

Přehledový příspěvek o rychlotestech v malých kolonkách

ANNA KÓLOVÁ, LADA STEJSKALOVÁ

Klíčová slova: adsorpce – aktivní uhlí – mikropolutanty – rychlotesty v malých kolonkách – RSSCTs

SOUHRN

Rychlotesty v malých kolonkách (Rapid Small-Scale Column Tests – RSSCTs) jsou testy, které lze použít pro snadné laboratorní ověření účinnosti adsorpce mikropolutantů na vybraný adsorbent. Volba adsorbentu je nejdůležitějším aspektem při zařazení technologie adsorpce do provozu úpravný vod nebo čistírny odpadních vod (ČOV). Testy probíhají ve zmenšeném měřítku, což minimalizuje náklady na materiál i vlastní realizaci testů. Článek se zaměřuje na adsorpci na granulovaném aktivním uhlí (GAU), jelikož je to nejčastěji používaný typ adsorbentu. K RSSCTs lze však použít i jiné druhy adsorbentů. Cílem příspěvku je uvést čtenáře do problematiky rychlotestů v malých kolonkách. Článek konkrétně uvádí možné příklady využití rychlotestů v malých kolonkách a přibližuje důležité parametry v oblasti testování adsorpce mikropolutantů na aktivní uhlí, které se uplatňují při dimenzování testů i při jejich následném vyhodnocování. Příspěvek přináší i souhrnné informace o metodice rychlotestů. Provedená analýza převážně zahraniční literatury ukazuje, že metodiky RSSCTs v jednotlivých studiích vykazují různé modifikace, ale ve své podstatě jde o obdobný postup. Rozdíly jsou patrné na úrovni materiálového vybavení, konstrukčních rozměrů nebo hodnot parametrů a jsou do velké míry dány odlišným účelem testování.

ÚVOD

Rychlotesty v malých kolonkách (Rapid Small-Scale Column Tests – RSSCTs) jsou testy, které zkoumají adsorpci mikropolutantů na vybraný adsorbent. Principem metody je průtok testované vody malou kolonkou naplněnou adsorbentem, což umožňuje získat více reprezentativnější data než při vsádkových testech [1]. Metodika rychlotestů v malých kolonkách byla vyvinuta v osmdesátých letech minulého století [2] jako zmenšená verze pilotního testování ve velkých kolonkách s granulovaným aktivním uhlím (GAU) [3]. Rychlotesty v malých kolonkách jsou výhodné pro minimalizaci časové i ekonomické náročnosti oproti poloprovozním testům. Při jejich použití se významně snižuje množství potřebného materiálu na konstrukci kolon, množství adsorbentu, objem vody i provozní doba testu [4]. V největší míře se jako adsorbent používá GAU, a to především pro své výborné adsorpční schopnosti a jeho širokou nabídku na trhu. Možné je však otestovat i jiné adsorbenty.

Pro testování sorpce mikropolutantů na GAU je možné zvolit i další možnosti, mezi něž patří pilotní testování, jež probíhá ve velkých kolonkách. Rozdílem oproti RSSCTs je, že se pilotní testy dají využít přímo v zájmové lokalitě a testování probíhá většinou v dlouhém časovém intervalu. Jinou možností jsou matematické a statistické prediktivní modely [2]. U RSSCTs nejsou na rozdíl od prediktivních modelů vyžadovány rozsáhlé izotermické nebo kinetické studie [3].

Rychlotesty v malých kolonkách lze použít k mnoha účelům. Již provedené studie s RSSCTs se zaměřovaly na testování různých adsorpčních médií pro odstranění konkrétního prvku z vody (např. adsorpce arzenu [5]) nebo konkrétní organické látky (adsorpce methyl tert-butyl etheru [MTBE] [6], geosminu [7]) či směsi látek (adsorpce farmak a jejich metabolitů [8], adsorpce perfluorovaných a polyfluorovaných látek [PFAS] [9]). Ve zmenšeném laboratorním měřítku je možné zjistit i další užitečné informace. Pomocí RSSCTs lze např. zkoumat vliv provozních parametrů na účinnost adsorpce, jako je EBCT (Empty Bed Contact Time), nebo mohou sloužit k získání průnikových křivek (Breakthrough Curves) jednotlivých mikropolutantů [5, 10]. Průnikové křivky jsou grafickým znázorněním závislosti koncentrace sledovaného mikropolutantu na odtoku z kolony ke koncentraci mikropolutantu na přítoku do kolony za časovou jednotku [11]. Průnikové křivky lze při použití RSSCTs získat za zlomek času oproti testování ve velkém měřítku [4]. RSSCTs jsou často nejvhodnější cestou ke zhodnocení různých druhů GAU pro danou lokalitu (především konkrétní upravovanou vodu). Lze jimi také rychle ověřit tvrzení výrobce a získat představu o ekonomických nákladech adsorpce a vybrat vhodný druh GAU pro pilotní testování [3, 10].

Právě přesné předpovědi účinnosti GAU jsou obzvláště důležité pro výběr vhodného typu GAU do poloprovozních studií i reálného provozu [12]. Parametry, které běžně uvádí výrobce aktivního uhlí, jako jsou jodové číslo, dechlorační půlhodnota, BET izoterma atd., téměř nevypovídají o tom, jak se bude daný typ GAU chovat v reálných podmínkách a s jakou ochotou se na něj budou specifické mikropolutanty vázat [6]. Proto je vhodné si daný typ otestovat nejprve laboratorně. Pro následný přepočítání z laboratorního měřítka na poloprovozní nebo provozní velikost filtru se používá model konstantní nebo proporcionální difuzivity [2]. Při použití návrhu konstantní difuzivity předpokládáme, že difuzivita adsorbované látky je nezávislá na velikosti částic adsorbentu [6, 8, 9]. Při použití rovnice proporcionální difuzivity naopak předpokládáme, že intraparticulární difuzivita je lineárně závislá na velikosti částic adsorbentu [2, 13]. Pro určení hodnot parametrů a ke zjištění průnikových křivek lze použít počítačové modely – např. software FAST 2.0 [8].

Důležité parametry

V testování adsorpce na aktivní uhlí, ale i jiné adsorbenty, jsou důležité parametry, jež je nutné zohlednit při dimenzování testu. Tyto parametry také usnadňují interpretaci výsledků a umožňují srovnání výsledků z rozdílných studií mezi sebou. Mezi nejvíce používané patří EBCT, průtok a HLR, ale užitečné mohou být i další parametry. Niž jsou uvedeny vybrané z nich [8, 9, 13]:

— Doba kontaktu v prázdňém loži (Empty Bed Contact Time) EBCT

Ukazatel EBCT je definován jako čas, po který se protékající voda zdržuje v objemu kolonky, který zabírá GAU. EBCT se uvádí v minutách nebo sekundách a závisí na výšce vrstvy GAU a na zvolené filtrační rychlosti. Od hodnoty EBCT se odvíjí návrh velikosti filtru a také předpokládané množství použitého GAU. Hodnota EBCT také ovlivňuje průnikové křivky sledovaného polutantu, čímž může ovlivnit i životnost GAU. Vyšší hodnoty EBCT, tedy vyšší doba kontaktu (zdržení), zpravidla zvyšují účinnost adsorpce.

$$EBCT = \frac{V_B}{Q} \text{ nebo } EBCT = \frac{L_B}{Q/A} = \frac{L_B}{HLR}$$

kde V_B je objem filtru [m³]
 Q průtok [m³.s⁻¹]
 L_B výška filtru [m]
 HLR hydraulické zatížení [m.s⁻¹]
 A průřez kolonky [m²]

— Průtok (Flow Rate) Q

Průtok, tedy objem vody, který proteče kolonkou za jednotku času, můžeme kromě základního vzorce spočítat například odvozením z rovnice EBCT nebo HLR. Průtok se uvádí nejčastěji v jednotkách m³.s⁻¹ nebo m³.den⁻¹. Ve zmenšeném měřítku rychlostí se ale běžně používá v jednotkách ml.min⁻¹.

$$Q = \frac{V}{t}$$

kde V je objem vody [ml]
 t čas [min]

— Filtrační rychlost (Hydraulic Loading Rate) HLR

Důležitou charakteristikou je také filtrační rychlost, tedy průtok dělený plochou kolonky [10]. V některé literatuře se objevuje i termín Filter Velocities (VF), který odpovídá HLR. Pro tento parametr se nejčastěji využívá jednotka m.h⁻¹ a dále cm.min⁻¹.

$$HLR = \frac{Q}{A}$$

kde Q je průtok [m³.h⁻¹]
 A průřez kolonky [m²]

— Doba provozu filtru (Filter Operation Time) t_f

Udává čas od začátku testu do jeho skončení nebo do nahrazení aktivního uhlí regenerovaným či novým aktivním uhlím. Parametr se uplatňuje hlavně při dlouhodobějších testech ve větším měřítku a běžně se uvádí ve dnech.

— Throughput Volume V_L

Jde o objem vody, který projde kolonkou během doby provozu filtru. Parametr se uplatňuje hlavně při dlouhodobějších testech ve větším měřítku.

$$V_L = Q * t_f$$

kde Q je průtok [m³.den⁻¹]
 t_f doba provozu filtru [dny]

— Objem lože (Bed Volume) BV

Tento parametr je bezrozměrný a jde o standardizaci objemu protékající vody na objem lože s aktivním uhlím. Matematicky ho lze vyjádřit jako poměr objemu proteklé vody k objemu granulovaného aktivního uhlí v kolonce (objem filtru). Lze ho však definovat i jako poměr mezi provozní dobou testu a EBCT.

$$BV = \frac{V_L}{V_B} = \frac{t_f}{EBCT}$$

kde V_L je Throughput Volume
 V_B objem filtru

— CUR (Carbon Usage Rate)

Tento ukazatel definuje životnost GAU. Lze ho chápat jako potřebu určitého množství aktivního uhlí z hlediska dosažení cílové koncentrace pro sledovaný mikropolutant. Jednotkou je kg.m⁻³.

$$CUR = \frac{M_{GAU}}{Q * t_{BK}}$$

kde M_{GAU} je hmotnost granulovaného aktivního uhlí [kg]
 Q průtok [m³.s⁻¹]
 t_{BK} čas, za který dojde k dosažení stanovené cílové (nebo limitní) koncentrace polutantu na odtoku z GAU [dny]

METODIKA RSSCTs DLE LITERATURY

Provedené studie jsou různorodé co do účelu výzkumu, což se odráží i na rozdílech v metodice. V podstatě však jde o obdobný postup – průtok testované vody kolonkou. Mezi sebou se liší především předmětem testování, konstrukčními rozměry, množstvím použitého adsorbentu nebo hodnotami parametrů [5]. Pro testování může být zvolena voda modelová, tedy uměle připravený roztok se známou koncentrací sledované látky, která se průchodem přes kolonky bude snižovat. Využití modelové vody se uplatní pro pochopení určitých základních vztahů adsorpce [6]. Použití skutečné pitné nebo odpadní vody umožní posouzení vhodnosti adsorbentu pro budoucí konkrétní využití. Při použití odpadní vody je vhodné tuto vodu nejprve zbavit nerozpuštěných látek, aby nedocházelo k zanesení adsorbentu v kolonce. Odpadní voda po mechanickém a biologickém stupni čištění může být např. přefiltrována přes ultrafiltrační membránu [15], postačí ale i klasický laboratorní filtrační papír.

Příprava zkušebních kolonek je základním krokem k přípravě RSSCTs. Zvolený počet kolonek a jejich velikost, jakož i počet opakování testů, odráží účel a rozsah zamýšleného testování. Materiálem, který se pro výrobu kolonek často používá, je borosilikátové sklo. Rozměry kolonek jsou v rámci jednotlivých studií velmi rozdílné. Vnitřní průměr se pohybuje od 6 do 76 mm; délka (výška) kolonky od 100 do 750 mm. V některých studiích je uváděn pouze průměr kolonky. Přehled rozměrů kolonek je uveden v *tab. 1*.

Velikost frakce GAU byla v jednotlivých studiích také odlišná. Aktivní uhlí se může použít bez úpravy, nebo ho lze drtit, mlít a následně prosévat, aby vznikla frakce požadované velikosti [5, 15, 16]. K rozemletí může sloužit například kulový mlýnek. Frakcionace GAU lze docílit použitím několika sítí s různými velikostmi ok [17]. Po drcení je vhodné frakci promýt, aby se odstranil přebytečný prach, a následně GAU vysušit (při 105 °C) a skladovat v exsíkátoru do použití [1, 17]. GAU lze použít i bez dodatečné úpravy, jak bylo dodáno výrobcem [18]. V některých studiích je uvedena jedna průměrná velikost frakce GAU [1, 4, 15], v jiných je použito rozmezí velikostí pro možné zvýšení míry adsorpce [6, 7, 15]. Průměrnou velikost částic lze stanovit pomocí světelného mikroskopu [17]. Podrobnosti o velikosti částic GAU vyskytující se v dostupné literatuře jsou uvedeny v *tab. 2*.

Kolona se kromě vlastního adsorbentu plní dalšími komponenty. Nejčastěji se ve studiích vyskytuje postup, kdy se skleněná kolona vyplní vrstvou skleněných kuliček a skelnou vatou nad i pod ložem s GAU (*obr. 1, 2*). Skleněné kuličky (1–3 mm) a skelná vata slouží především k fixaci aktivního uhlí [1, 5, 8, 15]. V některých studiích se k obdobnému účelu používá jemný písek (částice 0,45–0,55 mm) [7], pouze skleněné kuličky různých průměrů [16] či skleněné kuličky doplněné o membránový polytetrafluorethylenový (PTFE) filtr (80–120 µm) [17]. Ezzati et al. [19] uvádějí, že skelnou vatou před sestavením

Tab. 1. Rozměry kolonek uvedené ve studiích o RSSCTs

Tab. 1. Column dimensions reported in RSSCTs studies

Rozměry kolonky	Hodnota	Jednotka	Zdroj
Průměr	6		[13]
	7		[9, 15]
	8		[8]
	10	mm	[17, 19]
	11		[4, 5, 20]
	44		[18]
	76		[7]
Délka (výška)	100		[19]
	200		[19]
	300	mm	[21]
	305		[1, 5]
	400		[19]
	750		[18]

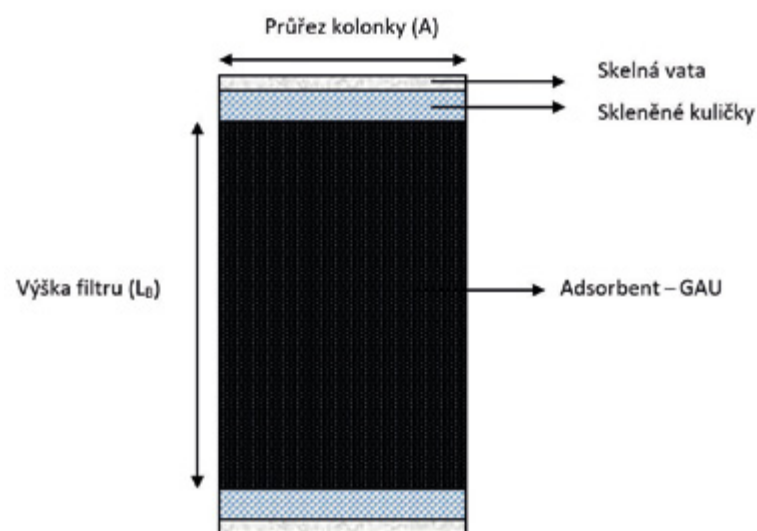
kolonek promyli kyselinou k zabránění mikrobiálního růstu. Dalším potřebným vybavením jsou vhodné uzávěry kolonek, hadičky na vedení testované vody do kolony, případně škrtky svorky na regulaci odtoku z kolony a stojan na umístění celé aparatury. Kolony mohou být připevněny buď v laboratorním, nebo ve speciálně sestaveném stojanu [2].

Před vlastním testem je vhodné nechat sestavenou a utěsněnou skleněnou kolonu s GAU nejdříve proplachovat destilovanou či deionizovanou vodou (alespoň 15 min), aby se odhalily případné netěsnosti a konstrukční problémy. Tento krok také umožňuje zhuštění a zapracování média uvnitř kolony [5]. Cantoni et al. [9] nechali ve své studii kolony zapracovat deionizovanou vodou po dobu dvou hodin. Většina studií však uvádí dobu kratší. Objevilo se také doporučení, že GAU v kolonkách by se mělo zapracovat rovnou testovanou vodou [2]. Zapracování GAU je však možné provést i jiným způsobem, např. přímo dle doporučení výrobce konkrétního GAU [18].

Testovaná voda může přes kolonu protékat volně, pomocí gravitace, ale častěji je voda poháněna čerpadlem [11]. Pro RSSCTs jsou vhodná pístová a peristaltická čerpadla, u nichž se zpravidla využívají nižší průtoky. Hodnoty dosažených parametrů včetně průtoků jsou uvedeny v *tab. 3*. Hodnoty parametrů, množství použitého GAU a konstrukční rozměry kolonek jsou na sobě závislé. Velmi důležitým parametrem je EBCT, jímž se některé studie zabývaly podrobněji a zkoumaly jeho vliv na adsorpci různých mikropolutantů (zařazením několika hodnot EBCT) [6, 18].



Obr. 2. Foto skleněné kolony s GAU během testování pomocí RSSCTs (autor: Anna Kólová)
Fig. 2. Photo of glass column filled with GAC during the testing (author: Anna Kólová)



Obr. 1. Schéma naplněné skleněné kolony (autor: Anna Kólová)

Fig. 1. Scheme of filled glass column (author: Anna Kólová)

Způsob a frekvence odběru vzorků závisí na délce a účelu testování. V některých studiích použili k odběru vzorků automatické vzorkovače [9, 15]. K dodatečnému vyhodnocení účinnosti adsorpce na GAU je vhodné kromě koncentrací sledovaných polutantů stanovit i některé základní chemické ukazatele, jako například A254, pH, CHSK [2], popřípadě sledovat zákal či teplotu vzorků [18].

RSSCTs obvykle trvají řádově hodiny, ale vyskytují se i případy, kdy byla doba testu nastavena v řádu dní [9]. V případě, že testy trvají delší dobu, lze kolonky obalit neprůhledným materiálem (např. hliníkovou fólií) nebo umístit do tmy, aby se zabránilo negativnímu působení světla, např. fotodegradaci mikropolutantů či nárůstu mikroorganismů a řas [6, 13]. Při dlouhotrvajících testech se ztrácí výhoda rychlosti testu, nicméně snížené náklady na materiál a spotřebu vody jsou stále významné.

ZÁVĚR

RSSCTs jsou vhodným nástrojem pro rychlé získání výsledků v oblasti adsorpce mikropolutantů na konkrétní adsorpční médium. Rychlostestů v malých kolonkách lze využít k mnoha rozdílným účelům, např. pro prvotní ověření účinnosti konkrétního GAU k odstraňování mikropolutantů z vody před jeho následným dlouhodobým použitím v poloprovozním měřítku nebo pro výzkum principů adsorpce. Velkou výhodou rychlostestů je úspora času a nákladů na konstrukci a provoz kolonek.

Tento článek může sloužit jako vodítko k návrhu vlastní metodiky RSSCTs. Při zpracovávání návrhu je třeba zohlednit účel testování, od něhož se bude odvíjet zvolená matrice (modelová nebo reálná voda), adsorbent, režim provozu testů, počet kolonek a jejich naplnění (adsorbent, skleněné kuličky, skelná vata), nastavení parametrů testu (Q, EBCT, HLR, množství adsorbentu), doba provozu testů, frekvence odběru vzorků aj. Jak je patrné z analýzy provedených studií, rychlostesty vykazují značnou variabilitu konkrétních provedení a lze je upravit účelu a možnostem výzkumu.

Tab. 2. Parametry GAU uvedené ve studiích o RSSCTs

Tab. 2. GAC parameters reported in RSSCTs studies

Parametry GAU	Hodnota	Jednotka	Zdroj
Průměrná velikost částic	94,3	μm	[13]
	120		[15]
	190,3		[17]
	500		[4]
	610		[1]
Rozmezí velikosti částic	75–90	μm	[6]
	90–140		[15]
	125–250		[6]
	750–950		[7]

Tab. 3. Hodnoty vybraných parametrů, které byly uvedeny ve studiích o RSSCTs
Tab. 3. Values of selected parameters reported in RSSCTs studies

Parametr	Hodnota	Jednotka	Zdroj
Bed depth (výška GAU filtru v kolonce)	2	cm	[8, 15]
	6,3		[17]
	16		[20]
	25,8		[13]
Bed volume (objem GAU filtru v kolonce)	0,5	cm ³	[8]
	1		[8]
	6,8		[4]
	15		[20]
EBCT	9	s	[15]
	21,6		[17]
	27		[4]
	30		[18]
	60		[18]
	120		[18]
	138		[13]
	240		[18]
	312		[7]
	600		[20]
Q	1,5	ml.min ⁻¹	[20]
	2–3		[21]
	3,2		[13]
	15		[4]
HLR	800	m.h ⁻¹	[7]
	0,89		[20]
	0,36		[4]
	6,6		[13]
	8		[15]
	10,5		[17]

Poděkování

Príspevek byl zhotoven na základě podpory z Institucionálních prostředků na rozvoj výzkumné organizace – VÚV TGM, v. v. i., v rámci interního grantu „Testování uhlíkových nanotrubic pomocí rychlostestů v malých kolonkách“ (3600. 52. 13/2021).

Literatura

- [1] PODDAR, M. A. Review on the Use of Rapid Small Scale Column Test (RSSCT) on Predicting Adsorption of Various Contaminants. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology* [on-line]. 2013, 3(1), s. 77–85. ISSN 23192399, 23192402. Dostupné z: doi: 10.9790/2402-0317785
- [2] DOBIÁŠ, P., DOLEJŠ, P. Využití rychlotestů na malých kolonkách (RSSCT) pro výběr vhodného GAU pro konkrétní lokalitu a kvalitu surové vody. In: *Sborník konference Pitná voda 2016*. České Budějovice: W & ET Team, 2016, s. 105–110. ISBN 978-80-905238-2-1.
- [3] CRITTENDEN, J. C., REDDY, P. S., ARORA, H., TRYNOSKI, J., HAND, D. W., PERRAM, D. L., SUMMERS, R. S. Predicting GAC Performance with Rapid Small-Scale Column Tests. *Journal – American Water Works Association* [on-line]. 1991, 83(1), s. 77–87. ISSN 0003150X. Dostupné z: doi: 10.1002/j.1551-8833.1991.tb07088.x
- [4] SALIH, H. H., PATTERSON, C. L., SORIAL, G. A. Comparative Study on the Implication of Three Nanoparticles on the Removal of Trichloroethylene by Adsorption – Pilot and Rapid Small-Scale Column Tests. *Water, Air, & Soil Pollution* [on-line]. 2013, 224(2), 1402 [vid. 5. března 2019]. ISSN 0049-6979, 1573-2932. Dostupné z: doi: 10.1007/s11270-012-1402-3
- [5] WESTERHOFF, P. K., BENN, T. M. *Assessing Arsenic Removal by Metal (Hydr)Oxide Adsorptive Media Using Rapid Small Scale Column Tests*. B. m.: EPA (Environmental Protection Agency), 2008, s. 63.
- [6] REDDING, A. M., CANNON, F. S. The Role of Mesopores in MTBE Removal with Granular Activated Carbon. *Water Research*. 2014, 56, s. 214–224. ISSN 00431354. Dostupné z: doi: 10.1016/j.watres.2014.02.054
- [7] SCHARF, R. G., JOHNSTON, R. W., SEMMENS, M. J., HOZALSKI, R. M. Comparison of Batch Sorption Tests, Pilot Studies, and Modeling for Estimating GAC Bed Life. *Water Research*. 2010, 44(3), s. 769–780. ISSN 00431354. Dostupné z: doi: 10.1016/j.watres.2009.10.018
- [8] ZIETZSCHMANN, F., MÜLLER, J., SPERLICH, A., RUHL, A. S., MEINEL, F., ALTMANN, J., JEKEL, M. Rapid Small-Scale Column Testing of Granular Activated Carbon for Organic Micro-Pollutant Removal in Treated Domestic Wastewater. *Water Science and Technology*. 2014, 70(7), s. 1271–1278. Dostupné z: doi: 10.2166/WST.2014.357
- [9] CANTONI, B., TUROLLA, A., WELLMITZ, J., RUHL, A. S., ANTONELLI, M. Perfluoroalkyl Substances (PFAS) Adsorption in Drinking Water by Granular Activated Carbon: Influence of Activated Carbon and PFAS Characteristics. *Science of the Total Environment*. 2021, 795, 148821. ISSN 00489697. Dostupné z: doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148821
- [10] CHOWDHURY, K. Z., SUMMERS, R. S., GARRET, P. W., BRIAN, J. L., KIRK, O. N., CHRISTOPHER, J. C. *Activated Carbon: Solutions for Improving Water Quality*. B. m.: American Water Works Association, 2013. ISBN 978-1-58321-907-2.
- [11] ÇEÇEN, Ö. *Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment. Integration of Adsorption and Biological Treatment*. B. m.: WILEY-VCH, 2011. ISBN 978-3-527-32471-2.
- [12] KENNEDY, A. M., REINERT, A. M., KNAPPE, D. R. U., FERRER, I., SUMMERS, R. S. Full- and Pilot-Scale GAC Adsorption of Organic Micropollutants. *Water Research*. 2015, 68, s. 238–248. ISSN 00431354. Dostupné z: doi: 10.1016/j.watres.2014.10.010
- [13] MERLE, T., KNAPPE, D. R. U., PRONK, W., VOGLER, B., HOLLENDER, J., VON GUNTEN, U. Assessment of the Breakthrough of Micropollutants in Full-Scale Granular Activated Carbon Adsorbers by Rapid Small-Scale Column Tests and a Novel Pilot-Scale Sampling Approach. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 2020, 6(10), s. 2742–2751. ISSN 2053-1400, eISSN 2053-1419. Dostupné z: doi: 10.1039/D0EW00405G
- [14] DOBIÁŠ, P., DOLEJŠ, P. Nezbytnost poloprovozního testování pro návrh a použití granulovaného aktivního uhlí při úpravě pitné vody. In: *Pitná voda 2018 – sborník z konference*. České Budějovice: W & ET Team, 2018, s. 73–78. ISBN 978-80-905238-3-8.
- [15] ZIETZSCHMANN, F., STÜTZER, C., JEKEL, M. Granular Activated Carbon Adsorption of Organic Micro-Pollutants in Drinking Water and Treated Wastewater – Aligning Breakthrough Curves and Capacities. *Water Research*. 2016, 92, s. 180–187. ISSN 00431354. Dostupné z: doi: 10.1016/j.watres.2016.01.056
- [16] FREIHARDT, J., JEKEL, M., RUHL, A. S. Comparing Test Methods for Granular Activated Carbon for Organic Micropollutant Elimination. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2017, 5(3), s. 2542–2551. ISSN 22133437. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jece.2017.05.002
- [17] PLATTNER, J., KAZNER, C., NAIDU, G., WINTGENS, T., VIGNESWARAN, S. Removal of Selected Pesticides from Groundwater by Membrane Distillation. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018, 25(21), s. 20336–20347. ISSN 0944-1344, eISSN 1614-7499. Dostupné z: doi: 10.1007/s11356-017-8929-1
- [18] ŠIBLOVÁ, D., BIELA, R. Využití sorpčních materiálů při odstraňování léčiva z vody. In: *Pitná voda 2018 – sborník z konference*. České Budějovice: W & ET Team, 2018, s. 281–284. ISBN 978-80-905238-3-8.
- [19] EZZATI, G., HEALY, M. G., CHRISTIANSON, L., DALY, K., FENTON, O., FEYEREISEN, G., THORNTON, S., CALLERY, O. Use of Rapid Small-Scale Column Tests for Simultaneous Prediction of Phosphorus and Nitrogen Retention in Large-Scale Filters. *Journal of Water Process Engineering*. 2020, 37, 101473. ISSN 2214 - 7144. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101473
- [20] QIU, S., YAN, L., JING, C. Simultaneous Removal of Arsenic and Antimony from Mining Wastewater Using Granular TiO₂: Batch and Field Column Studies. *Journal of Environmental Sciences*. 2019, 75, s. 269–276. ISSN 1001-0742. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jes.2018.04.001
- [21] SOTELO, J. L., RODRÍGUEZ, A., ÁLVAREZ, S., GARCÍA, J. Removal of Caffeine and Diclofenac on Activated Carbon in Fixed Bed Column. *Chemical Engineering Research and Design*. 2012, 90(7), s. 967–974. ISSN 0263-8762. Dostupné z: doi: 10.1016/j.cherd.2011.10.012

Autoři

Ing. Anna Kólová

✉ anna.kolova@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-8610-1501

Mgr. Lada Stejskalová

✉ lada.stejskalova@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-2271-7574

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Príspevek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022.05.003

A REVIEW ARTICLE ON RAPID SMALL-SCALE COLUMN TESTS

KÓLOVÁ, A.; STEJSKALOVÁ, L.

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

Keywords: adsorption – activated carbon – micropollutants – rapid small-scale column tests – RSSCTs

Rapid Small-Scale Column Tests (RSSCTs) can be used for quick and easy laboratory verification of adsorption efficiencies on various adsorbents. The selection of adsorbent is the most important aspect when incorporating adsorption technology into the operation of the drinking water purification plant, or the wastewater treatment plant. The tests are carried out on laboratory-scale, which minimizes material and operating costs. The article focuses on the adsorption on granular activated carbon (GAC), as it is the most commonly used type of adsorbent. However, other types of adsorbents can be used for RSSCTs. The aim of this paper is to introduce the reader to the issue of RSSCTs. The article specifically states the possible purposes of using RSSCTs, and defines important parameters in the field of micropollutants adsorption testing on activated carbon. The paper also provides summary information on test methodology and its subsequent evaluation. The literature review reveals that the methodologies of RSSCTs in individual studies show various modifications, but in common in the basic procedure. The differences are evident on a level of material equipment, construction dimensions or setting parameter values; mostly due to different purposes of testing.