NÁSTROJE ENVIRONMENTÁLNEJ POLITIKY
ENVIRONMENTAL POLICY TOOLS
Recenzovaný zborník z IX. medzinárodnej vedeckej konferencie, 30. I. 2019, Bratislava
Proceedings of the 9th International Conference, Bratislava, January 30, 2019
Žilina: Strix et SSŽP, Edition ESE - 46, ISBN 978-80-89753-33-8

BIOMASA AKO ADSORBENT PRIEMYSELNÝCH KONTAMINANTOV Z ODPADOVÝCH VÔD

Maroš SIROTIAK – Lenka BLINOVÁ – Juraj VÁCLAVÍK

BIOMASS AS A ADSORBENT OF INDUSTRIAL CONTAMINANTS FROM WASTEWATER

ENVIRONMENTAL POLICY TOOLS ´2019

ABSTRAKT
Adsorpčné techniky na čistenie odpadových vôd sa v posledných rokoch stali obľúbenými pre ich účinnosť odstraňovania znečisťujúcich látok – najmäiónov kovov, farieb, zápachu a organického znečistenia.Je známe, že niektoré kovy a iónové farbivá sú toxické pre vodné organizmy a spôsobujú potenciálne ohrozenie ľudského zdravia. Tento príspevokpoukazuje na skutočnosť, že ako lacný adsorbent pre odstránenie priemyselných kontaminantov z odpadových vôd môže byť použitá aj odpadová biomasa.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: *biomasa, sorbent, adsorpcia, kontaminant, odpadová voda*

ABSTRACT
Adsorption techniques for waste water treatment have become popular in recent years for their effluent removal efficiency – especiallymetal ions, dyes, odour and organic pollution. It is known that some metals and ionic dyes are toxic to aquatic organisms and cause a potential threat to human health. This contribution points to the fact that waste biomass can also be used as an inexpensive sorbent to remove industrial contaminants from sewage.

KEY WORDS: *biomass, adsorbent, adsorption, contaminant, sewage*

ÚVOD

Adsorpcia je proces, pri ktorom sa látky (molekuly, ióny alebo radikály) rozdelia medzi dve fázy, pričom nastáva zvýšenie koncentrácie, alebo akumulácia adsorbovanej zložky na fázovom rozhraní. Výsledkom adsorpcie je napríklad pri čistení vôd pokles koncentrácie adsorbovanej zložky (kontaminantu) v kvapalnej fáze (čistenej vody). Koncentrácia adsorbovanej zložky v kvapalnej fáze klesá dovtedy, kým sa neustáli adsorpčná rovnováha. Pri dosiahnutí adsorpčnej rovnováhy sa rýchlosť sorpcie a desorpcie vyrovnáva a hodnota koncentrácie adsorbovanej zložky v kvapalnej fáze (a na fázovom rozhraní) mierne osciluje okolo hodnoty danej podmienkami systému. **Absorpcia** je na rozdiel od adsorpcie fyzikálno-chemický proces alebo jav, pri ktorom dochádza k pohlteniu/prechodu absorbovanej zložky (atómov, molekúl, iónov) dovnútra hmoty/objemu absorbenta. Pojem **sorpcia** zahŕňa procesy adsorpcie, absorpcie a ionovýmeny.

Zložka roztoku, ktorá sa adsorbuje, sa nazýva **adsorbát**. Tuhá fáza, ktorá adsorbuje adsorbát, sa nazýva **adsorbent**. Proces adsorpcie je založený na pôsobení rôznych druhov síl na fázovom rozhraní, ktorého výsledkom je koncentrovanie niektorých zložiek na danom rozhraní. Vzhľadom na typ síl spôsobujúcich adsorpciu sa rozlišuje najmä adsorpcia:

- *Fyzikálna* je spôsobená najmä slabými Van der Waalsovými silami. Ide o reverzibilný proces, pri ktorom sa adsorbát môže viazať na povrch adsorbenta aj vo viacerých vrstvách, čím sa dosiahne vyššia sorpčná kapacita (Pitter, 1999).
- *Chemická*vyžadujeexistenciu príťažlivých síl chemického charakteru. Tieto príťažlivé sily sa označujú ako špecifický adsorpčný potenciál. Chemicky adsorbované látky vytvárajú vnútrosférové komplexy s funkčnými skupinami povrchu adsorbenta (Thomas, 1998). Väzba adsorbátu a adsorbenta je pri chemickej adsorpcii pevnejšia ako pri fyzikálnej adsorpcii.

Adsorpciu ovplyvňujú mnohé faktory a medzi najdôležitejšie z nich patria (Russell, 2006):

- veľkosť a charakter merného povrchu adsorbenta,
- charakter adsorbátu (náboj, veľkosť, molekulová hmotnosť),
- koncentrácia/aktivitaadsorbátu,
- celkový fyzikálno-chemický charakter roztoku, resp. čistenej vody (pH, iónová sila, prítomnosť komplexotvorných látok, teplota).

Proces adsorpcie sa využíva pri odstraňovaní širokého rozsahu organických, ale aj anorganických látok z kontaminovanej vody. Najčastejšie sa využíva ako sekundárny alebo až terciárny stupeň čistenia vody – nadočistenie čistenej vody s cieľom odstrániť zvyškovú koncentráciu kontaminantu (Vesilind, 2003). Vzhľadom na všeobecne veľmi vysokú účinnosť procesu (pri optimálnom návrhu technológie) je možné využitím adsorpcie splniť aj veľmi prísne sanačné limity. Využiteľnosť a efektívnosť adsorpcie na čistenie konkrétnych látok závisí najmä od druhu adsorbenta a stupňa znečistenia vody. Spoločným znakom adsorbentov je ich veľký merný povrch a môže sa pohybovať v značnom rozsahu, najčastejšie od 300 do 1200 $m^2 g^{-1}$ (Thomas, 1998). Dôležitú úlohu v adsorpcii molekúl na sorpčný povrch majú aj mikropóry. Rozmedzie objemu mikropórov sa obvykle pohybuje od 0,2 do 0,5 $cm^3 g^{-1}$, makropórov od 0,6 do 1,0 $cm^3 g^{-1}$(Lehmann, Joseph, 2009). Postupným vývojom a zdokonaľovaním technológie prípravy adsorbentov sa postupne zvyšovala ich kvalita, najmä sorpčná kapacita, merný povrch, odolnosť proti oteru, schopnosť regenerácie či selektivita vo vzťahu k určitým typom kontaminantov. Adsorbenty možno rozdeliť na dve základné skupiny:

- *Anorganické adsorbenty* – zeolity, bentonity, alumina, radiolarity a pod. Majú spravidla vysokú adsorpčnú schopnosť, no na druhej strane môžu spôsobovať zákal vody a ak sa nedajú regenerovať, ich environmentálne vhodná likvidácia je sporná.
- *Organické adsorbenty* – materiály v širokom rozsahu od neupravenej biomasy až po aktívne uhlie. Niektoré organické adsorbenty môžu vyvolávať špecifické zafarbenie vody, obvykle sa ťažko regenerujú, ale existuje množstvo metód ich environmentálne vhodnej likvidácie.

Z technologického hľadiska je možné rozlíšiť spôsob aplikácie procesu adsorpcie na kontinuálny a diskontinuálny.

- Pri *diskontinuálnom spôsobe* sa využíva jednoduché pridávanie adsorbenta do reakčnej nádrže v určitom pomere, kde sa pri súčasnom premiešavaní po určitom čase ustáli adsorpčná rovnováha. Následne sa čistená voda separuje od adsorbenta, ktorý sa môže regenerovať a využiť v ďalšom kroku. V záujme zvýšenia efektivity adsorpcie je možné viacstupňové usporiadanie adsorpčných stupňov. Možnosťou je aj viacnásobné využitie adsorbenta, ak sa postupne použije v protismere s postupom čistenej vody (nový adsorbent sa dáva len do aktuálne posledného stupňa). Diskontinuálne usporiadanie je vhodné najmä pri čistení menšieho objemu vody.
- Pri *kontinuálnej aplikácii* sa čistená voda prevádza cez fixné alebo pohyblivé adsorpčné bariéry. Dizajn technologickej aplikácie adsorpčných bariér/náplní, najmä spôsob usporiadania stupňov a smer prúdenia čistenej vody, môže byť rôzny. Usporiadanie viacerých stupňov môže byť paralelné, sériové a smer vody môže byť v smere gravitácie, prípadne proti gravitácii. Veľmi dôležitou fázou pri využití adsorpcie v procese čistenia podzemných vôd je nakladanie s použitým adsorbentom. Použitý adsorbent je nutné buď likvidovať podľa legislatívnych predpisov (napr. uloženie na skládku), alebo ho je možné

regenerovať (využíva sa oveľa častejšie). Spôsob regenerácie závisí od druhu adsorbenta, ako aj od druhu adsorbátu (kontaminantu).

Medzi hlavné výhody využitia procesu adsorpcie patrí (Xu, 2003):

- vysoká účinnosť a schopnosť dosiahnuť veľmi prísne sanačné limity – pretoje možné využiť ju najmä na dočistenie znečistených vôd,
- selektivita v odstraňovaní špecifických kontaminantov pri použití niektorých adsorbentov,
- trvanie čistenia síce závisí od charakteru adsorbenta a kontaminantu, ako aj od technologického usporiadania adsorpčného zariadenia, no vo všeobecnosti ide o relatívne rýchlu metódu.

Medzi hlavné limitácie využitia adsorpcie patrí(Wang, 2006):

- so vzrastajúcou molekulovou hmotnosťou a klesajúcou rozpustnosťou všeobecne vzrastá schopnosť adsorpcie organických látok, to znamená, že adsorpcia dobre rozpustných a nízkomolekulových organických látok je menej efektívna,
- priebeh adsorpcie môže ovplyvniť hodnota pH a to najmä pri adsorbentoch, ktorých sorpčná kapacita závisí od pH roztoku (napr. niektoré ílové minerály),
- využitie adsorpcie je pri vyššom obsahu kolmatujúcich látok (napr. olejovité látky) obmedzené,
- využitie adsorpcie ako primárneho stupňa čistenia je ekonomicky nevýhodné vzhľadom na nutnosť častejšej regenerácie adsorbenta pri vyššom obsahu kontaminantu.

VYUŽITIE BIOMASY V PROCESOCH ČISTENIA VÔD

Biomasou nazývame materiál najmä rastlinného pôvodu, ktorý je vhodný na priemyselné a energetické využitie a patria sem aj odpady a druhotné suroviny, ktoré vznikajú pri jej pestovaní a spracovaní. Biomasa predstavuje biologicky rozložiteľné zložky výrobkov, odpadu a zvyškov z poľnohospodárstva, lesníctva a príbuzných odvetví, ako aj biologicky rozložiteľné zložky priemyselného a komunálneho odpadu (Smernica 2001/77/ES, 2001). Biomasu možno podľa pôvodu rozdeliť na:

- rastlinnú biomasu –fytomasa(zelené časti, slama), dendromasa (drevo, kôra, drevárske zvyšky),
- živočíšnu biomasu –zoomasa (exkrementy chovných zvierat, kafilérne zvyšky),
- priemyselné biologické odpady – odpadyz potravinárskeho priemyslu, čistiarenské kaly.

Hlavnými producentmi biomasy v SR sú odvetvia lesného hospodárstva, poľnohospodárstva a drevospracujúceho priemyslu. Jednotlivé odvetvia sa na produkcii biomasy podieľajú nasledovne (Janíček, 2007):

- lesná biomasa – 17 %,
- drevospracujúci priemysel – 29 %,
- drevný komunálny odpad a poľnohospodárska biomasa – 54 %.

Biomasu v prírodnom alebo upravenom stave je možné využiť aj pre procesy biosorpcie. Biosorpcia je schopnosť biomasy viazať, koncentrovať a imobilizovať prvky z vodných roztokov na bunkový povrch. Realizuje sa prostredníctvom chemisorpcie (napr. tvorba organokovových komplexov s funkčnými skupinami biomasy) alebo fyzikálnej adsorpcie (napr. Van der Waalsove sily, elektrostatické interakcie). Viazania polokovov a kovov na bunkových povrchoch sa však väčšinou zúčastňujú rôznou mierou oba deje. Dominantným mechanizmom podieľajúcim sa na viazaní katiónov kovov na povrch biomasy je iónová výmena a dôležité väzbové miesta na povrchoch sú najmäkarboxylové alebo fosfátové skupiny. V prípade aniónov a polokovov dominuje viazanie na amidové skupiny a amíny. Osobitným prípadom biosorpcie je dej, pri ktorom v blízkosti alebo v rámci

špecifického prostredia bunkových stien, alebo na bunkových povrchoch biomasy, dochádza k tvorbe málo rozpustnej zlúčeniny kovov a polokovov, ktorá je imobilizovaná v biomase – bioprecipitácia (Park, 2010).

Pri biosorpcii existuje možnosť účinnej desorpcie kovu z povrchu biomasy. Desorpciou je možné skúmaný kov prekoncentrovaťdo menšieho objemu, čo umožňuje jeho ľahšie spätné získanie v elementárnej forme alebo uloženie na skládku. Pri komerčnom využití biosorpcie je desorpciasorbátu a následná regenerácia sorbentu dôležitým a ekonomicky výhodným krokom. Desorpcia môže byť termická alebo vytesňovacia.V prvom prípade ide o dekontamináciu sorbentunajčastejšie vodnou parou. V druhom prípade sa biomasa premýva vhodne zvoleným eluentom podľa typu sorbátu. Sorpcie kovov a polokovov na mikrobiálnu biomasu sú pomerne rýchle, rovnováha je počas experimentov dosiahnutá niekedy už po niekoľkých minútach (Volesky, 2004).

Biomasa používaná na komerčnéúčely, môže byť imobilizovaná alebo voľná. Správny výber biomasy použitej ako biosorbent je kľúčovým krokom. Komerčné využitie biomasy na procesy biosorpcie si vyžaduje aj jej jednoduché používanie a vhodné mechanické vlastnosti. Pre tieto účely je do praxe zavádzaný proces imobilizácie– fixácie biomasy. Imobilizácia ponúka mnoho výhod, vrátane lepšej opätovnej využiteľnosti, minimalizuje riziko upchávania prietokového systému pri kolónovýchsystémoch, či zvyšuje odolnosť biomasy voči chemickej či mikrobiálnej degradácii (Volesky, 2004). Imobilizácia biomasy v tuhých štruktúrach vytvára materiál správnej veľkosti, ktorý má dostatočnú mechanickú pevnosť, tuhosť a pórovitosť nutnú pre použitie v rôznych typoch reaktorov. Na imobilizáciu biomasy sú využívané rôzne techniky založené na adsorpcii na inertný nosič, imobilizácii v polymérnej matrici alebo cross-linking tzv. zosieťovanie (Park, 2010). Na biosorpciu s voľnou biomasou sa využívajú najmä rôzne rastlinné materiály, ale aj biomasa mikroskopických vláknitých húb, ktoré tvoria kompaktné mycélia. Voľná mikrobiálna biomasa môže byť v rôznych formách. Možno využívať biomasu vo forme peliet, či granúl, ktoré sa dajú ďalej povrchovo upravovať a následne využívaťna sorpciu (Volesky, 2004).

Hlavnými výhodami biosorpcie oproti obvyklým technológiám sú nízke náklady, vysoká účinnosť, široká dostupnosť, minimalizácia chemických alebo biologických kalov a možnosť regenerácie biosorbentu. Mechanizmus biosorpcie môže závisieť od metabolizmu biosorbenta, alebo sa využíva mŕtva biomasa, kedy je biosorpcia založená len na fyzikálno-chemických interakciách medzi funkčnými skupinami bunkového povrchu a iónu kovu (fyzikálna adsorpcia, iónová výmena, komplexácia, sorpcia bunkovými povrchmi). Sorpčné vlastnosti biomasy závisia od jej povrchu a od jeho chemického zloženia závisia aj mechanizmy viazania, ktoré pri biosorpcii prebiehajú. Využitie mŕtvej biomasy pritom poskytuje lepšie možnosti pre priemyselné využitie. Zníženie nákladov pre priemyselné aplikácie systému biosorpcie však vyžaduje, aby biosorbent mal dostatočnú mechanickú stabilitu, priepustnosť a sorpčnú schopnosť v sérii cyklov biosorpcie (Park, 2010).

Častým javom, ktorý sa pozoruje pri sorpčných štúdiách a teda môže nastať i pri biosorpcii, je znižovanie sorpčného koeficienta pri rastúcom pomere biomasa/ voda.Existujú dve hlavné vysvetlenia tohoto javu. Prvé vysvetlenie je nedokonalá separácia biomasy a vody, t. j. existencia tzv. tretej fázy, úlomkov bunkových stien a rôznych iných bunkových artefaktov, koloidov a iných látok, ktoré sa uvoľňujúz biomasy do vodnej fázy a nedajú sa dobre odseparovať. Experimentálna chyba pri sorpčných experimentoch narastá pri vyšších pomerochbiomasa / voda, keď sa podiel tretej fázy zvyšuje. Druhým vysvetlenímje alternatívny model sorpcie, tzn. že rozdeľovací model biosorpcie nemusí byť korektný a treba použiť iný model fázy pre oddelenie biomasy centrifugovaním, usadzovaním alebo filtráciou. Vzorky vodnej fázy môžu v niektorých prípadoch mať za následok meranie koncentrácie látky, ktorá zahŕňa okrem voľnej látky v roztoku aj látku viazanú na zvyškový koloidný sorbent, t. j. vyššie spomínanú „tretiu fázu" (Vrana, 1998).

V nasledovnej časti uvádzame krátku rešerš o využívaní biomasy ako adsorbenta priemyselných kontaminantov.

Farbivá sa považujú za nežiaduci typ znečisťujúcej látky, pretože sú toxické a farbia vodu, čo je viditeľné ľudským okom a z hľadiska senzoriky je to neprípustné. Farbivá tiež ovplyvňujú prechod

svetla vodou, narúšajú tak základné procesy prebiehajúce vo vodnom prostredí a ovplyvňujú existenciu vodných spoločenstiev prítomných v ekosystéme. V súčasnosti existuje viac ako 100 000 komerčných farbív a v prípade ich použitia sa tieto dostávajú do životného prostredia prostredníctvom odpadov. Vysoko viditeľné znečistenie je spôsobené prítomnosťou už veľmi malého množstva farbív vo vode. Aktívne uhlie nie je vhodné pre odstraňovanie textilných farbív z odpadových vôd, pretože je neúčinné pre adsorpciu koloidných a pigmentovaných farbív a taktiež je proces finančne nákladný. Práve použitie nekonvenčných adsorbentov, ako je drevný materiál a piliny sú sľubnou alternatívou fyzikálnych metód čistenia odpadových vôd. Boli uskutočnené rôzne štúdie, kde sa ako adsorbenaty využívali rôzne druhy pilín, napr. bukové, dubové, či Ghanské drevené piliny.(Badu et al., 2014)Badu et al. (2014) sa zamerali na úpravu odpadových vôd práve z textilného priemyslu. V experimentoch odstraňovalivybrané farbivá (Vat Yellow-4, Vat Red-1, prírodné farbivá) a ako biosorbenty testovali piliny z *TectonaGrandis*, *Ceibapentandra* a *Terminaliasuperba,* pričom dosiahnuté % odstránenia farbív bolipostupne podľa druhu v rozsahu 18,39 – 44,46 %, 9,24 –46,65% a 12,66 – 63,56% v závislosti od testovaného farbiva.

Účelom práce autorov Dulman a Cucu-Man (2009) bolo experimentálne stanoviť podmienky odstránenia textilných farbív z vodných roztokov sorpciou na bukové dreviny. Pre účely experimentu boli zvolené tri farbivá: DirectBrown, DirectBrown 2 and BasicBlue 86. Sorpcia farbív na bukových drevných pilinách závisí od charakteru farbiva, pH, koncentrácie farbív, doby kontaktu a množstva použitého adsorbenta. Porovnávacími kinetickými štúdiami sa zistilo, že rýchlosť sorpcie zodpovedá korelácii s kinetikou pseudodruhého rádu. Adsorpcia na bukových pilinách sa pre zvolené farbivá zvyšovala nasledovne: BasicBlue 86 <DirectBrown 2 < DirectBrown. Maximálna kapacita sorpcie komerčného farbiva (~ 60 % čistota) bola 526,3 mg g^{-1} pre „DirectBrown“.

Niektorí autori predpokladajú, že chemické činidlá by mohli mať vplyv na sorpčné procesy v dôsledku inaktivácie buniek a následného rozkladu buniek alebo z dôvodu možnej reakcie s cieľovým zlúčeninami, zatiaľ čo iné štúdie udávajú, že pridanie napríklad azidu sodného nevyvolalo rozklad buniek (Hamon et al., 2014).

Ding et al. (2014) skúmali sorpciu a desorpciu olova (Pb^{2+}) a metylénovej modrej (MB) z vodných roztokov na chemicky modifikovaných vedľajších poľnohospodárskych produktoch. Experimentálne výsledky ukazujú, že chemicky modifikovaný biosorbent účinne odstraňuje z vodných roztokov jednak Pb^{2+} a zároveň aj MB. Najvyššiu adsorpčnú kapacitu pre Pb^{2+} vykazovala modifikovaná bavlna.

Šćiban et al. (2006) vo svojom výskume zistili, že piliny mäkkého dreva topoľaa jedle majú určité adsorpčné kapacity pre ióny kovov a že tie môžu byť zvýšené predchádzajúcou úpravou roztokom hydroxidu sodného, pričom vhodnou koncentráciou je jeho 1 % roztok. Adsorpčné kapacity adsorbentov modifikovaných zásadou boli vyššie ako u nemodifikovaných adsorbentova to 2,5 – 5krát pre Cu^{2+} a asi 15 krát pre Zn^{2+}. Pre modifikáciu môže byť taktiež použitý roztok uhličitanu sodného, pričom tento roztok je menej účinný ako roztok hydroxidu sodného. Analýzami sa potvrdilo aj nižšie množstvo vylúhovania organických látok z modifikovaných pilín ako z nemodifikovaných a to približne 7 % v prípade topoľa a 23 % v prípade jedle.

Gao et al. (2018)sa zamerali na naočkovanie povrchu borovicových pilín molekulami rozpustného lignosulfonátu sodného (LS_{Na}) s cieľom získať účinný adsorbent vhodný pre odstránenie Hg^{2+} z odpadovej vody. Povrch častíc pilín bol predupravenýkarboxymetyláciou kyselinou chlóroctovou. Výsledný produkt vykazoval pre Hg^{2+}dobrú adsorpčnú kapacitu − 164,77mg g^{-1}. Takýto kompozitný adsorbent má aj vynikajúcu opätovnú použiteľnosť s vysokými a stabilnými rýchlosťami desorpcie v niekoľkých kontinuálnych cykloch. Tieto zistenia naznačujú, že takto pripravený a upravený materiál je potenciálnym adsorbentom na odstránenie iónov nebezpečných kovov z odpadových vôd.

Harmayani a Anwar (2012) skúmalischopnosť adsorpcie pilín pre odstránenie N-NH_3, N-NO_3 a N-NO_2. Z výsledkov možno konštatovať, že piliny sú veľmi dobrým adsorbentom pre odstránenie N-NH_3, N-NO_3 a N-NO_2 z vodného roztoku, najmä pri nižších koncentráciách. Percento odstránenia sa zvýšilo zvýšením dávky adsorbenta, t. j. nárastom povrchu adsorbenta. Výsledky preukázali až 100 % odstránenia N-NO_3 a N-NO_2, zatiaľ čo pre N-NH_3 bolo % odstránenia len okolo 55 %. Sorpcia na

pilinách bola charakterizovaná izotermou s korelačnými koeficientmi R^2 = 0,8324 pre N-NH_3, 0,9856 pre N-NO_3 a 0,9231 pre N-NO_2.

Chen et al. (2018) testovali použitie pilín modifikovaných hydroxidom sodným na odstránenie nečistôt z mazacieho oleja. Takto upravený adsorbent vykazoval zväčšenie svojho povrchu asi 1,39 krát, čo viedlo k zvýšeniu účinnosti odstránenia Si, Al, Fe a Cu v testovanom roztoku z 2,54 %, 20,34 %, 16,55 %, 0,26 % na 15,37 %, 21,99 %, 45,37 %, 4,88 %. Experimenty boli zamerané aj na testovanie optimálnych podmienok adsorpcie ako adsorpčná teplota, čas adsorpcie a rýchlosť rotácie. Modifikované piliny vykazovali stabilnú adsorpčnú kapacitu pre nečistoty pri rôznych adsorpčných podmienkach.

Porubská et al. (2015) skúmali zmenu vlastností ovčej vlny pomocou elektrónového urýchľovača. Zmenou sorpčných vlastností vlny sa môže dosiahnuť aj lepšia sorpcia či už farbiva, alebo rôznych nežiadúcich látok a ťažkých kovov.

ZÁVER

V predkladanom príspevku sme sa zamerali na krátku rešerš článkov o možnostiach využitia rôznych typov biomasy pre účely odstraňovania vybraných druhov priemyselných kontaminantov z odpadových vôd. „Rawbiomass“ dokáže byť efetívnymlow-costadsorbenotm, ktorý je možné využívať v mnohých oblastiach technológií zameraných na ochranu životného prostredia.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

[1] BADU, M. et al. 2014. Evaluation of adsorption of textile dyes by woodSawdust. In: ResearchJournal of Physical and AppliedSciences 3, 1, 006 – 014.
[2] DING, A. et al. 2014. Sorption and cosorption of lead (II) and methyleneblue on chemicallymodifiedbiomass. In: BioresourceTechnology 167, 569 – 573.
[3] DULMAN, V. A, CUCU-MAN, S. M. 2009. Sorption of some textile dyes by beechwoodsawdust. In: Journal of HazardousMaterials, 162, 1457 - 1464.
[4] GAO, S. et al. 2018. Surfacesodiumlignosulphonate-immobilizedsawdustparticle as anefficient adsorbent forcapturing Hg^{2+}fromaqueoussolution. In: Journal of Colloid and Interface Science, 517, 9-17.
[5] HAMON, P.et al. 2014. Determination of sorptionproperties of micropollutants: Whatisthe most suitableactivatedsludgeinhibitiontechnique topreservethebiomassstructure.In: ChemicalEngineeringJournal 242, 260–268.
[6] HARMAYANI, K. D., ANWAR, H. M. F.2012. Adsorption of NutrientsfromStormwaterUsingSawdust, In: International Journal of EnvironmentalScience and Development. 3, 2.
[7] CHEN, X. et al. 2018. Natural adsorbent based on sawdustforremovingimpurities in wastelubricants. In: Journal of HazardousMaterials, 250, 38-45.
[8] JANÍČEK, F. et al. 2007.Obnoviteľné zdroje energie 1: Technológie pre udržateľnú budúcnosť. Pezinok: Renesans, 2007. p. 171. ISBN 978-80-969777-0.
[9] LEHMANN, J. A., JOSEPH, J. 2009. BiocharforEnvironmental Management. In: Science and Technology.
[10] PARK, D. 2010. Thepast, present, and futuretrends of biosorption. In: BiotechnologyBioprocessEngineering 15, 86.
[11] PITTER, P. 1999: Hydrochemie. Vydavatelstvi VSCHT Praha. 568 p. ISBN 80-03-00525-6
[12] PORUBSKÁ, M. et al. 2015. Theeffect of electronbeam on sheepwool. In: PolymerDegradation and Stability 111, 151 – 158.
[13] RUSSELL, D. L. 2006. Practicalwastewatertreatment. Hoboken(New Jersey): John Wiley a Sons, Inc.

[14] Smernica 2001/77/ES, 2001. SMERNICA 2001/77/ES EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY o podpore elektrickej energie vyrábanej z obnoviteľných zdrojov energie na vnútornom trhu s elektrickou energiou.
[15] ŠĆIBAN, M.et al. 2006. Modifiedsoftwoodsawdust as adsorbent of heavy metal ionsfromwater. In: Journal of HazardousMaterials, 136, 266-271.
[16] THOMAS, W. J. A, CRITTENDEN, B. D.1998. Adsorptiontechnology and design. Oxford: Butterworth-Heinemann, p. 288. ISBN 9780750619592.
[17] VESILIND, P. A. 2003. Wastewatertreatmentplant design. Southampton: IWA Publishing, p. 772. ISBN 978-1572782525.
[18] VOLESKY, B. 2004. Sorption and biosorption. BV-SorbexInc., St.Lambert, Quebec.
[19] VRANA, B.et al. 1998. Biosorpcia hydrofóbnych organických polutantov. In: Chemické Listy 92, 186-196.
[20] WANG, L. K. et al.2006. Handbook of environmentalengineering / Advancedphysicochemicaltreatmentprocesses. Totowa(New Jersey): Humana Press.
[21] XU, Z. et al. 2003. Applications of porousresinsorbents in industrialwastewatertreatment and resourcerecovery. In: CriticalReviews in EnvironmentalScience and Technology, 33, 4, 363-389.

ADRESY AUTOROV

Maroš SIROTIAK, RNDr., PhD.
Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta Trnava, Ústav integrovanej bezpečnosti, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika
e-mail: >maros.sirotiak@stuba.sk<

Lenka BLINOVÁ, Ing. PhD.
Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta Trnava, Ústav integrovanej bezpečnosti, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika
e-mail: >anna.michalikova@stuba.sk<

Juraj VÁCLAVÍK, Ing.
Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta Trnava, Ústav integrovanej bezpečnosti, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU
Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS
Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.