

Využitie UV žiarenia pre úpravu vody v zásobníkoch solárnych systémov

Katarína Verčimáková¹, Radim Rybár² a Peter Trojan

Utilization of UV radiation for water disinfection in solar system reservoirs

Water disinfection by ultraviolet radiation is a modern ecological method of pure water disinfection without using any chemical substances. This way of disinfection effectively kills undesirable microorganisms in water and at the same time do not change physical and chemical properties of water. Ultraviolet radiation that is needed for disinfection could be generated by various types of optoelectronic components. Use of one are special neon tubes modified for emitting UV radiation, halogen light bulbs which due to the silicon glass are able to produce much more UVR than classical light bulbs and LED sources, which are unable to generate sufficient level of UVR and therefore they are inappropriate.

Key words: water disinfection, UV radiation, Legionella pneumophila, sewerage plant

Úvod

Teplá voda má vlastnosti pitnej vody a z toho dôvodu sú na ňu kladené prísne požiadavky, ktoré musí spĺňať ako pitná voda s výnimkou teploty. Legislatíva v oblasti hygieny vody zaznamenala výrazné zmeny a neustále sprisňuje ukazovatele pre kvalitu vody a ochranu zdravia, čo sa odzrkadľuje v celom novom navrhovaní vodovodných systémov, regulácií, dezinfekcií, voľby potrubí, jednotlivých zariadení a armatúr z hľadiska ich funkcie i materiálového riešenia, požiadaviek na monitoring a prevádzku. Zároveň je v tomto smere oveľa výraznejšia činnosť hygienikov a tiež práva spotrebiteľov a povinnosti dodávateľov vody.

Jedným zo spôsobov prípravy teplej vody je využitie solárnych systémov. Charakter prevádzky týchto zariadení na jednej strane nie vždy umožňuje konvenčnú termodezinfekciu, alebo je táto neekonomická. Z tohto dôvodu sa javí ako racionálne hľadanie iného plne korelujúceho spôsobu dezinfekcie, pri zachovaní nenáročnosti konštrukcie a ekonomiky prevádzky systému.

Požiadavky kladené na teplú vodu

Kvalita pitnej vody je od roku 2006 sledovaná a vyhodnocovaná na základe platného Nariadenia vlády SR č. 354/2006 Z.z. o požiadavkách na vodu určenú na ľudskú spotrebu a kontrolu kvality tejto vody. Toto nariadenie rozlišuje viacero limitných hodnôt ukazovateľov kvality vody, a to podľa ich príslušného zdravotného významu.

Zákon NR SR 126/2006 Z.z., o verejnom zdravotníctve a o zmene a doplnení niektorých zákonov, platný od júna 2006, prináša rad zmien.

Hodnotenie kvality vody sa posudzuje z hľadiska fyzikálneho, chemického, rádiobiologického, mikrobiologického a biologického.

Najdôležitejšie je hľadisko zdravotnej nezávadnosti, podľa ktorého voda nesmie obsahovať také organizmy alebo také koncentrácie látok, ktoré by mohli pri dlhodobom používaní mať nepriaznivý vplyv na zdravie človeka, alebo, ktoré indikujú možnosť takéhoto vplyvu [3].

V podmienkach SR platí pre teplú vodu STN 83 0616, podľa ktorej bakteriologické a biologické ukazovatele kvality teplej vody musia zodpovedať kritériám pre pitnú vodu, čiže v žiadnom prípade nesmú byť v teplej vode prítomné choroboplodné zárodky.

Hlavné zdravotné riziko z teplej vody predstavujú patogénne a podmienené patogénne baktérie schopné rozmnožovať sa v teplej vode [3].

Legionella pneumophila

Zvláštne postavenie medzi patogénnymi mikroorganizmami v teplej vode má Legionella pneumophila. Môže byť pôvodcom smrteľného ochorenia človeka, hlavne pacientov so zníženou imunitou, tzv. legionelózy.

Tieto patogénne baktérie dosahujú priemer 0,2 až 0,7 µm a vo vode sa pohybujú prostredníctvom dvoch a viac bičíkov. V suchom prostredí nie sú životaschopné. Ak sa dostanú do žalúdka, neprejavujú sa.

¹ Ing. Katarína Verčimáková, TU v Košiciach, F BERG, Ústav geoturizmu Némcevej 32, Košice, katarina.vercimakova@tuke.sk

² Ing. Radim Rybár, PhD., Ing. Trojan Peter, TU v Košiciach, F BERG, Pracovisko obnoviteľných zdrojov energie, Ústav podnikania a managementu, radim.rybar@tuke.sk, peter.trojan@tuke.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 1. 11. 2008)

Nebezpečné sú v pľúcach, z čoho vyplýva, že ochorenie vzniká skoro vždy inhalačnou cestou, interhumánny prenos nebol dokázaný [1].

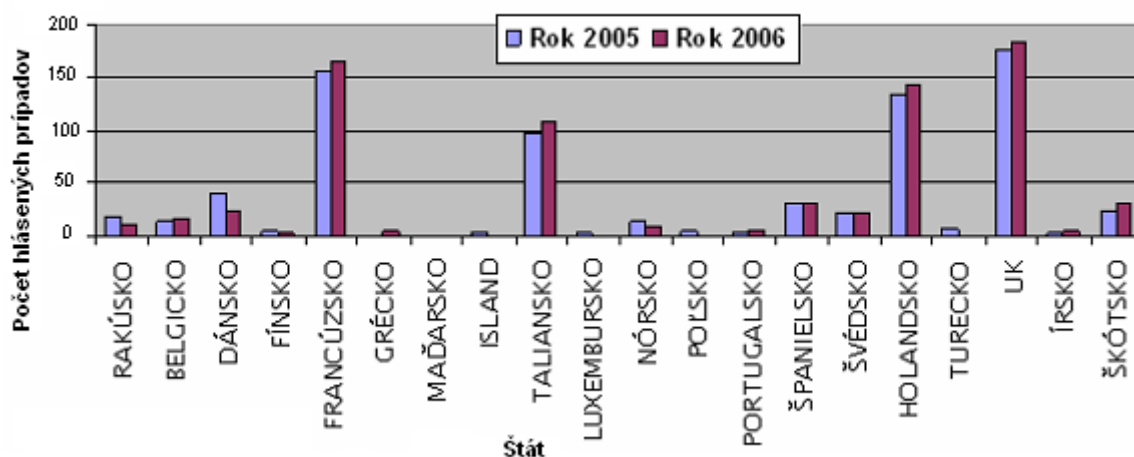
Teplotné rozpätie 20 – 45 °C vytvára ideálne podmienky pre rast a rozmnožovanie legionel, pri 50 °C prestávajú rásť, pri teplotách nad 60 °C pomaly hynú a pri teplotách nad 70 °C hynú veľmi rýchlo.

Množenie a kontamináciu legionel v distribučnej vodnej sieti podporuje okrem už spomínanej teploty aj napr.:

- nízky tlak vody,
- stagnujúce a málo prietochné úseky vodovodnej siete,
- nevyregulovaný systém rozvodu TV (zlé prenikanie dezinfekčného prostriedku do všetkých priestorov systému, málo prietochné úseky siete...),
- nízka teplota výtokových miest,
- nedostatočná údržba, ošetrovanie rozvodov (odkaľovanie, preplach siete, odstraňovanie inkrustu, korózie potrubia, rozvoj biofilmu),
- armatúry ťažko prístupné pre eradikačné zásahy, pravidelne kontaminované,
- akumulácia organickej hmoty a mikroorganizmov (zásobníky, ohrievače, slepé ramená),
- a iné[5].

Monitorovanie

Legionárska choroba podlieha ohlasovacej povinnosti vo všetkých členských štátoch Európskej únie. Napriek tomu sa odhaduje, že je hlásených menej ako 5 % všetkých prípadov výskytu tohoto ochorenia [11].



Graf. 1. Počet hlásených prípadov legionelóz v niektorých štátoch za rok 2005 a 2006.
Graph. 1. Number of legionary's cases in some states per year 2005 and 2006.

V roku 2006 boli na Slovensku hlásené 4 ochorenia, čo je o 3 ochorenia viac ako v roku 2005. Ochorenia vykázali:

- okres Nitra, u 35-ročného invalidného dôchodcu, u ktorého nevedia zistiť pôvod ochorenia,
- okres Vranov nad Topľou, u 35-ročného muža, ktorý v epidemiologickej anamnéze ochorenia mal udaný kontakt s pôdou pri práci v sade v blízkosti stajní,
- okres Bratislava III. , u 56-ročného muža, ochorenie ktorého bolo dovlečené z Egypta (pacient udával pobyt v hoteli so vzduchotechnikou),
- okres Trenčín, jednej dospelšej osoby, ktorá má v epidemiologickej anamnéze uvedený pobyt v Rakúskych hoteloch [10].

Úprava vody

Zdravotná nezávadnosť vody sa dosahuje jej hygienickým zabezpečením – dezinfekciou. Zdravotné zabezpečenie vody predstavuje technologický proces úpravy vody, pri ktorom sa odstraňujú choroboplodné zárodky, čím sa splnia bakteriologické a biologické požiadavky NV SR č. 354/2006 Z.z. Dezinfekcia je

proces, pri ktorom nastáva usmrtenie nežiaducich organizmov (baktérií, vírusov), čím voda stráca možnosť prenášania infekcií [2].

Dezinfekciu vody je možné vykonávať týmito metódami:

1. fyzikálne – chemickými:
 - o anódové oxidácie,
 - o elektrolyza,
2. chemickými:
 - o oxidačné zlúčeniny,
 - o oligodynamické účinky niektorých kovov (Ag,Cu),
3. fyzikálnymi:
 - o dezinfekcia teplotou,
 - o dezinfekcia ultrafialovým žiarením (UV žiarenie),
 - o ultrazvukom [4].

Chemický spôsob dezinfekcie

Najviac používanými metódami dezinfekcie sú chemické, ktoré sú založené na princípe oxidácie. Chemická dezinfekcia využíva špecifický účinok chemických látok na mikroorganizmy v závislosti od času – expozície a koncentrácie chemickej látky.

Pre oxidáciu sa používajú bróm, jód, ozón, peroxid vodíka, chlór a jeho zlúčeniny. Oxidačný potenciál uvedených prostriedkov pri porovnaní oxidačnej schopnosti k Cl_2 a ich relatívnu dezinfekčnú účinnosť dokumentuje nasledujúca Tab. 1 [4]:

Tab. 1. Tabuľka oxidačného potenciálu a dezinfekčnej účinnosti.
Tab. 1. Table of oxidative potential and desinfection activity.

Činidlo	Oxidačný potenciál pri 25 °C	Oxidačná schopnosť v porovnaní s Cl_2	Dezinfekčná účinnosť	Možnosť vzniku halogénov
Cl_2	1,36	1	Vysoká	Veľká
ClO_2	1,275	0,94	Vysoká	Malá
NH_2Cl	1,16	0,85	Nízka	Malá
KMnO_4	1,49	1,1	Nízka	Žiadna
H_2O_2	1,77	1,3	Nízka	Žiadna
J_2	0,99	0,73	Vysoká	Malá
Br_2	1,33	0,98	Vysoká	Veľká

Chlór a jeho zlúčeniny sú v súčasnosti najpoužívanejšie a najlacnejšie dezinfekčné prostriedky. Chlór je dobre rozpustný vo vode a spoľahlivo dezinfikuje v kyslej aj neutrálnej oblasti pH. Vo vodách podlieha hydrolyze za vzniku kyseliny chlórovej, ktorá je nestála a uvoľňuje aktívny atómový kyslík, ktorý dezinfikuje vodu tým, že napáda protoplazmu bakteriálnych buniek a tým usmrcuje mikroorganizmy. Množstvo chlóru potrebného na dezinfekciu závisí od vlastností vody, najmä od teploty, hodnoty pH, obsahu organických látok, bakteriologického znečistenia vody [7].

Dezinfekcia ultrafialovým žiarením

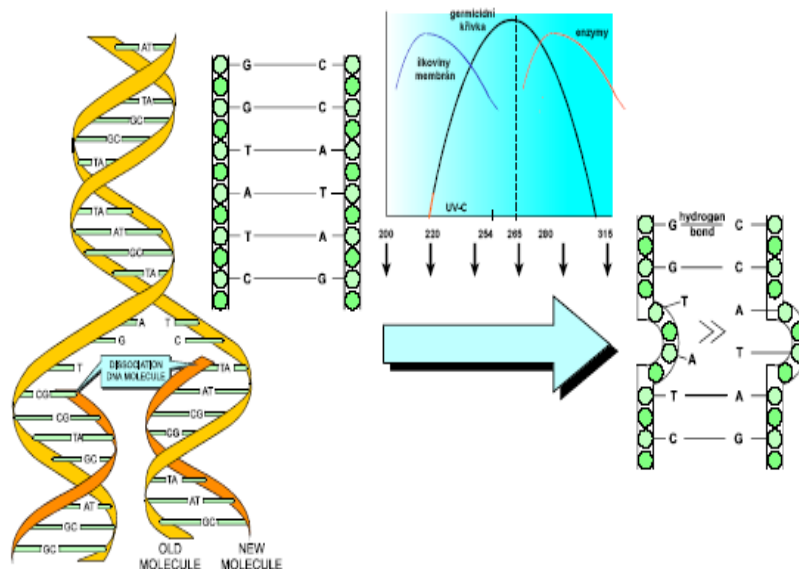
Dezinfekcia ultrafialovým žiarením patrí medzi fyzikálne metódy, pri ktorej je usmrcovanie baktérií spôsobované UV žiarením vo vlnovej dĺžke v rozsahu 250 – 280 nm. UV žiarenie sa najčastejšie získava ortuťovými výbojkami rôznych konštrukcií a účinnosti. Potrebný reakčný čas dezinfekcie je do 10 sek.

Účinok UV žiarenia na mikroorganizmy je iný ako v prípade chemickej dezinfekcie, ktorá poškodzuje ireverzibilne jadrovú hmotu, protoplazmu, enzýmy, bunkovú blanu. Germicidný efekt UV žiarenia spočíva vo fotochemickom poškodení RNA, DNA, eventuálne i proteínov, enzýmov či iných biologicky významných makromolekúl [11].

Podstatou dezinfekcie UV žiarením je fotochemická zmena deoxyribonukleovej kyseliny DNA pri maxime 260-265 nm, ktorá spôsobuje:

- denaturáciu bielkovín, zmenami deoxyribonukleovej kyseliny, ktorá selektívne absorbuje tieto vlnové dĺžky,
- ovplyvnenie membránových transportných systémov,

- vznik mutácií, chromozómových a morfológických zmien,
- tľmenie rastu tkanivových kultúr,
- inaktiváciu bielkovín,
- zvýšenie oxidačno – redukčného potenciálu,
- inaktiváciu reprodukcie mikroorganizmov (inhibícia replikácie DNA) alebo ich usmrtenie[9].



Obr. 1. Princíp dezinfekcie UV žiarením : fotochemická zmena DNA [9].
 Fig. 1. Principle of disinfection for UV radiation : photochemical variation of DNA [9].

Obr. 1 [9] popisuje základný princíp dezinfekcie UV žiarením. Výhodou tohto typu dezinfekcie oproti chemickým prostriedkom (napr. chlóru alebo ozónu) je:

- spoľahlivosť dezinfekcie,
- prakticky žiadna tvorba vedľajších produktov dezinfekcie, ako napr. THM (trihalogénmetánov) v prípade chlóru,
- ľahká inštalácia a údržba,
- „čistá“ technológia,
- efektívne a spoľahlivé ovládanie,
- presná kontrola požadovanej účinnosti,
- šetrnosť k životnému prostrediu,
- nespôsobuje koróziu,
- spoľahlivý účinok tak v studených aj teplých vodách
- ľahkosť a bezpečnosť prevádzky UV žiarenia,
- nenastávajú zmeny vo fyzikálnych i chemických vlastnostiach vody,
- netvorí vedľajšie produkty dezinfekcie.

Možný vznik vedľajších produktov je obmedzený na špecifické prípady a je vo väčšine prípadov zanedbateľný [7].

Termodezinfekcia zásobníkov solárnych systémov

Tradičným spôsobom ošetrenia potrubných rozvodov TV je termodezinfekcia. Podstatou termodezinfekcie je periodické zvyšovanie teploty po určitú dobu v celej sieti teplej vody s určitou dobou preplachu. V rozvetvených nevyregulovaných potrubných systémoch, najmä v málo prietočných vetvách, je technicky takmer nemožné zvýšiť teplotu nad efektívnu hodnotu. Limity termickej dezinfekcii kladie tiež použitý potrubný materiál (odolnosť plastových potrubí). V praxi sú realizované rôzne postupy tepelnej dezinfekcie. Jej efekt sa výrazne znižuje pri teplotách 50 °C a menej. V súčasnej dobe sa pri predohreve vody napr. solárnym systémom musí minimálne raz denne zohriať celý objem vody na 60 °C a raz týždenne na viac ako 70 °C.

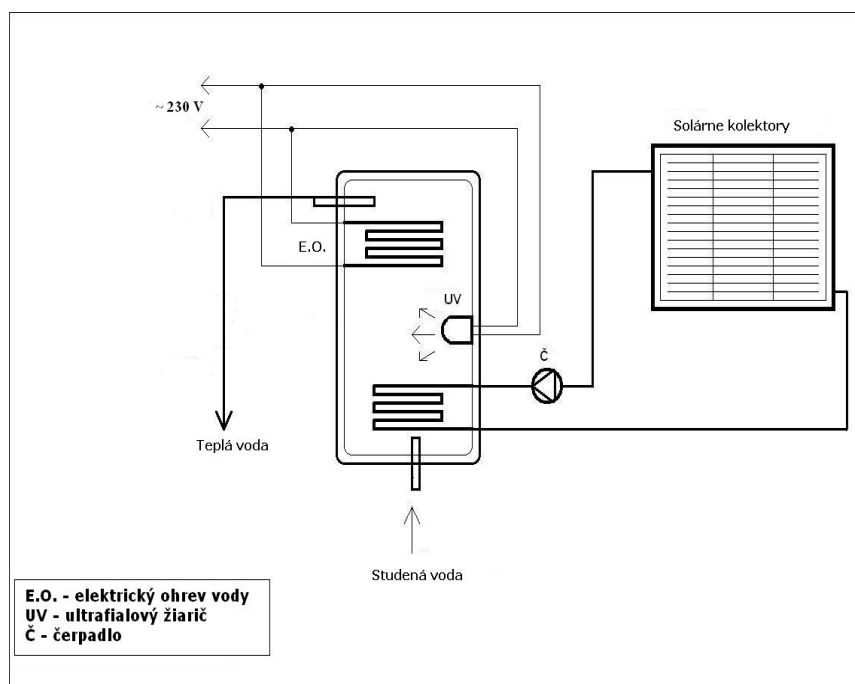
Často sa termodezinfekcia kombinuje s chlôvaním alebo Ag/Cu ionizáciou. Sú to však opatrenia s dočasným účinkom. Pri týchto opatreniach dochádza k redukcii výskytu legionell vo vode, no nedochádza k úplnej eliminácii legionelly, ktorá preživa v odolnom biofilme, respektíve v potrubných inkrustoch.

Termodezinfekcia s využitím v solárnych ohrevných systémoch má svoje nevýhody. V snahe dosiahnuť očakávané požiadavky na dezinfekciu, sa musí táto voda ohriať na 70 °C. Doohrev je zabezpečovaný buď elektrickým alebo plynovým ohrevom. Po splnení dezinfekčných kritérií netreba zabudnúť na teplotné požiadavky stanovené normou, kde teplota TUV v mieste výtoku u konečného spotrebiteľa nesmie prekročiť 55 °C. Keďže v tomto prípade TUV dosahuje v mieste výtoku teplotu 70 °C, treba zabezpečiť jej schladenie, v tomto prípade pomocou zmiešavacieho ventilu, do ktorého priteká studená voda, ktorá dopomôže získať požadovaný teplotný stav TUV. Na druhej strane sa takýmto spôsobom výrazne znižuje akumulačná kapacita solárneho zásobníka z pohľadu možnosti ďalšieho nabíjania teplom z kolektorového poľa, čo sa premieťa do zníženia miery využiteľnosti solárneho zariadenia a tým do zhoršenia jeho ekonomicko – prevádzkových ukazovateľov [5].

Návrh statického UV žiariča pre solárne zásobníky

Z dôvodu zefektívnenia prevádzky solárneho systému sme sa zamerali na analýzu využiteľnosti UV dezinfekcie pre zásobník solárneho zariadenia (Obr. 2).

Zdrojom UV žiarenia je do zásobníka zabudovaná výbojka umiestnená tak, aby bol emitovaným UV žiarením pokrytý maximálny objem zásobníka. Vzhľadom na to, že výbojka v pravidelných intervaloch žiarenia zabezpečí požadovanú dezinfekciu, solárny ohrev a elektrický doohrev zabezpečia len normou požadovanú teplotu pre ohrev TV. Pri dostatočnej intenzite slnečného žiarenia solárne kolektory dokážu zabezpečiť ohrev na dostatočnú teplotu ohrievanej vody.



Obr. 2. Schéma nami navrhnutého dezinfekčného zariadenia.
Fig. 2. Schematic diagram of suggested disinfect device.

Pri návrhu UV žiariča sa uvažovalo s umiestnením výbojky z vonkajšej strany zásobníka do krytu z kremikového skla alebo iného materiálu, maximálne prepúšťajúceho UV žiarenie výbojky. Použitie kremikového skla bolo zvolené vzhľadom na fakt, že bežné sodné sklo do značnej miery absorbuje UV žiarenie. Navrhovaný kryt umožňuje prechod až 93 % UVC žiarenia. Sklenený kryt výbojky je vložený do otvoru zásobníka z exteriérovej strany a utesený EPDM krúžkom, umiestneným pod vonkajším okrajom krytu. Žiarič je fixovaný vo svojej polohe zaskrutkovaním. V UV žiarivke je UV žiarenie vytvárané prechodom elektrického výboja cez pary ortuti medzi dvomi elektródami.

Každý mikroorganizmus má svoju charakteristickú expozičnú dávku, ktorá má naň redukčný vplyv a ktorý sa snaží dosiahnuť každá dezinfekcia.

Nasledujúca Tab. 2 [8] sa môže stať orientačným zdrojom informácie o expozičnej dávke účinnej na Legionelu.

Tab. 2. Expozičná dávka.
Tab. 2. Amount of exposure.

M i k r o o r g a n i z m y	D á v k a (m J / c m ²)
B a c i l l u s s u b t i l i s (s p o r e)	1 2 . 0
C l o s t r i d i u m t e t a n i	4 . 9
L e g i o n e l l a P n e u m o o h i l l a	2 . 0 4
P s e u d o n o m a s a e r u g i n o s a	5 . 5
S t r e p t o c o c u s f e a c a l i s	4 . 5
H e p a t i t i s A v i r u s	1 1 . 0
H e p a t i t i s P o l i o v i r u s	1 2 . 0
S a c c h a r o m y c e s c e r v i s i a e	6 . 0
I n f e c t i o u s p a n c r e a t i c n e c r o s i s	6 0 . 0

Dávku žiarenia môžeme vypočítame podľa známeho vzťahu:

$$UV=I.t,$$

kde: UV - dávka [$\text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$, $\text{mWs}\cdot\text{cm}^{-2}$],
 I - intenzita UV- žiarenia [$\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$],
 T - čas (expozícia) [s].

Intenzitu vyžarovania po prejení vzdialenosti x vyjadruje nasledujúci vzťah:

$$I = I_0 \cdot e^{-a \cdot x},$$

kde a - lineárny absorpčný koeficient [m^{-1}]
 I_0 - intenzita vyžarovania výbojky, ktorá sa vypočíta zo vzťahu:

$$I_0 = \frac{P}{S} \text{ [W / m}^2\text{].}$$

Vhodne zvolenou expozičnou dávkou žiarenia, ktorá je funkciou expozičnej doby a intenzity žiarenia, je možné dosiahnuť požadovaný dezinfekčný účinok v zmysle hygienických a technicko-prevádzkových požiadaviek.

Záver

Charakter a špecifiká prevádzky solárnych zariadení vytvárajú priestor pre hľadanie iného ako konvenčného termického spôsobu dezinfekcie objemu akumuláčného zásobníka, s cieľom znížiť úroveň nákladov na energiu, resp. zvýšiť pohotovostný potenciál solárneho zásobníka.

UV systém úpravy vody v solárnom zásobníku dobre korešponduje s prevádzkovým režimom solárnych zariadení a negatívne neovplyvňuje tepelnú bilanciu zásobníka. Všetky tieto faktory by sa mali premietnuť do zvýšenia miery bezpečnosti a ekonomiky prevádzky solárnych systémov slúžiacich na ohrev vody.

Prínos takéhoto návrhu by sa mal premietnuť do úspor energie potrebnej pre ohrev a dezinfekciu kvapalinového objemu solárnych zásobníkov, ktorých akumuláčným médium je TUV.

Ďalším krokom pri riešení problematiky bude podľa navrhutej koncepcie vyhotoviť prototyp žiariča, schopného realizovať potrebnú sériu experimentov, ktorých výsledkom bude návrh a optimalizácia expozičnej dávky žiarenia, prevádzkového režimu a celkovej účinnosti riešenia.

Literatúra - References

- [1] Bednár, M., Fraňková, V., Schindler, J., Souček, A., Vávra, J.: Lekárska mikrobiológia, Bakteriológia, virológia, parazitológia. *Marvil. Praha 2. 1996/2.*
- [2] Horbaj, P.: Možnosti využitia solárnych zariadení pre ohrev TUV v mestskej zástavbe sídliska KVP a Ťahanovce v Košiciach. *Acta Montanistica Slovaca, 10. Košice. 2005.*
- [3] Juriš, P.: Základy virológie, bakterioógie, epidemiológie a mikrobiologickej laboratórnej práce. *Prešovská univerzita v Prešove – Fakulta humanitných a prírodných vied. Prešov. 1998/1.*
- [4] Mrtoň, J., Čermák, O., Hétharši, J.: Vodárstvo II, Úprava pitných a úžitkových vôd. *Vydavateľstvo STU. Bratislava. 1997.*
- [5] Rybár, P., Tauš, P., Rybar, R: Alternatívne zdroje energie 1: Slnčná energia. *Elfa. Košice. 2001. ISBN 80-89066-16-X.*
- [6] <http://www.chos.cz/legionella.htm>
- [7] www.disaplus.sk
- [8] <http://www.emmservices.co.uk/images/legion-dia.gif>
- [9] <http://www.jako.cz/UV-Dezinfekce.htm>
- [10] www.vzbb.sk/11_clanky/epid/VS_SR_2006.pdf
- [11] <http://voda.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2858&h=6&pl=37>