

Prítomnosť tenzidov v odpadových vodách a možnosť ich biodegradácie

Ing. Martina Lobotková

Anotácia

Príspevok je zameraný na problematiku tenzidov – povrchovo aktívnych látok, ako skupiny emergentných polutantov, ktoré sa do odpadových vôd dostávajú vo veľkej miere z domácností ale aj iných zariadení. Jednou z možností, ako ich účinne odbúrať sú biodegradačné procesy s využitím vybraných druhov vodných rastlín. Príspevok využíva výsledky z výskumu počas doktorandského štúdia na Technickej univerzite vo Zvolene, Fakulte ekológie a environmentalistiky.

Kľúčové slová: tenzidy, povrchovo aktívne látky, odpadové vody, biodegradácia

Annotation

The contribution is focused on the issue of the tensides - surface-active chemicals, as groups of the emergent pollutants, which enter the waste water from households, but also other objects. The biodegradation processes using aquatic plants appear as one of the possibilities for their effective degradation. The contribution is based on the research during doctoral studies at the Technical University in Zvolen, Faculty of Ecology and Environmental Studies.

Key words: tensides, surface-active chemicals, waste waters, biodegradation

Abstrakt

Znečisťovanie životného prostredia antropogénnou činnosťou predstavuje závažný celosvetový problém. S nadmerným čerpaním prírodných zdrojov úzko súvisí aj produkcia odpadov a nadmerného množstva odpadovej vody, čo negatívne môže vplyvať na jednotlivé zložky životného prostredia. Z toho dôvodu sa do popredia stále viac dostávajú inovatívne metódy čistenia odpadových vôd, ktoré by mohli zabezpečiť potenciálne až znovu využitie vyčistených odpadových vôd na rôzne účely, napr. v poľnohospodárstve na závlahy. Práve inovatívnymi metódami možno odstrániť aj špecifické látky, ktoré sa bežnými – konvenčnými ČOV neodstránia. Ide napr. o emergentné polutanty, kde patria predovšetkým farmaceutické prípravky, lieky, detergenty, produkty osobnej starostlivosti a hygieny, a iné produkty, ktoré sa bežne využívajú v domácnostiach. Tenzidy, ako jedna zo skupín emergentných polutantov, sú obsiahnuté v čistiaciach a pracích prostriedkoch vo veľkej miere, čo potvrdzujú aj výsledky tohto príspevku. Ich používaním sa navyšuje koncentrácia povrchovo aktívnych látok – tenzidov v odpadových vodách, ktoré sú z domácností a iných zariadení vypúšťané. Táto koncentrácia prekračuje maximálne prípustnú hodnotu, čo predstavuje riziko pre akvatické prostredie ako zložku životného prostredia. Uskutočnenými biodegradačnými procesmi v laboratórnych podmienkach sme potvrdili, že extenzívne (prírodné) technológie čistenia odpadových vôd založené na využití vybraných rastlinných spoločenstiev dokážu účinne odstrániť prítomné emergentné polutanty, konkrétne tenzidy.

Abstract

The environmental pollution by the anthropogenic activity is a serious global problem. With excessive use of the natural resources closely related the waste production and the amount of the wastewater, which has a negative effect to the individual components of the environment. For that reason, the innovative wastewater treatment methods are coming to the fore. They can potentially ensure the re-use of the treated wastewater for the various purposes, e.g. in agriculture for the irrigation. The innovative methods can also remove specific substances, which are not removed by conventional WWTPs (wastewater treatment plants). The examples are emergent pollutants, which mainly include pharmaceuticals, medicines, detergents, personal care and hygiene products, and other products commonly used in the households. The tensides, as one of the groups of the emergent pollutants, are contained in cleaning and washing agents, which is also confirmed by the results of this contribution. Using them the concentration of the tensides in the wastewater increases, which are discharged from the households and other objects. This concentration exceeds the maximum allowable value, what poses a risk to the aquatic environment. Through the performed biodegradation processes in laboratory conditions, we have confirmed that extensive (natural) wastewater treatment technologies based on the use of the plants can effectively remove the emergent pollutants present, specifically tensides.

1. Rozbor problematiky

V dôsledku stále sa rozširujúcej antropogénnej činnosti dochádza čoraz k väčšej produkcii odpadových vôd rôzneho pôvodu, ktoré môžu predstavovať environmentálne riziko pre životné prostredie. V odpadových vodách vypúšťaných z rôznych poľnohospodárskych a priemyselných podnikov, domácností, zdravotníckych, spoločenských a iných zariadení sa vyskytuje nadmerné množstvo emergentných polutantov, ktoré spôsobujú nežiaduci stav vôd (Triquet et al. 2015).

Emergentné polutanty

Emergentné polutanty (z angl. CEC – „Contaminants of Emerging Concern“) sú predovšetkým antropogénne kontaminanty, ktoré sa do životného prostredia dostávajú niekoľko desaťročí. Ich výskyt, toxicita a charakteristiky zostávajú v porovnaní so známymi konvenčnými látkami menej známe (Gavrilescu et al. 2015). Lapworth et al. (2012) ich popisuje ako látky, ktoré nie sú doposiaľ regulované európskymi smernicami, ale kvôli svojim špecifickým vlastnostiam by sa mali dostať do zoznamu monitorovaných látok. Ide hlavne o nepreskúmané látky, ktoré sa dostávajú do recipientov dlhodobo, avšak nebol skúmaný ich význam a účinky na kvalitu akvatického prostredia.

Patria sem perzistentné organické polutanty organochlorové pesticídy, retardéry horenia na báze polybromovaných zlúčenín a detergenty. V poslednej dobe sa výskum v tejto oblasti zaoberá novou skupinou organických znečisťujúcich látok, ktoré boli posúdené ako potenciálne nebezpečné pre životné prostredie, predovšetkým vodné prostredie. Ide o liečivá a látky používané v produktoch na osobnú starostlivosť (z angl. PPCP – „Pharmaceuticals and Personal Care Products“), podobne aj v dezinfekčných prostriedkoch, repelentoch proti hmyzu, konzervantoch a ďalších produktoch. Všetky tieto produkty (okrem liečiv, ktoré sú určené aj na vnútorné použitie) sa do životného prostredia dostávajú v nezmenenom, nemetabolizovanom stave (Brausch and Rand 2011). Obsah konkrétneho emergentného polutantu v akvatickom prostredí môže byť veľmi nízky, ale celkové množstvo všetkých týchto látok v životnom prostredí je značné. Neustálym vnášaním emergentných polutantov do akvatického prostredia dochádza k ich zmiešavaniu a kumulácii, čím môže dôjsť k možným synergickým účinkom (Gomes et al. 2017).

Každodenným používaním chemických prípravkov ich množstvo v odpadových vodách rastie a tiež z dôvodu ich perzistenice spolu s biologickou aktivitou v zmysle preukázanej endokrinnnej disrupcie, sú tieto prípravky považované za potenciálne nebezpečné zlúčeniny až zlúčeniny s potvrđenými nebezpečnými vlastnosťami (Kasprzyk-Hordern et al. 2008; Johansson et al. 2014). Prítomnosť emergentných polutantov sa v akvatickom prostredí prejavuje zmenami pH, obsahom alkoholu, tenzidov a samotným zvýšeným obsahom rezíduí liečiv a liekov, ako sú antibiotiká, analgetiká, antikoncepcné hormóny a tiež drog (Lobotková 2018).

Tenzidy

Medzi emergentné polutanty patria aj povrchovo aktívne látky (PAL), známe ako tenzidy, ktoré sa do odpadových vôd dostávajú bežne aj z domácností. Ich zdrojom sú čistiace, pracie i dezinfekčné prostriedky, ale aj niektoré prípravky osobnej hygieny a kozmetické prípravky (Sobrino-Figueroa 2018; Mousavi and Khodadoost 2019; Neves and Mol 2019).

Tenzidy sú ťažko biologicky odbúrateľné látky. Spôsobujú eutrofizáciu vôd, zabraňujú prestupu vzdušného kyslíka do vody, znižujú a negatívne ovplyvňujú čistiarenský proces, ako aj biocenózu prostredia. Ich prítomnosť má za následok aj zvýšenú rozpustnosť iných nebezpečných organických látok vo vode, ktoré by sa za bežných podmienok nerozpustili (Mousavi and Khodadoost 2019; Jardak et al. 2016).

V Nariadení vlády SR č. 269/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd sa udávajú maximálne prípustné koncentrácie anión-aktívnych povrchových látok (PAL) vo vodách. Kation-aktívne povrchové látky tvoria len nepatrný podiel celkových povrchovo aktívnych látok. V praxi sa využívajú kvôli im hydrofóbnym, dezinfekčným a antiseptickým účinkom (Horáková et al. 2007). Limitné hodnoty anión-aktívnych povrchových látok vo vodách sú uvedené v Tabuľke 1.

Tabuľka 1. Požiadavky na kvalitu vôd

Maximálne prípustné koncentrácie anión-aktívnych PAL vo vodách	
Druh vody	Limitná hodnota
Povrchové vody	1,0 mg/l
Vody určené na závlahy	2,0 mg/l

Problémom v súčasnej dobe je skutočnosť, že bežné – konvenčné spôsoby čistenia odpadových vôd na ČOV zabezpečujú, že kritéria kvality vyčistenej vody spĺňajú povinne sledované fyzikálno-chemické ukazovatele (vychádzajúce z Nariadenia vlády SR č. 269/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd, príloha č. 6, časť A.1), avšak prítomné emergentné polutanty z vôd nie sú odstránené. Čistiarenským procesom často len prejdú – nedôjde k ich úplnému zachyteniu, či odstráneniu. Takto nedostatočne vyčistené odpadové vody negatívne vplyvajú na kvalitu vody v recipientoch. Ohrozujú vodnú flóru a faunu a podieľajú sa na zmene v biodiverzite vody v jej povrchových zdrojoch. V neposlednom rade možno hovoriť o prestupe emergentných polutantov až k človeku. Emergentné polutanty nedostatočne odstránené z odpadových vôd môžu preniknúť až do spodných, podzemných vôd a dostať sa tak do zdrojov pitnej alebo úžitkovej vody pre obyvateľstvo (Gavrilesco et al. 2015; Stuart et al. 2012).

Biodegradačné procesy odstraňovania tenzidov

Tým, že prítomnosť emergentných polutantov v odpadových vodách predstavuje environmentálne riziko spoločnosť sa zameriava na hľadanie účinných metód ich eliminácie pomocou moderných spôsobov čistenia (Ahuja 2009). Tieto metódy sa využívajú predovšetkým ako dočist'ovací stupeň už konvenčne vyčistených odpadových vôd, pred ich vypustením do recipientu. Inou z možností je aj nahradenie určitého stupňa čistenia modernou technologickou jednotkou. Výhodou je, že takto upravená ČOV šetrí miesto v areáli, prípadne dochádza k navýšeniu kapacity aj priestorovo obmedzených ČOV (Ničová et al. 2019).

V súčasnej praxi sa inovatívne metódy čistenia odpadových vôd rozdeľujú na intenzívne a extenzívne. Príkladom intenzívnych metód je využitie membránových bioreaktorov a oxidačných procesov. Extenzívne (prírodné) technológie čistenia odpadových vôd imitujú samočistiace procesy, ktoré prebiehajú v akvatickom prostredí. Využitie vhodnej akvatickej vegetácie zabezpečuje vytvorenie špecifického filtra mikroorganizmov a podmienok na odstránenie znečisťujúcich látok z akvatického prostredia (Caselles-Osorio et al. 2017; Castillo-Valenzuela et al. 2017). Práve o prírodných technológiách možno hovoriť ako o jedných z potenciálne využiteľných metód pre odstraňovanie tenzidov.

Využitie vodných rastlín

Jedným z progresívnych spôsobov čistenia odpadových vôd je využitie vodných rastlín. Princípom zachytenia tenzidov, ako emergentných polutantov, je ich preniknutie do štruktúry rastliny, čím dôjde k ich degradácii, resp. k jeho zabudovaniu do bunkovej steny. Príkladom sú aplikácie koreňových ČOV alebo mokradí, kde je možné degradovať organické látky pomocou bakteriálnych spoločenstiev nachádzajúcich sa na koreňových systémoch (Mackul'ak 2013).

2. Materiál a metódy

Stanovenie tenzidov

Stanovenie anión-aktívnych povrchových látok je založené na reakcii s metylénovou modrou a spektrofotometrickom vyhodnotení. Aniónové tenzidy vytvárajú v alkalickej prostredí soli s metylénovou modrou farebné iónové asociáty, ktoré sa následne extrahujú chloroformom. Extrakt sa premýva kyslým roztokom, čím sa odstránia rušivé vplyvy. Následne sa meria absorbanca vzoriek pri vlnovej dĺžke 650 nm. Vyhodnotenie sa spracuje podľa kalibračnej krivky (Hybská a Samešová 2014; STN EN 903: 1999). Kation-aktívne povrchové látky tvoria len nepatrný podiel celkových povrchovo aktívnych látok, preto sa ich koncentrácia nestanovuje.

Biodegradačné procesy odstraňovania tenzidov

- aplikované v laboratórnych podmienkach (pri konštantnej teplote), (Obrázok 1),
- vytvorené prírodné ekosystémy v sklenených akváriách,
- s vybranými druhmi vodných rastlín, druhu: *Anubias*, *Echinodorus*, *Lemnophila*, *Cabomba*, *Egeria*, *Ceratophyllum*, *Lemna* a pod.,
- doba realizácie procesu do 48 hod.,
- priebežné stanovovanie zmien v obsahu tenzidov.

3. Výsledky a diskusia

Stanovenie tenzidov prítomných v splaškových odpadových vodách

Stanovením PAL v splaškových odpadových vodách vypúšťaných z vybraných spoločenských a zdravotníckych zariadení (Banskobystrický kraj, SR) sme zistili hodnoty, ktoré prekračujú limitnú koncentráciu v povrchových vodách (1,0 mg/l) podľa Nariadenia vlády SR č. 269/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd. Získané hodnoty sú uvedené v Tabuľke 2. Hodnoty predstavujú priemerné koncentrácie sledovaného obdobia pri viacnásobnom vzorkovaní.

Tabuľka 2. Koncentrácie PAL v surových splaškových odpadových vodách z vybraných zariadení

Zariadenie	Koncentrácia anión-aktívnych povrchových látok (PAL) (mg/l)			
	(II., 2020)	(IV., 2020)	(VI., 2020)	(VIII., 2020)
Hotel s vlastnou práčovňou	10,81	6,75	4,56	5,11
Malé ubytovacie zariadenie	3,18	1,06	1,54	2,97
Liečebné kúpele	15,0	3,91	4,78	8,45
Nemocnica s poliklinikou	1,89	1,41	2,13	1,95
Vysoká škola	5,05	3,44	2,51	3,13

Z Tabuľky 2 vyplýva niekoľkonásobné prekročenie limitnej hodnoty vo všetkých vzorkách surových splaškových odpadových vôd, ktoré sú vypúšťané z uvedených zariadení. Najväčšie prekročenie povolenej koncentrácie 1 mg PAL/ l bolo vo vzorkách z hotela s vlastnou práčovňou, liečebných kúpeľov a malého ubytovacieho zariadenia. Z toho možno konštatovať, že v týchto zariadeniach je vysoká koncentrácia ľudí, ktorý využívajú produkty osobnej starostlivosti, a súčasne v týchto zariadeniach zamestnanci využívajú množstvo pracích a čistiacich prostriedkov na báze povrchovo aktívnych látok na zabezpečenie kvality poskytovaných služieb zariadenia.

Podľa mnohých vedeckých štúdií vo svete, ktoré sa zaoberajú riešením odstraňovania tenzidov, ale aj iných emergentných polutantov, sa potvrdili ako vhodné metódy využívajúce na ich odbúratelnosť vodné rastliny. Mnohé z nich dokážu bioakumulovať a následne biodegradovať tieto znečisťujúce látky, tým, že ich využívajú ako zdroj výživy a obohacujú tým svoju biomasu (Caselles-Osorio et al. 2017; Castillo-Valenzuela et al. 2017; Deblonde 2011; Gorito et al. 2017).

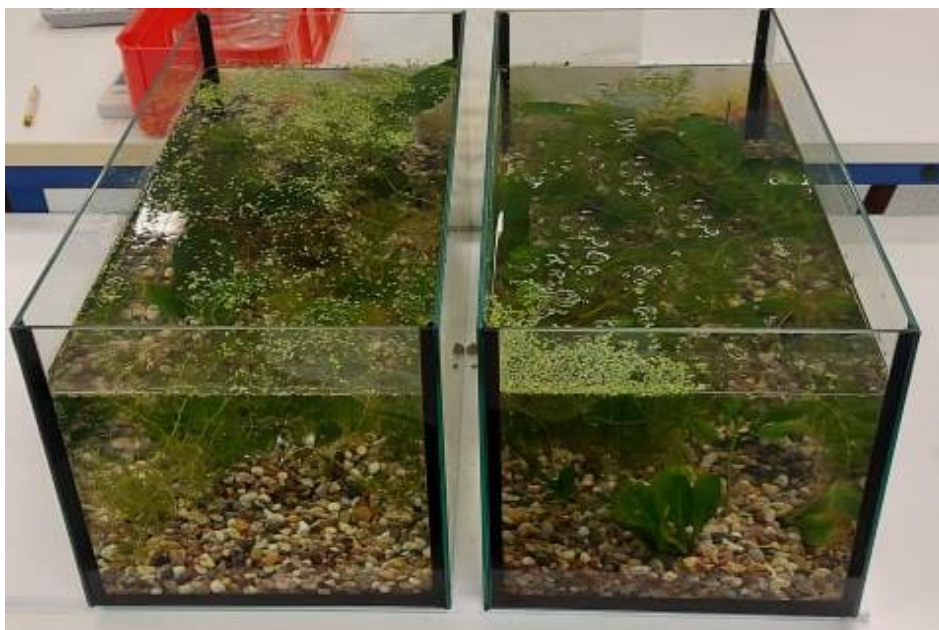
V laboratórnych podmienkach sme vytvorili prírodné ekosystémy v akváriách, ktoré boli zložené z viacerých druhov vodných rastlín. Pri výbere vhodných rastlín sme sa riadili skúsenosťami iných autorov a tiež vlastnými skúsenosťami.

Biodegradačné procesy odstraňovania tenzidov

Obrázok 1 znázorňuje akvária s vytvorenými vodnými ekosystémami v laboratórnom prostredí, v ktorých boli odstraňované povrchovo aktívne látky – tenzidy z modelových vzoriek pripravených z čistiacich alebo pracích prostriedkov bežne využívaných v domácnostiach.

Modelové vzorky boli pripravené rozpustením prípravku v pitnej vode, tak aby celkový obsah tenzidov vo vzorke bol max. 15 mg PAL/ l. Vychádzali sme z výsledkov (Tabuľka 2), ktoré naznačujú, že zariadenia vypúšťajú splaškové odpadové vody s priemernou hodnotou 10 – 15 mg PAL/ l, aj keď obsah tenzidov v jednotlivých prípravkoch je mnohonásobne vyšší (Tabuľka 3). Obsah

tenzidov vo vypúšťaných odpadových vodách je nižší z dôvodu ich zmiešavania v kanalizačnom systéme s ostatnými odpadovými vodami, čím sa ich množstvo navyše a koncentrácie prítomných znečisťujúcich látok sa menia.



Obrázok 1. Biodegradácia v laboratórnych podmienkach

Ďalším dôvodom modelovania koncentrácie tenzidov do 15 mg/l vo vzorkách je skutočnosť, že vyššie hodnoty koncentrácie tenzidov vo vzorkách spôsobovali poškodenie vodných rastlín. Poškodenie bolo intenzívneho rozsahu a vo viacerých prípadoch sa vodné rastliny už nerevitalizovali a nebolo možné ich opätovne použiť na ďalší proces odbúravania tenzidov zo vzoriek iného prípravku. Na rastliny súčasne veľmi negatívne pôsobili agresívne zložky zmesí, ako napr. peroxid vodíka, hydroxidy a iné biocídne zložky, ktoré mali za následok okamžitý smrtiaci účinok vodnej rastliny, čo viedlo k urýchlenému ukončeniu biodegradácie s negatívnym dopadom na rastliny a žiadnym výsledkom odbúrania tenzidov. Príkladom je aplikácia WC gélu s obsahom biocídnych zložiek.

Tabuľka 3. Koncentrácia tenzidov vo vybraných prípravkoch pre biodegradáciu v akváriách

Prípravok	Dávkovanie podľa etikety	Koncentrácia PAL (mg/l) podľa dávkovania
WC gél s obsahom biocídnych zložiek	použitie štandardným spôsobom	25,81
WC gél označený ako eko-prípravok	použitie štandardným spôsobom	9,97
Prostriedok na umývanie riadu	použitie štandardným spôsobom	51,92
Prostriedok na umývanie riadu označený ako eko-prípravok	použitie štandardným spôsobom	12,87
Prací gél na farebné aj biele oblečenie	50 ml/pranie	137,51
Prací gél senzitívny	50 ml/pranie	344,05
Prací prášok na farebné aj biele oblečenie	120 ml/pranie	172,14
Pracie tablety univerzálne označené ako eko-prípravok	1 tableta/pranie	77,20

Z Tabuľky 3 vyplýva, že prípravky označené ako „eko“ majú koncentráciu tenzidov nižšiu ako bežné prípravky, ktoré často obsahujú aj iné prímеси, ako napr. abrazívne, agresívne a biocídne zložky a tým viacnásobne ohrozujú akvatické prostredie. Paradoxná je koncentrácia pri pracom gély (344,05 mg/l), označenom ako Sensitive, ktorý v porovnaní s bežným gélom na farebné i biele oblečenie má o 39,96 % vyššiu hodnotu prítomných tenzidov. Prípravky uvedené v Tabuľke 3 sme podrobili biodegradačným procesom v laboratórnych akváriách, pri laboratórnej teplote. Proces biodegradácie prebiehal max. 48 hodín, čo je dostatočná doba na odbúranie prítomných nežiaducich zložiek, v koncentrácii do 15 mg/l, teda tenzidov zo vzoriek. Zmeny v koncentráciách tenzidov sú uvedené v Tabuľke 4. WC gél s obsahom biocídneho prípravku spôsobil usmrtenie vodných rastlín (Obrázok 2) vo veľmi krátkom čase. Tento prípravok v porovnaní s „eko“ WC gélom vykazoval pri bežnom dávkovaní podobnú koncentráciu PAL, avšak jeho odbúranie nebolo možné.



Obrázok 2. Poškodenie vodnej rastliny pôsobením biocídneho WC gélu (vpravo)

Tabuľka 4. Biodegradácia vybraných prípravkov bežne využívaných v domácnostiach

Prípravok	Počiatočná koncentrácia PAL (mg/l)	Koncentrácia PAL po 24 hod. (mg/l)	Koncentrácia PAL po 48 hod. (mg/l)
WC gél s obsahom biocídnych zložiek	11,26	biodegradácia ukončená po 0,5 hod. od začiatku testovania z dôvodu trvalého poškodenia vodných rastlín prítomnosťou biocídnych zložiek	
WC gél označený ako eko-prípravok	9,97	4,36	0,37
Prostriedok na umývanie riadu	11,39	5,3	0,96
Prostriedok na umývanie riadu označený ako eko-prípravok	12,87	1,47	0,06
Prací gél na farebné aj biele oblečenie	6,32	2,22	0,08
Prací gél senzitívny	6,82	2,88	0,51
Prací prášok na farebné aj biele oblečenie	12,85	6,27	0,98
Pracie tablety univerzálne označené ako eko-prípravok	12,01	4,28	0,21

Z porovnania koncentrácií tenzidov v prostriedkoch na umývanie riadu vyplýva, že „eko“ prípravok je biologicky ľahšie odbúrateľný, za 48 hodín sa odbúrало 99,53 % prítomných povrchovo aktívnych látok. Pri bežnom prostriedku na umývanie riadu došlo k odbúraniu 91,57%/48 hod.

Pri praní bielizne sa využívajú mnohé prípravky – od avivážových kondicionérov, ktoré sa používajú ako parfém a pre zjemnenie bielizne až po pracie gély, kapsule, tablety a prášky. Z praktického hľadiska sme sa zamerali na používanie pracích gélov, ktoré sú najľahšie rozpustné, už pri nízkych teplotách v porovnaní s tabletami, či práškami. Prášok a tabletu sme museli rozpustiť v malom množstve vlažnej vody a následne z nej vyrobiť vzorku o požadovanom objeme, ktorú sme použili na odbúravanie v akváriu. Pracie kapsule sme netestovali z dôvodu ich najťažšej rozpustnosti pri bežných laboratórnych podmienkach. Z Tabuľky 4 vyplýva, že vodné rastliny dokázali účinne odbúrať do 48 hodín všetky pracie prostriedky, ktoré sme použili. Obdobne, ako pri WC géloch, aj pri pracom prášku a tabletách vidieť, že „eko“ prípravok sa odbúral viac (98,25 %) ako bežný prípravok, percento odbúrania bežného pracieho prášku je o 5,88 % menej.

4. Záver

Z experimentálnych vzoriek vyplýva, že prípravky s označením „eko“ obsahujú tenzidy vo svojom zložení v nižšom obsahu ako prípravky, ktoré sú bežne dostupné v obchodných reťazcoch, súčasne sú aj biologicky rýchlejšie a viac odbúrateľné.

Môžeme konštatovať, že v domácnostiach, ale aj v spoločenských a iných zariadeniach používaním mnohých čistiacich a pracích prípravkov sa navyšuje koncentrácia povrchovo aktívnych látok – tenzidov v odpadových vodách, ktoré sú z týchto objektov vypúšťané. Táto koncentrácia prekračuje maximálne prípustnú hodnotu, ktorá sa následne mení v kanalizačnom systéme z dôvodu riedenia a miešania odpadových vôd. Po vyčistení odpadových vôd v mnohých prípadoch si obsah tenzidov vyžaduje ešte pozornosť.

Biodegradačnými procesmi v laboratórnych podmienkach sa potvrdilo, že extenzívne (prírodné) technológie čistenia odpadových vôd založené na využití rastlinných spoločenstiev dokážu účinne odstrániť prítomné emergentné polutanty, konkrétne tenzidy. Ide o spôsob čistenia odpadových vôd, ktorý je možné aplikovať na dočisťovanie vôd, napr. pre domové čistiarne splaškových vôd alebo interné ČOV v zariadeniach, ktoré sú následne napojené na verejnú kanalizáciu. Avšak je dôležité brať do úvahy prítomnosť agresívnych a abrazívnych zložiek obsiahnutých v prípravkoch, ktoré môžu negatívne pôsobiť na vytvorené rastlinné ekosystémy.

Zoznam použitej literatúry

AHUJA, S., 2009. *Handbook of water purity and quality*. New York: Academic press. ISBN 978-0-12-374192-9.

BRAUSCH J.M., G.M. RAND, 2011. A review of personal care products in the aquatic environment: Environmental concentrations and toxicity. *Chemosphere*. 82(11), 1518-1532. ISSN 00456535.

CASELLES-OSORIO, A. et al., 2017. Horizontal subsurface-flow constructed wetland removal efficiency using *Cyperus articulatus* L. In: *Ecological Engineering*, Doi:10.1016/j.ecoleng.2016.11.062

CASTILLO-VALENZUELA, J. et al., 2017. Wetlands for Wastewater Treatment. In: *Water Environment Research*, Doi: 10.2175/106143018X15289915807281

DEBLONDE, T., COSSU-LEGUILLE, C., HARTEMANN, P., 2011. Emerging pollutants in wastewater: A review of the literature. In: *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Doi: 10.1016/j.ijheh.2011.08.002.

GAVRILESCU, M. et al., 2015. Emerging pollutants in the environment: present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. In: *New Biotechnology*, Doi: 10.1016/j.nbt.2014.01.001.

GOMES, J. et al., 2017. Application of ozonation for pharmaceuticals and personal care products removal from water. In: *Science of The Total Environment*, Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.216.

GORITO, A. M. et al., 2017. A review on the application of constructed wetlands for the removal of priority substances and contaminants of emerging concern listed in recently launched EU legislation. In: *Environmental Pollution*, Doi: 10.1016/j.envpol.2017.04.060.

HORÁKOVÁ, M. et al., 2007. *Analytika vody*. Praha: VŠCHT v Praze. ISBN 978-807080-5206.

HYBSKÁ, H., SAMEŠOVÁ, D., 2014. *Procesy úpravy a čistenia vody, návody na cvičenia*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. ISBN: 978-80-228-2629-7.

JARDAK, K., DROGUI, P., DAGHRIR, R., 2016. Surfactants in aquatic and terrestrial environment: occurrence, behavior, and treatment processes. In: *Environmental Science and Pollution Research*, Doi: 10.1007/s11356-015-5803-x.

JOHANSSON, H. C. et al., 2014. Toxicity of ciprofloxacin and sulfamethoxazole to marine periphytic algae and bacteria. *Aquatic Toxicology*. 156-, 248-258. ISSN 0166-445X.

KASPRZYK-HORDERN B., R.M. DINSDALE, A.J. GUWY, 2008. The occurrence of pharmaceuticals, personal care products, endocrine disruptors and illicit drugs in surface water in South Wales, UK. *Water Research*. 42(13), 3498-3518. ISSN 00431354.

LAPWORTH, D. J. et al., 2012. Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence. In: *Environmental Pollution*, Doi: 10.1016/j.envpol.2011.12.034.

LOBOTKOVÁ, M. Posúdenie procesu čistenia odpadových vôd pomocou testov ekotoxicity: diplomová práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2018.

MACKULAK, T., 2013. Progresívne postupy odstraňovania drog z odpadných vôd. In: *VODA*. Brno: Tribun EU. ISBN 978-80-263-0506-4.

MOUSAVI, S. A., KHODADOOST, F., 2019. Effects of detergents on natural ecosystems and wastewater treatment processes: a review. In: *Environmental Science and Pollution Research*, Doi: 10.1007/s11356-019-05802-x.

Nariadenie vlády SR č. 269/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd.

NEVES, A.C., MOL, M. P. G., 2019. Theoretical environmental risk assessment of ten used pharmaceuticals in Belo Horizonte, Brazil. In: *Environmental Monitoring and Assessment*, Doi:10.1007/s10661-019-7386-3.

NIČOVÁ, E., KUBÍČKOVÁ, S., VILÍM, D., 2019. Zkušenosti s provozováním membránového bioreaktoru v oblasti čištění odpadních vod. In: *Vodohospodársky spravodajca, dvojmesačník pre vodné hospodárstvo a životné prostredie*. Banská Bystrica: Združenie zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku. 3-4/2019. ISSN: 0322-886X.

SOBRINO-FIGUEROA, A., 2018. Toxic effect of commercial detergents on organisms from different trophic levels. In: *Environmental Science and Pollution Research*, Doi: 10.1007/s11356-016-7861-0.

STN EN 903: 1999. Kvalita vody. Stanovenie aniónových tenzidov meraním indexu látok aktívnych na metylénovú modrú (MBAS).

STUART, M. et al., 2012. Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwaters. In: *Science of the Total Environment*, Doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.11.072.

TRIQUET, A. C., AMIARD, C. J., MOUNEYRAC, C., 2015. *Aquatic Ecotoxicology*. Cambridge: Academic Pre