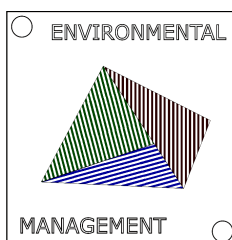


MOŽNOSTI VYUŽITIA UV-HPLC PRI STANOVENÍ NAJČASTEJŠIE POUŽÍVANÝCH PESTICÍDOV NA SLOVENSKU

 Margita ŠČASNÁ ¹ –  Maroš SIROTIAK ²

POSSIBILITIES OF UV-HPLC IN THE DETERMINATION OF THE MOST FREQUENTLY USED PESTICIDES IN SLOVAKIA



¹ Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta Trnava, Ústav integrovanej bezpečnosti, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika


✉@ Email: margita.scasna@stuba.sk


 ORCID iD: [0009-0006-8897-9963](https://orcid.org/0009-0006-8897-9963) •• <https://orcid.org/0009-0006-8897-9963>

² Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta Trnava, Ústav integrovanej bezpečnosti, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika

✉@ Email: maros.sirotiak@stuba.sk

 ORCID iD: [0000-0003-1487-801X](https://orcid.org/0000-0003-1487-801X) •• <https://orcid.org/0000-0003-1487-801X>


 **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: © 2023 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.

 **Slovak Society for the Environment** (Slovenská spoločnosť pre životné prostredie) Bratislava, Slovak Republic

ABSTRAKT

Aplikácia pesticídnych prípravkov neslúži len na ochranu a zvýšenie výnosov poľnohospodárskych plodín, ale vo veľkej miere i k nepoľnohospodárskym účelom napr. pri údržbe mestských či lesných

plôch, ciest, diaľnic, železníc a dokonca sa aplikujú i v lesných porastoch a v oblasti rybníkov. Pesticídy do životného prostredia vstupujú predovšetkým priamou aplikáciou na pôdu a pri ošetrovaniach nadzemných častí rastlín. Nie je však výnimkou, že sa v dôsledku antropogénnych činností či vplyvom poveternostných podmienok môžu šíriť aj do vzdialenejších oblastí. Stanovenie pesticídov v životnom prostredí má význam nielen pre ich negatívny vplyv na zdravie ľudí a zvierat, ale v životnom prostredí môže pomôcť identifikovať oblasti s vysokou koncentráciou kontaminácie a prijať tak účinné opatrenia na zabezpečenie jeho ochrany. Jednou z metód, ktoré je možné využiť na kvalitatívne, ale aj kvantitatívne stanovenie pesticídov v životnom prostredí je UV-HPLC – vysokoúčinná kvapalinová chromatografia so spektrometrickým detektorom v UV oblasti spektra.

KLúčové slová: UV-HPLC, pesticíd, glyfosát, pendimetalín, metazachlór

ABSTRACT

The application of pesticide preparations is not only used to protect and increase the yields of agricultural crops, but to a large extent also for non-agricultural purposes, e.g., in the maintenance of urban or forest areas, roads, highways, railways, and they are even applied in forest stands and in ponds. Pesticides enter the environment mainly through direct application to the soil and during treatments of above-ground parts of plants. However, it is not an exception that because of anthropogenic activities or the influence of weather conditions, they can also spread to more distant places. Determination of pesticides in the environment is important not only for their negative impact on human and animal health, but in the environment, it can help identify areas with a high concentration of contamination and thus take effective measures to ensure its protection. One of the methods that can be used for the qualitative as well as quantitative determination of pesticides in the environment is UV-HPLC – high-performance liquid chromatography with a spectrometric detector in the UV range of the spectrum.

Keywords: UV-HPLC, pesticide, glyphosate, pendimethalin, metazachlor

ÚVOD

Pesticídne prípravky sa skladajú z účinných látok (aktívna zložka) a prídavných látok (inertná zložka). Účinnou látkou je samotný pesticíd, teda látka s biologickým účinkom. Jeho fyzikálno-chemické vlastnosti sa prispôsobujú tak, aby zodpovedali podmienkam skladovania, prepravy a aplikácie. Prídavnými látkami sú najmä rozpúšťadlá (pokiaľ pesticíd nie je rozpustný vo vode, rozpúšťa sa vo vhodných organických rozpúšťadlách), stabilizátory a plnidlá. Napomáhajú účinnej látke dostať sa do rastlín, zabraňujú peneniu alebo spekaniu, predlžujú životnosť prípravku, zjednodušujú jeho aplikáciu alebo chránia prípravok pred rýchlou degradáciou. [1]

Pesticídy sú veľmi početnou skupinou chemických látok, ktoré je možné klasifikovať podľa niekoľkých hľadísk. Najdôležitejšie spôsoby klasifikácie sú[2]:

- *Klasifikácia podľa biologického účinku* je všeobecne najznámejšia a najpoužívanejšia. Pesticídy sa delia do skupín podľa škodcov, na ktoré pôsobia. Napríklad baktericídy pôsobia proti baktériám, fungicídy voči plesniam, insekticídy voči hmyzu, rodenticídy voči hlodavcom a pod.
- *Klasifikácia podľa funkcie pesticídu* je tiež veľmi často používanou klasifikáciou. Rozoznávame:
 - prvú skupinu na základe spôsobu kontaktu s cieľovým činiteľom – kontaktné (prenos dotykcom z povrchu rastliny), systémové (peniká do pletív, čím zabíja rastlinu z vnútra), respiračné (prenos vdychovaním), požerové (prenos tráviacim traktom),
 - druhá skupina je účinnosť pesticídov na jednotlivé druhy patogénu – totálne (hubia celú populáciu), širokospektrálne (hubia určitú skupinu) a selektívne (hubia len určité skupiny),
 - tretia skupina je založená na dobe aplikácie pesticídov, napr. preemergentné aplikácie (pred vzídením rastliny), postemergentné aplikácie (po vzídení rastliny), protekanty (pred napadnutím patogénom), eradikanty (po napadnutí patogénom) a pod.

- *Klasifikácia podľa chemického typu účinnej látky* - za dobu, počas ktorej sa pesticídy využívajú, boli syntetizované doslova tisíce chemických zlúčenín. Najznámejšie sú: organochlórové insekticídy, organofosforové herbicídy / insekticídy, karbamátové insekticídy, ditiokarbamátové herbicídy, triazínové herbicídy, organokovové insekticídy a pod.

Dôležitou vlastnosťou väčšiny pesticídov je ich obmedzená stabilita v životnom prostredí. Táto vlastnosť nielen určuje ich účinnosť, ale aj ich bezpečné použitie v poľnohospodárstve a v poľnohospodárskych produktoch. Pesticídy sa do zložiek životného prostredia dostávajú cez rastliny alebo pôdu, na ktoré boli aplikované. Potom, čo sa pesticídy dostanú do týchto zložiek životného prostredia, ich osud podlieha mnohým rôznym procesom, ako sú transformácia a degradácia, sorpcia a desorpcia, prchanie, príjem rastlinami, transport v tečúcej vode a transport do podzemných vôd. Osud pesticídov však závisí hlavne od biotických a biochemických transformácií, na ktorých sa zúčastňujú živé organizmy, a od fyzikálnych, chemických a fotochemických procesov. Prevládajú biotické transformácie katalyzované enzýmami pôdných organizmov - baktérií, aktinomycét a húb. Najvyššiu účinnosť vykazuje degradácia pesticídov hubami. Sú odolné voči nepriaznivým podmienkam, aktívne aj v kyslom prostredí. Fotochemická transformácia je obmedzená na dostupnosť slnečného žiarenia a tiež na citlivosť zlúčeniny na toto žiarenie. Tvorja sa vysoko reaktívne radikály, čo vedie k rekombinantným reakciám aj k rozbitiu väzieb v zlúčeninách vo vodnom prostredí. [3]

K najčastejšie používaným herbicídum na Slovensku patrí glyfosát, pendimetalín a metazachlór. [4]

Pre sledovanie koncentrácií pesticídov, ako širokej skupiny chemických látok sa využívajú prakticky všetky metódy a techniky analytickej chémie. V predkladanom príspevku sa venujeme možnostiam využitia vysokoúčinnnej kvapalinovej chromatografie s UV-VIS detektorom pre analýzu pesticídnych prípravkov, ich účinných látok a prípadne aj degradačným produktom.

VYSOKOÚČINNÁ KVAPALINOVÁ CHROMATOGRFIA (HPLC)

Chromatografia je analytická metóda separácie látok. Separované látky sa rozdeľujú medzi dve fázy, z ktorej jedna je nepohyblivá (stacionárna) a druhá (mobilná) sa pohybuje v definovanom smere. Pri kvapalinovej chromatografii (LC) je mobilnou fázou kvapalina a stacionárnou fázou je tuhá látka alebo kvapalina zakotvená na inertnom nosiči. [5]

Zdokonalenie chromatografických techník s účelom efektívnejšej a rýchlejšej separácie analytov predstavuje vysokoúčinná kvapalinová chromatografia (*angl.* high-performance / pressure liquid chromatography HPLC). Nejedná sa teda o novú metódu, ale vylepšenie kvapalinovej chromatografie, napríklad použitím vysokotlakových čerpadiel, ktoré pracujú pri tlakoch do 400 bar.

Počas prechodu analytu kolónou každá molekula vzorky mnohokrát prejde z mobilnej do stacionárnej fázy a späť. Doba, počas ktorej separovaný analyt zotrúva na sorbente, závisí od veľkosti interakcií (napríklad hydrofóbne interakcie - van der Waalsove sily, interakcie dipól – dipól, vodíkové väzby alebo elektrostatické interakcie) a určuje poradie, v akom vychádza z kolóny. Poznáme dva typy kvapalinovej chromatografie:

- *chromatografiu s normálnymi fázami (normal phase liquid chromatography NPC)* – mobilná fáza je nepolárna a stacionárna polárna. Látka, ktorá je rovnako nepolárna ako mobilná fáza sa pohybuje rýchlejšie. Pre chromatografiu s normálnym usporiadaním je typické, že mobilná fáza je 100 % organická (nepolárne organické rozpúšťadlá a ich zmesi s alkoholmi, napr. hexán, chloroform) a voda (vodné roztoky) sa nepoužíva.
- *chromatografiu s reverznými fázami (reversed phase liquid chromatography RPC)* – mobilná fáza je polárna (napr. acetonitril, izopropanol, metanol, tetrahydrofuran) a stacionárna nepolárna (uhlíkovodíkové reťazce C4-C18 chemicky viazané na nosič, ktorými môžu byť grafitové alebo uhlíkom potiahnuté silikagély, kopolyméry styrénu a divinylbenzénu a i.). Polárna látka je slabo zadržovaná, a preto vychádza z kolóny ako prvá.

Čím sú interakcie analytu so stacionárnou fázou väčšie, tým väčší je tzv. elučný čas. Ak sa distribučné konštanty zložiek vzorky od seba dostatočne líšia, dôjde po určitom čase k ich čiastočnému až úplnému rozdeleniu do izolovaných pásov – zón. Po výstupe zložky z kolóny indikuje jeho prítomnosť v eluáte detektor a zaznamenáva elučný pík. Vizualným výstupom chromatografu je chromatogram. V prípade optimálnej separácie, jednotlivé píky chromatogramu zodpovedajú jednotlivým zložkám separovanej zmesi. Zóny separovaných látok sa počas prechodu kolónou rozširujú. Zóne analytu odpovedá pík, ktorý charakterizuje koncentračný profil analytu v zóne. Šírka píkov zas odráža šírku zóny príslušného analytu v kolóne. [6]

V závislosti od analytu sa vyberá vhodný detektor. Medzi najpoužívanejšie detektory patria: UV-VIS spektrofotometrický detektor, fluorescenčný detektor, refraktometrický detektor, elektrochemické detektory, hmotnostný spektrometer. Pokiaľ ide o reproduktivnosť a robustnosť, UV a fluorescenčný detektor sú výhodnejšie ako hmotnostný spektrometer. Avšak vyžadujú rozsiahlu a časovo náročnú prípravu vzorky, pretože si často vyžadujú derivatizáciu.

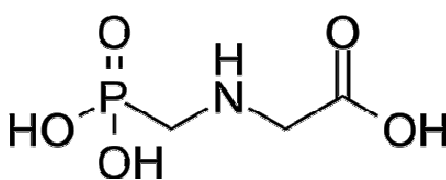
MOŽNOSTI VYUŽITIA HPLC S UV DETEKTOROM PRI STANOVENÍ PESTICÍDOV

Glyfosát

Glyfosát (N-(fosfonometyl)glycín) je účinný neselektívny organofosfátový herbicíd. Jeho biele kryštály sú dobre rozpustné vo vode. V pôde nie je perzistentný, bežne sa do podzemných vôd nevytlúhováva, avšak pri určitých podmienkach môže byť prítomný vo vodných systémoch. Pre ľudí je stredne toxický a dráždi oči a pokožku. Taktiež je stredne toxický pre vtáky, väčšinu vodných organizmov, dážďovky a včely medonosné. Je tu riziko vzniku rezistencie voči herbicídom – vyžaduje sa manažment antirezistencie. Podrobnejšie fyzikálno-chemické, toxikologické a ekotoxikologické údaje sú uvedené v [7].

Často sa dodáva ako rozpustný koncentrát, ktorý sa po zmiešaní s vodou aplikuje ako sprej. Na Slovensku je prítomný v pesticídnych prípravkoch: Defender, Nasa, Shyfo, Halvetic, Roundup rapid, Roundup klasik pro, Roundup biaktiv plus, Roundup flex, Roundup biaktiv, Bronco, Dominator, Kaput harvest up, Figaro 360, Klean G, Master gly, Clinic up, Monosate G, Rosate TF, Clinic free, Dominator max, Agroklasik green, Rosate green TF, Kaput harvest TF, Amega, Clinic TF, Boom efekt, Cosmic, Kapazin, Touchdown system 4, Barclay gallup, Hi-aktiv, Glyfogan super, Trustee hi-aktiv, Kaput green, Kyleo, Gallup super 360 a Barbarian super 360. [4]

Tabuľka 1: Štruktúra a základné vlastnosti glyfosátu. [7, 8]

	Molekulová hmotnosť	169,07 g mol ⁻¹
	Sumárny vzorec	C ₃ H ₈ NO ₅ P
	CAS No.	1071-83-6
	Disociačná konštanta pKa pri 25 °C	2,34 (silná kyselina)
	Henryho konštanta pri 25 °C	2,10.10 ⁻⁰⁸ Pa m ³ mol ⁻¹ (neprchavé)
	Povrchové napätie	72,2 mN m ⁻¹

Príkladom stanovenia glyfosátu HPLC metódou s UV-VIS detektorom sú práce Gains et al. [9] a Peruzzo [10]. Glyfosát je molekula bez chromofóru, preto ju je potrebné pred detekciou UV žiarením derivatizovať použitím 9-fluorenylmetylchloroformiátu a tetraboritanu sodného. [9] Na prípravu mobilných fáz sa použil octan amónny a acetonitril triedy HPLC. Na riedenie prípravkov tetraboritanu sodného a roztoku octanu amónneho sa použila ultračistá voda. HPLC Pre analýzu sa použil prístroj Beckman, System Gold 126, detector 166 UV. Stacionárna fáza pozostávala z kolóny Supelco RP 18, 250 mm dlhá s 10 mm vnútorným priemerom a veľkosťou častíc 5 µm. Mobilnou fázou bol A: 0,05 molárny fosfátový tlmivý roztok (pH 5,5); rozpúšťadlo B: acetonitril vo

vzájomnom pomere 65 : 35. Analýza prebiehala pri laboratórnej teplote, s prietokovou rýchlosťou 0,8 ml min⁻¹ a s objemom nástreku 20 µl. UV detekcia bola pri vlnovej dĺžke 206 nm. [10]

Pendimetalín

Pendimetalín (3,4-dimetyl-2,6-dinitro-*N*-(pentán-3-yl)anilín) je herbicíd používaný na ničenie väčšiny jednoročných tráv a bežných burín v obilninách, ovocí a zelenine. Tento dinitroanilínový herbicíd je oranžovožltá kryštalická pevná látka, ktorá je selektívne absorbovaná koreňmi a listami. Inhibuje mitózu a bunkové delenie. Pre človeka je škodlivý po požití, toxický pre štítnu žľazu a pečeň, bioakumulatívny. US EPA ho označila ako možný ľudský karcinogén. Podrobnejšie fyzikálno-chemické, toxikologické a ekotoxikologické údaje sú uvedené v [11]. Často sa dodáva ako emulgovateľný alebo emulzný koncentrát, ktorý sa po zmiešaní s vodou používa ako sprej. Na Slovensku je prítomný v pesticídnych prípravkoch: Corvelo, Pendistar 40 SC, Pendiflex 400, Pendigan, Acter 400 SC, Sharpen 40 SC, Escort, Wing P, Stomp aqua, Sharpen 33 EC, Activus SC, Pendi 33 EC, Pendicol 33 EC a Trinity. [4]

Tabuľka 2: Štruktúra a základné vlastnosti pendimetalínu. [11, 12]

	Molekulová hmotnosť	281,31 g mol ⁻¹
	Sumárny vzorec	C ₁₃ H ₁₉ N ₃ O ₄
	CAS No.	40487-42-1
	Disociačná konštanta pKa pri 25 °C	2,80 (silná kyselina)
	Henryho konštanta pri 25 °C	1,27 Pa m ³ mol ⁻¹ (stredne prchavé)
	Povrchové napätie	-

Príkladom stanovenia pendimetalínu HPLC metódou s UV-VIS detektorom je práca Pinto et al. [13]. Na kvantifikáciu pesticídov sa použil systém Elite LaChrom HPLC s UV detekciou (Hitachi, Japonsko). Stacionárna fáza pozostávala z kolóny s obrátenou fázou Zorbax Eclipse XDB-C18, 250 mm dlhá s 4,6 mm vnútorným priemerom a veľkosťou častíc 5 µm. Mobilnou fázou bolo rozpúšťadlo A: acetonitril; rozpúšťadlo B: 0,1 % vodný roztok H₃PO₄. Analýza prebiehala pri laboratórnej teplote, s prietokovou rýchlosťou 1 ml min⁻¹ a s objemom nástreku 20 µl. UV detekcia bola pri vlnovej dĺžke 225 nm.

Metazachlór

Metazachlór (2-chlór-*N*-(pyrazol-1-ylmetyl)acet-2',6'-xylidid) je chlóracetamidový herbicíd používaný na ničenie širokého spektra burín v plodinách, okrasných stromoch a kríkoch. Jeho bezfarebné kryštály sú málo rozpustné vo vode, ale dobre rozpustné v organických rozpúšťadlách. Inhibuje bunkové delenie. Podrobnejšie fyzikálno-chemické, toxikologické a ekotoxikologické údaje sú uvedené v [14]. Často sa dodáva ako rozpustný alebo suspenzný koncentrát. Na Slovensku je prítomný v pesticídnych prípravkoch: Banket, Triclo, Meqi, Butisan duo, Tribeca sync tec, Colzor sync tec, Circuit sync tec, Metax 500 SC, Mezotop 500 SC, Butisan top, Nimbus gold, Rapsan plus, Rapsan 500 SC, Bantux, Autor, Quiz, Butisan complete, Butisan 400 SC, Butisan S 50 SC, Butisan star, Sultan 50 SC, Butisan max, Cleravis, Rapsan 400 SC, Sultan top a Metamax. [4]

Tabuľka 3: Štruktúra a základné vlastnosti metazachlóru. [14, 15]

	Molekulová hmotnosť	277,75 g mol ⁻¹
	Sumárny vzorec	C ₁₃ H ₁₉ N ₃ O ₄
	CAS No.	67129-08-2
	Disociačná konštanta pKa pri 25 °C	-
	Henryho konštanta pri 25 °C	5,90.10 ⁻⁰⁵ Pa m ³ mol ⁻¹ (neprchavé)
	Povrchové napätie	-

Príkladom stanovenia metazachlóru HPLC metódou s UV-VIS detektorom je práca Solís et al. [16] Herbicídy sa analyzovali pomocou vysokoúčinnnej kvapalinovej chromatografie Agilent 1100 (Hewlett-Packard). Stacionárna fáza pozostávala z kolóny Kromasil 100 5C18, 150 mm dlhej s 2,1 mm vnútorným priemerom a veľkosťou častíc 5 µm. Mobilnou fázou bolo rozpúšťadlo A: 0,1 % vodný roztok H₃PO₄; rozpúšťadlo B: acetonitril s izokratickým percentuálnym zložením 55 : 45. Analýza prebiehala pri laboratórnej teplote, s prietokovou rýchlosťou 1 ml min⁻¹ a s objemom nástreku 20 µl. UV detekcia bola pri vlnovej dĺžke 220 nm. Pozorovaný retenčný čas bol 6,4 min.

ZÁVER

Stanovenie obsahu pesticídov v životnom prostredí má význam nielen pre ich negatívny vplyv na zdravie ľudí a zvierat, ale v životnom prostredí môže pomôcť identifikovať oblasti s vysokou kontamináciou a prijať tak účinné opatrenia na zabezpečenie jeho ochrany. Jednou z metód, ktoré je možné využiť na kvalitatívne, ale aj kvantitatívne stanovenie pesticídov v životnom prostredí je UV-HPLC – vysokoúčinnná kvapalinová chromatografia so spektrometrickým detektorom v UV oblasti spektra. V predložennom príspevku sme v krátkosti opísali vlastnosti a možnosti využitia vysokoúčinnnej kvapalinovej chromatografie s UV-VIS detektorom pre analýzu na Slovensku najčastejšie používaných herbicídov glyfosátu, pendimetalínu a metazachlóru.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] TADEO, J. L. 2019. *Analysis of Pesticides in Food and Environmental Samples*. CRC Press; 2nd edition. 438 s. ISBN 978-1138486034.
- [2] RATHORE, H. S. NOLLET, L. M. L. 2012. *Pesticides: Evaluation of environmental pollution* [online]. CRC Press. ISBN 9781439836255. Dostupné z: doi:10.1201/b11864
- [3] GAO, J., WANG, Y., GAO, B., WU L., CHEN, H. 2012. *Environmental fate and transport of pesticides. Evolution of environmental pollution*. CRC Press; 1st edition. s. 26-46. ISBN 13:978-1-4398-3625-5
- [4] ÚKSÚP. 2021. Spotreba prípravkov na ochranu rastlín. [Online] Dostupné z: <https://www.uksup.sk/spotreba-pripravkov-na-ochranu-rastlin>
- [5] HOSTIN, S., SOLDÁN, M., MICHALÍKOVÁ, A., SOLDÁNOVÁ, Z., SIROTIK, M., GERULOVÁ, K. 2007. *Inštrumentálne metódy monitorovania životného prostredia*. Trnava, AlumniPress, 200 s. ISBN 978-80-8096-004-9
- [6] KLOUDA, P. 2003. *Moderní analytické metódy*. Ostrava: Pavel Klouda, 132 s. ISBN 80-86369-07-2.
- [7] Pesticide Properties DataBase. Glyphosate. [Online] Dostupné z: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/373.htm>
- [8] Safety Data Sheet Glyphosate. [Online] Dostupné z: https://file.medchemexpress.com/batch_PDF/HY-B0863/Glyphosate-SDS-MedChemExpress.pdf

- [9] GAINS, K.K.K., ROLAND, N.K., URBAIN, K.Y. et al. 2022. *Determination of the Glyphosate Content in Liquid and Dry Formulations by HPLC-UV: Pre-column Derivation with 9-Fluorenylmethyl Chloroformate (FMOC)*. *Chromatographia* 85, 655–664 (2022).
Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10337-022-04173-9>
- [10] PERUZZO, P.J., PORTA, A.A., RONCO, A.E. 2008. *Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina*. *Environmental Pollution*. 156, 1, 2008, s. 61-66, ISSN 0269-7491,
Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.01.015>
- [11] Pesticide Properties DataBase. Pendimethalin [Online] Dostupné z:
<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/511.htm>
- [12] Safety Data Sheet Pendimethalin [Online] Dostupné z:
https://file.medchemexpress.com/batch_PDF/HY-B0862/Pendimethalin-SDS-MedChemExpress.pdf
- [13] PINTO, A.P., SERRANO, C., PIRES, T., MESTRINHO, E., DIAS, L., MARTINS TEIXEIRA, D., CALDEIRA, A.T. 2012. *Degradation of terbuthylazine, difenoconazole and pendimethalin pesticides by selected fungi cultures*. *Science of The Total Environment*, 435–436, 2012, 402-410, ISSN 0048-9697, Dostupné z:
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.07.027>
- [14] Pesticide Properties DataBase. Metazachlor [Online] Dostupné z:
<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/450.htm>
- [15] Safety Data Sheet Metazachlor [Online] Dostupné z:
https://www.agilent.com/cs/library/msds/PST-2435A100A01_NAEnglish.pdf
- [16] SOLÍS, RAFAEL R., JAVIER RIVAS, F.GIMENO, O. 2017. *Removal of aqueous metazachlor, tembotrione, tritosulfuron and ethofumesate by heterogeneous monopersulfate decomposition on lanthanum-cobalt perovskites*. *Applied Catalysis B: Environmental*, 200, 2017, s. 83-92, ISSN 0926-3373, Dostupné z:
<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.06.058>