INTEGROVANÁ BEZPEČNOSŤ PROSTREDIA • 2021 • INTEGRATED SAFETY OF ENVIRONS
Recenzovaný zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie konanej 21. júna 2021 v Bratislave
Proceedings of the International Scientific Conference, Bratislava, June 21, 2021, Slovak Republic
Edition ESE-56, First Edition, ISBN 978-80-973844-2-5
Slovak Society for Environment • Bratislava • Slovak Republic

OPEN ACCESS Article

POROVNANIE SORPČNEJ ÚČINNOSTI BIOCHAR A MODIFIKOVANÉHO BIOCHAR PRI ODSTRAŇOVANÍ METYLÉNOVEJ MODREJ Z VODNÉHO ROZTOKU

Veronika KVORKOVÁ [1], Lenka BLINOVÁ [2], Juraj MICHÁLEK [3]

COMPARISON SORPTION EFFICIENCY OF BIOCHAR AND MODIFIED BIOCHARIN REMOVAL OF METHYLENE BLUE FROM AQUEOUS SOLUTION

INTEGRATED SAFETY OF THE ENVIRONS
INTEGRATED SAFETY OF ENVIRONS ´2021

[1] *Materiálovotechnologická fakulta STU v Trnave, Ústav integrovanej bezpečnosti, Ulica Jána Bottu č. 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika* *Email: veronika.kvorkova@stuba.sk* *ORCID iD: 0000-0003-4539-5635*
[2] *Materiálovotechnologická fakulta STU v Trnave, Ústav integrovanej bezpečnosti, Ulica Jána Bottu č. 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika* *Email: lenka.blinova@stuba.sk* *ORCID iD: 0000-0001-6971-6558*
[3] *Materiálovotechnologická fakulta STU v Trnave, Ústav integrovanej bezpečnosti, Ulica Jána Bottu č. 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika* *Email: juraj.michalek@stuba.sk* *ORCID iD: 0000-0002-4775-1210*

Competing interests : The author declare no competing interests.

Publisher's Note: Slovak Society for Environment stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. Copyright: © 2021 by the authors.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
This license allows reusers to distribute, remix, adapt, and build upon the material in any medium or format, so long as attribution is given to the creator. The license allows for commercial use.

Review text in the conference proceeding: Contributions published in proceedings were reviewed by members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.

ABSTRAKT
Účinnosť biocharako alternatívneho low-costadsorpčného materiálu závisí od jeho vlastností. Kľúčovými faktormi pri zlepšovaní sorpčných vlastností daného materiálusú podmienky pyrolýzy ako procesu spracovania surovej biomasy, prípadne ďalšie úpravy získaného produktu (napríklad povrchová modifikácia najčastejšierealizovaná pomocou aktivačných procesov–chemicky, fyzikálne alebo biologicky). Všeobecne použitie chemickej aktivácie nevyžaduje vysoké aktivačné teploty, pričom výsledné produkty vykazujú dobré adsorpčné vlastnosti vďaka zmene veľkosti pórov a zväčšeniu merného povrchu.Cieľom príspevku bolo zhodnotiť účinnosť odstránenia farbiva metylénovej modrej (MM) z vodného roztoku použitím (1) biochar pripraveného pomalou pyrolýzou smrekových pilín pri 400 °C (BC4)a(2) modifikovaným biochar (BCA)pripraveným chemickou modifikáciou použitímkoncentrovanej HNO_3. Adsorpčná účinnosť MM bola stanovená meraním absorbancie roztokov po sorpcii v oblasti UV/VIS pri665 nm. Zistilo sa, že BCAmá v porovnaní s BC4 pri tých istých podmienkach viac ako 96% účinnosť pri odstraňovaní MM z vodného roztoku.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: *biochar, metylénová modrá, adsorpcia, chemická aktivácia*

ABSTRACT
The adsorption efficiency of biochar as an alternative low-cost adsorbent material depends on its properties. The main factors in improving the sorption properties of biochar are the selection of suitably selected pyrolysis conditions or further processing of the obtained product (for example surface modification most often realized by activation processes - chemically, physically or biologically).In general, the use of chemical activation does not require high activation temperatures and the products of BC show acceptable adsorption properties due to the change in pore size and the increase in specific surface area. The aim of the paper was to evaluate the efficiency of removing methylene blue (MB) dye from aqueous solution using (1) biocharprepared by slow pyrolysis of spruce sawdust at 400 °C (BC4) and (2) modified biochar (BCA) prepared by chemical modification using concentrated HNO_3*. The adsorption efficiency of MB was determined by measuring the absorbance of the solutions after sorption in UV/VIS area 665 nm. It was found, activated BCA have efficiency in removing MB from aqueous solution greater than 96% in compared to BC4 under the same conditions.*

KEYWORDS: *biochar, methylene blue, adsorption, chemical activation*

ÚVOD

Na celom svete saročne vyrobí $7{,}10^5$ ton rôznych farbív a pigmentov,pričom ichponukana trhu každým rokom narastá. Približne 10 –15% z celosvetovej spotreby farbív sa do životného prostredia dostane ako odpadová voda vznikajúca počas aplikácie farbív pri výrobe textilu, kože, papiera, kozmetikyči plastov [1,2].Z tradičných metód čisteniaodpadových vôd, medzi ktoré patrífiltrácia, iónová výmena či koagulácia sa adsorpcia, ktorá zahŕňa použitie rôznych adsorbentov,ukázala ako veľmi účinná metódanenáročná z hľadiska nákladov. Využitiealternatívnych adsorbentov pripravených z rôznych druhov biomasy či iných uhlíkatých materiálov, robí tento proces odstraňovania farbív ešte ekonomickejším [1].

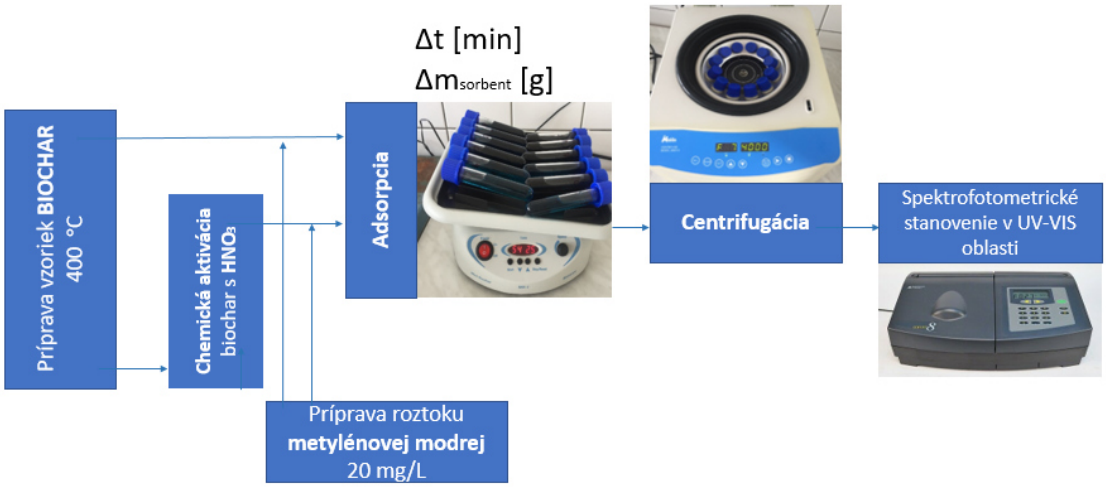
Adsorbent – biochar (BC), možno vyrobiťz akéhokoľvek druhu biomasy použitím termických procesov ako jepomaláči rýchla pyrolýza [3]. BCjemateriál, ktorý má všestranné použitie a práve jeho kvalita určuje oblasť použitia [4,5].Jeho vlastnosti je možné do istej miery ovplyvniť viacerými faktormi. Je to najmä výber biomasy ako vstupnej suroviny, voľba technologického postupu (typ pyrolýzy), teplota, teplotný gradient, reakčná dobaatď. [4]. Biomasa sa spravidla zahrieva na teploty medzi 300 až 800 °C, pričom maximálna teplota, rýchlosť zahrievania a reakčná doba určujú druhtermického procesu [1]. Jednou z hlavných výhod využitia pyrolýzy je možnosť jej optimalizáciepodľa požadovaných výsledkov. Vo všeobecnosti sa pre dosiahnutie maximálneho výťažku kvapalného produktu používa rýchla pyrolýza a krátka reakčná doba[6], zatiaľ čo pre maximálny výťažok tuhého produktu (BC) sa používa pomalá pyrolýza a dlhšia reakčná doba [6,7].Pri pomalej pyrolýze sa využíva pozvoľný ohrev materiálu za neprítomnosti kyslíka pri teplotách 400 až 500 °C [8], pričom produktmi sú pyrolýzny plyn, pyrolýzny olej a pyrolýzny koks (BC)[9].

Aktivačnými procesmi –pomocou povrchovej modifikácie materiáluje možné upraviť výsledné vlastnosti BC (zvýšenie objemu pórov, zvýšenie merného povrch, zmena zastúpenia funkčných skupín na povrchu) a tým zvýšiť účinnosť sorpcie rôznych kontaminantov. Modifikácia môže prebiehať rôznymi spôsobmi– chemicky, fyzikálne alebo biologicky, pričom tieto spôsoby zahŕňajú napr. úpravaparou, kyselinami, zásadami, oxidmi kovov, uhlíkatými materiálmi, ílovými minerálmi, organickými zlúčeninami a biofilmami[10].

MATERIÁL A METÓDY EXPERIMENTU

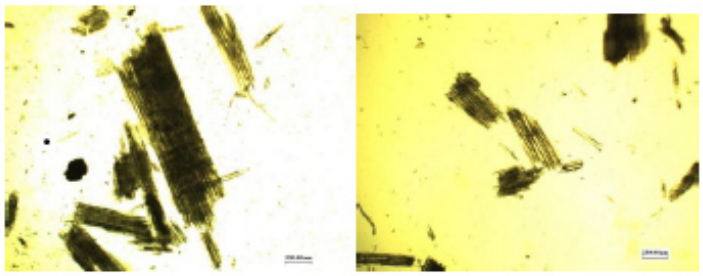
Na nasledujúcom obrázku (Obr. 1) je znázornená schéma experimentu. Cieľom experimentubolo efektívne odstránenie MM z vodného roztoku procesom sorpcie a určenie účinnosti adsorpcie. V prvom kroku bolo potrebné pripraviť sorbetny používané pre sorpciu. Ako sorbenty boli použité biochar a modifikovaný biochar, ktoré boli pripravenépomalou pyrolýzou pri teplote 400 °C.

V druhom kroku boli nami pripravené sorbenty charakterizované (určenie pH sorbentov, charakteristika pomocou skenovacej elektrónovej mikroskopie – SEM) a následne použité pre sorpciu.



Obr. 1– Schéma experimentu

Prevýrobu biochar (BC)bol použitý smrek obyčajný (drevná hmota − piliny), prirodzene sa vyskytujúci na strednom Slovensku. Vzorky dreva sa odobrali zo zoťatého kmeňa stromu, v intervaloch (1 m) a vyrezali sa kruhové výrezy, ktoré sa následne vypilovali (piliny).Na nasledujúcom obrázku je znázornená snímka smrekových pilín (Mikroskop BresserScience TRM-301, kamera BresserMicroCam 10,0 Mpx), ktoré boli následne termicky upravované.



Obr. 2–Snímka smrekových pilín (Mikroskop BresserScience TRM-301, kamera BresserMicroCam 10,0 Mpx)

BC boli pripravené pomalou pyrolýzou v mufľovej peci LAC typu LE 15/11 za kontrolovaných podmienok: prietok plynného dusíka (99,99%) bol 20 ml/min, reakčná doba 120 minúts teplotným gradientom približne 10 °C/mins konečnou teplotou400 °Ca návažkom vzorky smrekových pilín 6 g. Pyrolýzou upravené vzorkysa nechali vychladnúť v exsikátore a následne sa stanovilpercentuálny hmotnostný výťažok BC (ďalej ako BC4). Hmotnostný výťažok (y_m) vyjadruje pomer hmotnosti produktu karbonizácie (m_{karb}) k hmotnosti vstupnej biomasy (m_{biom}), čím opisuje, koľko z pôvodnej hmotnosti zostáva v tuhom zvyšku po pyrolýze. Percentuálne je vyjadrený z rovnice:

$$y_m = \frac{m_{karb}}{m_{biom}} \times 100\ \% \quad (1)$$

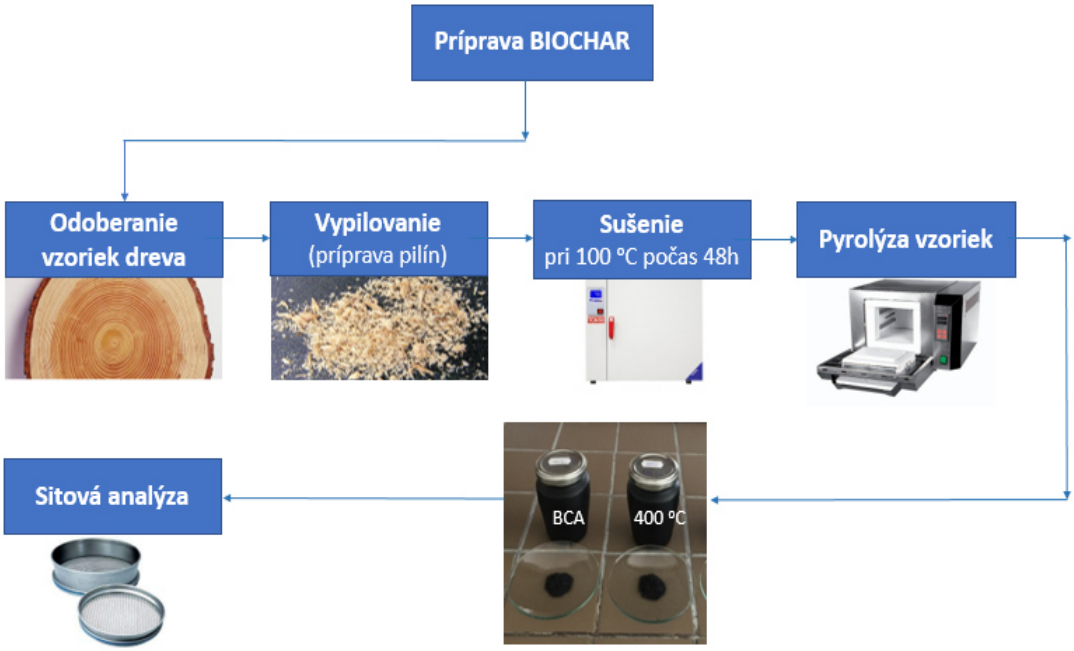
Na dosiahnutie vysokého výťažku je vhodnejšie pyrolyzovať biomasu s vyšším obsahom lignínu, pretože nižšia tepelná stabilita hemicelulóz a celulózy vedie k skoršej tepelnej degradácii týchto zložiek.V procese pyrolýzy je lignín hlavnou zložkou zodpovednou za vyššiu tvorbu tuhého zuhoľnateného zvyšku zatiaľ čo hemicelulózy a celulóza prispievajú k výťažku produkcie bio-oleja

a prchavým látkam [11].Výťažok biochar závisí aj od podmienok pyrolýzy (teplota, rýchlosť zahrievania, reakčný čas). Podľa [12], aj malé zmeny môžu mať za následok významné zmeny v hmotnostnom výťažku, a tým aj v zložení, preto udržiavanie konštantnej kvality získaného produktu môže byť oveľa náročnejšie.Pri nami nastavených podmienkach pyrolýzy bol hmotnostný výťažok BC4 bol31,59 %.

Keďže podľa [13,14], modifikácia BC zvyšuje adsorpciu kladne nabitých iónov metylénovej modrej, pre zlepšenie adsorpčných vlastnostíbol BC4 aktivovaný pomocou HNO_3.1,00 g BC4 sa pridal k 25 ml koncentrovanejHNO_3(65%) a udržiaval sa počas 1 hodiny pri 80 °C pomocou refluxu. Po chemickej aktivácii sa modifikované BC (ďalej ako BCA) dôkladne premývalidestilovanou vodou dokým sa hodnota pH priblížila 7a následne sa sušilopri 105 °C do konštantnej hmotnosti [14].

Pripravené BC4 a BCA boli skladované v tmavých uzavretých nádobách pri laboratórnej teplote a boli podrobené fyzikálno-chemickej charakterizácii. Keďže podľa [15] drvenie biochar na prášok ničí štruktúru pórov a znižuje schopnosť adsorpcie, pre získanie jednotnej frakcie častíc BCsa využila sitová analýza. Tá bola vykonaná na sitovacom stroji Retsch AS 200 podľa STN ISO 3310-1:2007-03, sadov kontrolných nerezových sít, priemer 200 mm, výška 50 mm, priemer ôk sita 1,00 a 1,60 (mm).

Schéma prípravy adsorbentov je znázornená na nasledujúcom obrázku.



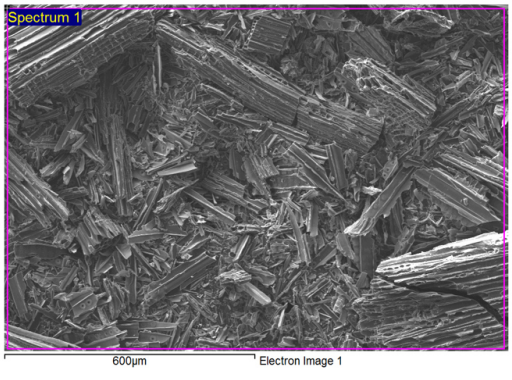
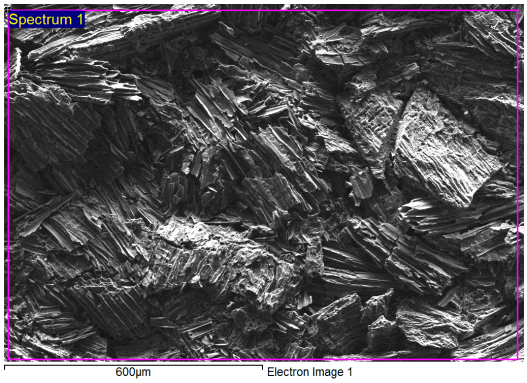
Obr. 3–Schéma prípravy vzoriek adsorbentov

VÝSLEDKY A DISKUSIA

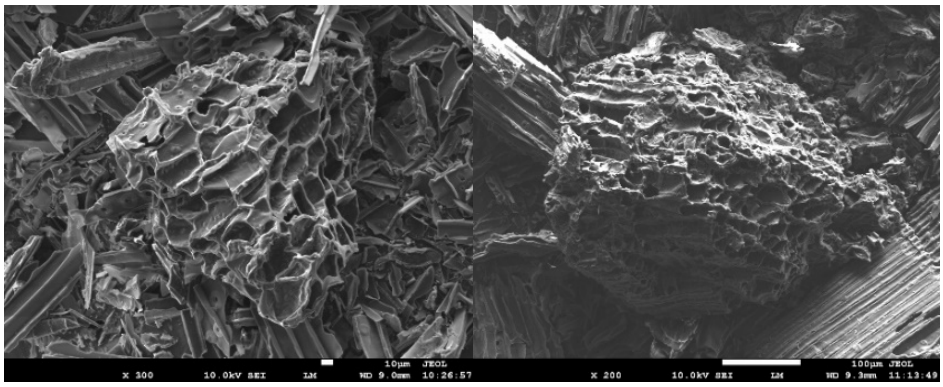
Vzorky BC4 a BCA boli analyzované vysokorozlišovacímrastrovacím elektrónovým mikroskopom JEOL JSM 7600F s FEG katódou (fieldemissiongun = katóda s poľom riadenou emisiou), ktorý je vybavený spektrometrami na stanovenie elementárneho zloženia vzoriek, konkrétne energiovo-disperzný systém EDS, v ktorom sa nachádza Si(Li) detektor X-Max 50 mm^2 a vlnovo-disperzný röntgenový spektroskop (spektrometer IncaWave, Oxford Instruments).
Parametre pozorovania: urýchľovacie napätie U = 10 keV, prúd lúča I = 1 nA a pracovná vzdialenosť WD (workingdistance) = 8 – 9,5 mm. Prášky boli pozorované v režime sekundárnych elektrónov (SEI).

V tabuľke 1 je uvedené elementárne zloženie biochar. Vzorky bolo potrebné pred pozorovaním napariť tenkou vrstvou amorfného uhlíka, na zvýšenie elektrickej vodivosti.

Tab.1–Elementárne zloženie vzoriek biochar

BC			BCA		
 400					
C [%]	N [%]	O [%]	C [%]	N [%]	O [%]
72,18	4,33	23,50	62,12	5,83	32,04

Na nasledujúcom obrázku je zobrazený mikroskopický vzhľad povrchov vzoriek biochar pre frakcie < 1 mm, ktoré boli získané pyrolýzou pri teplote 400 °C.Po aktivácii BC4 koncentrovanou HNO_3 možno spozorovať zmenu na povrchu materiálu. Aj pri nižšom zväčšení možno pozorovať zmenu veľkosti, ale aj objemu pórov. Na základe morfológie povrchu,materiál BC4 a BCA vykazoval potenciál pre použitie ako adsorbent.



Obr. 4–Detail povrchu BC (vľavo: BC4, zväčšenie 300x; vpravo: BCA, zväčšenie 200x)

Pre stanovenie pH BC sa vzorkyBC4 a BCA v pomere 1:20 (BC: demineralizovanávoda)1 hodinu pretrepávali nahorizontálnej trepačke Mini Rocker–Shaker MR-1 za stáleho miešania (130 ot/min) pri stabilnej teplote 25 °C. Následne sa nechali 30 min odstáť a zmeralo sa pH pomocou pH metra WTW Multi 340i. pH meter bol kalibrovaný pomocou pufrov s pH 7 a 10 [16]. pH vzorky BC4 bolo 5,21 a BCA bolo 4,58.

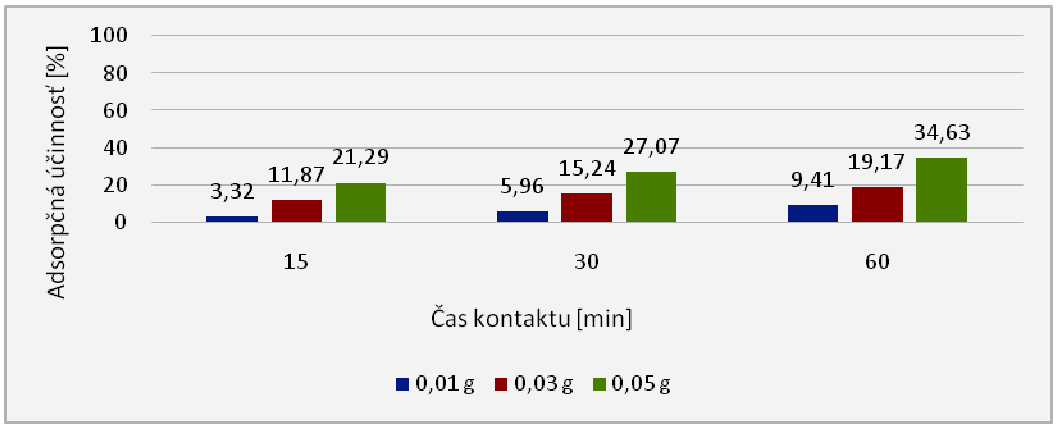
Pre stanovenie adsorpčnej účinnosti boli zásobné roztoky farbiva metylénovej modrej(MM) (Typ: katiónové, Chemický vzorec: $C_{16}H_{18}ClN_3S$, M_w: 319,85 g/mol) s absorpčným maximom pri vlnovej dĺžke 665 nm pripravené rozpustením požadovaného množstva farbiva v demineralizovanej vode.Na stanovenie a porovnanie adsorpčnej účinnosti BC v závislosti od návažku BC a doby kontaktu sa vykonali adsorpčné experimenty.Presne 0,01, 0,03 a 0,05 g BC4resp.BCA sa pridalo do 10 ml sklenených uzatvárateľných skúmaviek obsahujúcich 8 ml roztoku farbiva MM s koncentráciou 20 mg/l. Sorpcia roztoku MMsa uskutočnila pri dynamických podmienkach na horizontálnej trepačke Mini Rocker–Shaker MR-1 za stáleho miešania (130 ot/min) pri stabilnej teplote 25 °C počas 15, 30 a 60 minút. Po uplynutí časového intervalu boli roztoky centrifugované (Nahita model 2640-12) 7 minút

pri 4000 ot/min.Sorpčná účinnosť MMbola stanovená meraním absorbancie roztokov po sorpcii v 1 cm kyvetách pomocou spektrofotometra GENESYS 8 v oblasti UV/VIS pri 665 nm.
Účinnosť sorpcie sa vypočítala podľa rovnice:

$$\eta = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

kde η (%) je adsorpčná účinnosť, A_0 je absorbancia pred adsorpciou a A_t je absorbancia po adsorpcii.

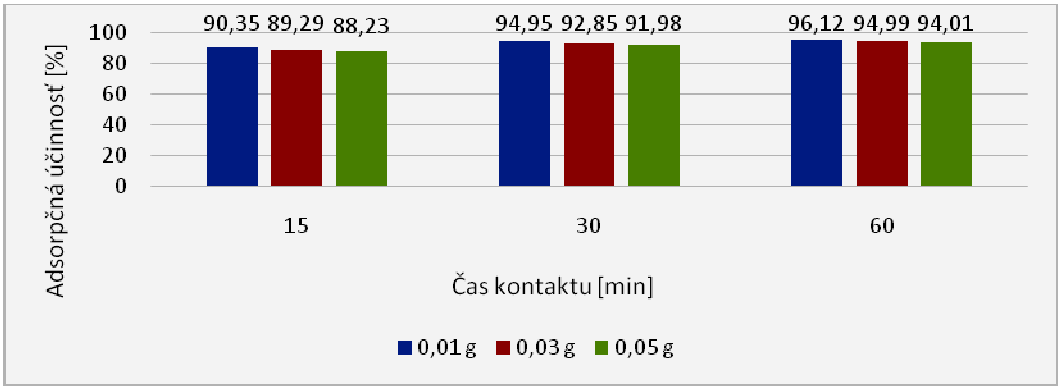
Z výsledkov stanovenia adsorpčnej účinnosti sa zistilo, že účinnosť odstraňovania MM sa mierne zvyšuje so zvyšujúcim sa návažkom BC4 a tiež s predlžujúcim časom kontaktu sorbátu so sorbentom. Vzhľadom na mierne porézny povrch BC4 (Obr.4) má tento adsorbent relatívne dobré adsorpčné schopnosti.Zvýšenie návažku adsorbenta z 0,01 g → 0,03 g → 0,05 g v čase kontaktu 60 minút spôsobilonajvýraznejšie zvýšenie množstva adsorbovaného farbiva postupne z 9,41 % → 19,17 % → 34,63 %.



Obr. 5– Adsorpčnáúčinnosť BC4 v závislosti od množstva návažku a času kontaktu sorbenta so sorbátom

Na základe získaných výsledkov môžeme potvrdiť tvrdenia autorov [13,14], že zvýšenie adsorpčnej účinnosti kladne nabitých iónov MM možno dosiahnuť modifikáciou sorbentu použitím HNO_3. V našom prípade došlo k niekoľkonásobnému zvýšeniu účinnosti adsorpcie MM použitím chemicky aktivovaného BC. Pri použití návažku 0,01 g vzoriekBC4 a BCA v čase kontaktu 15 minút sme spozorovali najväčší nárast a to z 3,32 % (BC4)→90,35 %(BCA), ktorý predstavoval viac než 27 násobné zvýšenie účinnosti. Naopak len 2,7 násobné zvýšeniebolospozorované pripoužití návažku 0,05 g vzorky BCAv porovnaní so vzorkou BC4v čase kontaktu 60 minút.

Správanie sa výsledkov adsorpčnej účinnosti BCA sa v porovnaní s BC4 mierne líši. Účinnosť sa pri jednotlivých návažkoch BC zvyšuje s predĺžením času kontaktu, ale klesá so zvýšením dávky adsorbenta pri konkrétnych časoch. Vyššia adsorpčná účinnosť BCA pri návažkoch sorbenta 0,03 g a 0,05 g (v porovnaní s 0,01 g) môže byť spôsobená narastajúcim počtom voľných aktívnych miest pre adsorpciu na povrchu adsorbenta. Zvýšenie návažku adsorbenta z 0,01 g → 0,03 g → 0,05 g v čase kontaktu 15 minút spôsobilo zníženie množstva adsorbovaného farbiva postupne z 90,35 % → 89,29 % → 88,23 %. Podobný trend poklesu účinnosti adsorpcie bol pozorovaný aj v čase kontaktu 30 a 60 minút. Autori [17] vysvetľujú, že so zvýšením dávky BC pri fixných počiatočných koncentráciách roztoku farbiva môže dochádzať k prekrývaniu väzbových miest a tiež k nedostatočnej dostupnosti molekúl farbiva pre vzniknuté prázdne aktívne miesta na povrchu adsorbenta, preto vykazujú nižšiu adsorpčnú účinnosť pri vyšších návažkoch adsorbentu.



Obr. 6–Adsorpčnáúčinnosť BCA v závislosti od množstva návažku a času kontaktu sorbenta so sorbátom

ZÁVER

Adsorpcia je jednou z najrozšírenejších metód využívaných pre odstraňovanie priemyselných kontaminantov z vôd a vodných roztokov. V súčasnosti môžeme sledovať narastajúci trend rozvoja používania alternatívnych low-costadsorbentov, ktoré môžu konkurovať tradičným sorbentom. Tento príspevok hodnotilpoužitie pyrolyzovanej biomasy (smrekové piliny) ako alternatívneho adsorbentana odstránenie farbiva metylénovej modrej.Zistilo sa, že adsorpčná účinnosť biochar pripravených pri 400 °C sa zvyšuje so vzrastajúcim množstvom návažkusorbentaa dlhším časom procesu adsorpcie. Adsorpčná účinnosť bola najvyššia pripoužití 0,05 g vzorky biochar po 60 minútach a to 34,63 %. Po chemickej aktivácii biochar pomocou HNO_3 došlo k niekoľkonásobnému zvýšeniu účinnosti sorpcie MM. V tomto prípade sa adsorpčná účinnosť zvyšuje so zvyšovaním času sorpcie, aleklesá sovzrastajúcim množstvom návažku sorbentu. Adsorpčná účinnosť bola najvyššia pri použití 0,01 g aktivovanej vzorky biocharpo 60 minútach a to96,12 %.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

[1] HUSSAIN, S., KHAN, N., GUL, S., KHAN, S., KHAN, H. 2019. Contamination of WaterResources by FoodDyes and ItsRemoval Technologies. WaterChemistry, 113-126. London: IntechOpen, pp. 1 – 14.

[2] KARTHIK, R., MUTHEZHILAN, R., HUSSAIN, A., RAMALINGAM, K., VIJAYAKUMAR, R. 2015. Effectiveremoval of MethyleneBluedyefromwaterusingthreedifferentlow-costadsorbents. Desalination and WaterTreatment. 57(23). pp 10626– 10631.

[3] LEHMANN, J., JOSEPH, S. 2015. BiocharforEnvironmental Management: Science, Technology and Implementation. London: EarthscanfromRoutledge, pp. 976.

[4] SCHMIDT, H. P. a WILSON, K., 2014. The 55 Uses of Biochar. TheBiocharJournal 2014.

[5] HORNUNG, A., STENZEL, F., GRUNWALD, J. (2021). Biochar—just a blackmatterisnotenough. BiomassConversion and Biorefinery, 2021.

[6] SALEH AL ARNI. 2018. Comparison of slow and fastpyrolysisforconvertingbiomassintofuel. Renewable Energy. 124, pp. 197 – 201.

[7] FERNANDO, J. C., PEIRIS, C., NAVARATHNA, C. M., GUNATILAKE, S., WELIKALA, U., WANASINGHE, S., MADDURI, S., JAYASINGHE, S., MLSNA, T., HASSAN, E. B., FEREZ, F. (2021). Nitric acid surface pre-modification of novel Lasiaspinosa biochar for enhanced methylene blue remediation. Groundwater for Sustainable Development, 14, 100603.

[8] WOOLLEY, S., HALLOWELL B. 2018. Biochar: AnOverview, In Biomass Controls, LLC . Center forDiseaseControl. pp. 32.
[9] TRÁVNIČEK, P. , VITÁZEK, I.,VÍTĚZ, T., KOTEK, L., JUNGA, P. 2015. Technologiespracovani biomasy za účelom energetického vyuzitiatravnicek. Mendelova univerzita v Brně. Brno: ASTRON studio CZ, pp. 210.
[10] SIZMUR, T., FRESNO, T., AKGÜL, G., FROST, H., MORENO-JIMÉNEZ, E. 2017. Biocharmodification to enhancesorption of inorganicsfromwater.BioresourceTechnology. 246, pp. 34 – 47.
[11] KAN, T., STREZOV, V., EVANS, T.J. 2016. Lignocellulosicbiomasspyrolysis: a review of productproperties and effects of pyrolysisparameters. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 57, pp. 126 – 1140.
[12] WEBER, K., QUICKER, P. 2018. Properties of biochar. Fuel. 217, pp. 240 – 261.
[13] SAJJADI, B., ZUBATIUK, T., LESZCZYNSKA, D., LESZCZYNSKI, J.,CHEN, W.Y. 2018. Chemicalactivation of biocharforenergy and environmentalapplications: a comprehensivereview. ChemicalEngineering, 35(7), pp. 777 – 815.
[14] GÜZEL F, SAYĞILI H, AKKAYA SAYĞILI G, KOYUNCU F, YILMAZ C. 2017. Optimaloxidationwithnitricacid of biocharderivedfrompyrolysis of weeds and itsapplication in removal of hazardousdyemethylenebluefromaqueoussolution. Jurnalof CleanerProduction. 144,pp. 260 – 265.
[15] ZHANG, J., CHEN, Q., YOU, C. 2016. BiocharEffect on WaterEvaporation and HydraulicConductivity in SandySoil. Pedosphere.26(2), pp. 265 – 272.
[16] SINGH, B., DOLK, M. M., SHEN, Q., CAMPS-ARBESTAIN, M. 2017. Biochar pH, electricalconductivity and limingpotential. B. Singh, M. Camps-Arbestain, J. Lehmann (Eds.).Biochar: A Guide to AnalyticalMethods. 23 –38. Clayton: CSIRO Publishing.
[17] NAUTIYAL, P., SUBRAMANIAN, K., DASTIDAR, M. 2016. Adsorptiveremoval of dyeusingbiocharderivedfromresidualalgaeafter in-situ transesterification: alternateuse of waste of biodieselindustry. Journal of Environmental Management, 182, pp. 187 – 197.