

Výskyt pesticídnych látok vo vodnom prostredí a ich odstraňovanie z pitných vôd pomocou pokročilých oxidačných procesov

Occurrence of pesticides in the water environment and their removal from drinking water using advanced oxidation processes

Tamara Pacholská¹ | Pavla Šmejkalová²

INFORMACE O ČLÁNKU

DOI 10.35933/ENTECHO.2020.01

HISTORIE

Datum doručení: 29. 4. 2020

Datum revize: 12. 5. 2020

Datum akceptace: 19. 5. 2020

AFILACE

VŠCHT Praha

Technická 5, 166 28 Praha 6

¹ pacholst@vscht.cz

00000-0002-0395-6732

² smejkalp@vscht.cz

0000-0002-5107-227X

KLÍČOVÁ SLOVA

Pesticídne látky; pokročilé oxidačné procesy; pitná voda; granulované aktívne uhlie

KEYWORDS

Pesticides; advanced oxidation processes; drinking water; granular activated carbon

ABSTRAKT

Intenzívne používanie pesticídnych látok spôsobilo na mnohých miestach vážne problémy v ekosystéme, najmä čo sa týka vodných zdrojov, kam sa tieto látky dostávajú. Keďže klasickou vodárenskou technológiou nie je možné pesticídy z vody odstraňovať, nachádzajú sa tak tieto látky v nadlimitných koncentráciách v pitných vodách. Preto je nutné navrhnúť technológiu, ktorá bude v ich odstraňovaní účinná. Ako vhodné sa ukazujú pokročilé oxidačné procesy (AOPs) v kombinácii s granulovaným aktívnym uhlím (GAU). Cieľom tohto experimentu bolo porovnať účinok ozonizácie a pokročilých oxidačných procesov, z ktorých sa overovala kombinácia ozónu s UV žiarením ($O_3 + UV$) a ozónu s peroxidom vodíka ($O_3 + H_2O_2$) s následnou sorpciou na GAU.

ABSTRACT

Intensive use of pesticides has caused serious problems in the ecosystem in many places, especially in terms of the water resources to which pesticides enter. It is not possible to remove pesticides from water using conventional water supply technology, so these substances are found in above-limit concentrations in drinking water. Therefore, it is necessary to design a technology that will be effective in removing them. Advanced oxidation processes (AOPs) in combination with granular activated carbon (GAU) prove to be suitable. The aim of this experiment was to compare the effect of ozonation and advanced oxidation processes, which verified the combination of ozone with UV radiation ($O_3 + UV$) and ozone with hydrogen peroxide ($O_3 + H_2O_2$) followed by sorption on GAU.

1 Úvod

Kontaminácia vody súvisí priamo so stupňom znečistenia životného prostredia, ktorú spôsobil veľmi rýchly nárast industrializácie a urbanizácie na celom svete. V mnohých krajinách v posledných rokoch vznikajú obavy týkajúce sa kvality povrchovej a podzemnej vody, ktorá sa využíva ako zdroj na výrobu vody pitnej. Tieto obavy sa týkajú aj pesticídnych látok a ich metabolitov, ktoré klasická vodárenská technológia nie je schopná odstrániť (Aydinalp a Porca, 2004; Stevenson et al., 1997).

Za počiatky modernej éry syntetických pesticídov sa označujú tridsiate roky 20. storočia. V tejto dobe najviac vyrábanými a používanými boli organofosfáty a organochlórové pesticídy. Postupom času sa však zistilo, že pesticídy nemajú len pozitívne vlastnosti, ako je ničenie škodcov, rastlín atď., ale naopak, sú toxické, ohrozujú človeka a celkový ekologický stav. Sú odolné voči fyzikálno-chemickému rozkladu, biodegradácii, sú biologicky perzistentné, preto sa v prírode rozkladajú niekoľko mesiacov, rokov, výnimočne viac. Svedčí o tom aj fakt, že vyššie spomínaná skupina pesticídov bola v 20. storočí zakázaná, no ich reziduá sa v prírode vyskytujú dodnes (Crystal Water, 2017; MARLUS, 2013; Pacholská, 2019).

V intenzívne poľnohospodársky využívaných oblastiach koncentrácie pesticídov vážne ohrozujú podzemné a povrchové zdroje. Dnešná zvýšená aplikácia pesticídov je vynútená taktiež v dôsledku opakovaného pestovania technických plodín využívaných na výrobu biopalív a spôsobuje plošnú kontamináciu celého územia ČR. Monitoring podzemných vôd v Českej republike realizovaný v posledných rokoch poukazuje na prítomnosť pesticídnych látok v 63% sledovaných objektoch, v 43% sledovaných objektoch koncentrácie prekročili limit 0,1 µg/l pre podzemnú vodu. Jedná sa väčšinou o metabolity herbicídov používaných na ošetrovanie repky olejnej, kukurice a cukrovej repy (CENTRUM VODY, b.r.; Naše voda, 2017).

1.1 Ako sa pesticídy dostávajú do vodného prostredia?

Podzemná voda predstavuje zdroj pitnej vody približne u 50% obyvateľstva, preto je jej kontaminácia pesticídmi predmetom národného významu. Spočiatku sa predpokladalo, že pôda funguje ako ochranný filter, ktorý zabráni prieniku pesticídnych látok do vôd podzemných, ale neskoršie štúdie ukázali, že tomu tak nie je. Pesticídy sa do podzemných vôd dostávajú pri ich aplikácii na poľnohospodárske plodiny, vsakovaním kontaminovanej povrchovej vody, nesprávnou likví-

dáciou, náhodným rozliatím alebo nesprávnym skladovaním. Zistilo sa však, že schopnosť pesticídov prenikať do podzemných vôd závisí od ich fyzikálno-chemických vlastností a vlastností pôdy, akými sú rozpustnosť pesticídnych látok, adsorpcia pôdy, degradácia a prchavosť. Preto je veľmi dôležité porozumieť týmto vlastnostiam, aby sa dokázal predpovedať ich potenciál v súvislosti s kontamináciou podzemných vôd (ADAMA, 2014; USGS, b.r.).

Čo sa týka povrchových vôd, tam je výskyt pesticídnych látok ovplyvnený sezónnou aplikáciou. Pesticídy sa dostávajú do vodného recipientu počas ich aplikácie pri väčšom prúdení vzduchu. Odparom prchavých pesticídov z rastlín a pôdy a následným atmosférickým transportom a zrážkami dochádza k ich diaľkovému prenosu do miest, kde sa tieto látky vôbec nepoužívajú. Avšak, najväčší vnos pesticídov sa deje pri intenzívnych dažďových zrážkach, kedy dochádza k povrchovému zmyvu a odtoku nielen pesticídov ale aj vlastnej pôdy. Niektoré perzistentné pesticídy, ktoré majú malú sorpciu na pôdne častice, sú vyplachované po niekoľkých mesiacoch až rokoch od ich aplikácie a prenikajú aj do podzemných vôd. Zaujímavosťou je, že medzi hlavné zdroje pesticídnych látok okrem poľnohospodárstva patrí aj nepoľnohospodárske použitie, ako napr. údržba pozemných komunikácií.

Túto situáciu môže zlepšiť dôsledné uplatňovanie platnej legislatívy, chystané protierózne vyhlášky a tiež finančné kompenzácie subjektom hospodáriacim s minimálnym použitím pesticídov v rizikových oblastiach (Ferenčík, 2017).

1.2 Pokročilé oxidačné procesy v kombinácii so sorpciou na granulovanom aktívnom uhlí

Klasické vodárenské technológie nie sú účinné v odstraňovaní pesticídnych látok a ich metabolitov, preto sa tieto látky vyskytujú v pitnej vode aj niekoľkokrát nad požadovaný limit. Za účelom ich odstránenia sa ako vhodné v poslednej dobe ukazuje kombinácia pokročilých oxidačných procesov a granulovaného aktívneho uhlia (GAU). Zo súčasných poznatkov totiž vyplýva, že oxidáciou dochádza ku štiepeniu pesticídnych látok na menšie fragmenty, ktoré sú následne z vody odstraňované sorpciou na GAU s vyššou účinnosťou než samotným sorpčným stupňom.

Pokročilé oxidačné procesy (AOPs) patria medzi technologické postupy, ktoré takmer vôbec nezaťažujú životné prostredie a pri úprave pitnej vody sa používajú predovšetkým na degradáciu organických polutantov (Linden a Mohseni, 2014; Mackulak, 2011). Sú založené na schopnosti generovať veľké množstvo voľných radikálov (najčastejšie hydroxylových $\cdot\text{OH}$), ktoré sú charakteristické vysokou oxidačnou silou, pomocou ktorej sú schopné degradovať celý rad znečisťujúcich látok (Mackulak et al., 2016).

Aktívne uhlie je celá skupina amorfných uhlíkových adsorbentov so značne vyvinutou pórovitou štruktúrou. Jemná štruktúra, ktorú aktívne uhlie má, zväčšuje jeho povrch, čo vedie k silným adsorpčným schopnostiam (Tadda et al., 2016). Podľa súčasných poznatkov je najúčinnnejšie zaradiť sorpciu na koniec technologickej linky úpravy pitnej vody, a to z hľadiska významného zníženia koncentrácie pesticídnych látok a ich metabolitov, ktoré klasickou technologickou linkou prechádzajú. Na GAU sa súčasne separujú látky, ktoré majú povahu substrátu pre mikroorganizmy. Je dôležité spomenúť ešte jednu funkciu sorpcie na GAU, a to je funkcia preventívna pre prípad kontaminácie zdroja toxickými látkami.

2 Metodika práce, výsledky a diskusia

Prípustné koncentrácie pesticídnych látok majú charakter najvyššej medznej hodnoty (NMH) pre jednotlivý pesticíd 0,1 $\mu\text{g/l}$ s výnimkou aldrínu, dieldrínu, heptachlóru a heptachlórepoxidu, kde je NMH stanovená na 0,03 $\mu\text{g/l}$. Pre súčet všetkých zistených pesticídnych látok je NMH 0,5 $\mu\text{g/l}$. Súčasná legislatíva v Českej republike (vyhláška MZ

č. 252/2004 Sb., v platnom znení) umožňuje rozdelenie metabolitov na relevantné a nerelevantné (t. z. nezapočítavané do výsledného súčtu všetkých pesticídnych látok). Miestny príslušný orgán ochrany verejného zdravia môže na základe posúdených zdravotných rizík pre nerelevantné metabolity stanoviť miernejší hygienický limit.

Na vodovode Holice (Pardubický kraj) boli opakovane potvrdené nadlimitné koncentrácie dvoch metabolitov pesticídnych látok, a to v nasledujúcom rozmedzí koncentrácií:

- Acetochlór ESA (relevantný, NMH 0,1 $\mu\text{g/l}$): 0,35–0,57 $\mu\text{g/l}$
- Alachlór ESA (nerelevantný, NMH 1,0 $\mu\text{g/l}$): 1,5–2,6 $\mu\text{g/l}$

V prípade acetochlóru ESA bol prekročený hygienický limit až 6x, v prípade alachlóru ESA takmer 3x.

Naše experimenty prebiehali s reálnou surovou vodou, ktorá obsahovala vyššie spomínané metabolity pesticídnych látok.

Bola overovaná efektivita sorpčného stupňa v kombinácii s AOPs

- Ozonizácia
- Kombinácia ozónu s UV žiarením (O_3/UV)
- Kombinácia ozónu s peroxidom vodíka ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$).

2.1 Sorpcia na granulovanom aktívnom uhlí

V prvom kroku nášho experimentu bola overená účinnosť sorpcie metabolitov pesticídnych látok prítomných v surovej vode na siedmich rôznych typoch GAU. Zároveň sa testovali najvhodnejšie doby kontaktu GAU so surovou vodou.

Na základe získaných výsledkov týkajúcich sa účinnosti odstraňovania metabolitov pesticídnych látok a z dôvodu vhodných technologických vlastností, bolo za najvhodnejšie granulované aktívne uhlie vyhodnotený Filtrasorb 400. Pri pokusoch uskutočňovaných vsádzkovo sa najlepšie osvedčila doba kontaktu na GAU 15 minút.

2.2 Efektivita sorpčného stupňa v kombinácii s AOPs

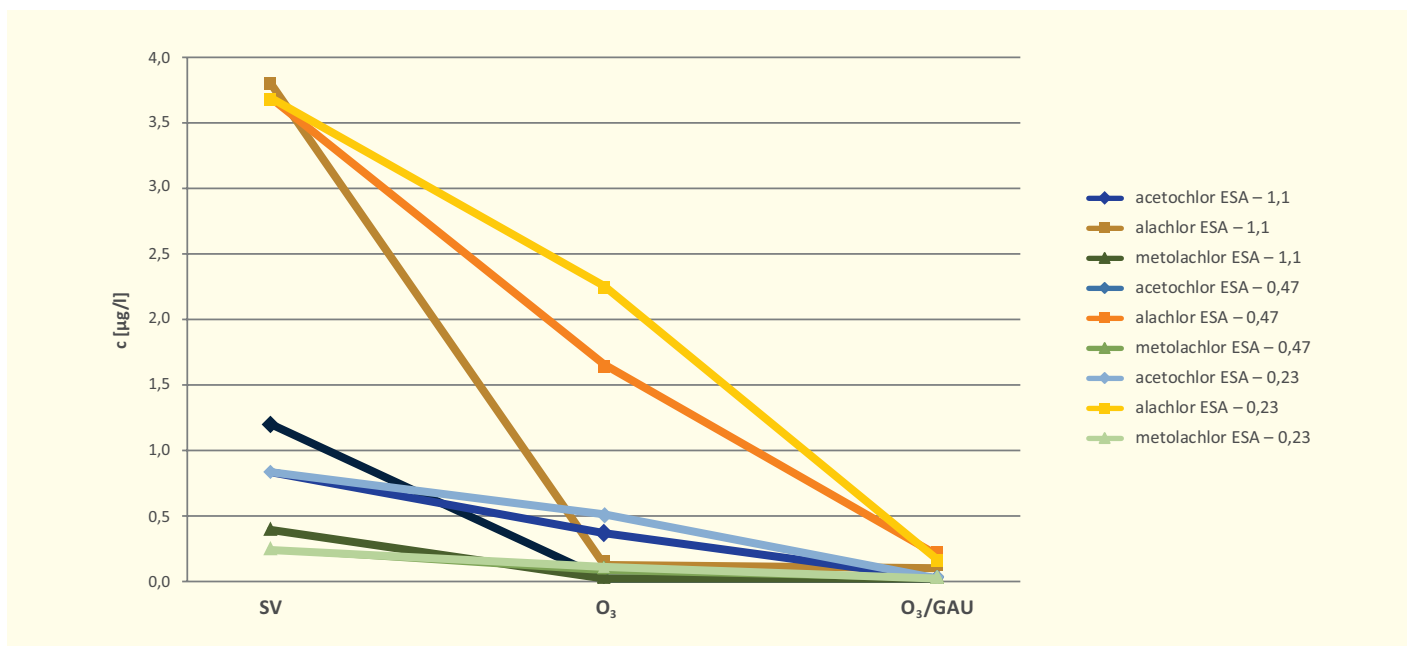
2.2.1 Ozonácia

Účinky ozonizácie sa overovali pri rôznych dávkach ozónu a pri rôznej dobe vymierania. Účinná dávka ozónu závisí na type molekuly, ktorá má byť oxidovaná. Pre pesticídne látky sa uvádza cca 1 až 4 mg/l s dobou vymierania 8 až 10 minút (Vavrušková et al., 2010). Na základe týchto odporúčaní boli na vybranom type GAU uskutočnené testy pri koncentrácii ozónu 1 mg/l s dobou vymierania 8 minút, avšak z dôvodu dostatočného účinku tejto dávky boli ďalšie testované koncentrácie ozónu volené nižšie, a to 0,47 mg/l a 0,23 mg/l . Dobu vymierania sme menili tak, aby výsledná zostatková koncentrácia ozónu bola 0,05 mg/l .

Pri najvyššej zvolenej dávke ozónu 1,1 mg/l klesla koncentrácia všetkých sledovaných metabolitov pod požadovaný limit už pred sorpciou, po sorpcii boli takmer všetky výsledné koncentrácie pod medzou stanoviteľnosti (graf č. 1). Touto dávkou ozónu sa dosiahlo 97 až 98% účinnosť odstránenia problematických metabolitov aj bez zaradenia sorpcie, no užitím polovičnej dávky klesla účinnosť na 55%, pri štvrtinovej dávke dokonca pod 40%. Zaradeným sorpčným stupňom sa však dosiahla účinnosť odstránenia minimálne 89% pri všetkých dávkach ozónu. Je dôležité ešte poznamenať, že na testovanie bolo použité nové aktívne uhlie, ktoré má najväčšiu sorpčnú kapacitu, a teda najvyššou účinnosť odstránenia. Na splnenie legislatívnych požiadaviek teda postačovala najnižšia testovaná dávka ozónu – 0,23 mg/l s dobou vymierania 20 minút s doplnenou sorpciou na GAU Filtrasorb 400 s dobou kontaktu 15 minút.

2.2.2 Ozón v kombinácii s UV žiarením (O_3/UV)

V tomto experimente bola testovaná dávka ozónu konštantná, a to 0,46 mg/l , menila sa však dávka UV žiarenia. Patričný objem vzorku s ozonizovanou vodou, ktorý bol prevedený do UV reaktora (UV lampa s výkonom 25 W, 400 J/m^2) a vystavený dávke UV žiarenia:



Obr. 1: Úbytok sledovaných metabolitov obsiahnutých v surovej vode (SV) po ozonizácii (O₃) pri rôznej počiatkovej koncentrácii ozónu (1,1; 0,47; 0,23 mg/l) a dobe vymierania (8, 35 resp. 20 minút) a následnej sorpcii na GAU Filtrasorb 400

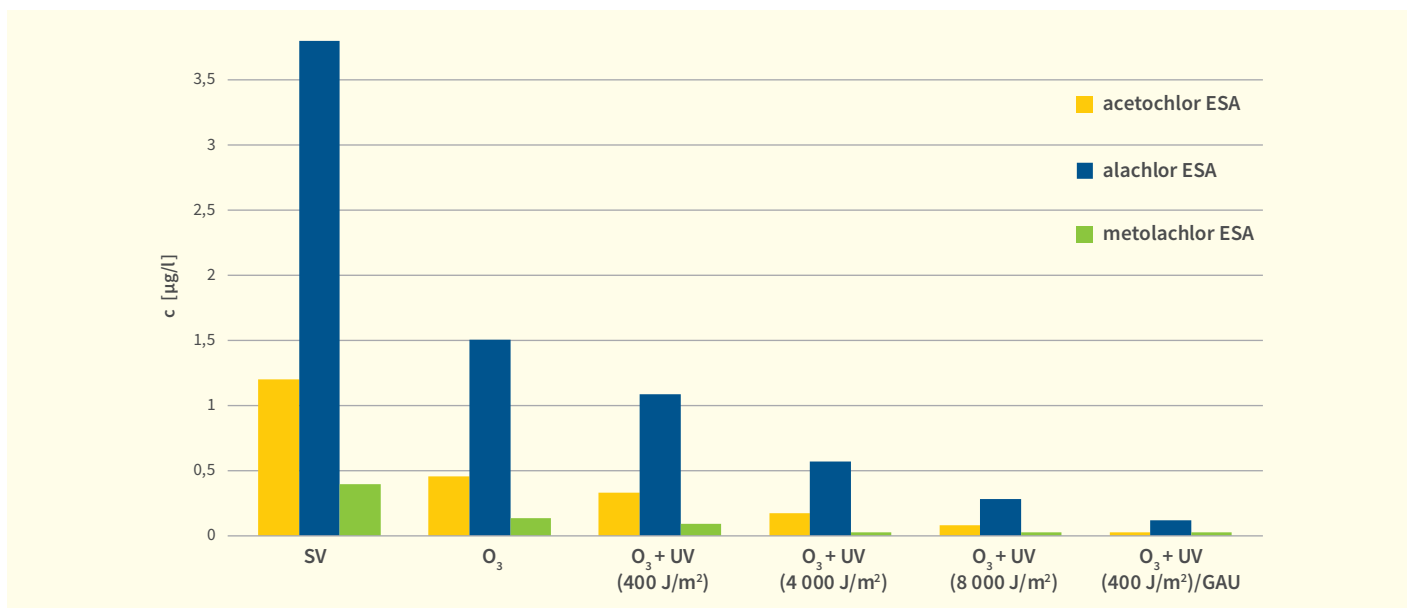
- 400 J/m²
- 4000 J/m²
- 8000 J/m²

Po expozícii surovej vody ozónu a UV žiarenia nasledovala sorpcia na GAU. Dávku UV žiarenia sme volili podľa skúsenosti s dávkami potrebnými na odstránenie pesticídnych látok. Oproti samotnej ozonizácii došlo pri zvolenej najnižšej dávke UV žiarenia (400 J/m²) ku zvýšeniu účinnosti odstránenia metabolitov približne o 10 %, pri desaťnásobnej dávke (4 000 J/m²) sa zvýšila účinnosť cca o 25 % a najvyššej zvolenej dávke (8 000 J/m²), dokonca o 30 % u všetkých sledovaných metabolitov. Zároveň sa touto dávkou dosiahli požadované výsledky u všetkých sledovaných metabolitov pesticídnych látok bez ďalšej úpravy. Efektívnejšieho výsledku sa dosiahlo zaradením sorpčného stupňa (Filtrasorb 400, doba kontaktu 15 minút) v kombinácii s najnižšou zvolenou

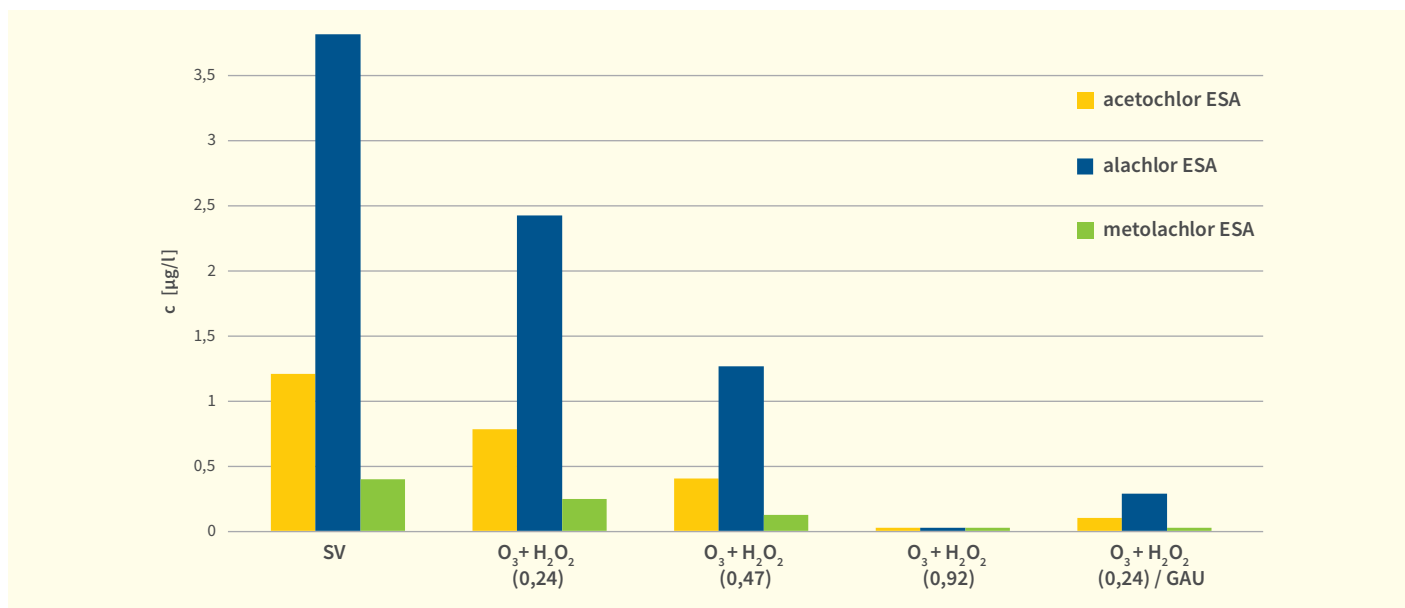
dávkou UV žiarenia (400 J/m²) a dávkou ozónu 0,46 mg/l. Účinnosť bola v tomto prípade až 98 % pre acetochlór ESA, 97 % pre alachlór ESA a 94 % v prípade metolachlóru ESA. Pri porovnaní efektivity odstraňovania metabolitov pesticídnych látok medzi pokročilým oxidačným procesom (O₃/UV) a samotnou ozonizáciou je z grafu č. 2 zrejmé, že so zvyšujúcou sa dávkou UV žiarenia efektívnosť v porovnaní so samotnou ozonizáciou rastie.

2.2.3 Kombinácia ozónu s peroxidom vodíka (O₃/H₂O₂)

Testovanie účinnosti odstránenia metabolitov pesticídnych látok kombináciou ozónu s peroxidom vodíka bolo uskutočňované súčasným dávkovaním zvyšujúcej sa koncentrácie ozónu a odpovedajúceho stechiometrického množstva peroxidu vodíka. Vzorka s najnižšími koncentraciami činidiel bola podrobená adsorpcii na GAU.



Obr. 2: Úbytok sledovaných metabolitov prítomných v surovej vode (SV) po samotnej ozonizácii (c(O₃) = 0,46 mg/l), ozonizácii v kombinácii s rôznou dávkou UV žiarenia (O₃ + UV) a sorpcii na GAU Filtrasorb 400 s dobou kontaktu 15 minút (O₃ + UV/GAU)



Obr. 3: Úbytok sledovaných metabolitov obsiahnutých v surovej vode (SV) po ozonizácii pri rôznej koncentrácii ozónu (0,238; 0,471 a 0,923 mg/l) a jej odpovedajúcom stechiometrickom množstve peroxidu vodíka (O₃/H₂O₂) a sorpcii na GAU Filtrasorb 400 s dobou kontaktu 15 minút (O₃+H₂O₂/GAU)

Do surovej vody bola dávkaná ozonizovaná voda na výsledné koncentrácie ozónu 0,238 mg/l; 0,471 mg/l a 0,923 mg/l a následne roztok peroxidu na výsledné koncentrácie peroxidu 0,095 mg/l; 0,187 mg/l, resp. 0,367 mg/l s vhodnými dobami vymierania ozónu. Vzorka s najnižšími koncentraciami činidiel ($c(\text{O}_3) = 0,238 \text{ mg/l}$ a $c(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,095 \text{ mg/l}$) bola podrobená sorpcii na vybranom GAU.

Prvou zvolenou dávkou ozónu (0,238 mg/l) a jej prislúchajúcim stechiometrickom množstvom peroxidu vodíka (0,095 mg/l) s dobou vymierania 20 minút sa dosiahlo účinnosti odstránenia sledovaných metabolitov menej ako 40%. Zvýšením dávky ozónu (0,471 mg/l) a peroxidu (0,187 mg/l) približne o polovicu s dobou vymierania 35 minút sa účinnosť zvýšila o viac než 30% u všetkých sledovaných metabolitov, no požadované výsledky sa nedosiahli. Požadovaného výsledku u všetkých sledovaných metabolitov bez ďalšieho stupňa úpravy (t. z. sorpcie) sa dosiahlo až pri užití najvyšších dávok, a to vo všetkých prípadoch hodnôt pod mez stanovitelnosti, kde účinnosť bola až 99% v prípade alachlóru ESA. Aplikáciu najnižšej dávky ozónu – 0,238 mg/l a peroxidu vodíka – 0,095 mg/l s dobou vymierania 20 minút a zaradením sorpčného stupňa (Filtrasorb 400, doba kontaktu 15 minút) boli splnené limity s účinnosťou odstránenia 92% (graf č. 3). Avšak, ak by sme chceli porovnať efektívnosť v odstraňovaní sledovaných metabolitov medzi pokročilým oxidačným procesom a samotnou ozonizáciou, účinok peroxidu sa prejavil minimálne.

3 Závěr

Na odstránenie pesticídnych látok z vody sa potvrdilo ako vhodné využitie pokročilých oxidačných procesov, v našom prípade kombinácia ozónu a UV žiarenia i samotná ozonácia, s následnou sorpciou na granulovanom aktívnom uhlí.

Pri samotnej ozonizácii najnižšou testovanou dávkou ozónu 0,23 mg/l s dobou vymierania 20 minút a následnej sorpcii na vybranom type GAU Filtrasorb 400 s dobou kontaktu 15 minút došlo k odstráneniu všetkých sledovaných pesticídnych látok prítomných v surovej vode vodovodu Holice pod požadované limity. Podobný výsledok sa dosiahol samotnou aplikáciou ozónu pri vyššej koncentrácii 1,1 mg/l s dobou vymierania 8 minút, no vynechanie sorpčného stupňa sa neodporúča z dôvodu nutnej separácie ozonizácie vzniknutých látok.

Ako optimálna metóda sa javí kombinácia O₃ + UV/GAU s dávkou ozónu 0,46 mg/l a dávkou UV žiarenia 8 000 J/m² (s výkonom UV lampy 25 W, 400 J/m²) s následnou sorpciou na GAU s dobou kontaktu cca 20 minút v kontinuálnej prevádzke. Použitie UV znižuje prevádzkové náklady na prípravu ozónu a predlžuje interval potrebnej reaktívácie aktívneho uhlia.

Kombinácia ozónu a peroxidu vodíka sa v našom prípade neosvedčila.

O výslednej kombinácii procesov je vždy potrebné rozhodnúť na základe poloprevádzkových testov a ekonomickej analýzy konkrétnej situácie, ktorú ovplyvňuje skladba pesticídnych látok a ich koncentrácie, kvalita upravovanej vody, technologická zostava úpravy atd.

4 Literatura

- ADAMA, 2014. *Groundwater and Pesticides*. https://www.adama.com/documents/444852/445866/36268_ADAMA_Web_Maint_2014_GroundWater_tcm13-27145.pdf/025a7684-325e-47fb-80d4-0364911a2c11
- Aydinalp, C.; Porca, M., 2004. *The effects of pesticides in water resources*. Journal of Central European Agriculture 5(1), 5–12.
- CENTRUM VODY, b.r. *Pesticidy v pitné vode*. https://www.centrumvody.cz/Pesticidy-v-pitne-vode-c9_0_1.htm
- Crystal Water, 2017. *Dusičnany, dusitany a pesticidy vo vodách*. Crystal Water. <https://www.crystalwater.sk/dusicnany-dusitany-pesticidy/>
- Ferenčík, M., 2017. *Rezidua pesticidů v povrchových vodách – legislativa, rizika, aktuální stav*. Agromanuál (9–10), 43–45.
- Linden, K. G.; Mohseni, M., 2014. 2.8 – *Advanced Oxidation Processes: Applications in Drinking Water Treatment*, In: Ahuja, S. (Ed.), *Comprehensive Water Quality and Purification*. Elsevier, Waltham. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382182-9.00031-1>
- Mackuľak, T., 2011. *Degradácia vybraných polutantov životného prostredia Fentonovou reakciou a meranie zmeny toxicity: autoreferát dizertačnej práce / (Dizertačná práca)*. Slovenská technická univerzita, Bratislava.
- Mackuľak, T.; Tichý, J.; Hanusová, A.; Špalková, V.; Vojs, M.; Marton, M.; Behúl, M.; Semerád, M.; Takáčová, A.; Ryba, J.; Grabic, R.; Vojs Staňková, A., 2016. *Environmentálne vedy – výskyt a možnosti degradácie polutantov*. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Bratislava.

- MARLUS, 2013. *Pesticídy a ich vplyv na zloženie vody*.
<https://www.marlus.sk/clanky-a-novinky/70-pesticidy-a-ich-vplyv-na-zlozenie-vody>
- Naše voda, 2017. *Upřesnění ČHMÚ k tématu pesticidy v podzemních vodách*. Naše voda, informační portál o vodě.
<https://www.nase-voda.cz/upresneni-chmu-tematu-pesticidy-podzemnich-vodach/>
- Pacholská, T., 2019. *Odstraňování pesticidních látek z pitné vody pomocí pokročilých oxidačních procesů* (Diplomová práce). Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha.
- Stevenson, D. E.; Baumann, P.; Jackman, J. A., 1997. *Pesticide properties that affect water quality* (No. B-6050). Texas AgriLife Extension Service, The Texas A&M University system, College Station, Texas.
- Tadda, M. A.; Ahsan, A.; Shitu, A.; ElSergany, M.; Arunkumar, T.; Jose, B.; Razzaque, M. A.; Nik Daud, N. N., 2016. *A review on activated carbon: process, application and prospects*. Journal of Advanced Civil Engineering Practice and Research 2(1), 7–13.
- USGS, b.r. *Pesticides in Groundwater*.
https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/pesticides-groundwater?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- Vavrušková, L.; Dryml, M.; Bátková, P. (Ed.), 2010. *Vliv ozonizace na množství pesticidních látek v upravené vodě z ÚV Želivka*, In: Sborník Konference Pitná Voda 2010 10. pokračování konferencí Pitná Voda z Údolních Nádrží, 17. 5.–20. 5. 2010 v Táboře. W&ET Team, České Budějovice, 175–180.