

Slovenská technická univerzita v Bratislave  
Stavebná fakulta  
Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva

**Ing. Michal Marton**

## **Identifikácia a odstraňovanie mikropolutantov z vody**

Autoreferát dizertačnej práce

Na získanie akademického titulu philosophiae doctor v doktorandskom študijnom  
programe:

**Vodohospodárske inžinierstvo**

**Bratislava 2022**

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre zdravotného a environmentálneho inžinierstva Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Predkladateľ: **Ing. Michal Marton**  
Stavebná fakulta STU  
Radlinského 11  
810 05 Bratislava

Školiteľ: **prof. Ing. Ján Hlavský, PhD.**  
Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva  
Stavebná fakulta STU, Bratislava

Oponenti: Ing. Karol Munka, PhD.  
Ing. Matúš Gálik, PhD.  
prof. Ing. Igor Bodík, PhD.

Autoreferát bol rozoslaný dňa: XX.mesiac 2022

Obhajoba dizertačnej práce sa koná 24.8.2022 o 11:00 na Katedre zdravotného a environmentálneho inžinierstva Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Radlinského 11

Prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.

## Obsah

1. Úvod.....	4
2. Ciele dizertačnej práce .....	5
3. Experimentálna časť .....	6
3.1 Použité materiály a chemikálie.....	6
3.2 Použité prístroje a zariadenia.....	6
3.3 Analytické metódy .....	6
3.4 Statické skúšky adsorpcie pesticídov na granulované aktívne uhlie .....	7
3.5 Statické skúšky adsorpcie farmaceutík na granulované aktívne uhlie.....	7
3.6 Kinetické skúšky adsorpcie pesticídov cez kolónovú náplň s granulovaným aktívnym uhlím.....	8
3.7 Kinetické skúšky adsorpcie farmaceutík cez kolónovú náplň s granulovaným aktívnym uhlím .....	9
4. Výsledky a diskusia.....	10
4.1 Statické skúšky adsorpcie pesticídov na granulované aktívne uhlie .....	10
4.2 Statické skúšky adsorpcie farmaceutík na granulované aktívne uhlie....	13
4.3 Kinetické skúšky adsorpcie pesticídov cez kolónovú náplň s granulovaním aktívnym uhlím.....	16
4.4 Kinetické skúšky adsorpcie farmaceutík cez kolónovú náplň s granulovaním aktívnym uhlím.....	19
5. Záver .....	21
6. Literatúra.....	23
7. Publikačná činnosť .....	25

## 1. Úvod

Problém modernej doby, nazývaný tiež mikropolutanty, v sebe zahŕňa množstvo chemických, organických a syntetických látok. Tieto kontaminanty pochádzajú z rôznych zdrojov a typicky v koncentráciách od nano po mikrogramy na liter. [1] Skupina týchto kontaminantov sa tiež nazýva vynárajúce sa kontaminanty (emerging contaminants EC), sú to zlúčeniny, ktoré sa bežne nachádzajú vo vode, ale len nedávno boli charakterizované ako významné vodné polutanty. Tieto EC majú buď prírodný alebo syntetický charakter, ktorý nie je bežne monitorovaný v prostredí a má nežiadúci účinok na ľudí a prostredie. Táto skupina v sebe zahŕňa zlúčeniny ako sú farmaceutiká a produkty dennej hygieny, pesticídy a hormóny, ktoré majú nepriaznivý efekt na endokrinný systém u ľudí a živých organizmov. [2, 3]

Nanešťastie niekoľko EC sa vo vode výrazne zvýšilo v priebehu minulých rokov, hlavne ako dôsledok vývoja a napredovania analytickej chémie a technológií. Vďaka tomu vieme už stanovovať aj veľmi malé koncentrácie vo vodných vzorkách. [4, 5] Vo svojej práci o prehľade EC vo vodách, Richardson a Ternes uviedli veľké množstvo zlúčenín skupiny EC vrátane sukralózy a iných syntetických sladidiel, nanomateriálov, perfluórovaných zlúčenín, zlúčenín z dezinfekcie pitnej vody a bazénovej vody, opaľovacie krémy a UV filtre, spomaľovače horenia, benzotriazololy a benzoťiazololy, siloxány, naftalénové kyseliny, pizmo, toxíny rias, iónové kvapaliny a prióny. [6] Farmaceutiká tiež spadajú pod termín mikropolutanty a ich prítomnosť v pitnej vode vzbudila vážne obavy hlavne kvôli prítomnosti estrogénov a ďalších liečiv pre ich vážny efekt na ľudí a faunu. [7]

Odhaduje sa, že vyše 3000 rôznych látok je používaných ako farmaceutické ingrediencie, vrátane liekov proti bolesti, antibiotík, antidiabetík, beta-blokátorov, antikoncepcie, regulátorov tuku, antidepresív a liekov na impotenciu. Široké spektrum ich používania tiež zvyšuje ich prítomnosť v povrchových, podzemných, odpadových a dažďových vodách. [8, 9] Hlavný problém, ktorý sa týka antibiotík, biocidov a pesticídov, je následná rezistencia baktérií a iných škodcov voči týmto látkam, ktoré sa dostávajú do prírody. [10]

Produkty osobnej hygieny v sebe zahŕňajú široko používané látky ako sú vône, opaľovacie krémy, repelenty, antimykotické prípravky. A keďže tieto produkty sú navrhnuté hlavne na vonkajšie použitie, nevyskytuje sa žiadna metabolická zmena týchto látok a tie sú v nezmenenom stave identifikované v prírode. [1,11]

## **2. Ciele dizertačnej práce**

Kvalita vody priamo závisí od látok vyskytujúcich sa v nej. Medzi tieto látky patria rôzne katióny a anióny kovov, anorganické a organické soli a rôzne mikropolutanty. Väčšinu nežiadúcich látok z vody vieme odstrániť aj bežnou technológiou úpravy vody. Problematické sú najmä rôzne organické látky a mikropolutanty, ktoré svojim zložením a stavbou môžu mať toxické účinky na živé organizmy. Medzi tieto mikropolutanty patria pesticídy, farmaceutiká a produkty dennej hygieny, mikroplasty a endokrinné disruptory. Tieto látky vykazujú toxické, mutagénne a niektoré aj karcinogénne účinky na živé organizmy pri dlhodobej expozícii. Z toho dôvodu sa využívajú pokročilejšie spôsoby odstraňovania týchto látok z vody. Medzi používané metódy odstraňovania týchto látok patrí adsorpcia, membránové procesy alebo oxidačné procesy. Niektoré postupy a technológie využívajú viacero spôsobov na zefektívnenie účinnosti. Adsorpciou sa dajú z vody odstrániť takmer všetky druhy mikropolutantov, najmä pri použití aktívneho uhlia ako adsorpčného materiálu. Tento materiál má rôzne vlastnosti a účinnosti v závislosti od spôsobu výroby a použitého materiálu. Z týchto poznatkov vychádza aj hlavný cieľ dizertačnej práce a to identifikácia jednotlivých mikropolutantov vo vodnom prostredí a následne hľadanie technológií a postupov na ich odstraňovanie zo zdrojov pitných a povrchových vôd.

Z hlavného cieľa sa dajú vyvodit' aj vedľajšie ciele práce, ktoré predstavujú:

- Charakteristika jednotlivých mikropolutantov a materiálov
- Metódy analyzovania sledovaných mikropolutantov
- Metódy odstraňovania mikropolutantov s využitím adsorpcie na aktívnom uhlí
- Použitie a porovnanie s inými adsorpčnými materiálmi

### **3. Experimentálna časť**

#### **3.1 Použité materiály a chemikálie**

- Granulované aktívne uhlie WG12
- Granulované aktívne uhlie F400
- Roztok štandardov pesticídov
- Roztok štandardov farmaceutík

#### **3.2 Použité prístroje a zariadenia**

Jednotlivé experimenty prebiehali v 500 mL Erlenmayerových bankách, miešaných na orbitálnej miešačke OHAUS orbital shaker od spoločnosti Thermo Fisher Scientific. Odobraté vzorky vody sa pipetovali 20ml pipetou do 40 ml objemu vzorkovnice. Pri prietokových skúškach experimenty prebiehali čerpaním vody zo zásobného roztoku o objeme 15 L. voda pretekala cez kolónu o priemere 5 cm, s výškou náplne približne 50 cm. V jednotlivých vzorkách vody sa digitálnym teplomerom stanovovala teplota vody, pH metrom (HACH HQd Field Case HQ40d) sme stanovovali hodnotu pH a prístrojom HACH 2100Qis Portable Turbidimeter sme merali hodnotu zákalu.

#### **3.3 Analytické metódy**

Pri statických analýzach pesticídov a farmaceutík sme odoberali pipetou 40 ml vzorky v časových intervaloch 0, 30, 60, 120 a 240 minút. Každá vzorka sa pipetovala do vzorkovnice kde bola pridaná látka Tiosiran na zastabilizovanie vzorky. Následne sa vzorky odoslali do laboratória kde sa vysokoúčinnou kvapalinovou chromatografiou stanovila koncentrácie pesticídov/farmaceutík vo vzorke. Pri prietokových experimentoch sme najprv na čerpadle nastavili prietok vody na 10 L/h, následne sa každý adsorpčný materiál preplachoval čistou pitnou vodou na vyplavenie malých častíc a nečistôt. Následne roztok s pesticídmi alebo farmaceutikami pretekala cez kolónu a vzorky vody sa odoberali v časových intervaloch 0, 1, 2 a 5 minút. Po odobratí vzorky sme digitálnym teplomerom stanovili teplotu vody, zmerali sme prístrojom hodnotu pH a hodnotu zákalu. Po týchto meraniach sa vzorka odpipetovala do

vzorkovníc s pridaným Tiosíranom na zastabilizovanie vzorky a vzorky sa odoslali do laboratória na stanovenie zvyškovej koncentrácie znečistenia.

### 3.4 Statické skúšky adsorpcie pesticídov na granulované aktívne uhlie

#### Experiment 1

Do 400 ml vodného roztoku pesticídov o koncentrácii 0,5 µg/l sme pridali 400 mg granulovaného aktívneho uhlia WG12. Za stáleho miešania za pomoci orbitálnej miešačky OHAUS, pri otáčkach 400 rpm, sme daný roztok miešali 4h s pravidelným odberom vzoriek o objeme 40 ml v stanovených časoch. Po 4h sme miešanie zastavili. Experiment prebiehal pri laboratórnych podmienkach 20°C a v oblasti neutrálnej hodnoty pH roztoku.

#### Experiment 2

Postup experimentu je totožný ako v Experimente 1, ale do roztoku sme pridali 400 mg granulovaného aktívneho uhlia Filtrasorb 400.

*Tabuľka 1 Koncentrácie pesticídov [µg/L] pri adsorpcii granulovaným aktívnym uhlím WG12 a Filtrasorb 400 v časoch 30, 60, 120 a 240 min.*

Pesticíd	WG12				Filtrasorb 400			
	30	60	120	240	30	60	120	240
Atrazín	0,378	0,301	0,208	0,028	0,363	0,233	0,085	0,016
Terbutylazín	0,402	0,295	0,213	0,029	0,289	0,177	0,066	0,014
Simazín	0,382	0,271	0,21	0,024	0,381	0,255	0,084	0,017
Acetochlor	0,316	0,224	0,151	0,03	0,14	0,068	0,05	0,03
Dimetachlor	0,289	0,218	0,171	0,021	0,217	0,134	0,047	0,01
Metolachlor	0,311	0,226	0,179	0,023	0,138	0,073	0,025	0,01

### 3.5 Statické skúšky adsorpcie farmaceutík na granulované aktívne uhlie

#### Experiment 3

Do 400 ml vodného roztoku farmaceutík o koncentrácii 0,5 µg/l sme pridali 400 mg granulovaného aktívneho uhlia WG12. Za stáleho miešania za pomoci orbitálnej miešačky OHAUS, pri otáčkach 400 rpm, sme daný roztok miešali 4h s pravidelným odberom vzoriek o objeme 40 ml v stanovených časoch. Po 4h sme miešanie zastavili. Experiment prebiehal pri laboratórnych podmienkach 20°C a v oblasti neutrálnej hodnoty pH roztoku.

#### Experiment 4

Postup experimentu je totožný ako v Experimente 1, ale do roztoku sme pridali 400 mg granulovaného aktívneho uhlia Filtrasorb 400.

*Tabuľka 2 Koncentrácie farmaceutík [ $\mu\text{g/L}$ ] pri adsorpcii granulovaným aktívnym uhlím WG12 a Filtrasorb 400 v časoch 30, 60, 120 a 240 min.*

Farmaceutikum	WG12				Filtrasorb 400			
	30	60	120	240	30	60	120	240
Diklofenak	0,357	0,287	0,166	0,024	0,253	0,182	0,059	0,016
Naproxén	0,401	0,276	0,149	0,018	0,333	0,206	0,084	0,013
Paracetamol	0,386	0,316	0,136	0,011	0,373	0,26	0,079	0,01
Sulfametoxazol	0,427	0,359	0,198	0,032	0,411	0,311	0,122	0,01
Warfarin	0,444	0,336	0,192	0,031	0,36	0,268	0,103	0,012
Kofeín	0,401	0,335	0,144	0,01	0,365	0,269	0,082	0,01

### **3.6 Kinetické skúšky adsorpcie pesticídov cez kolónovú náplň s granulovaným aktívnym uhlím**

#### Experiment 5

Do bandasky o objeme 15 L sme zarobili zásobný roztok pesticídov o koncentrácii 0,1  $\mu\text{g/l}$ . Po zapnutí čerpadla začala voda z bandasky pretekať cez kolónu o priemere 5 cm, kde bola vopred pripravená a premytá adsorpčná vrstva materiálu o výške približne 50 cm. Prietok vody bol upravený na 10 l/h a vzorky vody sa odoberali v presne stanovenom čase. Experiment trval 5 min, kde po tejto piatej minúte sme čerpadlo zastavili. Adsorpčný materiál použitý v tomto experimente bol granulované aktívne uhlie WG12.

#### Experiment 6

Postup experimentu je totožný ako v Experimente 1, ale do kolóny sme nasypali granulované aktívne uhlie Filtrasorb 400.



*Tabuľka 3 Koncentrácie v jednotlivých časoch pre oba druhy aktívneho uhlia a hodnota LOQ pre dané pesticídy*

Čas [min]	Filtrisorb 400				WG12			LOQ
	0	1	2	5	1	2	5	
Acetochlór	0,084	0,059	0,039	0,03	0,062	0,041	0,03	0,03
Dimetachlór	0,088	0,042	0,019	0,01	0,048	0,021	0,01	0,01
Metolachlór	0,09	0,049	0,023	0,01	0,053	0,025	0,01	0,01
Atrazín	0,112	0,056	0,028	0,01	0,059	0,03	0,01	0,01
Simazín	0,103	0,057	0,026	0,01	0,061	0,029	0,01	0,01
Terbutylazín	0,098	0,045	0,022	0,01	0,052	0,024	0,01	0,01

### **3.7 Kinetické skúšky adsorpcie farmaceutík cez kolónovú náplň s granulovaným aktívnym uhlím**

#### Experiment 7

Do bandasky o objeme 15 L sme zarobili zásobný roztok pesticídov o koncentrácii 0,1 µg/l. Po zapnutí čerpadla začal voda z bandasky pretekať cez kolónu o priemere 5 cm, kde bola vopred pripravená a premytá adsorpčná vrstva materiálu o výške približne 50 cm. Prietok vody bol upravený na 10 l/h a vzorky vody sa odoberali v presne stanovenom čase. Experiment trval 5 min, kde po tejto piatej minúte sme čerpadlo zastavili. Adsorpčný materiál použitý v tomto experimente bol granulované aktívne uhlie WG12.

#### Experiment 8

Postup experimentu je totožný ako v Experimente 1, ale do kolóny sme nasypali granulované aktívne uhlie Filtrasorb 400.

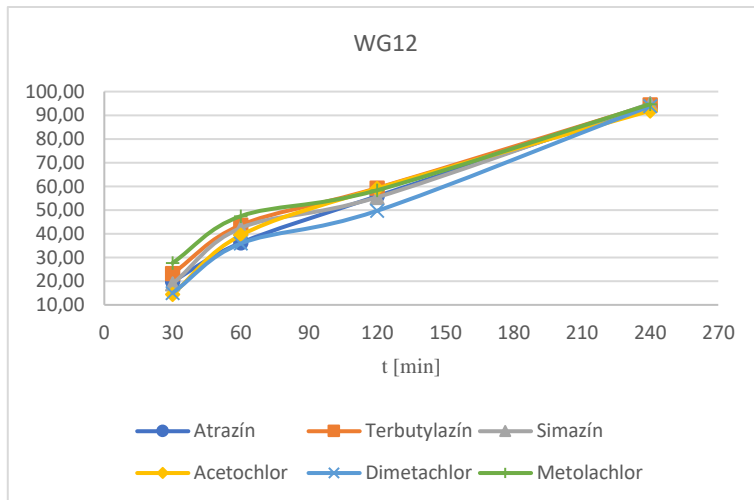
*Tabuľka 3 Koncentrácie v jednotlivých časoch pre oba druhy aktívneho uhlia a hodnota LOQ pre dané farmaceutiká*

Čas [min]	Filtrisorb 400				WG12			LOQ
	0	1	2	5	1	2	5	
Diklofenak	0,086	0,029	0,012	0,01	0,032	0,016	0,01	0,01
Naproxén	0,099	0,049	0,027	0,01	0,055	0,031	0,01	0,01
Paracetamol	0,074	0,033	0,014	0,01	0,037	0,018	0,01	0,01
Sulfometoxazol	0,084	0,034	0,018	0,01	0,036	0,021	0,01	0,01
Warfarín	0,079	0,026	0,012	0,01	0,031	0,013	0,01	0,01
Kofeín	0,139	0,058	0,028	0,01	0,062	0,033	0,01	0,01

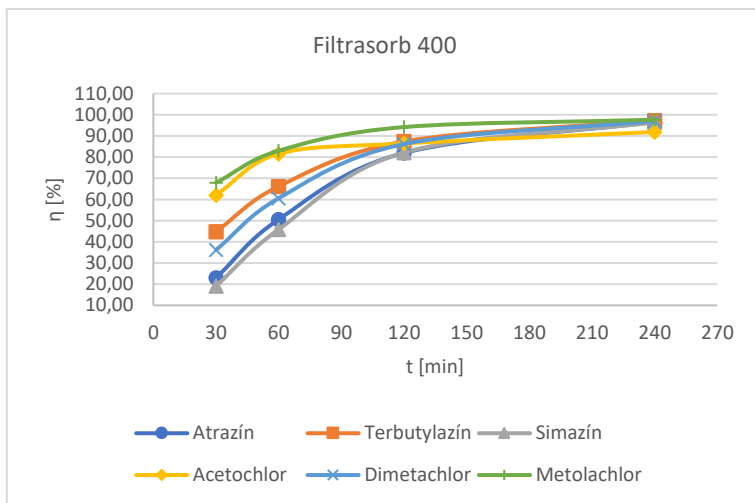
#### 4. Výsledky a diskusia

Hlavným zámerom tejto práce bolo charakterizovať, ktoré mikropolutanty sa nachádzajú bežne v prostredí a vybrať z nich tie, ktoré sú najviac zastúpené. Z veľkého množstva mikropolutantov sme sa zamerali na pesticídy, ktoré sú bežne používané v poľnohospodárstve a farmaceutiká, ktoré patria k bežne používaným. Z pesticídov sme si vybrali dve hlavné skupiny a to Triazinové a Chloroacetanilidové. Z farmaceutík sme sa zamerali na lieky proti bolesti, antibiotiká a lieky na riedenie krvi. Medzi tieto liečivá sme zaradili aj Kofeín, ktorý sa nezaraďuje medzi liečivá ale je bežne pridávaný k liečivám na zvýšenie ich účinnosti. Metódy odstraňovania týchto látok sme overovali adsorpciou na granulovanom aktívnom uhlí. Z množstva druhov tohto materiálu sme si vybrali Filtrasorb 400 a WG12, ktoré sme mali dostupné a sú bežne používané pre ich veľkú účinnosť. Analýza jednotlivých vzoriek vody s obsahom znečistenia po adsorpcii bola analyzovaná za pomoci laboratória, ktoré nám dodalo aj vzorkovnice.

##### 4.1 Statické skúšky adsorpcie pesticídov na granulované aktívne uhlie

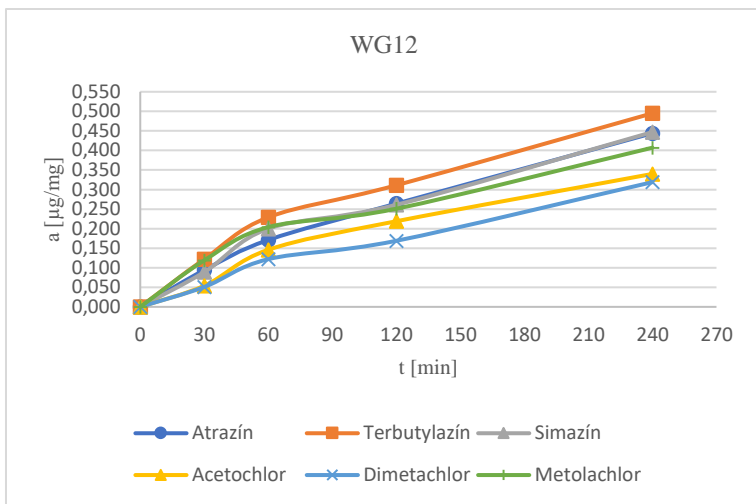


Graf 1 Účinnosť odstraňovania pesticídov na granulovanom aktívnom uhlí WG12 v rozsahu od 30 do 240 min.

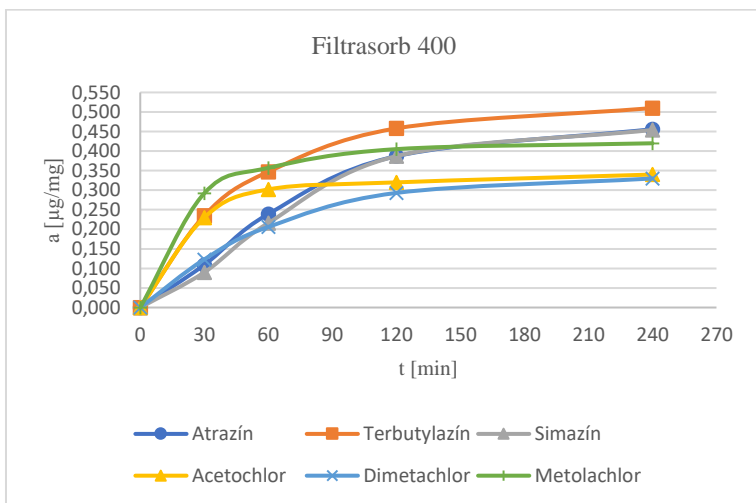


*Graf 2 Účinnosť odstraňovania pesticídov na granulovanom aktívnom uhlí Filtrisorb 400 v rozsahu od 30 do 240 min.*

Ako z uvedených grafov (Graf 1 a Graf 2) vidíme, tak účinnosti odstraňovania pre oba druhy aktívneho uhlia dosiahli vyše 90%, čo vieme považovať za veľmi účinný proces adsorpcie. Ako ale z uvedených grafov vyplýva tak adsorpcia na granulované aktívne uhlie Filtrisorb 400 prebiehala rýchlejšie ako na granulované aktívne uhlie WG12. Pre adsorpciu Chloroacetanilidových aj triazínových pesticídov s adsorpcným materiálom Filtrisorb 400 vidíme, že po 2h adsorpcie bolo už viac ako 80% znečistenia odstráneného z vodného roztoku. Na rozdiel od adsorpcného materiálu WG12, kde po 2h adsorpcie došlo len k maximálne 60% odstráneniu znečistenia. Z týchto údajov môžeme usúdiť, že adsorpcia pesticídov je účinná pre oba druhy adsorpcného materiálu. Napriek tomu, stále platí, že isté látky sa lepšie adsorbujú na špecifický druh adsorpcného materiálu. Ako sme videli Simazín sa lepšie adsorbuje na Aktívne uhlie WG12 než Filtrisorb 400. Atrazín, Terbutylazín, Dimetachlór a Metolachlór sa lepšie adsorbujú na aktívne uhlie Filtrisorb 400 než na aktívne uhlie WG12. A Acetochlór, nepreukázal žiadnu preferenciu lepšej adsorpcie, pre oba druhy aktívneho uhlia bola táto účinnosť rovnaká.



Graf 3 Adsorpčná kapacita pre pesticídy pre adsorpciu s granulovaným aktívnym uhlím WG12 v časovom rozsahu 30 až 240 min

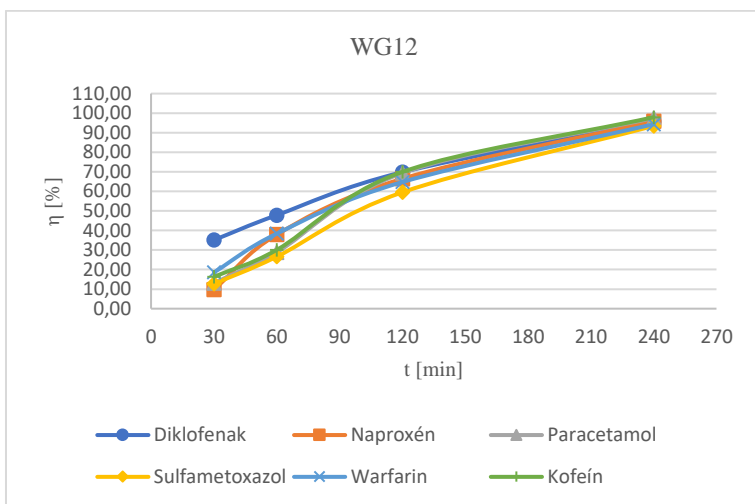


Graf 4 Adsorpčná kapacita pre pesticídy pre adsorpciu s granulovaným aktívnym uhlím Filtrasorb 400 v časovom rozsahu 30 až 240 min

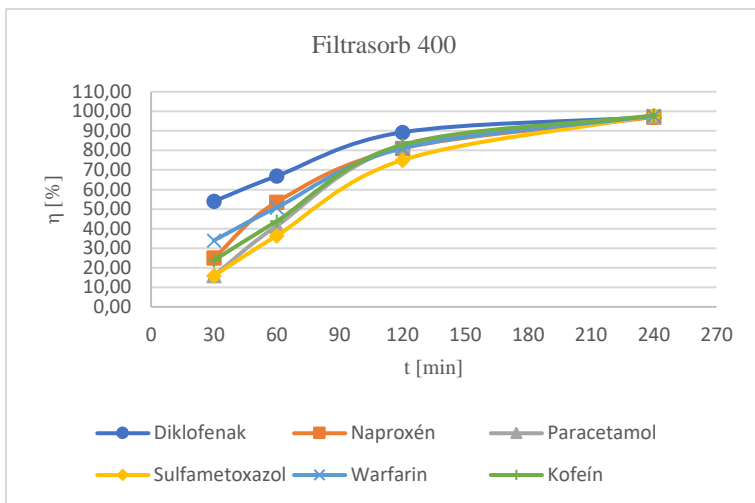
Z vyššie uvedených grafov (Graf 5- Graf 8) vidíme zmenu adsorpcnej kapacity počas adsorpcie pesticídov na granulované aktívne uhlie WG12 a Filtrasorb 400. Granulované aktívne uhlie Filtrasorb 400 má rýchlejší nárast tejto adsorpcnej kapacity než WG12. Keď porovnávame grafy adsorpcnej účinnosti s grafmi adsorpcnej kapacity, vidíme, že čím je lepšia adsorpcná kapacita daného materiálu, tým je lepšia aj adsorpcná účinnosť.

#### 4.2 Statické skúšky adsorpcie farmaceutík na granulované aktívne uhlie

Adsorpcia farmaceutík prebiehala skoro identicky ako adsorpcia pesticídov.

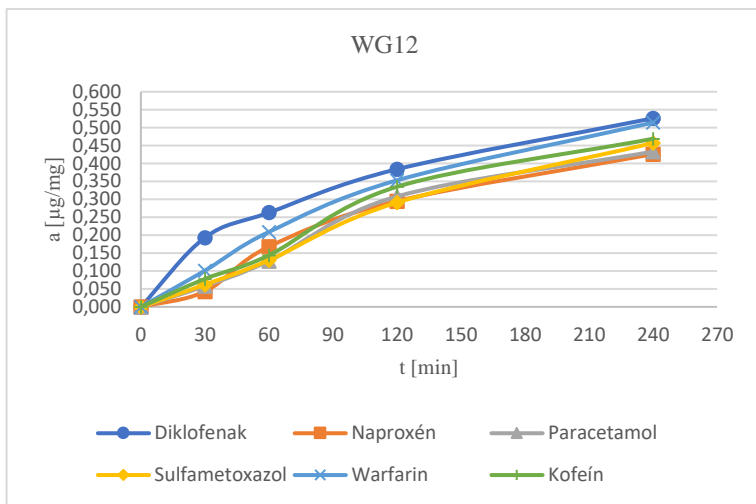


Graf 5 Účinnosť odstraňovania farmaceutík na granulovanom aktívnom uhli WG12 v rozsahu od 30 do 240 min.

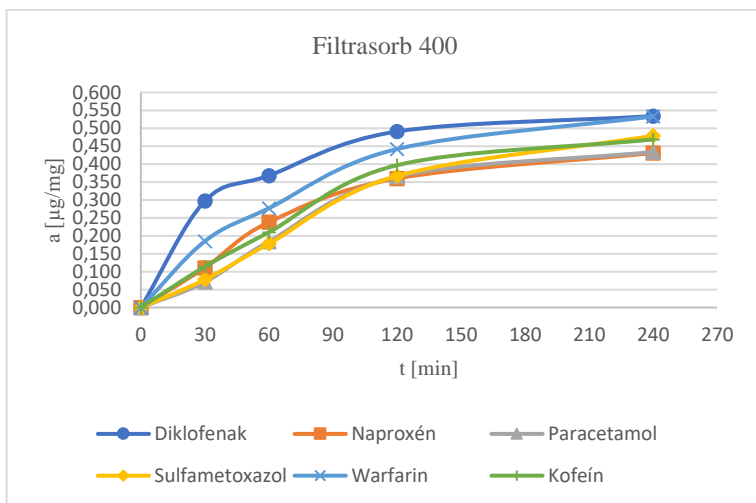


*Graf 6 Účinnosť odstraňovania farmaceutík na granulovanom aktívnom uhli Filtrisorb 400 v rozsahu od 30 do 240 min.*

Z vyššie uvedených grafov (Graf 5 a Graf 6) môžeme vidieť účinnosti odstraňovania pre oba druhy aktívneho uhlia, ktoré dosiahli vyše 90%, čo vieme považovať za veľmi účinný proces adsorpcie. Ako ale z uvedených grafov vyplýva tak adsorpcia na granulované aktívne uhlie Filtrisorb 400 prebiehala rýchlejšie ako na granulované aktívne uhlie WG12. Z týchto údajov môžeme usúdiť, že adsorpcia farmaceutík je účinná pre oba druhy adsorpčného materiálu. Napriek tomu, stále platí, že isté látky sa lepšie adsorbujú na špecifický druh adsorpčného materiálu.



Graf 7 Adsorpčná kapacita pre farmaceutiká pre adsorpciu s granulovaným aktívnym uhlím WG12 v časovom rozsahu 30 až 240 min

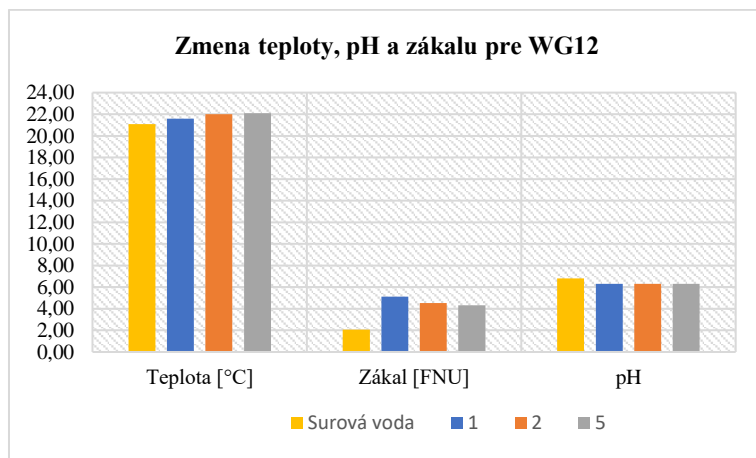


Graf 8 Adsorpčná kapacita pre farmaceutiká pre adsorpciu s granulovaným aktívnym uhlím Filtrisorb 400 v časovom rozsahu 30 až 240 min

Z vyššie uvedených grafov (Graf 7 a Graf 8) vidíme zmenu adsorpčnej kapacity počas adsorpcie pesticídov na granulované aktívne uhlie WG12 a Filtrasorb 400. Pri porovnávaní druhov aktívneho uhlia, tak ako pri pesticídoch vidíme rozdiel medzi granulovaným aktívnym uhlím Filtrasorb 400 a WG12. Nárast kapacity je podobný ako pre pesticídy a keď porovnáваме grafy adsorpčnej účinnosti s grafmi adsorpčnej kapacity, vidíme, že čím je lepšia adsorpčná kapacita daného materiálu, tým je lepšia aj adsorpčná účinnosť.

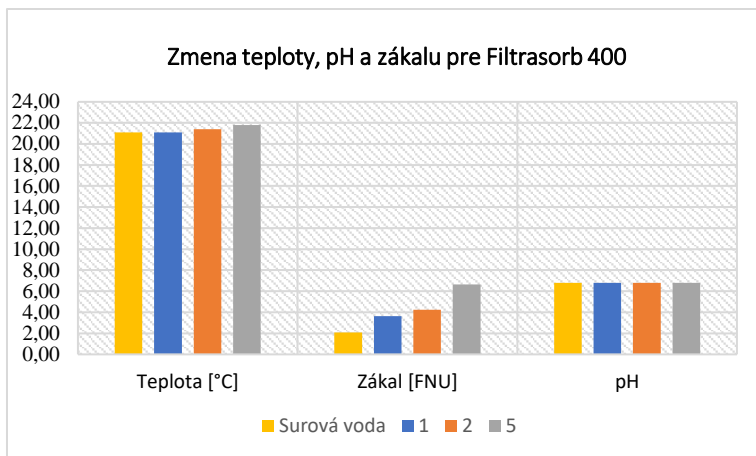
#### 4.3 Kinetické skúšky adsorpcie pesticídov cez kolónovú náplň s granulovaním aktívnym uhlím

Experimentálne sme overovali aj účinnosť aktívneho uhlia pri prietokových systémoch, kde znečistená voda preteká cez kolónu naplnenú adsorpčným materiálom. Sledovala sa teplota jednotlivých vzoriek, hodnota pH a zákal. Vzorky sa po odbere odoslali do laboratória na stanovenie koncentrácie.



Graf 9 Zmeny hodnoty pH, zákalu a teploty pre granulované aktívne uhlie WG12 v časoch odberu vzoriek 0 (Surová voda), 1, 2 a 5 min.

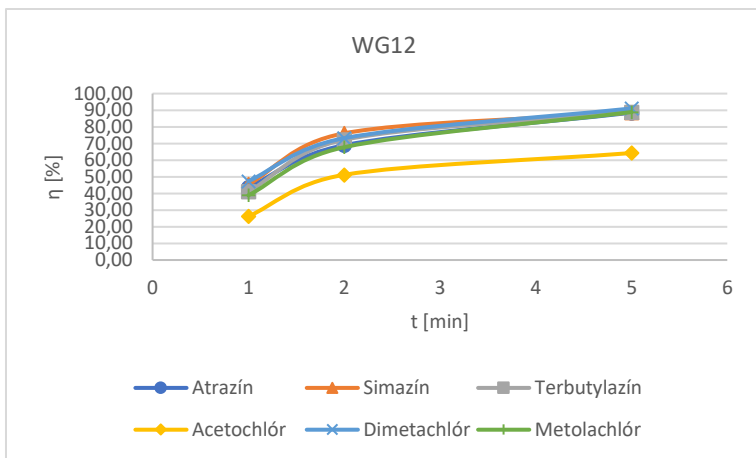




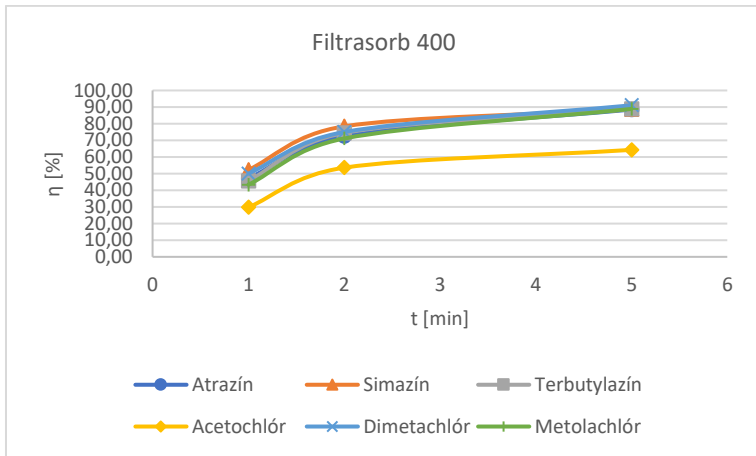
*Graf 10 Zmeny hodnoty pH, zákalu a teploty pre granulované aktívne uhlie Filtrasorb 400 v časoch odberu vzoriek 0 (Surová voda), 1, 2 a 5 min.*

Na hore uvedených grafoch (Graf 9 a 10) môžeme pozorovať, zmenu teploty, hodnoty pH a zákalu pre oba druhy granulovaného aktívneho uhlia. Vidíme, že teplota sa počas konania experimentu zvyšovala, čo môžeme vysvetliť, tým ako voda preteká cez hadičky do kolóny tak sa mierne otepluje vplyvom trenia o materiál. Zmena hodnoty zákalu naznačuje mierny nárast v priebehu experimentu pre granulované aktívne uhlie Filtrasorb 400. Táto zmena je zapríčinená vyplavením prachu a menších častíc do vzorky, tieto častice sa v procese vymývania nevyplavili a tým pádom je vzorka mierne zakalená. V prípade granulovaného aktívneho uhlia WG12 táto hodnota počas experimentu mierne klesá. Tieto zmeny sa dajú pripísať štruktúre materiálu, ktorý je v prípade aktívneho uhlia Filtrasorb 400 o niečo jemnejší a teda obsahuje viac menších častíc a prachu. Hodnota pH sa pre jednotlivé experimenty nemenila ani v jednom prípade a ostala stabilná.

Na uvedených grafoch (Graf 11 a Graf 12) môžeme pozorovať účinnosť odstraňovania pesticídov na aktívnom uhlí. Pre tento kinetický proces adsorpcie, kde voda preteká cez vrstvu adsorpčného materiálu, vidíme, že rozdiel medzi dvoma druhmi granulovaného aktívneho uhlia sú len minimálne. V skoro každom prípade dôjde k odstráneniu 88 – 91%



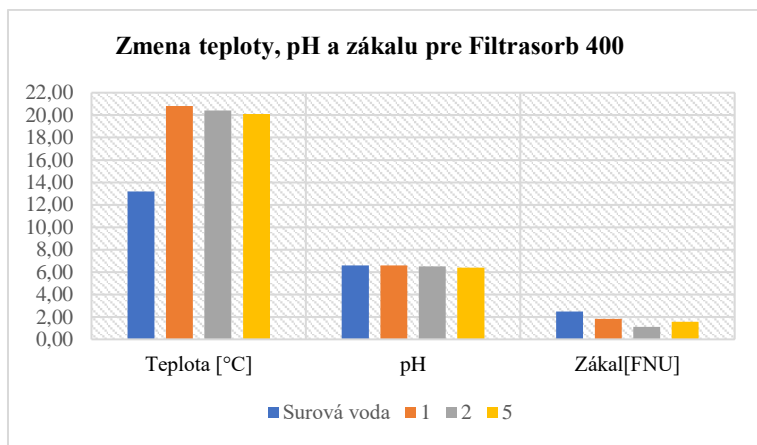
Graf 11 Adsorpčná účinnosť pre adsorpciu pesticídov na granulované aktívne uhlie  
WG12



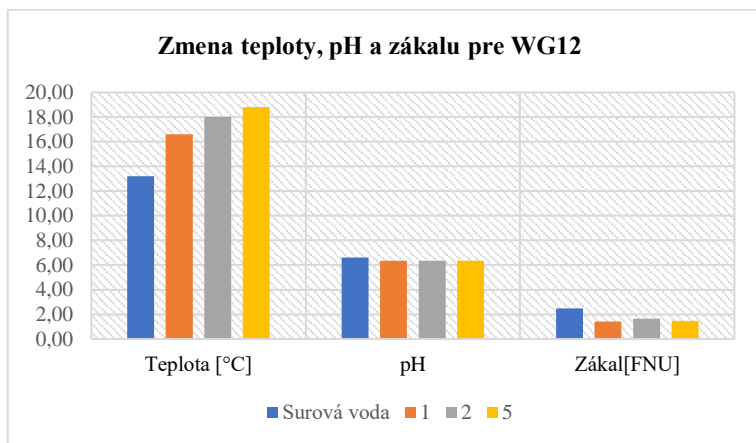
Graf 12 Adsorpčná účinnosť pre adsorpciu pesticídov na granulované aktívne uhlie  
Filtrisorb 400

#### 4.4 Kinetické skúšky adsorpcie farmaceutík cez kolónovú náplň s granulovaním aktívnym uhlím

Experimentálne overenie účinnosti odstraňovania farmaceutík, prebiehali rovnakým spôsobom ako pre pesticídy. Taktiež sa sledovala zmena hodnoty pH, zákal a teploty.



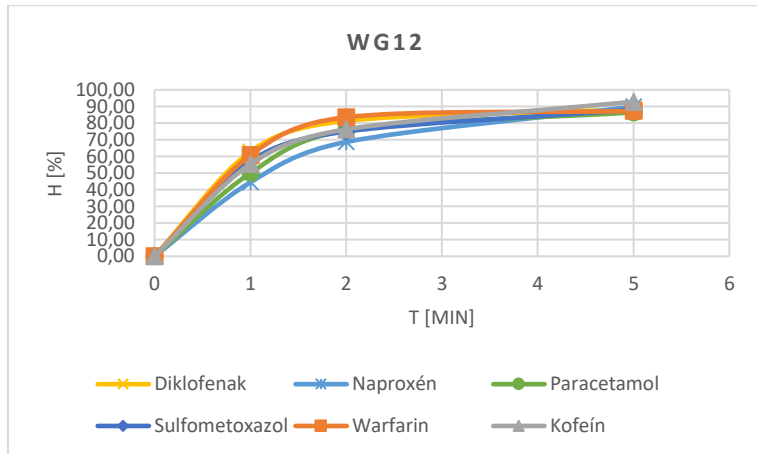
Graf 13 Zmeny hodnoty pH, zákalu a teploty pre granulované aktívne uhlie Filtrasorb 400 v časoch odberu vzoriek 0 (Surová voda), 1, 2 a 5 min.



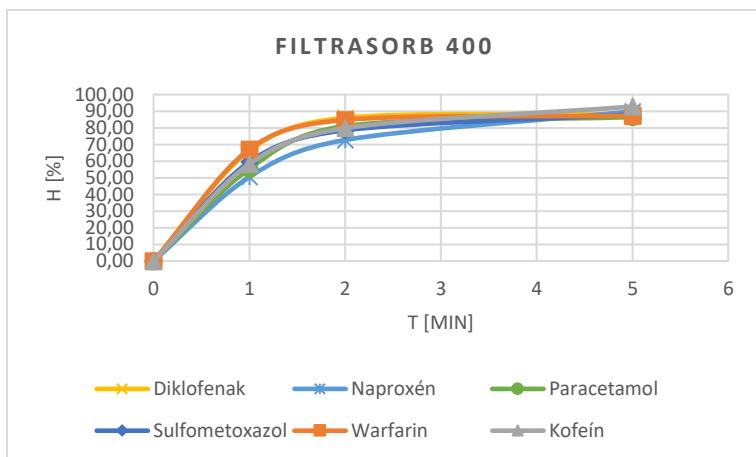
Graf 14 Zmeny hodnoty pH, zákalu a teploty pre granulované aktívne uhlie WG12 v časoch odberu vzoriek 0 (Surová voda), 1, 2 a 5 min.

Na vyššie uvedených grafoch (Graf 13 a 14) vidíme zmeny hodnoty pH, teploty a zákalu. V prípade teploty je porovnateľný rozdiel pre aktívne uhlie WG12 a Filtrasorb 400, kde v prípade Filtrasorb 400 táto hodnota najprv rapídne stúpa a potom pomaly klesá. V prípade pre aktívne uhlie WG12 táto hodnota postupne narastá. Tieto rozdiely sú zapríčinené poradím v akom boli tieto experimenty uskutočnené. Keďže najprv sa realizoval experiment adsorpcie na aktívne uhlie WG12 a potom sa uskutočňovala adsorpcia na Filtrasorb 400. Hodnoty pH sa skoro vôbec nemenili počas celého trvania experimentu, takže považujeme tento parameter za stabilný. Zmena hodnoty zákalu sa význame nemenila, pri adsorpcii dochádzalo k menšiemu poklesu hodnoty zákalu pre granulované aktívne uhlie Filtrasorb 400 a k menšiemu výkyvu pre granulované aktívne uhlie WG12 po 2 minúte adsorpčného procesu.

Na uvedených grafoch (Graf 15 a Graf 16) môžeme pozorovať účinnosť odstraňovania farmaceutík na aktívnom uhlí. Pre tento kinetický proces adsorpcie, kde voda preteká cez vrstvu adsorpčného materiálu, vidíme, že rozdiel medzi dvoma druhmi granulovaného aktívneho uhlia sú len minimálne. V každom prípade dôjde k odstráneniu 86 – 92%.



Graf 15 Adsorpčná účinnosť pre adsorpciu farmaceutík na granulované aktívne uhlie WG12



*Graf 162 Adsorpčná účinnosť pre adsorpciu farmaceutík na granulované aktívne uhlie Filtrasorb 400*

## 5. Záver

Predkladaná dizertačná práca sa zaoberá odstraňovaním pesticídov a liečiv z vody. V práci sú uvedené výsledky statických a kolónových experimentov, pričom k experimentom bola použitá pitná voda s prídavkom štandardov tak, aby výsledná koncentrácia jednotlivých kontaminantov bola okolo 0,5 µg/L (pri kolónových testoch 0,1 µg/L). Z pesticídov boli sledované dve hlavné skupiny a to triazínové a chloroacetanilidové. Z farmaceutík sme sa zamerali na lieky proti bolesti, antibiotiká, lieky na riedenie krvi a Kofeín. Vybrané boli na základe literárnej rešerše, ako aj na základe ich výskytu v odpadových a povrchových vodách. Tieto mikropolutanty sa často vyskytujú vo vodách, keďže sú rezistentné voči bežným spôsobom čistenia a úpravy vôd, a teda pretrvávajú v prostredí.

Odstraňovanie mikropolutantov z vody sa dá uskutočniť rôznymi spôsobmi, dizertačná práca sa zaoberá adsorpciou vybraných mikropolutantov z vody granulovaným aktívnym uhlím od dvoch výrobcov. K adsorpcii bolo použité granulované aktívne uhlie Filtrasorb 400 a WG12. Obidva druhy aktívneho uhlia sú bežne používané v procesoch úpravy vody. Porovnanie pozostávalo z rôznych

experimentov (statických, kolónových) zameraných na adsorpciu vybraných mikropolutantov z vody. Bola sledovaná adsorpčná účinnosť a adsorpčná kapacita pre jednotlivé pesticídy a liečivá. Pre lepšie pochopenie procesu adsorpcie mikropolutantov z vody na granulovanom aktívnom uhlí boli spracované (vypočítané) kinetické rovnice 0.tého až 3.tieho rádu, určené na popis rýchlosti procesu.

Zo statických skúšok vyplýva, že obidva materiály aktívneho uhlia sú dostatočne účinné na odstraňovanie sledovaných mikropolutantov z vody. Neboli pozorované výrazne odlišné účinnosti jednotlivých materiálov, po 4 hodinách kontaktu vody so sorbentom bola účinnosť viac ako 90%. Účinnosť adsorpcie závisí od doby kontaktu vody s materiálom. Z hľadiska kinetických rovníc pre statické skúšky môžeme konštatovať, že adsorpcia mikropolutantov na granulované aktívne uhlie Filtrasorb 400 prebieha rýchlejšie ako na WG12. Tento rozdiel sa dá pozorovať aj na grafoch adsorpčnej účinnosti, kde vidíme, že po 1 alebo 2 hodinách adsorpcie sa na Filtrasorb naadsorbovalo väčšie množstvo mikropolutantov ako na aktívne uhlie WG12. Z kinetických rovníc taktiež vyplýva, že reakcie prebiehajú väčšinou kinetikou 0.tého alebo 1. poriadku, s výminkami istých mikropolutantov s kinetikou 2.ého alebo 3.tieho rádu. Výsledky adsorpcie ukázali, že na odstraňovanie kontaminantov z vody môže mať vplyv okrem doby kontaktu vody so sorpčným materiálom aj konkrétny druh aktívneho uhlia, resp. materiál z ktorého je granulované aktívne uhlie vyrobené.

Výsledky kolónových experimentov adsorpcie mikropolutantov na granulovanom aktívnom uhlí pri koncentrácii jednotlivých mikropolutantov 0,1 µg/L ukázali, že došlo behom 5 minút k úplnému odstráneniu sledovaných mikropolutantov, pričom koncentrácia bola pod limitom stanovenia. Z hľadiska štúdia kinetických rovníc pre kolónove experimenty vyplýva, že adsorpcia prebiehala kinetikou 2.ého alebo 3.tieho poriadku a to v prípade sledovaných pesticídov aj farmaceutík. Uvedené experimenty nebolo možné zopakovať, podobne ako plánované poloprevádzkové skúšky na vybranej lokalite, a to z dôvodu kovidovej situácie.

## 6. **Literatúra**

- [1] Pal A., He Y., Jekel M., Reinhard M., Gin K. Y. H. 2014. Emerging contaminants of public health significance as water quality indicator compounds in the urban water cycle. *Environment International* 74. p. 46-62.
- [2] Ruhí A., Acuña V., Barceló D., Huerta B., Mor J. R., Rodríguez-Mozaz S., Sabater S. 2015. Bioaccumulation and trophic magnification of pharmaceuticals and endocrine disruptors in a Mediterranean river food web. *Science of Total Environment* 540. p. 250-259.
- [3] Huerta B., Jakimska A., Ilorca M., Ruhí A., Margoutidis G., Acuña V., Sabater S., Rodríguez-Mozaz S., Barceló D. 2015. Development of an extraction and purification method for determination of multi-class pharmaceuticals and endocrine disruptors in freshwater invertebrates. *Talanta* 132. p.373-381.
- [4] Xu Y., Luo F., Pal A., Gin K. Y.-H., Reinhard M. 2011. Occurrence of emerging organic contaminants in a tropical urban catchment in Singapore. *Chemosphere* 83. p. 963-969.
- [5] McArdle P., Gleeson J., Hammond T., Heslop E., Holden R., Kuczera G. 2011. Centralised urban stormwater harvesting for potable reuse. *Water Science Technology* 63. p. 16 – 24.
- [6] Richardson S. D., Ternes T. A. 2014. Water analysis: emerging contaminants and current issues. *Analytical Chemistry* 86. p. 2813-2848.
- [7] Liu A., Goonetilleke A., Egodawatta P. 2015. *Role of Rainfall and Catchment Characteristics on Urban Stormwater Quality*. Springer Singapore. Singapore
- [8] McGrane S. J. 2016. Impacts of urbanisation on hydrobiological and water quality dynamics, and urban water management: a review. *Hydrological Sciences Journal* 61. p. 2295-2311.
- [9] Lambert M. R., Skelly D. K. 2016. Diverse sources for endocrine disruption in the wild. *Endocrine Disruptors* 4. DOI: 10.1080/23273747.2016.1148803

- [10] Zhang Q. Q., Ying G.-G., Pan C G., Liu Y.-S., Zhao J. L. 2015. Comprehensive evaluation of antibiotics emission and fate in the river basins of china: Source ananlysis, multimedia modeling and linkage to bacterial resistance. *Environmental Science Technology* 49. p. 6772-6782.
- [11] Campanha M. B., Awan A. T., de Sousa D. N. R., Grosseli G. M., Mozeto A. A., Fadini P. S. 2015. A 3-year study on occurence of emerging contaminants in an urban stream of São Paulo State of Southeast Brazil. *Environmental Science Pollution Research* 22. p. 7936-7947.



## 7. Publikačná činnosť

### ADF Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch

- ADF01 BARLOKOVÁ, Danka - ILAVSKÝ, Ján - MARTON, Michal - MATIS, Alena. Pesticídy vo vodách a možnosti ich odstraňovania. In Vodohospodársky spravodajca. Roč. 64, č. 11-12 (2021), s. 32-38. ISSN 0322-886X.
- ADF02 MARTON, Michal. Degradácia roztoku Reactive Orange 12 pomocou pokročilých oxidačných procesov. In Vodohospodársky spravodajca. Roč. 62, č. 7-8 (2019), s. 11-13. ISSN 0322-886X.

### ADM Vedecké práce v zahraničných časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS

- ADM01 MARTON, Michal - ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka. Pesticide removal and efficiency of different types of granular activated carbon. In Pollack Periodica. Vol. 16, no. 1 (2021), s. 126-131. ISSN 1788-1994 (2020: 0.257 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85104441975 ; DOI: 10.1556/606.2020.00140.

### AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

- AFC01 BARLOKOVÁ, Danka - ILAVSKÝ, Ján - MARTON, Michal - KUNŠTEK, Michal. Removal of heavy metals in drinking water by iron-based sorption materials. In World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2019) : proceedings. 9–13 September 2019, Prague, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2019, [12] s., art. no. 012109. ISSN 1755-1307. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85076606384 ; DOI: 10.1088/1755-1315/362/1/012109.
- AFC02 BARLOKOVÁ, Danka - ILAVSKÝ, Ján - MARTON, Michal - KUNŠTEK, Michal. Pilot-plant experiences with membrane filtration at the WTP Jasná. In WMHE 2019 [elektronický zdroj] : proceedings of the 16th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering. 5-7th September 2019, Skopje, North Macedonia. 1. vyd. Skopje : Ss Cyril and Methodius University, Civil Engineering Faculty, 2019, USB kľúč, s. 216-223. ISSN 2410-5910. ISBN 978-608-4510-33-8.
- AFC03 BARLOKOVÁ, Danka - ILAVSKÝ, Ján - MARTON, Michal. Drinking water treatment with membrane ultrafiltration. In Advances in Environmental Engineering (AEE2019) [elektronický zdroj] : proceedings. November 25-27, 2019, Ostrava, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2020, online, [6] s., art. no. 012002. ISSN

1755-1307. V databáze: WOS: 000538681400002 ; SCOPUS: 2-s2.0-85079621215 ; DOI: 10.1088/1755-1315/444/1/012002.

- AFC04 BARLOKOVÁ, Danka - ILAVSKÝ, Ján - MARTON, Michal - SLÁVIK ANDREJ. Efficiency of Membrane Ultrafiltration in Water Treatment Plant Jasná. In 6th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium - WMESS 2020 : proceedings. 7-11 September 2020, Prague, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2020, online, [7] s., art. no. 012087. ISSN 1755-1307. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85097993581 ; DOI: 10.1088/1755-1315/609/1/012087.
- AFC05 BARLOKOVÁ, Danka - ILAVSKÝ, Ján - MUNKA, Karol - MARTON, Michal. Comparison of the sorption efficiency of iron-based sorption materials in the removal of arsenic and antimony from water. In SGEM 2020. 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Volume 20. Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems : conference proceedings. Albena, Bulgaria, 18 - 24 August, 2020. 1. vyd. Sofia : STEF 92 Technology, 2020, S. 59-66. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7603-08-8. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85099728202 ; DOI: 10.5593/sgem2020/3.1/s12.008.
- AFC06 ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka - MARTON, Michal - KAPUSTA, Ondrej. Sorption materials used for removal of arsenic in drinking water. In SGEM 2019. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Volume 19. Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems : conference proceedings. Albena, Bulgaria, 30 June - 6 July, 2019. 1. vyd. Sofia : STEF 92 Technology, 2019, S. 527-535. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7408-81-2. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85073388910 ; DOI: 10.5593/sgem2019/3.1/S12.068.
- AFC07 ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka - MARTON, Michal - KAPUSTA, Ondrej. Removal of THM precursors by adsorption, coagulation and UV irradiation. In World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2019) : proceedings. 9-13 September 2019, Prague, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2019, [11] s., art. no. 012110. ISSN 1755-1307. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85076601943 ; DOI: 10.1088/1755-1315/362/1/012110.
- AFC08 ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka - MARTON, Michal. Triazine Herbicides Removal from Water with Granular Activated Carbon. In 6th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium - WMESS 2020 : proceedings. 7-11 September 2020, Prague, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2020, online, [8] s., art. no. 012088. ISSN 1755-1307. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85098011884 ; DOI: 10.1088/1755-1315/609/1/012088.

- AFC09 ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka - MARTON, Michal. Removal of Specific Pharmaceuticals from Water using Activated Carbon. In 7th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium - WMESS 2021 [proceedings. 6th-10th September 2021, Prague, Czech Republic]. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2021, online, [10] s., art. no. 012065. ISSN 1755-1307. V databáze: DOI: 10.1088/1755-1315/906/1/012065 ; SCOPUS: 2-s2.0-85121458149.
- AFC10 ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka - MARTON, Michal. Removal of selected pesticides from water using granular activated carbon. In Advances in Environmental Engineering (AEE 2021) [elektronický zdroj] : proceedings. November 25-26, 2021, Ostrava, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2021, online, [10] s., art. no. 012011. ISSN 1755-1307. V databáze: DOI: 10.1088/1755-1315/900/1/012011 ; SCOPUS: 2-s2.0-85122201021.
- AFC11 MARTON, Michal - ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka. Granulované aktívne uhlie a jeho použitie na adsorpciu pesticídov z pitnej vody. In Juniorstav 2020 [elektronický zdroj] : zborník príspevků. 22. odborná konferencia doktorského studia s mezinárodní účastí. Brno, ČR, 23. 1. 2020 = Juniorstav 2020, proceedings of the 22nd International Conference of doctoral Students. 1. vyd. Brno : ECON publishing, 2020, USB kľúč, s. 570-575. ISBN 978-80-86433-73-8.

#### **AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách**

- AFD01 MARTON, Michal. Degradácia azofarbív pomocou persíranu aktivovaného železnatými a mangánatými iónmi. In Zborník prednášok z Konferencie mladých výskumníkov - KOMVY 2018 [elektronický zdroj] : Podhájska, SR, 17. - 19. september 2018. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2018, CD-ROM, s. 106-109. ISBN 978-80-227-4847-6.
- AFD02 MARTON, Michal - ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka. Odstraňovanie pesticídov z vôd adsorpciou na granulovanom aktívnom uhli. In Chémia a technológie pre život [elektronický zdroj] : 21. celoslovenská študentská vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou. Bratislava, 6. 11. 2019. 1. vyd. Bratislava : Slovenská chemická knižnica, 2019, USB kľúč, s. 470-471. ISBN 978-80-8208-015-8.
- AFD03 MARTON, Michal. Adsorpcia mikropolutantov na granulovanom aktívnom uhli. In Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 29th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October

16th 2019, Bratislava. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2019, CD-ROM, s. 527-530. ISBN 978-80-227-4972-5.

- AFD04 MARTON, Michal - ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka. Adsorption of specific chloroacetanilides on granular activated carbon. In Young Scientist 2020 [elektronický zdroj] : proceedings of the 12th International Scientific Conference of Civil and Environmental Engineering for PhD. Students and Young Scientists. 15-16 October 2020, High Tatras, Slovakia. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2020, online, [5] s., art. no. 012031. ISSN 1757-899X. V databáze: DOI: 10.1088/1757-899X/867/1/012031 ; SCOPUS: 2-s2.0-85093967445.
- AFD05 MARTON, Michal. Porovnanie účinnosti adsorpcie simazínu z vody dvoma rôznymi typmi granulovaného aktívneho uhlia. In Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 30th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 14th 2020, Bratislava, Slovakia. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2020, CD-ROM, s. 609-614. ISBN 978-80-227-5052-3.
- AFD06 MARTON, Michal - ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka. Atrazín v pitnej vode: detekcia, analýza a odstránenie pomocou granulovaného aktívneho uhlia. In Proceedings from 9th Conference of Young Researchers - KOMVY 2020 [elektronický zdroj] : virtuálny priestor, Bratislava, SR, 27. 11. 2020. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2020, CD-ROM, s. 47-52. ISBN 978-80-227-5057-8.
- AFD07 MARTON, Michal - ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka. Dimethachlor in drinking water. Occurrence, detection and removal by granular activated carbon. In Proceedings from 10th Conference of Young Researchers - KOMVY 2021 [elektronický zdroj] : virtuálny priestor, Bratislava, SR, 29. - 30. 4. 2021. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2021, CD-ROM, s. 94-100. ISBN 978-80-227-5092-9.
- AFD08 MARTON, Michal. Farmaceutiká v pitnej vode a ich odstraňovanie adsorpciou na granulovanom aktívnom uhlí. In Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 31st Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 13th 2021, Bratislava, Slovakia. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2021, CD-ROM, s. 574-580. ISBN 978-80-227-5150-6.

#### **AFG Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií**

- AFG01 MARTON, Michal - ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka. The efficiency of different types of granular activated carbon in pesticide removal. In Abstract book for the 15th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium [elektronický zdroj] : Architectural, Engineering and Information Sciences. Hungary, Pécs, 28-29 October 2019. Pécs : Pollack Press, 2019, USB-kľúč, [1] s., paper 124. ISBN 978-963-429-449-8.
- AFG02 MARTON, Michal - ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka. Adsorption of simazine with two different granular activated carbons. In Abstract book for the 16th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium [elektronický zdroj] : Architectural, Engineering and Information Sciences. Hungary, Pécs, 26-27 October 2020. Pécs : Pollack Press, 2020, online, [1] s., paper no. 95. ISBN 978-963-429-578-5.

#### **BEE Odborné práce v zahraničných zborníkoch (konferenčných aj nekonferenčných)**

- BEE01 ILAVSKÝ, Ján - BARLOKOVÁ, Danka - MARTON, Michal. Odstraňovanie vybraných pesticídov z vody granulovaným aktívnym uhlím. In Voda Zlín 2020 : zborník prednášok z konferencie. Zlín, ČR, 5. - 6. 3. 2020. 1. vyd. Olomouc : Moravská vodárenská, 2020, S. 37-42. ISBN 978-80-905716-6-2.
- BEE02 MARTON, Michal - ILAVSKÝ, Ján. Odstraňovanie pesticídov z vôd s využitím granulovaného aktívneho uhlia. In Voda 2019 [elektronický zdroj] : zborník prednášok a posterových sdelení z 13. bienálie konferencie CzWA. Poděbrady, ČR, 18. - 20. září 2019. 1. vyd. Brno : CzWA service, 2019, USB kľúč, s. 437-440. ISSN 2694-7013.