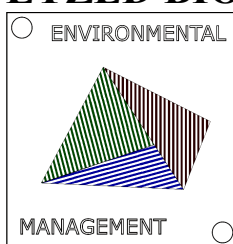


# MOŽNOSTI VYUŽITIA PYROLYZOVANEJ BIOMASY PRE SORPCIU METRIBUZÍNU

 Veronika KVORKOVÁ<sup>1</sup> -  Lenka BLINOVÁ<sup>2</sup> -  Maroš SIROTIAK<sup>3</sup>  
-  Juraj MICHÁLEK<sup>4</sup>

## THE POSSIBILITY OF METRIBUZIN SORPTION USING PYROLYZED BIOMASS



<sup>1</sup> Materiálovotechnologická fakulta STU v Trnave, Ústav integrovanej bezpečnosti, Ulica Jána Bottu č. 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika

✉ Email: [veronika.kvorkova@stuba.sk](mailto:veronika.kvorkova@stuba.sk)

 ORCID iD: 0000-0003-4539-5635

<sup>2</sup> Materiálovotechnologická fakulta STU v Trnave, Ústav integrovanej bezpečnosti, Ulica Jána Bottu č. 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika

✉ Email: [lenka.blinova@stuba.sk](mailto:lenka.blinova@stuba.sk)

 ORCID iD: 0000-0001-6971-6558

<sup>3</sup> Materiálovotechnologická fakulta STU v Trnave, Ústav integrovanej bezpečnosti, Ulica Jána Bottu č. 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika


✉ Email: [maros.sirotiak@stuba.sk](mailto:maros.sirotiak@stuba.sk)


 ORCID iD: 0000-0003-1487-801X

<sup>4</sup> Materiálovotechnologická fakulta STU v Trnave, Ústav integrovanej bezpečnosti, Ulica Jána Bottu č. 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika

✉ Email: [juraj.michalek@stuba.sk](mailto: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

Cieľom príspevku bolo zhodnotiť možnosť použitia biocharvyrobeného z rôznych druhov listnatých drevínako alternatívneho adsorpčného materiálu. Biocharje čoraz populárnejším materiálom kvôli jeho nízkej cene, ale aj jeho environmentálnou vhodnosťou. Pri zlepšovaní ich sorpčných vlastností je dôležitým faktoromvýber podmienok pyrolýzy. Účinnosť odstráneniapesticídu - metribuzínu z vodného roztokubola skúmaná na biochar vyrobenom pomalou pyrolýzoubukových (BC\_buk), orechových (BC\_orech) a dubovýchpilín (BC\_dub)priteplotě 500 °C v atmosfére inertného dusíka. Adsorpčná účinnosť bola stanovená meraním absorbancie roztokov pred a po adsorpcii v UVoblasti (pri294 nm).Zistilo sa,žeBC\_buk vyrobený z bukových pilín má v porovnaní s BC\_dub a BC\_orech pri

tých istých podmienkach (hmotnosť návažku adsorbenta 0,1 g; doba kontaktu 24 h; koncentrácia vstupného modelového roztoku 40 mg/L) viac ako 85 % účinnosť pri odstraňovaní metribuzínu z vodného roztoku.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** biochar, pyrolýza, metribuzin, sorpcia

### ABSTRACT

The aim of the paper was to evaluate the possibility of using biochar as an alternative adsorption material, produced from different types of deciduous trees. Currently, biochar is becoming more and more popular due to its low cost, but also due to its ecological properties. In improving the sorption properties of biochar, the selection of proper pyrolysis conditions is an important factor. The efficiency of removing the pesticide metribuzin from an aqueous solution was studied on biochar produced by slow pyrolysis of beech, walnut, and oak sawdust at a temperature of 500 °C in a nitrogen atmosphere. The adsorption efficiency was determined by measuring the absorbance of the solutions after sorption in the UV region at 294 nm. BC\_beech from beech sawdust was found to be more than 85 % efficient in removing metribuzin from an aqueous solution compared to BC\_oak and BC\_walnut under the same conditions (adsorbent loading weight 0.1 g; contact time 24 h; model solution concentration 40 mg/L).

**KEYWORDS:** biochar, pyrolysis, metribuzin, sorption

### ÚVOD

Kontaminácia pesticídmi patrí k celosvetovým problémom, pretože pri dlhodobej expozícii môže negatívne ovplyvňovať ekosystémy ohrozovaním zdravia ľudí, zvierat, a rastlín.

Pesticídom je akákoľvek účinná látka alebo jej zmes použitá na potlačenie nežiaducich organizmov alebo škodcov, najmä burín, hmyzu, húb, baktérií a hlodavcov.[1] Približne 85 % všetkých používaných pesticídov sa používa na ochranu a zvýšenie výnosnosti poľnohospodárskych plodín. Využitie herbicídov, insekticídov a fungicídov v domácnostiach a záhradách predstavuje okolo 8 - 10 % celosvetovej spotreby.[2] Vo veľkej miere nachádzajú uplatnenie v nepoľnohospodárskych aplikáciách, napr. pri údržbe mestských či lesných plôch, ciest, diaľnic, železníc a tiež v lesných porastoch. Aplikácia pesticídov je v dnešnej dobe prakticky nevyhnutná.[1] Celosvetová ročná spotreba pesticídov je okolo 2 miliónov ton, z čoho sa najviac spotrebuje v Európe (cca 45 %), v USA (25 %) a zvyšných 25 % vo zvyšku sveta.[3]

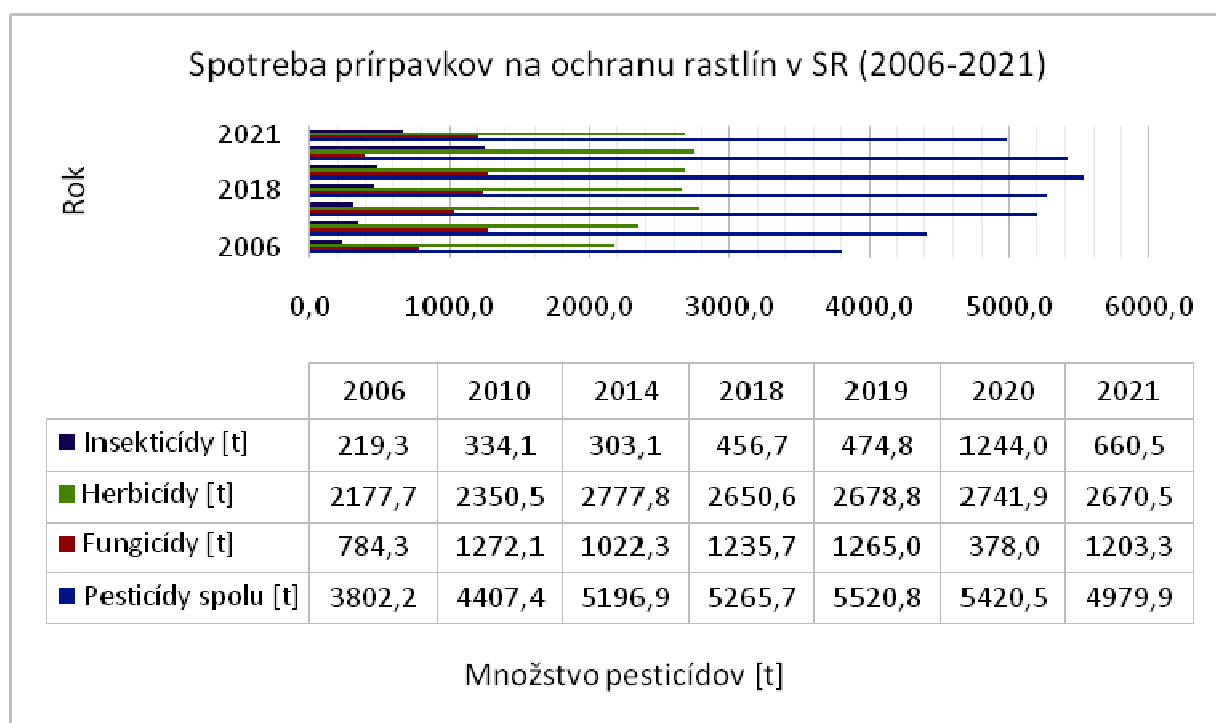
Podľa cieľových organizmov sú pesticídy klasifikované do viac ako 100 skupín napr. herbicídy, insekticídy, fungicídy, nematocídy, avicídy, sušidlá atď. Okrem toho ich môžeme klasifikovať aj podľa troch kategórií:

- klasifikácia na základe spôsobu vstupu,
- klasifikácia na základe funkcie pesticídov a škodcov, ktoré zabíjajú,
- klasifikácia na základe chemického zloženia pesticídov.[5;6]

Na trhu existuje široká škála aktívnych zložiek pesticídov, z ktorých je celosvetovo zaregistrovaných viac ako 1200.[4] Triazíny tvoria jednu z najdôležitejších skupín herbicídov, ktorá má široké využitie. Tieto zlúčeniny sa v poľnohospodárstve používajú už viac ako 50 rokov. Obľúbenosť si získali najmä vďaka ich schopnosti pôsobiť ako inhibítory fotosyntetických procesov burín (regulácia buriny v kukurici, pšenici, jačmeni, ciroku, cukrovej trstine atď.), ale uplatnenie našli aj v iných oblastiach, napr. na nepoľnohospodárskej ploche (ihriská, manipulačné plochy atď.), vo vodnom hospodárstve (ničenie nárostov v zavlažovacích kanáloch), lesníctve alebo tam, kde nie je možné vykonať mechanické odstraňovanie burín (koľajové lôžka, dráhové chodníky a plochy železníc, krajnice ciest atď.).[7;8] Ich vlastnosti, ako dlhý polčas rozpadu, dobrá rozpustnosť vo vode, vysoká mobilita či vysoká chemická stabilita v pôdach spôsobujú, že sa vo vodných útvaroch často vyskytujú reziduá, ktoré môžu ohrozovať vodný ekosystém a biodiverzitu.[9;10] Triazínové herbicídy odolávajú biologickej a chemickej degradácii, klasifikujú sa ako perzistentné organické zlúčeniny. Ich prítomnosť ako aj prítomnosť produktov ich degradácie v životnom prostredí má nepriaznivé účinky

na ľudské zdravie - spôsobuje vrodené chyby či rakovinu.[7] Okrem odtoku alebo vylúhovania z poľnohospodárskych pôd sa tieto herbicidy do vodných útvarov môžu dostávať aj nedostatočným čistením odpadových vôd. [9;10] Veľký problém spojený s aplikáciou triazínov je ich nízka biodegradabilita a tiež dlhé pretrvávanie vo vodnom prostredí ako materských látok, tak aj metabolitov (cca 2 roky).[3]

Prehľad spotreby prípravkov na ochranu rastlín v SR podľa skupín FAO z poľnohospodárskej pôdy eviduje ÚKSÚP (Ústredný kontrolný a skúšobný ústav poľnohospodársky v Bratislave). Na obrázku 1 je znázornený prehľad množstva použitých pesticídov na Slovensku uvádzaný v tonách. Herbicidy na báze triazínov v súčasnosti predstavujú viac ako polovicu pesticídnych prípravkov, pričom v porovnaní s rokom 2006 nárast ich spotreby k roku 2021 niekoľkonásobne stúpol.[11]



*Obrázok 1 Vývoj spotreby prípravkov na ochranu rastlín na Slovensku.[11]*

Pretože aplikácia herbicídov sa stala súčasťou technológie pestovania plodín, dnes už nie je možné vylúčiť ich používanie. Z tohto dôvodu je potrebné venovať tejto problematike viac pozornosti a postupovať tak, aby sa zdravotné riziko z reziduí a degradačných produktov pre obyvateľstvo znížilo na minimum.[3] Jedným zo spôsobov ako znížiť ich negatívne účinky a ovplyvniť spotrebu je racionálna aplikácia prípravkov, dobrý technický stav aplikačnej techniky, ale tiež použitie vhodných adsorbentov.[12]

Biochar (BC) je sorbent s vysokou sorpčnou schopnosťou látok z kvapalín alebo plynov, špecifickou veľkosťou pórov, dobrou tepelnou vodivosťou a veľkým špecifickým merným povrchom ( $300 - 3000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ).[13] Všeobecne sú produkované procesom suchej karbonizácie, pyrolýzy resp. gasifikácie biomasy. V závislosti od podmienok pri príprave (teplota termochemickej konverzie, čas pyrolýzy, typ vstupnej biomasy, rýchlosť ohrevu) sa menia aj fyzikálne, chemické a mechanické vlastnosti produktu.[14] Povrchová štruktúra BC na mikroskopической úrovni má potenciál uplatniť sa pri filtrácii a adsorpcii organických a anorganických znečisťujúcich látok.[15] Vďaka relatívne nízkej cene, vysokému obsahu organického C, značnej porézności a mernému povrchu tiež predstavuje zaujímavé pôdne aditívum, ktoré prispieva k zlepšovaniu úrodnosti pôdy zvýšenou retenciou hnojív a stimulovaním mikrobiálnej komunity. Tiež môže zvýšiť ukladanie uhlíka v pôde, riešiť klimatické zmeny napríklad znížením emisií skleníkových plynov uvoľňujúcich sa do atmosféry a taktiež môže ovplyvňovať osud kontaminantov v životnom prostredí.[16;17]

Na sorpčnú účinnosť týchto adsorbentov majú veľký vplyv najmä ich fyzikálno-chemické vlastnosti, ktoré závisia od podmienok pyrolýzy (teplota, rýchlosť ohrevu a doba pyrolýzy), typu vstupnej suroviny (borovicové drevo, slama z pšenice, ryža, šupky, hnoj, cukrová repa, čistiarenský kal a pod.) a tiež od pH roztoku v ktorom prebieha adsorpcia, teploty a dávkovania BC ako sorbenta.[18] Prebieha celý rad procesov a mechanizmov medzi povrchom adsorbenta a adsorbovanou látkou (elektrostatická príťažlivosť, chemická väzba, interakcia, vodíkové väzby či fixácia v póroch).[19] Pre organické kontaminanty je vzhľadom na veľký merný povrch a rozvinuté štruktúry pórov účinnejšia biomasa pyrolyzovaná pri vyšších teplotách. Naopak pri nižších teplotách pyrolýzy je výsledný produkt v dôsledku vyššej prítomnosti funkčných skupín obsahujúcich atóm kyslíka a vyššieho uvoľňovania katiónov účinnejší pre anorganické kontaminanty.[20]

## METÓDY EXPERIMENTU

### Charakterizácia kontaminantu - metribuzín

Používa sa vo viac ako 75 krajinách sveta, pričom najväčšími spotrebiteľmi sú USA, Brazília, Kanada a Čína.[21]

Tabuľka 1 Základné informácie o pesticíde - metribuzín[22;23]

<b>Vzorec:</b>	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> N <sub>4</sub> OS	
Teplota topenia	125 - 126,5 °C	
Rozpustnosť vo vode	1,2 g/l pri 20 °C	
Polčas rozkladu v pôde	30 až 120 dní	
<b>Číslo CAS:</b>	21087-64-9	
<b>Molekulová hmotnosť:</b>	214,29 g/mol	
<b>Typ pesticídu:</b>	herbicíd	
<b>Skupina:</b>	triazínony	
<b>Spôsob účinku:</b>	selektívny, inhibuje fotosyntézu	
<b>Forma aplikácie:</b>	často dodávané ako zmáčateľné prášky, tekuté suspenzie alebo vodou dispergovateľné granule	
<b>CLP klasifikácia</b>	H302	Škodlivý po požití.
	H373	Môže spôsobiť poškodenie orgánov pri dlhšej alebo opakovanej expozícii.
<b>CLP klasifikácia</b>	H400	Veľmi toxický pre vodné organizmy.
	H410	Veľmi toxický pre vodné organizmy, s dlhodobými účinkami.
<b>Štruktúrálny vzorec:</b>		

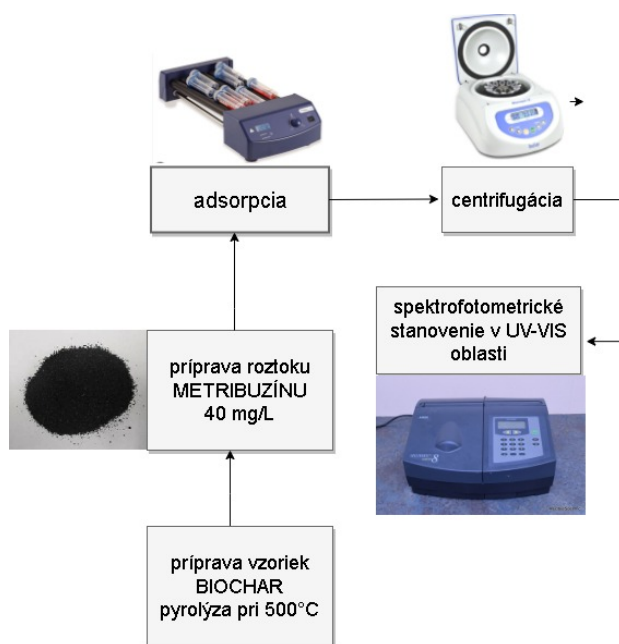
### Prípravavzoriek biochar

Na výrobu biochar (BC) sa použila drewná hmota – piliny buka lesného (*Fagussilvatica*), duba letného (*Quercusrobur*) a orecha kráľovského (*Juglansregia*). Vzorok BC boli pripravené pomocou pomalej pyrolýzy v mufľovej peci LAC typu LE 15/11 pri kontrolovaných podmienkach: prietok plynného

dusíka (99,99 %) (20 ml/min), doba zdržania 120 minút s teplotným gradientom približne 10 °C/min s konečnou teplotou 500 °C a návažkom vzorky pilín 6 g. Pyrolýzou upravené vzorky sa nechali vychladnúť v exikátore. Zhang et al. (2016) vo svojej práci poukázal na to, že drvenie biochar na prášok ničí štruktúru pórov a znižuje schopnosť adsorpcie, preto sa pre získanie jednotnej frakcie častíc BC využila sitová analýza. Vzorky pyrolýzovanej biomasy sme označili ako BC\_buk, BC\_orech a BC\_dub.

### Stanovenie adsorpčnej účinnosti

Obrázok 2 zobrazuje hlavnú schému experimentu s cieľom odstraňovania metribuzínu z vodného roztoku pomocou sorpcie, s využitím alternatívnych adsorbentov z drevnej biomasy pripravených pomalou pyrolýzou pri teplote 500 °C.



Obrázok 2 Schéma pracovného postupu s cieľom odstraňovania metribuzínu z vodného roztoku

Zásobný roztok metribuzínu s koncentráciou 1000 mg/L bol pripravený rozpustením požadovaného množstva pesticídu v metanole. Modelový roztok s koncentráciou 40 mg/L sa riedil požadovaným množstvom demineralizovanej vody. Vykonali sa adsorpčné experimenty na stanovenie a porovnanie adsorpčnej účinnosti troch vzoriek BC v závislosti od návažku vzorky BC a doby kontaktu adsorbentu s adsorbátom.

- **Závislosť od doby kontaktu adsorbentu s adsorbátom**- presne 0,025g BC\_buk, BC\_orech a BC\_dub sa pridalo do 60 ml uzatvárateľných skúmaviek obsahujúcich 25 ml roztoku metribuzínu s koncentráciou 40 mg/L. Sorpcia roztoku metribuzínu sa uskutočnila na horizontálnej trepačke Mini Rocker-Shaker MR-1 za stáleho miešania (120 ot/min) pri stabilnej teplote 20 °C počas 0,083; 0,25; 0,5; 1; 3; 8; 12; 24 h. Sorpčná účinnosť metribuzínu bola stanovená meraním absorbancie roztokov pred a po sorpcii v 1 cm kyvete pomocou spektrofotometra GENESYS 8 pri 294 nm.
- **Závislosť od návažku vzorky BC** - presne 0,01; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; a 0,1 g vzorky BC sa pridalo do 60 ml uzatvárateľných skúmaviek obsahujúcich 25 ml roztoku metribuzínu s koncentráciou 40 mg/L. Sorpcia roztoku metribuzínu sa uskutočnila na horizontálnej trepačke Mini Rocker-Shaker MR-1 za stáleho miešania (120 ot/min) pri stabilnej teplote 20 °C počas. Po uplynutí časového intervalu 24 h boli roztoky centrifugované (Nahita model 2640-12) 5 minút pri 4000 ot/min. Sorpčná účinnosť metribuzínu bola stanovená meraním absorbancie roztokov pred a po sorpcii v 1 cm kyvete pomocou spektrofotometra GENESYS 8 pri 294 nm.

Účinnosť sorpcie sa vypočítala podľa rovnice:

$$\eta = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

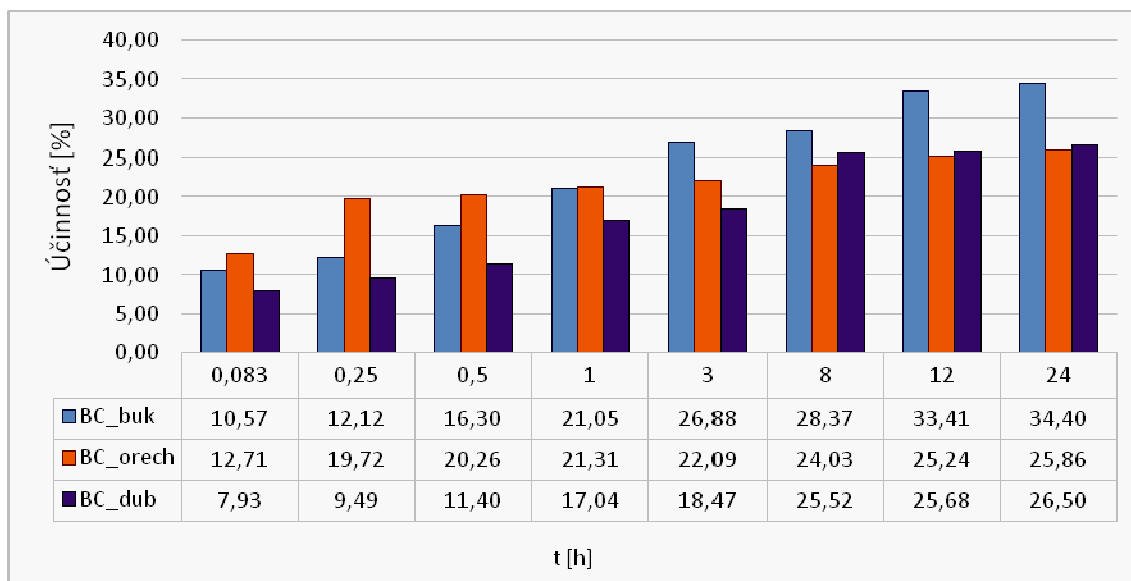
kde  $\eta$  (%) je adsorpčná účinnosť,  $A_0$  je absorbanca vzorky pred adsorpciou a  $A_t$  je absorbanca vzorky po adsorpcii.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

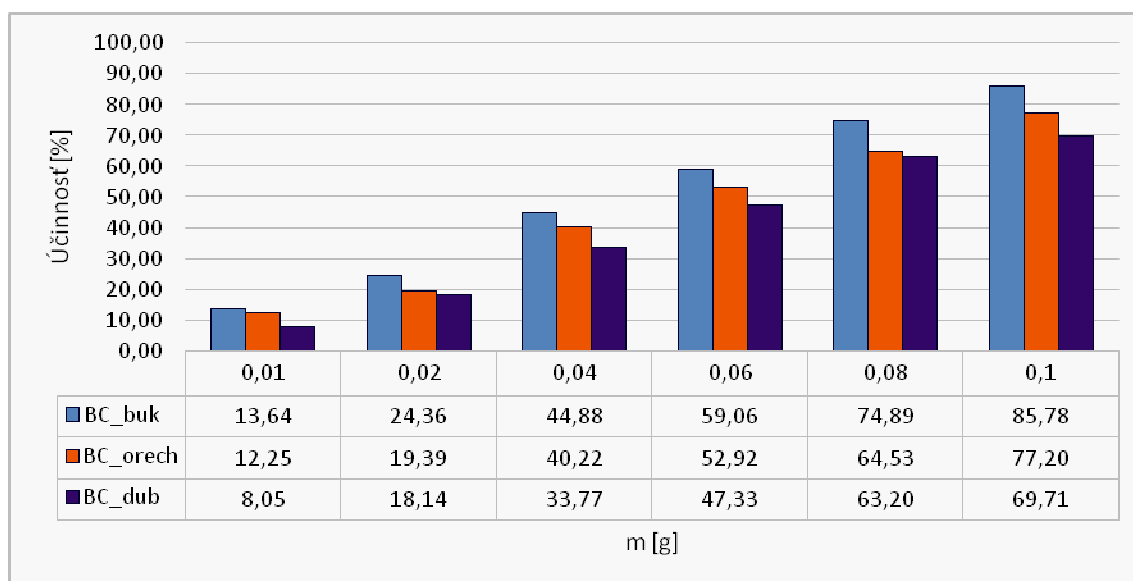
Testovali sa vzorky biochar z troch listnatých stromov - buk lesný (*Fagussilvatica*), dub letný (*Quercus robur*) a orech kráľovský (*Juglans regia*) pripravené pri teplote 500 °C. Sledoval sa vplyv doby kontaktu adsorbentu s adsorbátom pri konštantnej dávke adsorbentu (0,025 g), pričom ostatné parametre sa udržiavali konštantné (objem modelového roztoku 25 ml, počiatočná koncentrácia modelového roztoku metribuzínu 40 mg/L, rýchlosť miešania 120 ot/min, a teplota 25 °C). Všetky experimenty sa realizovali v triplikátoch. Z nameraných hodnôt bol odpočítaný prevádzkový blank (návažok adsorbenta sa zalial 25 ml demineralizovanej vody použitej aj na prípravu modelového roztoku a nakladalo sa s ním rovnako ako s ostatnými vzorkami).

Pre všetky vzorky sme stanovili optimálny čas na ustálenie rovnováhy v adsorpčnom systéme, ktorý sme zistili z kinetických závislostí. K ustáleniu došlo približne po dvanástich hodinách avšak pre spoľahlivé dosiahnutie adsorpčnej rovnováhy aj u iných adsorbentov sme pre ďalšie experimenty navrhli dobu kontaktu 24 hodín.

Účinnosť odstraňovania metribuzínu s návažkom 0,025 g sa mierne zvyšuje s predlžujúcim časom kontaktu adsorbátu s adsorbentom. Najvyšší nárast účinnosti pozorujeme u vzorky BC\_buk, ktorá po uplynutí času na ustálenie rovnováhy vzrástla 3-násobne. V čase 0,083 h sme pozorovali účinnosť odstránenia kontaminantu 10,57 %, po 24 h účinnosť vzrástla na 34,4 %. Pri navýšení množstva adsorbentu z 0,01 na 0,1 g sme pri tej istej vzorke pozorovali nárast z 13,64 % na 85,78 %.



Obrázok 3 Adsorpčná účinnosť biochar vyrobeného z rôznych druhov dreva v závislosti od času



Obrázok 4 Adsorpčná účinnosť biochar vyrobeného z rôznych druhov dreva pri rôznych návažkách adsorbentu

## ZÁVER

Adsorpcia je jednou z najrozšírenejších metód na odstraňovanie rôznych kontaminantov z vôd a vodných roztokov. V súčasnosti môžeme sledovať narastajúci trend rozvoja používania alternatívnych sorbentov, ktoré môžu konkurovať tradičným sorbentom alebo ich v budúcnosti úplne nahradiť. Tento článok zhodnotil použitie pyrolyzovanej biomasy (dubové, orechové a bukové piliny) ako alternatívneho adsorbentu na odstránenie metribuzínu používaného ako herbicídny pesticíd, ktorý má široké uplatnenie v poľnohospodárstve a tak najčastejšie kontaminuje podzemné vody.

Po zhodnotení experimentálnych výsledkov je možné konštatovať, že všetky použité adsorbenty potvrdili schopnosť odstraňovať metribuzín z vodných roztokov. Zistilo sa, že adsorpčná účinnosť vzoriek pripravených pri 500 °C sa zvyšuje s predlžujúcim sa časom kontaktu adsorbenta s adsorbátom a tiež so zvyšujúcim množstvom návažku adsorbenta. Najvyššia adsorpčná účinnosť bola pozorovaná pri použití 0,1g vzorky BC\_buk a to 85,78 % po 24 h.

## Acknowledgements

*This work was supported by the VEGA gency under contracts No. VEGA 1/0678/22.*

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] CASSOU, E., 2018. Agricultural pollution: pesticides. March, 2018, No. 124345, pp. 1-6.
- [2] BUSH, E. 2018. Reducing pesticide use in the home lawn and garden. In Virginia Cooperative Extension. Virginia State University. 450(450-725)
- [3] ILAVSKÝ, J., BARLOKOVÁ, J., MARTON, M. 2020. Odstraňovanie vybraných pesticídov z vody granulovaným aktívnym uhlím. In Zborník prednášok z konferencie VODA ZLÍN 2020. pp. 37-42. ISBN 978-80-905716-6-2
- [4] Van de MERWE J., NEALE, P.A., MELVIN, S.D., LEUSCH, F. 2018. In vitro bioassays reveal that additives are significant contributors to the toxicity of

- commercial householdpesticides. In *Aquatic Toxicology*. 199.  
DOI:10.1016/j.aquatox.2018.03.033
- [5] YADAV, I.C., DEVI, N.L. 2017. Pesticides Classification and Its Impact on human and Environment. In *Environmental Science And Engineering*. Vol 6: Toxicology. Chapter 7. Publisher: Studium Press LLC, USA. pp.140-158
- [6] VAGI, M.C., PETSAS, A.S. 2020. Recent advances on the removal of priority organochlorine and organophosphorus biorecalcitrant pesticides defined by Directive 2013/39/EU from environmental matrices by using advanced oxidation processes: An overview (2007–2018). In *Journal of Environmental Chemical Engineering*. vol. 8(1), 102940. ISSN 2213-3437
- [7] PENG, J., gAN, J., JU, X., LIU, T., CHEN, J., hE L. 2021. Analysis of triazine herbicides in fish and seafood using a modified QuEChERS method followed by UHPLC-MS/MS. In *Journal of Chromatography B*. vol. 1171, 122622. ISSN 1570-0232
- [8] CABALLERO, B., FINGLAS, P., TOLDRÁ, F. 2015. *The Encyclopedia of Food and health*. 1st edition. Imprint: Academic Press. pp. 4006. ISBN 978-0-12-384953-3
- [9] SUO, F., YOU, X., MA, Y., LI, Y. 2019. Rapid removal of triazine pesticides by P doped biochar and the adsorption mechanism. In *Chemosphere*. vol. 235, pp. 918-925. ISSN 0045-6535
- [10] HIEN LE, T.D, SCHARMÜLLER, A., KATTWINKEL, M., KÜHNE, R., SCHÜÜRMAN, g., SCHÄFER, R.B. 2017. Contribution of waste water treatment plants to pesticide toxicity in agriculture catchments. In *Ecotoxicology and Environmental Safety*. vol. 145, pp. 135-141. ISSN 0147-6513
- [11] ÚKSÚP: Ústredný kontrolný a skúšobný ústav poľnohospodársky. Spotreba prípravkov na ochranu rastlín. ©2019-2021.[cit. 2023 - 01 - 03]. Dostupné na internete: <https://www.uksup.sk/spotreba-pripravkov-na-ochranu-rastlin>
- [12] KROČKOVÁ B. 2020. Spotreba priemyselných hnojív a pesticídov. In *Enviroportal*. [cit. 2023 - 02 - 03]. Dostupné na internete: <https://www.enviroportal.sk/indicator/detail?id=621&print=yes>
- [13] GEMBALOVÁ, L., KLOUDA, K., ROUPCOVÁ, P., RUSÍN, J., PRYSZCZ, A. WEISHEITLOVÁ, M. 2016. Biochar - ekologický produkt a jeho uplatnění v ochraně životního prostředí. In *Ochrana obyvatelstva - zdravotní záchranářství*. Ostrava: SPBI. pp. 24 - 31. ISSN 1803-7372
- [14] FRIŠTÁK, V., PIPÍŠKA, M. SOJA, g. 2018. Pyrolysis treatment of sewage sludge: A promising way to produce phosphorus fertilizer. In *Journal of Cleaner Production*. vol. 172, pp. 1772-1778. ISSN 0959-6526
- [15] KAN, T., STREZOV, V., EVANS, T.J. 2016. Lignocellulosic biomass pyrolysis: a review of product properties and effects of pyrolysis parameters. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. vol. 57, pp. 126-1140. ISSN 1364-0321
- [16] ZHANG, Y.P., KURNIA ADI, V.S., hUANG, h.L., LIN, h.P., hUANG, Z.H. 2019. Adsorption of metal ions with biochars derived from biomass wastes in a fixed column: Adsorption isotherm and process simulation. In *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. vol. 76, pp. 240-244. ISSN 1226-086X
- [17] RUAN, X., SUN, Y., DU, W., TANG, Y., LIU, Q., ZHANG, Z., DOHERTY, W., FROST, R.L., QIAN, g., TSANG, D.C.W. 2019. Formation, characteristics, and applications of environmentally persistent free radicals in biochars: A review. In *Bioresource Technology*. vol. 281, pp. 457-468, ISSN 0960-8524
- [18] LIU, Y., LONAPPAN, L., BRAR, S.K., YANG, S. 2018. Impact of biochar amendment in agricultural soils on the sorption, desorption, and degradation of pesticides: A review. In *Science of The Total Environment*. vol. 645, pp. 60-70. ISSN 0048-9697
- [19] TAN, X., LIU, Y., ZENG, g., WANG, X., hU, X., gU, Y., YANG, Z. 2015. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. In *Chemosphere*. vol. 125, pp. 70-85. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.12.058.



- [20] TAN, Z., LIN, C.S.K., JI, X., RAINEY, T. 2017. Returning biochar to fields: A review. In *Applied Soil Ecology*. vol. 116, pp. 1-11. ISSN 09291393
- [21] LEBARON, h.M., MCFARLAND, J.E., BURNSIDE, O.C. 2008. The Triazine herbicides. 50 years Revolutionizing Agriculture. pp. 584. ISBN 978-0-444-51167-6
- [22] LEWIS, K.A., TZILIVAKIS, J., WARNER, D. AND GREEN, A. 2016. An international database for pesticide risk assessments and management. In *human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. vol. 22(4), pp. 1050-1064. doi: 10.1080/10807039.2015.1133242
- [23] DIANAT, M., SAEIDIAN, h. 2019. Themetribuzin herbicide in polycaprolactonenanocapsules shows less plant chromosome aberration than non-encapsulated metribuzin. In *Environmental Chemistry Letters*. vol. 17(10). 10.1007/s10311-019-00912-x
- [24] ZHANG, J., CHEN, Q., YOU, C. 2016. Biochar Effect on Water Evaporation and hydraulic Conductivity in Sandy Soil. In *Pedosphere*. vol. 26(2), pp. 265-272. ISSN 1002-0160