

Dezinfekce pitné vody UV zářením

Regina Sommer, Alexander Cabaj a Georg Hirschmann

Klinický institut hygieny university Vídeň

Institut lékařské fyziky a biostatistiky veterinárně lékařské university Vídeň

Rakouské výzkumné středisko ARSENAL RESEARCH

1 Princip

Jestliže jsou mikroorganismy (bakterie, viry, parazity) vystaveny ultrafialovému záření (dále UV), dochází k absorpci jeho fotonů, čímž je vyvolána fotochemická reakce. Hlavní buněčnou složku, kterou UV záření narušuje, jsou nukleové kyseliny. V případě použití vhodného rozsahu vlnových délek a dostatečně vysoké dávky UV záření (fluence) dochází k poškození mikroorganismů, které vede k jejich inaktivaci, tj. ke ztrátě jejich schopnosti rozmnožování (reproduktivní smrt buněk). Inaktivované mikroorganismy pak pro člověka nepředstavují žádné nebezpečí infekce.

Rozsah vlnových délek od 240 do 280 nm vykazuje vysoký mikrobicidní účinek. Na základě dlouholetých zkoušek byla pro dezinfekci pitné vody stanovena dávka (fluence) UV záření (vztaženo na vlnovou délku $\lambda=254\text{nm}$) minimálně 400 J/m^2 . Při použití této dávky UV se podle nynějšího stavu znalostí dosáhne redukce mikroorganismů důležitých pro vodu o 4 log stupně (99,99%) a rovněž se zničí případné opravné systémy bakterií.

2 Použití v praxi

Přibližně od roku 1950 se UV záření používá k dezinfekci pitné vody, zejména v Rakousku, Švýcarsku a Norsku. V Rakousku je už v provozu několik tisíc zařízení.

Jako vhodné zdroje UV záření se osvědčily nízkotlaké rtuťové výbojky, v jejichž emisním spektru je dominantní vlnová délka 254 nm. V případě velkých průtoků ($>1000\text{ m}^3/\text{h}$) byly v posledních letech silněji propagovány středotlaké rtuťové výbojky, v jejichž emisním spektru se nacházejí vlnové délky 200 – 400 nm v přibližně rovnoměrném zastoupení. V současné době však tyto zářiče nejsou v Rakousku pro dezinfekci pitné vody povoleny. V dalším textu se budeme zabývat především dezinfekcí s nízkotlakými zářiči.

Výhody UV dezinfekce vody

- nevyžaduje dávkování chemikálií
- velmi krátká reakční doba (zlomky sekund), tzn. že není zapotřebí žádná reakční nádoba
- při správném použití nedochází k žádným změnám ve složení vody
- mikrobicidní účinek není na rozdíl od chemických dezinfekčních postupů závislý ani na hodnotě pH, ani na teplotě

- podle nynějšího stavu znalostí, narozdíl od chemických metod dezinfekce, je dosahováno lepšího účinku proti rezistentním formám parazitů (například oocysty kryptosporidií)

Nevýhody dezinfekce vody pomocí UV

- na rozdíl od chemických metod dezinfekce (chlor, ozon) není během praktického použití možné žádné přímé měření dávky UV
- působení je pouze v místě ozáření, není zajištěn trvalý účinek například ve vodovodním systému

Všeobecné předpoklady dezinfekce vody

- ze současných schválených dezinfekčních metod (chlorování, ozonování, dezinfekce UV) není žádná univerzálně použitelná pro všechny provozní podmínky
- volba metody musí odpovídat individuálním požadavkům
- dezinfekce musí vždy probíhat jako poslední stupeň úpravy vody .
- voda nesmí mít zákal, aby se docílil příslušný mikrobicidní účinek a tím spolehlivá dezinfekce (to platí pro všechny metody, zejména však pro dezinfekci UV)

3 Požadavky a standardy

V roce 1996 byla předběžnou normou **Ö – Norm M 5873** „Zařízení pro dezinfekci pitné vody pomocí UV záření“ zavedena zcela nová koncepce zkoušení a dohledu UV zařízení. V současné době se tato předběžná norma přepracovává a v brzké době bude nahrazena normou standardní. Tato reguluje požadavek a zkoušení UV zařízení s nízkotlakými rtuťovými lampami (díl 1), které jsou nyní v Rakousku schváleny jako jediné zdroje záření pro dezinfekci pitné vody. Požadavky na UV zařízení, která jsou vybavena středotlakými rtuťovými lampami jsou nyní zpracovávány pracovní skupinou
Ö – Norm.

Zajištění kvality a standardizace těchto zařízení byly nutné, protože kritikové UV dezinfekce právem namítali následující fakta a poukazovali na ně jako na nedostatky bezpečnosti :

- žádné přesné určení dávky UV záření, která se má použít pro dostatečnou dezinfekci vody
- nemožnost měření okamžité hodnoty dávky UV záření přímo v praktickém provozu
- absence objektivního srovnání UV zařízení různých typů, resp. od různých výrobců
- žádná objektivní kritéria pro dimenzování a rozměry zařízení UV

Norma byla vypracována za mezinárodní účasti (Rakousko, Německo, Švýcarsko, Holandsko, Kanada) takže bude publikována jak v německém tak i anglickém jazyce. V současné době představuje jedinou národní normu v Evropě pro UV zařízení k dezinfekci pitné vody.

Zájem o dezinfekci pitné vody pomocí UV záření v posledních dvou letech značně vzrostl, zejména v anglo-americké oblasti, protože vědecké výzkumy ukázaly, že UV záření je zvláště účinné při inaktivaci parazitů relevantních z hlediska hygieny vody (například kryptosporidia), kteří jsou velmi rezistentní vůči chemickým způsobům dezinfekce (chlor, ozon). Vzhledem k těmto novým poznatkům je nyní dezinfekce pitné vody pomocí UV diskutována také ve státech, kde dosud nebyla schválena. Na rozdíl od těchto zemí má Rakousko, vedle Švýcarska a Norska již 50 let praktických zkušeností a první národní normu z roku 1983. Dalším krokem má být etablování mezinárodních standardů pro UV zařízení.

V následujícím textu vysvětlíme pojmy, které jsou pro provozovatele, projektanty a výrobce UV zařízení nejdůležitější a dále uvedeme hygienické a technické požadavky.

DEZINFEKČNÍ VÝKON

Veličinou, která je pro dezinfekční výkon směrodatná, je **dávka** (= fluence), která se udává v J/m^2 (dřívější jednotka mJ/cm^2). UV lampa emituje přes ochrannou křemennou trubici, která je součástí těchto zařízení, minimálně 85% záření o vlnové délce 254 nm.

Na základě vědeckých výzkumů o citlivosti choroboplodných zárodků na UV, které jsou relevantní pro hygienu vody, byla v roce 1993 v rakouské příručce o potravinách v kapitole B1 „Pitná voda“ stanovena pro UV dezinfekci pitné vody **Mikrobicidní minimální dávka 400 J/m^2 (vztaženo na vlnovou délku 254 nm)** (40 mJ/cm^2). Při této dávce se podle současného stavu vědomostí dosahuje redukce relevantních bakterií, virů a prvoků, které jsou významné z hlediska hygieny vody, minimálně o 4 stupně log (99,99%). Tato míra redukce je zapotřebí pro spolehlivou dezinfekci z hlediska šíření infekce.

Dezinfekční výkon je určován 3 faktory, které se během praktického použití musí kontrolovat :

Průtok vody : souvisí s dobou ozáření a nesmí překročit určitou přípustnou maximální hodnotu.

Propustnost (transmise) ozařované vody pro UV, %T₁₀₀: je to charakteristická veličina pro kvalitu vody (ve vztahu k dezinfekci UV) a je vztažena na 100 mm silnou vrstvu vody. Měří se buď spektrálním fotometrem v optické křemenné kyvetě o minimální tloušťce vrstvy 40 mm a nebo on-line v průtokovém analyzátoru.

Referenční intenzita ozáření, [W/m²]: je to intenzita ozáření (vlnová délka 253,7 nm), která se měří v ozařovací komoře standardizovaným UV senzorem na standardizovaném měřicím okně. Tato veličina je ovlivňována výkonem a stářím zářiče, případnou tvorbou usazenin na křemenné trubici zářiče a propustností ozařované vody. Pro kontrolu správné funkce senzoru zařízení může být tento senzor za běžného provozu nahrazen cejchovaným/kalibrovaným referenčním senzorem a může se provádět srovnávací měření. Příпустné odchylky obou naměřených hodnot jsou uváděny na certifikovaných datových listech zařízení. Pro měření musí být UV zařízení vybaveno překlenovacím modem, který umožňuje, aby se senzor zařízení mohl na určitou definovanou dobu demontovat, aniž by bylo UV zařízení vypnuto poruchovým signálem.

Dezinfekční výkon je určován dalším parametrem, který však představuje výrobní vlastnost UV zařízení a nedá se řídit: Jsou to hydraulické podmínky v ozařovací komoře. Ty ovlivňují dobu a intenzitu ozáření, které působí na jednotlivé objemové elementy v celkovém proudu vody, a vedou k rozdělení dávky. To znamená, že některé objemové elementy při průchodu zařízením UV mohou dostat velmi vysokou dávku UV, jiné objemové díly však mohou dostat příliš nízkou dávku UV, která vede k nedostatečnému dezinfekčnímu účinku. Zde mají výrobci zařízení možnosti optimalizovat svá UV zařízení, aby se docílil co nejlepší poměr mezi přiváděnou energií resp. materiálem, a výsledným dezinfekčním výkonem.

Vzhledem k hydraulickým podmínkám se dávka UV a tím i dezinfekční výkon nedá určit s dostatečnou spolehlivostí přímo z doby a intenzity ozáření, a nebo pomocí teoretických matematických modelů. Jedinou možností stanovení dezinfekčního výkonu je biosimetrie, která se provádí během typové zkoušky podle Ö – Normy.

ZKOUŠENÍ DEZINFEKČNÍHO VÝKONU ZAŘÍZENÍ UV (typová zkouška)

Rutinní bakteriologické testy (*Escherichia Coli*, enterokoky) se dobře hodí pro posuzování hygienické kvality neupravené pitné vody z hlediska šíření infekce. Tyto bakterie jsou však vůči dezinfekčním opatřením příliš citlivé než aby se dalo provést přímé posouzení inaktivace choroboplodných zárodků přenášených vodou. Proto zavedla Ö – Norma M 5873 standardizovanou zkoušku účinnosti UV zařízení, na základě prozkoušení jednotlivých typů sériového výrobku, jednotlivých vyhotovení anebo zkoušení výrobních řad. Při těchto testech se určují provozní parametry, které se musí dodržet, a přípustný rozsah provozu při kterém se docílí dostatečný dezinfekční výkon zařízení UV (tj. mikrobicidní UV dávka alespoň 400 J/m²)

Základ biosimetrického testování jednotlivých zařízení UV spočívá v použití testovacího organismu, jehož citlivost na UV je známá laboratorním měřením (**Biosimetr**)

Jako vhodný biosimetr se při našich zkouškách ukázaly spory bakterií (*Bacillus Subtilis*) Tato metoda měření je popsána v příslušné Ö – Normě. Při testování se biosimetr přičerpává do testovací vody a po zajištění rovnoměrného rozptýlení spor v celém objemu se za různých provozních podmínek uváděných výrobcem (variací průtoku, propustnosti a intenzity zářiče) voda ozařuje.

Vyhodnocení se provádí stanovením koncentrace biosimetru ve vzorcích odebraných před a za UV reaktorem, a následným stanovením výsledných redukcí. Pomocí laboratorně zjištěné kalibrační křivky pak lze naměřené redukci přiřadit odpovídající redukčně ekvivalentní dávku (J/m^2) REF-Reduktionäquivalente Fluenz.

Typová zkouška se člení na všeobecnou a technickou zkoušku měření proudění, na fyzikální zkoušku záření a na dílčí mikrobiologicko – biosimetrickou zkoušku. Zařízení, která odpovídají těmto požadavkům, pak mohou získat certifikát OVGW pro UV – dezinfekční zařízení.

Aby bylo možno provádět tyto typové zkoušky, došlo ke kooperaci mezi rakouským výzkumným střediskem ARSENAL RESEARCH, institutem pro lékařskou fyziku a biostatistiku Veterinárně-lékařské University Vídeň a klinickým Institutem hygieny University Vídeň. Výsledkem bylo zřízení zkušebny pro testování UV zařízení. Od roku 1996 bylo vyzkoušeno přes 30 komerčních UV zařízení od výrobců z Rakouska, Německa, Švýcarska a Holandska při průtocích od $1\text{ m}^3/\text{hod.}$ až do $500\text{ m}^3/\text{hod.}$

DIMENZOVÁNÍ, ROZMĚRY A KONTROLA UV ZAŘÍZENÍ

Stanovení závislostí na 3 provozních parametrech (průtok a propustnost UV ozařované vody jakož i referenční intenzita záření), které jsou při typové zkoušce zjišťovány, slouží jak pro výběr vhodného UV zařízení pro daný případ, tak i ke kontrole UV dezinfekce v probíhajícím provozu.

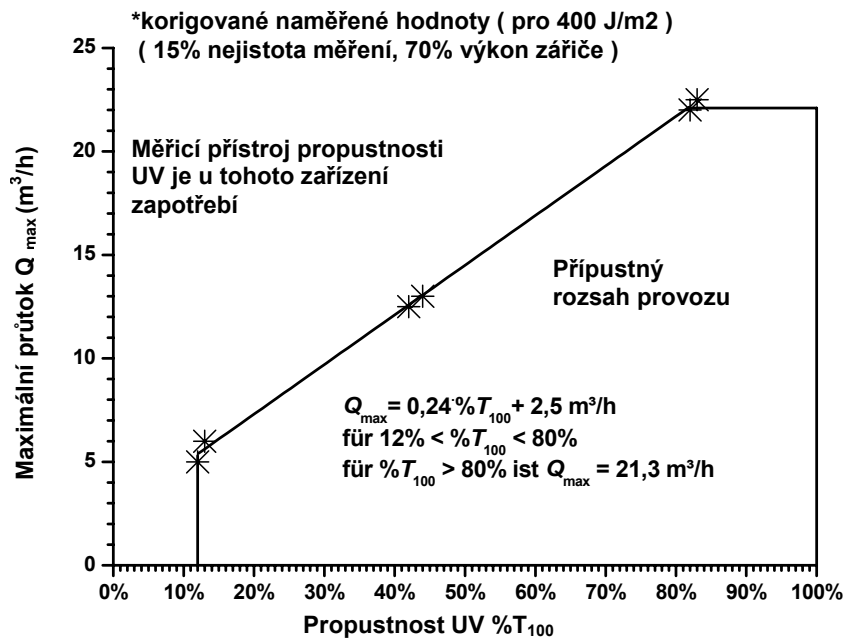
Při výběru UV pro praktické použití je potřeba znát následující parametry s přihlédnutím na jejich možné kolísání v průběhu roku:

- *teplota vody* a přípustný rozsah teplot v okolí UV reaktoru (důležité pro výkon zářiče)
- *minimální propustnost UV* jako charakteristická veličina kvality vody
- *maximální průtok vody*, který se má dezinfikovat, [m^3/h].

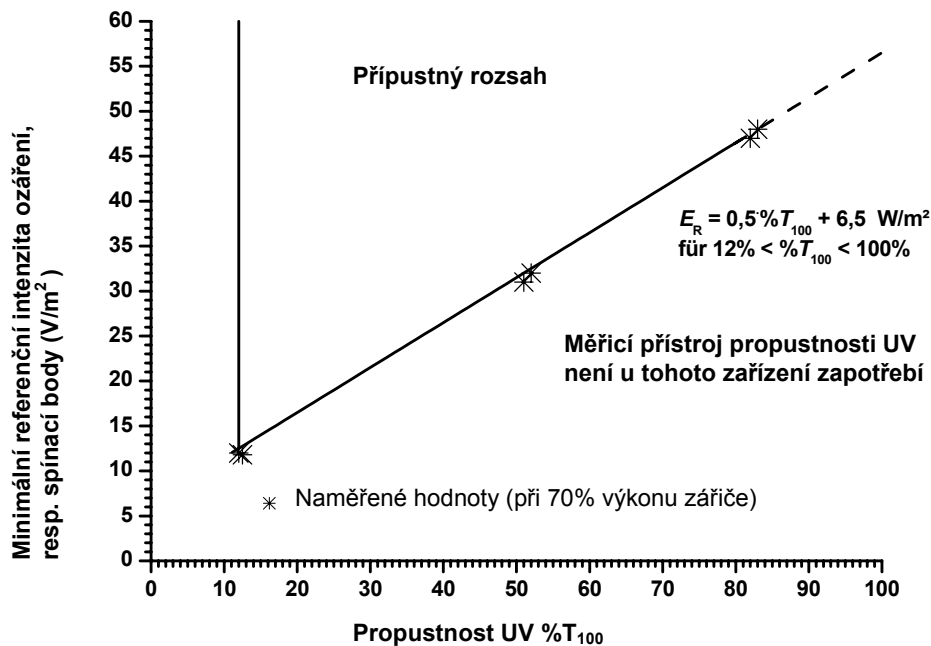
S těmito údaji se porovnávají vlastnosti zařízení UV, které byly zjištěny při typové zkoušce jako přípustný provozní rozsah (viz obr.1). Tento postup nyní poprvé umožňuje objektivně hodnotit a srovnat různé nabídky.

Kontrola zařízení UV se provádí sledováním tří provozních parametrů, které charakterizují přípustný rozsah provozu:

- **průtok vody**
- **propustnost ozařované vody pro UV**
- **referenční intenzita ozáření**



Obr.1 Znázornění přípustného provozního rozsahu vycházejícího ze závislosti maximálního průtoku na propustnosti, **Ö-Norm M 5873-1**, metoda A, (příklad),



Obr.2 Znázornění přípustného provozního rozsahu vycházejícího ze závislosti minimální referenční intenzity ozáření na propustnosti, **Ö-Norm M 5873-1**, metoda B, (příklad)

Tabulka 1: Údaje výrobce, které musí být dány k dispozici uživateli

Výrobce zařízení, výrobek, typ zařízení
Typ zářiče, počet zářičů, životnost lamp v hodinách
Materiál a rozměry ozařovací komory
Montážní výkres s hlavními rozměry, údaje o tvaru a úpravě vstupní a výstupní trasy
Rozměry skříňového rozvaděče
Elektrické údaje (zářič, celé zařízení)
Přípustný rozsah teploty vody
Maximální provozní tlak, tlaková ztráta
Typ senzoru zařízení
Provozní návod s pokyny pro případ poruchy
Přípustný provozní rozsah zařízení UV ve formě grafu a tabulky (dle zjištění při typové zkoušce) a značka kvality OVGW

Tabulka 2 : Údaje pro provozní deník zařízení UV (výtah z Ö – Normy M 5873-1)

Datum instalace a uvedení zařízení do provozu
Jméno odpovědného pracovníka za zařízení a jeho zástupce
Pokud se neprovádí žádné zapisování dat indikačních hodnot senzoru zařízení (intenzita referenčního ozáření, W/m^2) průtoku a propustnosti vody na UV, musí se tyto hodnoty zapisovat (zpravidla 3x týdně)
Datum a trvání vyřazení zařízení z provozu
Druh a datum provozních poruch, výpadků a poškození dílů zařízení
Doba odběru vzorků pro mikrobiologické vyšetření
Zapisování provozních hodin a počtu zapnutí (1 x týdně)
Zápisy o turnusové výměně zářiče a o čištění a údržbě
Zápisy o turnusovém kalibrování senzoru (jednou ročně)
Zápisy o nastalých závadách a jejich odstranění
Kontrola úředními orgány

Pro kontrolu se provádí srovnání s diagramy (obr.1 a obr.2) resp. s tabulkovými certifikovanými provozními parametry.

Tyto a další údaje musí výrobce zařízení dát k dispozici uživateli (tabulka 1).Dále musí výrobce na každém jednotlivém zařízení UV umístit typový štítek, ze kterého se odečítají provozní podmínky, které platí pro jednotlivá zařízení, aby se umožnila rychlá kontrola. Vzory těchto typových štítků jsou uvedeny v Ö – Normě M 5873 – 1 (2001)

V rámci zajištění kvality musí provozovatel zařízení vést provozní deník. Potřebné údaje jsou uvedeny v tabulce 2.

4 ZÁVĚR

Závěrem lze konstatovat :

- UV ozařování je vynikající metodou dezinfekce pitné vody
- podle standardů kvality a zkoušení, které jsou nyní k dispozici, se při používání UV dezinfekce dosahuje potřebná spolehlivost (Ö - Norm M 5873-1, 2001)
- protože žádná metoda dezinfekce (chlor, ozon, UV – záření) není universálně použitelná, musí se pro každou provozní situaci vypracovat individuální řešení.
- pro všechny metody dezinfekce platí, že indikátorové bakterie (E.Coli, enterokoky) rutinně testované při analýze vody jsou příliš citlivé na to, aby ukázaly, že budou inaktivovány také choroboplodné zárodky v potřebném rozsahu. Zajištění dostatečných podmínek dezinfekce se musí provádět pomocí provozních parametrů (koncentrace chloru nebo koncentrace ozonu a doba působení, intenzita referenčního ozáření UV, průtok vody, propustnost vody na UV.)

5 REFERENCE

Ö - NORM M 5873-1 (2001) : „Zařízení na dezinfekci vody pomocí ultrafialového záření“ Požadavky a zkoušení
Díl 1 : Zařízení s nízkotlakými rtuťovými zářiči

Zkušební směrnice OVGW, PW 806 (1996)

Korespondenční adresa:

Univ –Prof.Dr.Regina Sommer
Klinisches Institut für Hygiene der Universität Wien
Kinderspitalgasse 15
A – 1095 Wien
e-mail : regina.sommer@univie.ac.at