

RNDr. Jaroslav ŠAŠEK
Státní zdravotní ústav, Praha

Použití UV záření pro dezinfekci pitné vody

UV Radiation Utilization for Disinfection of Drinkable Water

Recenzent
doc. Dr. Ing. Zdeněk Pospíchal

Článek přibližuje možnosti „šetrné“ dezinfekce nejen pitné vody, důkladně informuje o možnostech dezinfekce UV zářením, uvádí výhody i potenciální rizika, omezující stavy k využívání a také legislativní požadavky včetně údajů o zahraničních informacích. Projektanti, kteří budou zvažovat aplikaci této dezinfekční technologie by měli, jak doporučuje autor, uplatnit i další požadavky již skutečného provozního stavu, tedy bioindikaci účinku UV zařízení při dezinfekci pitné vody. Možnosti uplatnění této technologie pro dezinfekci vody jsou v příspěvku názorně uvedeny.

Klíčová slova: UV záření, dezinfekce vody, inaktivace mikroorganismů

The author draws near possibilities of “economical” disinfection of not only drinkable water itself, but thoroughly informs of disinfection possibilities through UV radiation, specifies the advantages and potential risks limiting situations for its use as well as legislative requirements including data concerning the matter of foreign information in his article. Designers, which shall consider the application of this disinfection technology, should, according to the author's recommendation, apply also the other requirements of factual service condition, i.e. the bio-indication effect of the UV equipment concerning the drinkable water disinfection. Possibilities of this technology application for the water disinfection are illustrated in detail in the contribution.

Key words: UV radiation, water disinfection, micro-organisms inactivation

ÚVOD

Po desetiletí byla mikrobiologická nezávadnost pitné vody zajišťována chemicky, především chlorací. V poslední době však můžeme pozorovat trend k přechodu na jiné dezinfekční prostředky, jako je chlordioxid, ozon nebo úplné nahrazení chemické dezinfekce UV zářením (Holandsko a jinde), či dokonce přechod na režim bez použití jakékoliv dezinfekce (Berlín, Zürich).

Je zde vidět zřetelně trend k přípravě co nejekologičtější pitné vody, bez použití jakýchkoli chemických či fyzikálních prostředků. Taková voda pak neobsahuje nežádoucí vedlejší produkty dezinfekce, které mají výrazný negativní dopad na lidské zdraví, a kterých může být v případě použití chloru, ale i chlordioxidu či ozonu desítky i více.

OBEČNĚ O UV ZÁŘENÍ [1,2]

Ultrafialové záření (UV záření) představuje elektromagnetické záření v rozmezí 100 až 400 nm, tedy rozsah mezi X-paprsky a viditelnou částí spektra. Lze jej členit na Vacuum UV(100 až 200 nm), UV-C (200 až 280 nm), UV-B(280 až 315 nm), UV-A (315 až 400 nm).

UV lampy lze klasifikovat podle tlaku uvnitř trubice na nízkotlaké (low-pressure), které vydávají monochromatické záření 253,7 nm; střednětlaké (medium-pressure), produkují energii při vlnových délkách od 180 až 1370 nm, nebo lampy s vysokou intenzitou s „pulzním“ způsobem emise.

Energie (E) fotonů, tedy částic elektromagnetického záření, se vyjadřuje v joulech ($J = W \cdot s$).

Dávka záření je pak dána vztahem intenzita.čas, tj. dávka = $I \cdot t$

kde je
 I intenzita záření (W/m^2),
 t čas (s).

Převod jednotek intenzity záření a tedy i dávky je následující:
 $10 J/m^2 = 1 mJ/cm^2 = 1 mW \cdot s/cm^2 = 1000 \mu W \cdot s/cm^2$.

TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ – UV LAMPY

UV lampy vydávají ultrafialové záření příslušných vlnových délek podle typu zařízení:

- monochromatické nízkotlaké UV lampy (low pressure) – 254 nm,
- polychromatické střednětlaké UV lampy (medium pressure) – 185 až 400 nm.

Polychromatické lampy odstraňují hlavní nevýhodu dřívějších systémů UV, totiž tzv. reaktivaci (schopnost samoobnovení poškození způsobené UV zářením) mikroorganismů. Rozšířené spektrum záření poškozuje nukleové kyseliny, ale i enzymy, případně i proteiny a další biomolekuly a tak zneumožňuje opětovné obnovení poškozených buněk UV zářením. Totéž umožňuje i systém nízkotlakých lamp za předpokladu, že produkují 85 % záření ve vlnovém pásmu 253,7 nm s minimální dávkou záření 400 J/m^2 .

MECHANISMUS INAKTIVACE (POŠKOZENÍ) MIKROORGANISMŮ

Účinek UV záření na mikroorganismy je jiný než v případě chemických prostředků, které poškozují nevratně hmotu jádra buňky, protoplasmu, enzymy, buněčnou blánu. Germicidní („dezinfekční“) efekt UV záření spočívá ve fotochemickém poškození nukleových kyselin (kde je lokalizován dědičný materiál buňky), případně i bílkovin, enzymů či jiných, biologicky významných makromolekul. Nukleové kyseliny (genetický materiál v jádře buňky) absorbují vlnové délky v rozsahu 240 až 280 nm, nejvyšší účinek na ně je pozorován při vlnových délkách 260 až 265 nm.

Důsledkem poškození výše uvedených struktur buňky UV zářením je zne-možnění množení bakterií, pokud nejsou opravnými pochody – enzymy, tyto poškozené struktury obnoveny.

REAKTIVACE (OBNOVA) UV ZÁŘENÍM POŠKOZENÝCH BUNĚK

Reaktivace je proces obnovy poškozených buněk UV zářením, které se děje enzymy, ve tmě i za světla. Mechanismus obnovy poškozených buněk není univerzální. Některé mikroorganismy včetně virů nejsou schopny

obnovy poškozených buněk, jiné ano. Obnova virů je možná jen v hostitel-
ských buňkách, ve kterých viry parazitují, mimo buněčné prostředí nikoliv.
Reaktivace je realizována enzymy. Právě generace UV lamp, polychroma-
tické, středotlaké, postihují tyto enzymy, zodpovědné za obnovu poškoze-
ných struktur buňky.

VÝHODY DEZINFEKCE VODY UV ZÁŘENÍM

Jedná se o fyzikální proces dezinfekce:

- nevnašející žádné chemikálie do vody,
- neovlivňuje pach a chuť vody,
- nemění původní složení vody,
- nevznikají žádné vedlejší produkty dezinfekce, které vykazují nega-
tivní dopad na zdraví,
- účinek příliš nezávisí na chemismu a teplotě vody.

POTENCIÁLNÍ RIZIKA PŘI APLIKACI UV ZÁŘENÍ

1. vznik mutagenních látek (působí na genetické – dědičné struktury
buňky, vedoucí ke vzniku nádorů či rakoviny apod.),
2. produkce biodegradabilních sloučenin (snadno využitelných při výži-
vě mikroorganismů; původní, velké makromolekuly jsou pro mnoho
bakterií obtížně využitelné),
3. eventuelní vznik nežádoucích vedlejších produktů dezinfekce (za
určitých podmínek); tj. nejrůznějších látek, které nepříznivě ovlivňují
lidské zdraví.

1. vznik *mutagenní aktivity* – Amesovým testem nebyly prokázány mu-
tagenní fotoprodukty ani při dávce záření 10 000 J/m², požadavek na
použití UV záření k dezinfekci pitné vody je 400 J/m².
2. vznik *biodegradabilních sloučenin* – nebyl potvrzen, což bylo doku-
mentováno měřením zástupného ukazatele AOC (asimilovatelný =
buňkou vytvořený organický uhlík); nebo jejich koncentrace ve vodě
byla stejná, jako je za běžnými stupni úpravy pitné vody (např. ozon
s následným stupněm úpravy GAC – granulované aktivní uhlí).
3. vznik *vedlejších produktů dezinfekce* – při aplikaci UV záření co by
dezinfekce vody může docházet za určitých podmínek ke tvorbě dusi-
tanů a formaci formaldehydu. K tvorbě dusitanů z dusičnanů dochází
při použití zejména střednětlakých lamp proti nízkotlakým. Opatřením
je použití trubíc z křemenného skla, které blokují vlnové délky pod
220 nm, neboť zde je právě maximum citlivosti pro dusičnany; při
254 nm je citlivost již menší. Významná tvorba dusitanů přichází
v úvahu až při vysokých dávkách UV záření (10 000 J/m² a vyšších).

Formace formaldehydu přichází v úvahu u povrchových nebo podzemních
vod s obsahem huminových látek. Ty by však měla běžná úprava vody eli-
minovat.

FAKTORY, OMEZUJÍCÍ ÚČINNOST UV ZÁŘENÍ A JEJICH ELIMINACE

Účinnost UV záření při použití ve vodním prostředí není podstatně ovlivně-
na teplotou, hodnotou pH (reakce vody), alkalitou (suma zásaditých slou-
čenin) a hodnotou TOC (celkový organický uhlík) ve vodě. V rozpětí teplot
0 až 10 °C se snižuje efekt o 10 %, omezení účinku může způsobit též bar-
va a zákal vody. Proto je doporučena hodnota zákalu vody před použitím
UV záření k dezinfekci pitné vody.

Podle Světové zdravotnické organizace (WHO) se doporučuje pro fi-
nální chemickou dezinfekci pitné vody hodnota zákalu pro jednotlivé
vzorky ≤ 5 NTU a medián hodnot zákalu ≤ 1 NTU (nefelometrická jed-
notka zákalu).

Rozpuštěná či suspendovaná hmota (ve vodě rozptýlená pevná hmota)
snižuje intenzitu UV záření a chrání mikroby před jeho působením
(stíněním). Tuto hmotu je třeba před konečnou dezinfekcí odstranit při
úpravě vody. Řada minerálních a dalších složek vody absorbuje UV zá-
ření, např. železo v koncentraci > 0,1 mg/l, selen > 0,2 mg/l, tvrdost
vody > 140 mg/l, fenoly, huminové kyseliny, fenolické látky, ligninsulfo-
nany, chrom, kobalt, měď, nikl, dusitanů a dusičnanů (hlavně pro vlnové
délky < 220 nm). Jejich odstranění je otázkou výběru zdroje pro úpravu
vody či samotné úpravy vody před finální dezinfekcí.

Dále agregace (shlukování) mikroorganismů představuje běžný jev, snižu-
jící účinnost jakéhokoliv dezinfekčního postupu, jak chemického tak fyzi-
kálního, tedy i UV záření. Usazování povlaků (minerální či organické pova-
hy) na trubicích rovněž snižuje účinnost UV lamp. Proto je třeba tyto povla-
ky periodicky odstraňovat mechanickou cestou, obvykle automaticky stíra-
cím zařízením z povrchu trubíc. Tvorbu těchto povlaků může způsobit/
podpořit neúčinná úprava surové vody.

Na účinnost UV záření mají pochopitelně též vliv technické parametry
daného UV zařízení a jeho nastavení k provozním účelům, např. nastave-
ní dávky UV záření, doba zdržení vody v kontaktoru (komora kde na
protékající vodu působí UV záření), průtokové množství vody, kvalita
vody před finální dezinfekcí – ta může kolísat mj. i vlivem klimatických
faktorů. Vliv má též technické zajištění pro řízení k udržování minimální
intenzity záření, testování senzorů, sumarizace provozních hodin UV
lamp (které indikují jejich případnou sníženou účinnost vlivem stárnu-
tí/provozu) apod.

LIMITY PRO POUŽITÍ UV ZÁŘENÍ K DEZINFEKCI PITNÉ VODY

Vyhláška MZ ČR č. 409/2005 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky
přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody v §14 (vodáren-
ské technologie), odst. (3) uvádí, že pro úpravu vody lze použít technolo-
gické postupy a pod bodem n) pak stanoví požadavky ozařování ultrafialo-
vým zářením – o vlnové délce 250 až 270 nm a minimální dávce 400 J/m²
v celém objemu vody s tím, že 85 % radiačního výkonu musí být při vlnové
délce 253,7 nm (monochromatické nízkotlaké lampy), nebo o vlnové délce
v rozmezí 200 až 400 nm a minimální dávce 400 J/m² (polychromatické
středotlaké lampy).

BIOINDIKACE ÚČINKU UV ZAŘÍZENÍ PRO DEZINFEKCI PITNÉ VODY

UV zařízení pro použití dezinfekce vody ve vodárnách musí být testována
k ověření, zda jsou při jejich funkci dodrženy parametry pro účinnou dez-
infekci pitné vody. V SRN např. platí dokument DVGW – standard W 294 [3],
v Rakousku norma ÖNORM M 5873–1,2 [4]. V praxi se používají biologic-
ké indikátory (spory *Bacillus subtilis*, MS-2 fág), které slouží k ověření
účinnosti dezinfekce daného UV zařízení.

ODOLNOST MIKROORGANISMŮ K UV ZÁŘENÍ

Obecná rezistence mikroorganismů vůči UV záření je obdobná, jako
v případě chemických dezinfekčních prostředků s určitou odlišností.
Rozdíl mezi citlivostí vegetativních buněk bakterií a spor (trvalá, vysoce
odolná stadia bakterií) není tak velký, jako v případě chemických pro-
středků.

Obecná rezistence mikroorganismů vůči UV

Bakterie < viry < spóry bakterií < cysty prvoků

Tab. 1 Dávka v mW.s/cm² (= mJ/cm²) potřebná pro redukci mikrobu o 4 logaritmické řády (orientační údaje)

bakterie (buňky)	do 40
spóry bakterií	až 222
enteroviry	do 40
hepatitis A virus	20
rotavirus	49
MS2 fág	93
adenonovirus	197
améby (cysty)	100
prvoci Giardia	120 až 180
Cryptosporidium parvum	až 660

MOŽNOSTI POUŽITÍ UV ZÁŘENÍ PŘI DEZINFEKCI VODY

Možnosti použití UV záření k dezinfekci vody jsou poměrně široké. Při výrobě pitné vody se dnes používá UV záření k její dezinfekci jak v případě vody podzemní, tak i v případě břehové infiltrace či vod povrchových (jezera). Dále je možno použít UV záření v nejrůznějších zařízeních na úpravu pitné vody v místě spotřeby (filtry kombinované s UV lampou), pro kontrolu rozvoje legionel v rozvodu teplé vody, pro redukci počtů mikrobu s následnou možností tvorby aerosolu v různých lékařských přístrojích (dentální jednotky aj.) a dalších aplikacích, jako je dezinfekce splaškových vod, odstraňování ozónu nebo řady organických sloučenin z vody.

Poznámka recenzenta:

Z uváděných možností pro potenciální uživatele (projektanty i provoz) by snad byla vhodná detailnější informace o použití této technologie u splaškových vod, a to vzhledem ke zde uváděným obecným požadavkům na parametry vody na vstupu pro dezinfekci do technologického zařízení.

Tento článek představuje upravenou a zkrácenou verzi článku, který je k dispozici pod stejným jménem na internetových stránkách www.szu.cz/voda v sekci Pitná voda.

Kontakt na autora: sasek@szu.cz

Použité zdroje:

- [1] US EPA, Ultraviolet Light Disinfection technology In Drinking Water Application – An Overview. EPA 811-R-96-002, Sept. 1996
- [2] US EPA, Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual, EPA 815-R-99-014, April 1999
- [3] DVGW Arbeitsblatt W 294, UV – Desinfektionsanagen für die Trinkwasserversorgung – Anforderungen und Prüfung, Bonn, 1994
- [4] ÖNORM M 5873-1,2, Zařízení pro dezinfekci pitné vody UV zářením. ■

Trox s novým filtračním materiálem

Pro kapsové filtry navrhla firma Trox GmbH, Neukirchen-Vluyn, nový vícevrstvý filtrační materiál s vlnitou vrstvou z velmi jemných vláken. Podle firmy dosahují filtry s materiálem NanoWave (o němž nebyly uvedeny bližší podrobnosti) delší životnosti a nižší počáteční ztráty tlaku ve srovnání s dosud užívanými materiály. Nové filtry ze syntetických vláken pracují bez elektrostatických efektů a splňují nově zaváděnou zkušební normu na filtry EN 779. Díky svým hygienickým vlastnostem mohou být použity i v zařízeních pro filtraci citlivých médií. Filtry mají vysokou tuhost danou svým trapézovým přístřihem a nemění svůj tvar ani po delší době mimo provoz.

Pramen: CCI 03/2012

(AB)

Vytápění, větrání, instalace 1/2013



VĚTRACÍ JEDNOTKY OBČANSKÉ A PRŮMYSLOVÉ STAVBY

Vysoká účinnost, malá hmotnost
a rozměry, vysoká variabilita



DUPLEX-S



DUPLEX-N

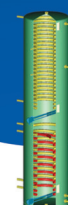


SYSTÉMY VĚTRÁNÍ RODINNÉ DOMY, BYTY A BAZÉNY

Kompletní řešení pro nízkoenergetické
a pasivní objekty



DUPLEX-R



IZT



Tepelná čerpadla



VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE velko KUCHYŇ

Větrací a osvětlovací stropy
a digestoře

Digestoře

SKV, TPV

www.atrea.cz