatečný důkaz dezinfekční látky a dezinfikovaná voda není nadále baktericidní.

## 7. Ekonomika provozu

Nepochybně u každého dezinfekčního prostředku je cena vody důležitým faktorem. Ekonomie použití UV záření je závislá na ceně elektrické energie, ceně a výkonnosti germicidních výbojek, ceně a konstrukci dezinfekčních aparátů, fyzikálně chemických vlastnostech dezinfikované vody, kvalitě a kvantitě likvidovaných mikroorganismů a na účelu a způsobech využití tohoto způsobu dezinfekce.

V poměru k běžně používanému chlórování se použití UV záření považuje obecně za dražší. Souvisí to především s cenou elektrické provozní energie. Tento faktor se však nemusí uplatňovat všude. V SSSR, kde je elektrický proud relativně levnější než chlór, je provoz např. na uřimské vodárně 3krát levnější s použitím UV zářičů, než při použití chlórování.

Důležitou úlohu hraje nutnost periodické výměny výbojek. Náklady by se v tomto případě snížily při velkovýrobě výbojek, při současném zvýšení jejich životnosti a výkonnosti.

V mnohých případech ekonomický faktor není rozhodujícím činitelem. Např. tam, kde po-

užívání chlórované vody není povoleno, například v potravinářství při výrobě másla, nebo u vojenských polních úpraven vody, kde se prvořadě vyžaduje dosažení určitého stupně úpravy vody.

## 8. Použitelnost UV záření k dezinfekci pitné vody

Z toho, co bylo dosud řečeno, vyplývá, že použití UV záření k dezinfekci pitné vody je reálné, ovšem použitelnost je omezena některými podmínkami. Nejdůležitější z nich je otázka ekonomiky a kvalita dezinfikované vody. Pro tyto důvody zainteresovaní autoři vykazují použitelnost dezinfekce UV zářením pouze do úzké oblasti: pro privát (domácnosti, chaty), venkovské školy, tábory, lovecké výpravy, kolchozy, polní stanice, přístavy, lodě, ozdravovny, vojenské jednotky, některé potravinářské výroby. Pro větší úpravy (komunální vodovody) se tento způsob nehodí. Přesto však v SSSR vyvinuli aparáty, schopné dezinfikovat až 3000 m<sup>3</sup>/hod. a na řadě vodovodů je tento způsob dezinfekce praktickován (zde je vyloučen ekonomický faktor — viz výše).

Rjadov 1958 se zamýšlel nad použitelností UV záření v polních podmínkách pro vojenské účely. Jako základ stanovil mobilnost. Konstatuje, že v terénu je obtížné používat vysokotlaké výbojky, naopak pro toto použití mají význam výbojky nízkotlaké (ekonomičtější, jednoduchá výměna, kompaktní armatura a snadné zapojení, dlouhá životnost). Při konstrukci aparátu nutno vzít v úvahu, že v polních podmínkách je třeba počítat s vodami o různém fyzikálně-chemickém složení s různým koeficientem pohltivosti a s nutností likvidovat v případě potřeby také spory.

Písemnictví u autora