

## SPÔSOBY HYGIENICKÉHO ZABEZPEČENIA PITNEJ VODY

ANNA MICHALÍKOVÁ – MAROŠ SIROTIAK

### DISINFECTION METHODS OF DRINKING WATER

#### ABSTRAKT

*Pitná voda je dôležitým potravinovým článkom, preto musí byť spoľahlivo zbavená choroboplodných zárodkov (baktérie, vírusy atď. ). Zdravotne vhodnú pitnú vodu dosiahneme jej hygienickým zabezpečením – dezinfekciou. Na dezinfekciu vody sa používajú v prevažnej miere oxidačné prostriedky. Príspevok popisuje základné metódy dezinfekcie a hodnotí využívanie týchto metód pri úprave vody na Slovensku.*

**KLúčové slová:** pitná voda, dezinfekcia, metódy dezinfekcie,

#### ABSTRACT

*Drinking water is an important Dietary article must therefore be reliably free from bacteria, viruses, etc. Hygienic drinking water is prepared by disinfection. For water disinfection are used mainly oxidizing agents. This paper describes the basic methods of disinfection and evaluate the use of these methods in water treatment in Slovakia.*

**Key words:** drinking water, disinfection, disinfection methods,

#### ÚVOD

Dezinfekcia vody patrí k dôležitým technologickým stupňom v úprave vody na zabezpečenie zdravotnej vhodnosti pitnej vody. Účinok dezinfekcie závisí od fyzikálnych, chemických, mikrobiologických a biologických vlastností vody, od druhu a dávky použitého dezinfekčného prostriedku a od času jeho pôsobenia. Rovnako dôležitý je vplyv dezinfekčného prostriedku na mikroorganizmy, na mutagenitu látok, aktiváciu baktérií po dezinfekcii a tvorbu vedľajších produktov dezinfekcie. Na dosiahnutie kvalitnej pitnej vody treba tieto faktory pri výbere vhodného dezinfekčného prostriedku brať do úvahy. Najbežnejší používaný spôsob dezinfekcie je chlóróm a jeho zlúčeninami, ozónom a najnovšie sa uplatňuje aj fyzikálny spôsob UV žiarením.

Používané metódy dezinfekcie vody musia spĺňať viacero požiadaviek:

- zneškodnenie všetkých druhov baktérií a vírusov,
- zneškodnenie organizmov vykonať nezávisle od prostredia,
- voda po použití dezinfekčného prostriedku nesmie zmeniť svoje vlastnosti,
- dávkovanie by malo byť jednoduché a lacné,
- dlhodobý účinok dezinfekcie na zabránenie vzniku sekundárneho znečistenia [1, 8].

### METÓDY HYGIENICKÉHO ZABEZPEČENIA

Dezinfekčné metódy sa rozdeľujú na:

- **Fyzikálne metódy** - dezinfekcia teplom, dezinfekcia UV žiarením, ultrazvukové metódy, používanie bakteriálnych filtrov.
- **Chemické metódy** - používanie chlóru a jeho zlúčenín, najmä chlórnanov, chlórámínov a chlórdioxidu, používanie ozónu a ďalších oxidačných činidiel, využívanie oligodynamických účinkov niektorých kovov (ionizácia), napr. striebra a medi.

### CHEMICKÉ METÓDY

#### Používanie chlóru a jeho zlúčenín

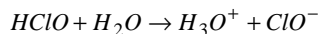
Chlór a jeho zlúčeniny sú zatiaľ najpoužívanejšie dezinfekčné prostriedky pre zdravotné zabezpečenie pitných vôd. Vo vodárenskej praxi sa chlór aplikuje vo forme plynného chlóru, roztoku chlórnanu sodného alebo chlórámínov. Plynný chlór sa využíva spravidla pri dezinfekcii výdatnejších zdrojov vody, chlórnan sodný pri lokálnych menších zdrojoch, chlórámíny pri dezinfekcii dlhých rozvodných vodovodných radov.

**Chlór** má veľkú baktericídnu účinnosť i v malých koncentráciách, silné oxidačné účinky a pomerne jednoduché použitie. Oxidačné účinky sa dobre uplatňujú i pri odstraňovaní železa, mangánu z vody.

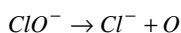
Chlór reaguje s vodou podľa nasledovnej rovnice:



V závislosti na pH sa kyselina chlórna neutralizuje na chlórnan:



A chlórnan sa čiastočne rozkladá:



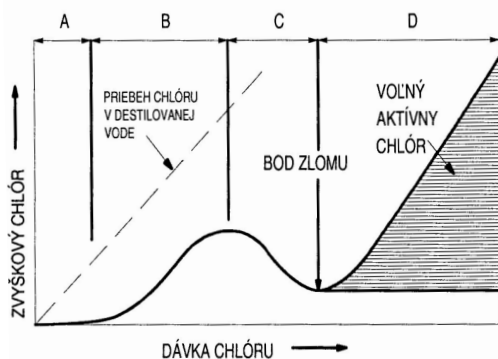
Dezinfekčný účinok chlóru spočíva v tom, že uvoľnený kyslík napadá protoplazmu bakteriálnych buniek a spôsobuje ich deštrukciu. Dávky chlóru potrebného k zdravotnému zabezpečeniu vody závisia od vlastností vody, predovšetkým teploty, hodnoty pH, obsahu organických látok a stupňa biologického oživenia. Vplyv pH vyplýva z toho, že pri jeho znižovaní sa zvyšujú podiely účinnejšej formy (HClO), oproti forme menej účinnej (ClO<sup>-</sup>) [2,4].

Účinnosť dezinfekcie je určená hodnotou pH vody, optimálna účinnosť je dosiahnutá pri pH vody medzi 5,5 a 7,5, HClO je približne 100 – krát silnejšie oxidačné činidlo ako chlórnanový ión ClO<sup>-</sup> a v tomto rozmedzí pH je maximálne zastúpený.

So zvyšovaním teploty rastie i účinnosť chlórovania, ale naopak znižuje sa stálosť chlóru, a preto výsledný vplyv teploty nie je jednoznačný. Baktericídny účinok má koncentrácia 0,1 až 0,2 mg l<sup>-1</sup> pôsobiaceho počas kontaktu 10 až 15 minút, v praxi sa odporúča 1 až 2 hodiny.

Hodnota spotrebovaného chlóru (tzv. chlórové číslo) dáva do určitej miery obraz o čistote vody. Chlórové číslo je pre čisté podzemné vody 0 až 0,3 mg l<sup>-1</sup>.

Pri dezinfekcii vody chlórom je významnou veličinou spotreba chlóru – množstvo chlóru nevyhnutné na dosiahnutie požadovaného prebytku aktívneho chlóru po určitej dobe kontaktu chlóru s vodou. Chlór sa najprv spotrebuje na chlórovanie a oxidáciu prítomných organických a anorganických látok, ktoré ho pri chlórovaní a oxidácii spotrebujú. Až ďalšie pridané množstvo chlóru zostáva vo vode ako aktívny voľný (zvyškový) chlór. Pribeh chlórovania vody obsahujúcej látky anorganické, organické a amoniakový dusík je znázornený na obr. 1.



Obr.1 Pribeh chlórovania vody [2].

Na chloračnej krivke možno rozlíšiť nasledujúce úseky:

- úsek A. V prvej etape sa spotrebuje chlór na reakciu s anorganickými a organickými látkami. V tejto etape sa nevyskytuje vo vode zvyškový chlór, ak rýchlosť oxidácie týchto látok je rýchlejšia ako tvorba chloramínov.
- úsek B. V prítomnosti amoniakového dusíka sa tvoria v tejto etape chloramíny, vo vode je prítomný len viazaný aktívny chlór. Vrchol na krivke zodpovedá stavu, kedy všetok amoniak je premenený na chloramíny.
- úsek C. V tomto úseku ďalším pridávaním chlóru nastáva rozklad (oxidácia) chloramínov. Obsah viazaného aktívneho chlóru sa znižuje na minimum. Minimum na krivke sa nazýva bod zlomu alebo bod zlomu.
- úsek D. Za bodom sa úmerne zvyšuje obsah voľného aktívneho chlóru s množstvom pridávaného chlóru, čiže v tejto etape je dokázateľný voľný aktívny chlór.

Voda sa chlórjuje buď do bodu zlomu, alebo blízko za ním, aby voda obsahovala určitý prebytok aktívneho (zvyškového) chlóru. Chlórovanie sa v prevádzke robí tak, aby koncentrácia voľného chlóru Cl<sub>2</sub> v najvzdialenejšom mieste vodovodnej siete bola v rozmedzí 0,05 až 0,3 mg l<sup>-1</sup>. Dôležité je správne prevádzkovanie vodovodných sietí zaistením potrebného tlaku a kontinuálne dávkovanie dezinfekčných prostriedkov [4].

Pri dezinfekcii chlórovaním je potrebné sledovať obsah aktívneho chlóru v sieti, ktorý hygienicky zabezpečuje pitnú vodu do miesta spotreby. Nariadenie vlády SR č. 354/2006 Z. z. stanovuje pre obsah aktívneho chlóru v pitnej vode limitnú medznú hodnotu  $0,3 \text{ mg l}^{-1}$ . Ak sa voda dezinfikuje chlór, minimálna hodnota aktívneho chlóru v distribučnej sieti musí byť  $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ . V prípade preukázania dobrej kvality zdroja pitnej vody a rozvodnej siete orgán na ochranu zdravia môže dovoliť dodávať vodu bez hygienického zabezpečenia [3].

**Oxid chloričitý (chlórdioxid)** sa prvýkrát ako dezinfekčné činidlo použil v 19. storočí v USA. Vyrába sa v mieste spotreby z chloritanu sodného pôsobením kyseliny chlorovodíkovej alebo chlóru. Reakcia  $\text{NaClO}_2$  s chlór, prebieha v miernom kyslom prostredí. Chlór musí byť v miernom prebytku, aby bola záruka, že nezostal nerozložený chloritan, ktorý je zdravotne škodlivý. Oxid chloričitý je niekoľkonásobne silnejšou látkou ako chlór. Jeho účinok nie je taký závislý od pH ako účinok chlóru. Roztoky  $\text{ClO}_2$  sú však značne nestále, a to i v tme. Dávky bývajú do  $1 \text{ mg l}^{-1}$  [4].

Po pridaní do vody však reaguje s organickými a anorganickými látkami vo vode za vzniku chloritanov a chlorečnanov ako konečných produktov (ktoré môžu spôsobovať hemolytickú anémiu a iné zdravotné problémy).

Chlorečnanový ión sa tvorí prevažne reakciami medzi zvyškovým chloritanom a voľným chlór, keď sa používa na dezinfekciu v distribučnej sieti, netvorí sa THM (trihalogénmetány) [2].

Ako silný dezinfekčný prostriedok môže  $\text{ClO}_2$  negatívne pôsobiť na kvalitu rozvodnej siete (korózia potrubia). Taktiež má schopnosť uvoľňovať niektoré inkrusty (usadeniny) vo vodovodnom potrubí. Najmä z ekonomických dôvodov nie je vhodný na použitie v malých vodných zdrojoch. Odporúča sa predovšetkým na dlhé prírodné rady a pre vodné zdroje, kde je potrebné kvalitu vody zabezpečiť účinnejším spôsobom ako je klasické chlórovanie [7].

### Používanie ozónu

**Ozón** je považovaný za najsilnejší dezinfekčný a oxidačný prostriedok použiteľný pre úpravu vody. Jeho hlavnou prednosťou je, že jeho pôsobením nevznikajú žiadne vedľajšie nežiaduce produkty a ozón sa sám rozkladá na obyčajný kyslík. Jeho nevýhodou je nízka trvanlivosť (krátky polčas rozkladu) a pomerne slabá rozpustnosť vo vode. Ozón sa čím ďalej tým viac používa k dezinfekcii plnenej fľaškovej vody a pre dezinfekciu oplachových a procesných vôd v potravinárstve a v kozmetickom priemysle, pri úprave pitnej vody, úprave bazénových vôd, úprave vôd v ZOO, úprava vôd v cirkulačných chladiacich systémoch. V tabuľke 1 sú uvedené základné charakteristiky dezinfekcie ozónom [2,5].

Tabuľka 1 Základné charakteristiky dezinfekcie ozónom [2].

Hľadisko	Popis
Výroba	Pre jeho nestabilitu sa musí ozón vyrábať na mieste spotreby. Ozón sa môže vyrábať z kyslíka prítomného vo vzduchu alebo čistého kyslíka. Ak sa vyrába zo vzduchu, ten musí byť čistý a suchý s maximálnym rosným bodom – $60^\circ\text{C}$ .
Základné použitie	Primárna dezinfekcia a chemická oxidácia, zvýšenie rozkladu organických látok, ktoré zhoršujú sensorické vlastnosti vody, redukuje obsah vedľajších produktov dezinfekcie. Nevhodný na sekundárnu dezinfekciu – je vysoko reaktívny a nezabezpečí zvyškovú koncentráciu v distribučnom systéme.
Účinnosť aktivácie	Vysoká účinnosť proti baktériám a vírusom, so stúpajúcou teplotou vody narastá dezinfekčný účinok ozónu.
Vedľajšie produkty dezinfekcie	Samotný nevytvára halogénované vedľajšie produkty dezinfekcie, tie však môžu vzniknúť, ak sa pridáva chlór ako sekundárne dezinfekčné činidlo. Ďalším vedľajším produktom sú organické kyseliny a aldehydy.
Miesto aplikácie	Aplikácia pred koaguláciou alebo filtráciou, na primárnu dezinfekciu sa pridáva na konci upravovacieho procesu.
Bezpečnostné opatrenia	Je toxický plyn. Výroba ozónu a zariadenia, v ktorých sa mieša ozón s upravovanou vodou, musia spĺňať prísne požiadavky, neustále kontrolovanie hodnôt ozónu v prostredí.

### Oligodynamické účinkov niektorých kovov

Z dnešných moderných metód dezinfekcie používaných vo vodárenskej praxi treba spomenúť využívanie oligodynamických účinkov niektorých kovov, najmä medi a striebra, ktoré má svoje korene práve staroveku.

Tak ako vyspelé civilizácie staroveku dobre poznali vlastnosti medi a striebra a vedeli ich mechanicky a metalurgicky dobre spracovávať a využívať na rôzne účely, tak poznali aj ich oligodynamické účinky, teda ich baktericídnu schopnosť, vedeli o tom, že tieto kovy sú schopné usmrcovať choroboplodné zárodky. Tento jav sa nazýva oligodynamika (v staršej literatúre oligodynamia) a jeho podstata spočíva v narušení látkovej výmeny v živých bunkách tým, že sa vplyvom iónov striebra či medi zastaví činnosť niektorých enzýmov. Spravidla platí, že oligodynamické účinky sa prejavajú aj pri malých množstvách kovov, na strane druhej však doba ich kontaktu s vodou musí byť pomerne dlhá, často aj niekoľko hodín.

Pri procese sterilizácie pomocou strieborných iónov sa do vody dávajú ióny striebra v koncentrácii od 0,05 do 0,1 mg l<sup>-1</sup>. Strieborné ióny pôsobia vo vode ako tzv. oligodynamický germicíd, hoci presný popis ich účinkov nie je známy. Pre dosiahnutie požadovaného účinku je treba zabezpečiť dobu zdržania rádovo niekoľko hodín. V súčasnej dobe sa tento proces používa iba na dezinfekciu pitnej vody na lodiach, alebo v oblastiach postihnutých katastrofami [6].

## FYZIKÁLNE METÓDY

### UV žiarenie

Po tom, ako bolo zistené vytváranie THM pri dezinfekcii chlóróm a jeho zlúčeninami, sa UV žiarenie stalo veľmi zaujímavým i v uprávarenskej technológii. UV žiarenie má vlnovú dĺžku od 100 do 400nm. Germicídne účinky má oblasť UV žiarenia 200-320 nm. Princípom UV žiarenia je chemická zmena DNA pri maxime 260- 265 nm, ktorá spôsobí inaktiváciu reprodukcie mikroorganizmov alebo ich usmrtenie. Konvenčné nízkotlakové UV lampy (vyžarujúce žiarenie pri 254 nm) poškodzujú iba DNA, nie enzýmy, preto môže dôjsť k ďalšiemu rozmnožovaniu mikroorganizmov strednotlakovými UV lampami (200-400 nm) sa reaktivácii mikroorganizmov zabraňuje.

Rovnako ako ozón, aj UV žiarenie je dobrým primárnym dezinfekčným prostriedkom, ale negarantuje zdravotné zabezpečenie v sieti, preto sa odporúča použiť sekundárne dezinfekčné činidlo chlór [4].

Nespornou výhodou UV dezinfekcie je fakt, že na rozdiel od iných metód úpravy vody pred mikrobiologickým znečistením, UV nepridáva do vodného obehu potenciálne škodlivé chemické látky ako napríklad chlór. UV dezinfekcia nevytvára žiadne vedľajšie produkty, nemení chuť vody, jej zásaditosť alebo akékoľvek iné vlastnosti. Navyše, okrem výroby pitnej vody, UV dezinfekcia nepoškodzuje vodovodné armatúry. Základné charakteristiky dezinfekcie UV žiarením sú uvedené v tabuľke 2[2].

Tabuľka 2 Základné charakteristiky dezinfekcie UV žiarením

Hľadisko	Popis
Výroba	Nízkotlakovými a strednotlakovými lampami.
Základné použitie	Fyzikálna primárna dezinfekcia, vyžaduje sekundárne chemické dezinfekčné činidlo, aby bola zabezpečená zvyšková koncentrácia v sieti.
Účinnosť aktivácie	Veľmi účinný proti baktériám a vírusom v nízkych dávkach, vyššie dávky sa požadujú pre <i>Cryptosporidium</i> a <i>Giardia</i>
Vedľajšie produkty dezinfekcie	Minimálna tvorba vedľajších produktov dezinfekcie.
Miesto aplikácie	Pred vstupom do distribučného systému.
Obmedzenie použitia	Vody s vysokým obsahom železa, vápnika, zákalu a fenolov.

## VYUŽÍVANIE DEZINFEKČNÝCH METÓD V SLOVENSKEJ REPUBLIKE

Dezinfekcia pitnej vody chlóróm a jeho zlúčeninami patrí vzhľadom k ich vysokej účinnosti k najrozšírenejším spôsobom jej hygienického zabezpečenia. V zahraničí je početnejšie zaznamenaný trend distribúcie pitnej vody bez chlóru z obavy zo vzniku vedľajších produktov dezinfekcie, ich toxických príp. karcinogénnych účinkov a snaha zachovať senzorické vlastnosti vody. Skúsenosti s prevádzkou vodovodných systémov bez chlórovania potvrdzujú, že za určitých podmienok je možná distribúcia pitnej vody aj bez použitia chemickej dezinfekcie.

Pitná voda vo verejnej sieti vykazuje z celoslovenského pohľadu vyhovujúce výsledky kvality, problémy sú spojené najmä s poruchami, nestabilitou hladiny podzemných vôd, neodborným prevádzkovaním vodovodov, príp. aj prepájaním vodovodov s vlastnými zdrojmi vody, mnohé sú prevádzkované s pôvodným potrubím. Monitorované kvalitatívne ukazovatele obyčajne nepredstavujú priame ohrozenie zdravia. V súčasnosti sú v menšej miere vody kontaminované fekálnym znečistením a do popredia skôr vystupujú ukazovatele, ktoré majú pôvod z potrubia a vodojemov[7].

Podľa získaných údajov bolo v období rokov 2000–2011 na Slovenku prevádzkovaných bez chlórovania 16 verejných vodovodov, kde sa počet zásobovaných obyvateľov pohyboval od niekoľko 100 do 2 500 obyvateľov. 14 vodovodov využívalo na dezinfekciu pitnej vody UV žiarenie a 3 vodovody používali pre dezinfekciu súčasne s UV žiarením aj keramické filtre KATADYN.

Najčastejším spôsobom dezinfekcie je kombinácia dezinfekcie chlórnanom sodným a plynným chlóróm. Najmenej je v súčasnosti využívaný na dezinfekciu samostatne oxid chloričitý (nevyužíva sa v polovici krajov Slovenska), jeho význam však narastá (využívaný na chlórovanie je napr. v Trnavskom kraji). Častejšie je oxid chloričitý využívaný v kombinácii s chlórnanom sodným, a to najmä v Bratislavskom kraji, ozonizácia sa nepoužíva vôbec (tabuľka 3).

Tabuľka. 3 Prehľad dezinfekcie pitnej vody vo VV, ktoré zásobujú viac ako 5 000 obyvateľov[7]

KRAJ	PLYNNÝ CHLÓR	CHLÓRNAN SODNÝ	CHLÓRNAN SODNÝ + PLYNNÝ CHLÓR	OXID CHLORICITÝ	OXID CHLORICITÝ + CHLÓRNAN SODNÝ	OXID CHLORICITÝ + PLYNNÝ CHLÓR	OXID CHLORICITÝ + CHLÓRNAN SODNÝ + PLYNNÝ CHLÓR
BA		96 234		41 784	415 736		
TN	61 249	167 245	215 672				
TT	184 715	29 476		156 512		45 910	
NT	44 397	5 947	54 911	67 138	82 206	267 156	
ZA	17 317	29 532	250 243				213155
PE	8 000	6 000	289 142		112 000		
KE	13 757	71 373	477 425				
BB	137 918		80 429	24 092	70 430		64 220
SR	467 353	405 807	1 367 822	289 526	680 372	313 066	277 375

## ZÁVER

Zásobovanie verejnosti zdravotne nezávadnou pitnou vodou je jednou z najdôležitejších činností prevádzkovateľa. Na zabezpečenie hygienickej bezpečnosti sa využívajú oxidačné chemické metódy a fyzikálne metódy založené na využívaní UV žiarenia. Každý spôsob dezinfekcie je jedinečný a každý má svoje výhody aj nevýhody. Trendom je čo najväčšie upúšťanie od použitia klasického plynného chlóru smerom k novým technológiám, pri ktorých sa znižuje riziko vzniku vedľajších produktov. Potrebné je však uviesť, že kvalita vody v sieti verejného vodovodu nezávisí len od dezinfekcie. Vo významnej miere ju ovplyvňuje kvalita a stabilita vodného zdroja, z ktorého sa zabezpečuje zásobovanie vodou. Takisto záleží od typu vodovodu a jeho znehodnotenia (deštrukciou korozívnymi účinkami), senzorické znehodnotenie vplyvom inkrustov a dobou zdržania vody v potrubí.

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] Kočiško, R. *Od prameňa k zákazníkovi*. In Vodárenské pohľady, 2009, č.1,s.10 - 13.
- [2] Ilavský,Barloková, Biskupič. 2008. *Chémia vody a hydrobiológia*. Bratislava: STU, 304 strán. ISBN 978-80-227-2930-7
- [3] *Nariadenie vlády SR č. 354/2006 Z. z. ktorým sa ustanovujú požiadavky na vodu určenú na ľudskú spotrebu a kontrolu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu v znení nariadenia vlády SR č. 496/2010 Z. z.*
- [4] Wiley,J. & Sons.2010. *WHITE'S HANDBOOK OF CHLORINATION AND ALTERNATIVE DISINFECTANTS*. New Jersey : Black & Veatch Corporation. ,1062 s.. ISBN 978-0-470-18098-3
- [5] Urs von Gunten. Ozonation of drinkingwater: Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine. *Water Research* 37, 2003. p. 1469–1487, ISSN 0043-1354
- [6] Vodárenské pohľady. 2010. *Od prameňa k zákazníkovi – kapitoly z histórie vodárenstva. Oligodynamika strieborných mincí*, č.2/2010, časopis asociácie vodárenských spoločností, ISSN 1336-6467 [online].[cit.2013-04-08] Dostupné na internete [http://www.avssr.sk/documents/VP\\_2010\\_2.pdf](http://www.avssr.sk/documents/VP_2010_2.pdf)
- [7] Valovičová, Z. *Dezinfekcia verejných vodovodov* [online].[cit.2013-09-08] Dostupné na internete <http://www.tzbportal.sk/kurenie-voda-plyn/dezinfekcia-verejnych-vodovodov-na-slovensku.html>
- [8] Štefkovičová, M. a kol.,2007. *Dezinfekcia a sterilizácia - teória a prax II*. Vydavateľstvo Vrana

## ADRESY AUTOROV:

**Anna MICHALÍKOVÁ**, Ing., CSc., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta Trnava, Ústav bezpečnosti, environmentu a kvality, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika

**Maroš SIROTIK**, RNDr., PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta Trnava, Ústav bezpečnosti, environmentu a kvality, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika

## RECENZENT:

**Maroš SOLDÁN**, prof. Ing. PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta Trnava, Ústav bezpečnosti, environmentu a kvality, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika