

Dynamika vnosu pesticidů do vodárenských nádrží Vír I, Opatovice a Ludkovice

TOMÁŠ MIČANÍK, FRANTIŠEK SÝKORA, DAVID CHRASTINA, DANICA POSPÍCHALOVÁ, NIKOLA VERLÍKOVÁ, ALENA KRISTOVÁ, MAREK HRADIL

Klíčová slova: povrchová voda – pasivní vzorkování – vodárenská nádrž – znečištění – pesticidy

ABSTRAKT

Pesticidy jsou stále významnou skupinou látek podílejících se na znečištění povrchových vod. Jejich zvýšený výskyt v síti vodních toků v zemědělské krajině je vázán především na srážkoodtokové poměry, druhy pěstovaných plodin a způsoby zemědělského obhospodařování. Pro podchycení těchto faktorů byly pro hodnocení zátěže těmito látkami ve zvolených povodích vodárenských nádrží ve správě Povodí Moravy, s. p., zvoleny pasivní vzorkovací techniky. Ty spočívají v kontinuální několikátýdenní expozici s postupným (integrativním) zachytem znečištění na vhodné sorbenty. V této práci byly zvoleny široce používané vzorkovače typu POCIS (a polar organic chemical integrative sampler) vhodné pro zachyt polárních organických látek. Byly aplikovány v osmi po sobě jdoucích vzorkovacích kampaních tak, aby byla pokryta celá vegetační sezona. Cílem bylo posoudit časoprostorovou dynamiku (v měsíčním kroku) vnosu vybraných pesticidů a jejich metabolitů do pěti vodárenských nádrží. Vzhledem k rozsahu získaných dat se příspěvek zaměřil na prezentaci výsledků přítoků do vodárenských nádrží Vír I, Opatovice a Ludkovice, které byly sledovány v roce 2021. Pokud byla publikována vzorkovací rychlost R_s , bylo možné provést přepočet znečištění zachyceného pasivním vzorkovačem na průměrnou koncentraci během expozice. Výzkumem bylo zjištěno, které přítoky do nádrží a jakými látkami byly v jednotlivých obdobích vegetační sezony zatíženy. Výsledky je možné konfrontovat s druhem pěstovaných plodin v daném roce.

ÚVOD

Zajištění kvalitní povrchové vody pro úpravu na vodu pitnou je jednou z prvotných činností vodního managementu. Pro zpřesnění informací o antropogenních vlivech na vybrané vodárenské nádrže byly od května 2020 v rámci Programu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí – Prostředí pro život, Podprogramu 1 – Operativní výzkum ve veřejném zájmu zahájeny práce na projektu „*Studie vnosu pesticidů a dalších mikropolutantů do vodárenských nádrží v povodí Moravy a Dyje*“, s akronymem PESPOM. Jeho řešení je plánováno do roku 2023. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (VÚV TGM) je jediným řešitelem tohoto projektu. Aplikacním garantem projektu je odbor ochrany vod Ministerstva životního prostředí.

V Evropě je komerčně využíváno více než 150 000 chemických látek. Každoročně k nim přibývá dalších několik tisíc. Např. v roce 2015 to představovalo spotřebu 350 milionů tun chemikálií, z toho 63 % látek bylo klasifikováno jako nebezpečné pro lidské zdraví a 36 % jako nebezpečné pro životní prostředí [1]. Tyto látky se do životního prostředí dostávají nejen odpadními vodami z chemických výroby a dalších průmyslových odvětví, ale také z významné spotřeby

obyvatelstvem prostřednictvím komunálních odpadních vod [2]. Účinné látky přípravků na ochranu rostlin se přímo do povrchových vod dostávají erozí při srážkoodtokových událostech.

Mnohé vodárenské nádrže v České republice jsou lokalizovány v antropogenně ovlivněných oblastech. Vysoká pozornost je dlouhodobě věnována povodí řeky Želivky s největší vodárenskou nádrží (VN) Švihov zásobující pitnou vodou přes jeden milion obyvatel. Dynamika vyplavování pesticidů do povrchových vod v povodí VN Švihov byla zkoumána více autory [např. 3–5].

Vodárenské nádrže v povodí řek Moravy a Dyje se rovněž nacházejí v oblastech s významným zemědělským hospodařením a v případě VN Vír I i průmyslovou činností. VN Vír I je největší z nich (*obr. 1*). Zprovozněna byla v roce 1957. Účelem je zajištění minimálních průtoků, vodárenský odběr, provozní odběr, výroba elektrické energie, protipovodňová ochrana a nadlepení průtoků pro závlahy pod Brnem. Celkový objem nádrže činí 56,193 mil. m³. Nejvýznamnějším přítokem je řeka Svatka. Důležitými přítoky Svatky jsou Fryšávka a Bílý potok. Celková plocha povodí nad nádrží činí 410,35 km². Teoretická doba zdržení vody ve VN Vír I je při průměrném dlouhodobém průtoku Svatky (3,7 m³) 154 dní (5,14 měsíce), pokud uvažujeme objem nádrže 49,342 mil. m³ po kótu přelivu, a 138 dní (4,59 měsíce) v případě objemu nádrže 44,056 mil. m³ (zásobní hladina). V horní části povodí Bílého potoka se rozprostírá největší lidské sídlo – město Polička (8,7 tis. obyvatel). Z obcí bezprostředně sousedících s vodní nádrží má vybudovanou komunální čistírnu odpadních vod (ČOV) obec Dalečín (0,66 tis. obyvatel) a výše po toku Svatky městys Jimramov (1,2 tis. obyvatel). K významným průmyslovým podnikům v oblasti patří Poličská strojírna, a. s., Masokombinát Polička, a. s., komunální ČOV Polička a ČOV Jimramov. Krajina Svratecké vrchoviny je z cca 55 % zalesněná a skrývá v sobě vysoký rekreační potenciál. V bezprostředním okolí nádrže probíhala v roce 2021 intenzivní těžba dřeva v důsledku rozsáhlé kůrovcové kalamity.

VN Opatovice (*obr. 2*) byla do provozu uvedena v roce 1972. Zásadním účelem je zajištění zdroje pitné vody pro obyvatelstvo. Celkový objem nádrže činí 10,634 mil. m³. Hlavním přítokem je Malá Haná. Větší část povodí nad nádrží zaujímá zalesněná krajina Dražanské vrchoviny, na jihu částečně zasahující do vojenského újezdu Březina. Horní část povodí Malé Hané je typická intenzivní zemědělskou činností. Plocha povodí činí 43,87 km². Nejbližším lidským sídlem je obec Ruprechtov (0,6 tis. obyvatel) v horní části Ruprechtovského potoka. Objem vodní nádrže po kótu přelivu činí 7,84 mil. m³. Při průměrném průtoku Malé Hané (0,160 m³·s⁻¹) činí teoretická doba zdržení v nádrži 567 dní, tj. 18,9 měsíce.

VN Ludkovice (*obr. 3*) byla uvedena do provozu v roce 1968. Je nejmenší nádrž, která byla vybrána pro řešení v tomto projektu. Její celkový objem činí pouhých 0,69 mil. m³. Hlavním účelem vodního díla je zajistit dostatek vody pro skupinový vodovod Luhačovice a minimální průtok v toku pod hrází, kterým je Ludkovický potok.



Obr. 1. VN Vír I

Fig. 1. Vír I water supply reservoir



Obr. 2. VN Opatovice

Fig. 2. Opatovice water supply reservoir



Obr. 3. VN Ludkovice

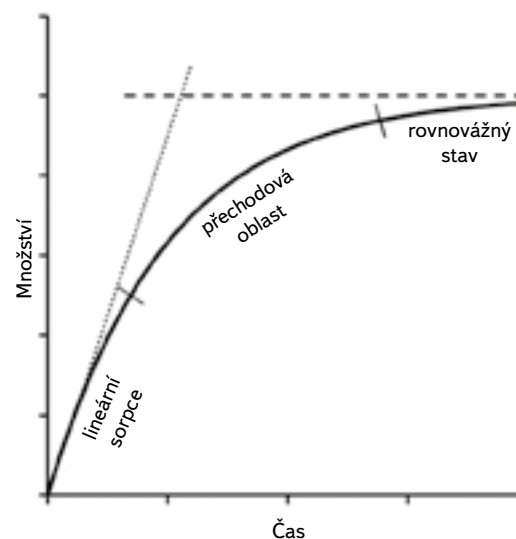
Fig. 3. Ludkovice water supply reservoir

Plocha povodí činí 13,1 km². Teoretická doba zdržení vody v nádrži je nejkratší: pokud uvažujeme objem nádrže po přepadovou hranu 0,498 mil. m³, doba zdržení činí pouhých 62 dní při dlouhodobém průměrném denním průtoku Ludkovického potoka 0,096 m³.s⁻¹. Bezprostředně nad nádrží se nachází část obce Ludkovice, nazývaná Pradlisko. V horní části povodí Ludkovického potoka se rozprostírá obec Provodov (0,78 tis. obyvatel). Čištěné odpadní vody z obce jsou převáděny mimo povodí Ludkovického potoka. Jeho délka nad VN Ludkovice činí cca 7 km. Povodí je z 60 % zalesněno, na zbývající ploše přeládají louky, polnosti tvoří cca 10 % plochy povodí.

METODIKA

Dynamika znečištění vytipovaných přítoků do vodárenských nádrží byla zkoumána pomocí pasivních vzorkovačů. Jde o kontinuální záchyt znečišťujících látek po stanovenou dobu na vhodný typ vzorkovače podle druhu sledovaných látek. Tím je možno na rozdíl od bodového vzorkování podchytit náhodná znečištění (v případě pesticidů při srážkoodtokových epizodách) či velice nízké koncentrace látek, jež i při nízkém obsahu ve vodách vykazují nepříznivé účinky na vodní prostředí nebo jeho prostřednictvím na člověka. Doba expozice je volena tak, aby probíhala v lineární oblasti příjmu znečištění vzorkovačem (obr. 4).

V povrchových vodách činí obvykle tři týdny, vzhledem k vzorkování čistších vod byla zvolena expozice kolem čtyř týdnů. Rovněž Alvarez [7] potvrzuje, že typická doba expozice v lineární oblasti příjmu látky pasivním vzorkovačem POCIS nepřesahuje 28 dní, ačkoli pro některé jím testované látky byla linearita příjmu zachována i po 56denní expozici. Vzorkování probíhalo po celou dobu vegetační sezony od dubna do listopadu, celkem tedy v osmi vzorkovacích kampaních. Přesná data instalace a výměny pasivních vzorkovačů jsou uvedena v tab. 1.



Obr. 4. Obecný průběh záchytu znečištění pasivním vzorkovačem (membránou) v závislosti na době vzorkování [6]

Fig. 4. General curve of the pollution capture by passive sampler depending on the sampling time [6]

Vhodné lokality pro umístění vzorkovačů byly vytipovány společně s pracovníky podniku Povodí Moravy, s. p. Je potřeba volit taková místa, kde je zaručeno ponoření vzorkovače po celou dobu expozice a je minimalizována neoprávněná manipulace nebo jeho zcizení.

Tab. 1. Data instalace a deinstalace pasivních vzorkovačů ve vzorkovacích kampaních 2021

Tab. 1. The installation and removal terms of the passive samplers in sampling campaign 2021

Kampaň	Expozice	VN Vír I		VN Opatovice a Ludkovice	
		Instalace	Deinstalace	Instalace	Deinstalace
1	dubnová	30. 3. 2021	30. 4. 2021	31. 3. 2021	3. 5. 2021
2	květnová	30. 4. 2021	31. 5. 2021	3. 5. 2021	1. 6. 2021
3	červnová	31. 5. 2021	29. 6. 2021	1. 6. 2021	1. 7. 2021
4	červencová	29. 6. 2021	2. 8. 2021	1. 7. 2021	3. 8. 2021
5	srpnová	2. 8. 2021	2. 9. 2021	3. 8. 2021	3. 9. 2021
6	zářijová	2. 9. 2021	4. 10. 2021	3. 9. 2021	5. 10. 2021
7	říjnová	4. 10. 2021	3. 11. 2021	5. 10. 2021	4. 11. 2021
8	listopadová	3. 11. 2021	2. 12. 2021	4. 11. 2021	1. 12. 2021

Pro záchyt širokého spektra znečišťujících látek byly použity následující druhy pasivních vzorkovačů:

- POCIS-hlb pro záchyt širokého spektra polárních organických látek, výrobce: E&H services, a. s., Budějovická 618/53, 140 00 Praha 4 – Krč.
- POCIS-Glyphosate pro záchyt silně polárního glyfosátu a jeho metabolitu kyseliny aminomethylfosfonové (AMPA), výrobce: Affinisep, 10 Rue Richard Dufour, 76 770 Le Houlme, Francie.

Před mechanickým poškozením byly vzorkovače chráněny v nerezovém koši nebo chráničkou (obr. 5). Vzorkovače byly kotveny k břehovým porostům nerezovým lankem. Závěrným profilem byl nátok surové vody do úpravny vody nebo, pokud to nebylo možné, ve vodní nádrži v blízkosti odběrného objektu u hráze. Na hlavním přítoku a na odtoku z vodárenské nádrže byly vzorkovací koše opatřeny dataloggerem HOBO Pendant MX 2202 pro kontinuální záznam teploty a intenzity osvětlení po celou dobu expozice.

Vzorkovače byly před použitím skladovány podle údajů daných výrobcem, po expozici byly transportovány do laboratoře při teplotě +2 až +4 °C a před jejich zpracováním uchovávány při teplotě -18 °C.



Obr. 5. Pasivní vzorkovač typu POCIS ve velkém koši (vlevo) a v chráničce (vpravo)
Fig. 5. Passive sampler POCIS in big canister (left) and in the casing (right)

Spektrum ověřovaných látek zahrnovalo 36 účinných látek přípravků na ochranu rostlin a 14 metabolitů pesticidů (celkem 50 látek). Kritériem výběru pesticidů bylo zhodnocení výsledků monitoringu povrchových vod realizovaného správcem povodí za období 2017–2019 a významných spotřeb přípravků na ochranu rostlin evidovaných Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (ÚKZÚZ) v dotčených okresech [8].

Exponované vzorkovače (ukázka na obr. 6) byly před jejich zpracováním po vyjmutí z mrazničky temperovány na laboratorní teplotu. Zůstávaly přitom stále uzavřené v původním obalu pro zamezení druhotné kontaminace z okolního prostředí. Následně byly vyjmuty z transportního obalu a opláchnuty deionizovanou vodou. V dalším kroku byly na aluminiové fólii rozebrány (uvolnění kovového okruží). Sorbent umístěný mezi PES membránami byl kvantitativně převeden deionizovanou vodou na SPE kolonky, vysušen pod vakuem a dusíkem a následně eluován potřebným objemem methanolu, jak to doporučuje Grabic [9]. Eluát byl zahuštěn na objem 1 ml a převeden k LC-MS/MS analýze. Pesticidy byly měřeny v kladném módu, metabolity pesticidů v negativním módu. K analýze byly využity sestavy Agilent 1290 Infinity II + Sciex X500R Q-TOF a Exion LC (Shimadzu) + Sciex Triple Quad™7500.

POCIS-Gly byl zpracováván podle postupu publikovaného Claudem [10]. Po převedení sorpční náplně deionizovanou vodou na fritu byl sorbent vysušen pod vakuem a dusíkem. Eluce byla prováděna 8 ml 0,1M kyseliny chlorovodíkové. Získaný extrakt byl zahuštěn pod proudem dusíku k suchu a doplněn směsí methanolu a vody v poměru 1 : 1. Stanovení glyfosátu a jeho metabolitu AMPA bylo prováděno metodou LC/MS/MS v negativním módu.

Výsledné koncentrace látek jsou vztaženy na 1 ml extraktu.



Obr. 6. Exponované vzorkovače POCIS
Fig. 6. Exposed passive samplers POCIS



Obr. 7. Místa pasivního vzorkování přítoků do VN Vír I v roce 2021

Fig. 7. Spots of passive sampling on the tributaries into Vír I water supply reservoir in 2021

VÝSLEDKY

Povodí vodárenské nádrže Vír I

Místa pasivního vzorkování přítoků do VN Vír I jsou zobrazena na obr. 7. Zahrnují levostranné a pravostranné drobné přítoky do VN, hlavní přítok Svratku a odtok z nádrže. Informace o druhu pěstovaných plodin a rozloze v zájmových povodích vznikla klasifikací multitemporálních snímků dálkového průzkumu Země (DPZ). Jejich zastoupení v povodí VN Vír I dokumentuje tab. 2. Převažuje nezemědělské využití. Z plodin jsou nejvíce zastoupeny obiloviny, v menší míře řepka a kukuřice. Intenzivní zemědělská činnost probíhá především v povodích levostranných přítoků Svratky, Bílého potoka a Černého potoka a jejich přítoků.

Z pesticidů a metabolitů pesticidů bylo v pasivních vzorkovacích potvrzeno 29 látek a DEET (N,N-diethyl-3-methylbenzamide), který je součástí repelentů proti komárům a klíšťatům. Nejvýznamněji byly zastoupeny kyselina 2,4-dichlorfenoxyoctová (2,4-D), atrazin, metazachlor, terbuthylazin a jejich metabolity, glyfosát včetně jeho metabolitu AMPA (kyselina aminomethylfosfonová). Souhrnné výsledky s uvedením maximální nalezené koncentrace pesticidů včetně jejich metabolitů z osmi vzorkovacích kampaní jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 2. Zastoupení pěstovaných plodin v povodí VN Vír I v roce 2021 dle DPZ

Tab. 2. Cultivated crops in the river basin above Vír I water supply in 2021 from the SSE

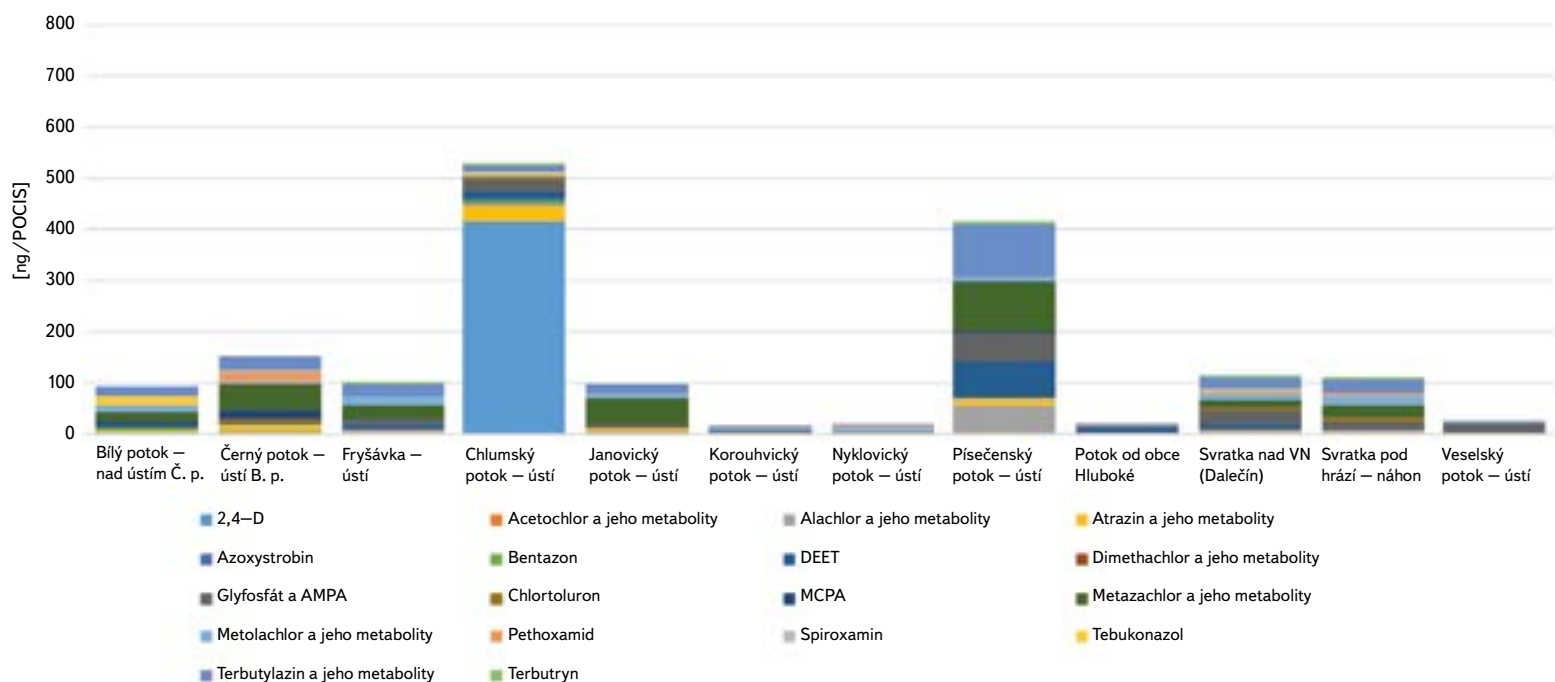
Způsob využití území	[m ²]	[%]
nezemědělská plocha	257 527 500	63,0
řepka	11 126 875	2,7
ozimé obiloviny	16 793 125	4,1
jarní obiloviny	26 411 875	6,5
řepa	1 237 500	0,3
kukuřice	7 603 750	1,9
slunečnice	440 625	0,1
ozim sklizený na zeleno	822 500	0,2
brambory	110 000	< 0,1
ostatní plodiny	1 363 125	0,3
trvalé travní porosty	85 560 625	20,9

Zdroj: Český hydrometeorologický ústav

Tab. 3. Maximální zjištěné koncentrace pesticidů a jejich metabolitů pasivním vzorkováním na přítocích do VN Vír I v r. 2021 v ng/POCIS

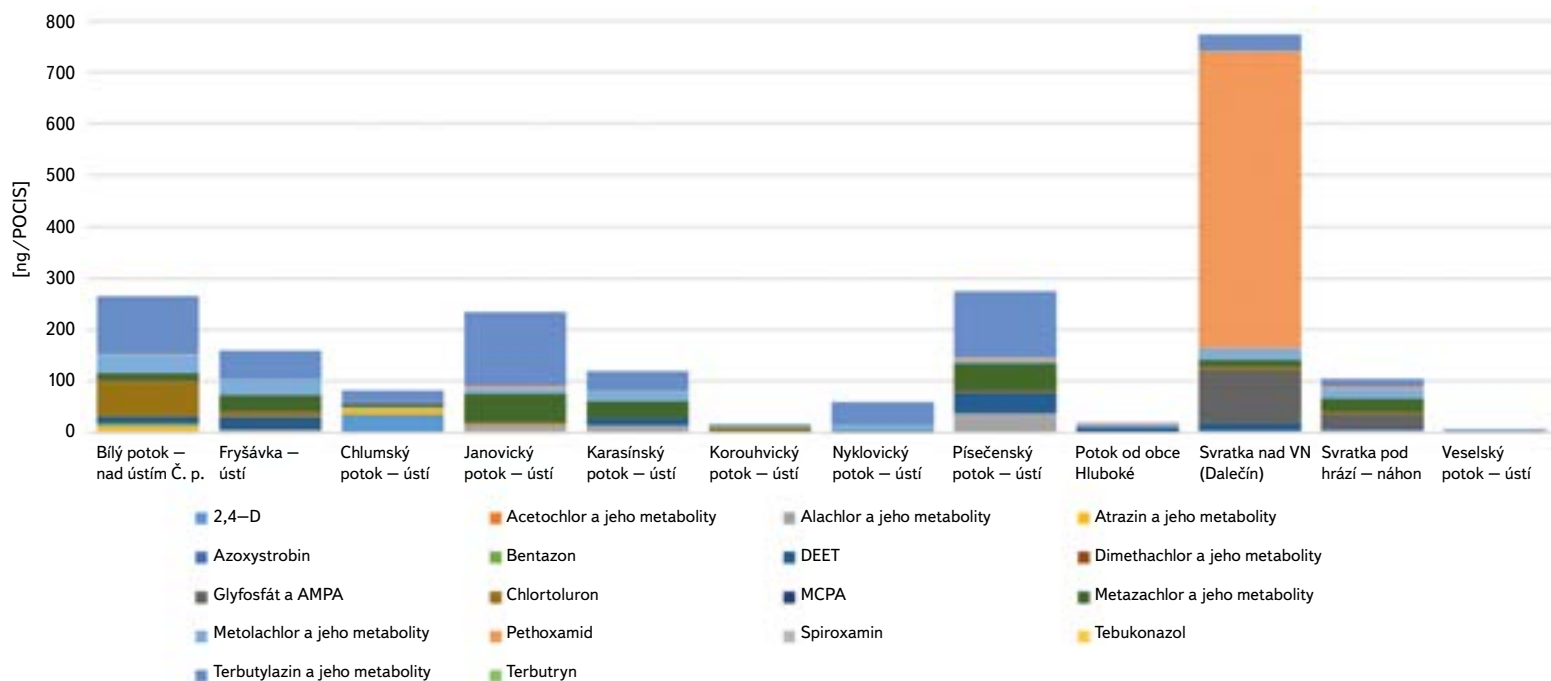
Tab. 3. Maximal concentrations of pesticides and metabolites established by passive sampling on the tributaries into Vír I water supply reservoir in 2021 (in ng/POCIS)

Profil	VN Vír												
	Bílý potok – nad ústím Černého potoka	Černý potok – ústí do Bílého potoka	Fryšávka – ústí	Chlumský potok – ústí	Janovický potok – ústí	Karasínský potok – ústí	Korouhvicí potok – ústí	Nyklovický potok – ústí	Písečenský potok – ústí	Potok od obce Hluboké	Svratka nad VN (Dalečín)	Svratka pod hrází – náhon	Veselský potok – ústí
2,4-D	4,06	1,17	0,52	415,42	1,52	0,42	0,00	0,39	1,97	0,27	0,53	1,92	0,00
Acetochlor a jeho metabolity	1,25	1,45	3,10	2,44	2,22	2,72	0,99	1,21	5,81	0,19	3,04	4,09	1,50
Alachlor a jeho metabolity	4,72	18,58	5,48	0,27	30,70	13,47	0,49	1,84	134,78	2,11	9,18	11,36	15,44
Atrazin a jeho metabolity	8,35	29,39	6,36	32,15	3,15	0,00	1,31	1,40	14,70	1,63	6,21	6,23	0,27
Azoxystrobin	2,70	1,60	1,20	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	1,20	1,30	4,90	0,00
Bentazon	5,11	3,84	0,00	4,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,08	1,19	3,31	0,07
DEET	27,00	15,00	24,00	19,00	1,20	14,00	3,10	0,00	70,00	8,10	23,00	3,60	1,20
Dimethachlor a jeho metabolity	1,10	0,29	0,22	0,02	3,04	0,42	0,00	0,26	1,66	0,00	1,24	1,86	0,00
Glyfosát a AMPA	–	–	16,60	57,00	10,66	57,40	3,20	5,33	107,38	28,00	103,90	30,50	28,24
Chlortoluron	67,94	3,91	11,14	3,71	3,19	0,00	7,33	0,00	4,00	0,00	6,13	36,01	0,00
MCPA	2,19	16,37	0,32	3,11	0,21	0,09	0,00	0,00	2,36	0,10	2,21	2,99	0,31
Metazachlor a jeho metabolity	23,67	49,78	37,72	0,50	80,58	32,61	0,80	8,94	105,54	0,60	39,56	82,34	1,34
Metolachlor a jeho metabolity	33,29	15,88	30,28	6,71	9,90	31,81	4,00	33,76	6,60	3,72	23,86	73,51	2,82
Pethoxamid	1,10	22,38	0,82	0,67	48,45	0,00	0,36	0,58	6,94	2,93	576,42	27,49	0,38
Spiroxamin	3,43	4,29	1,24	0,35	1,98	1,27	0,00	0,00	2,33	0,23	1,16	0,15	0,00
Tebukonazol	14,57	2,95	0,00	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	1,46	0,00
Terbutylazín a jeho metabolity	349,27	109,20	55,94	22,30	144,22	38,78	3,23	63,45	240,45	2,06	66,94	12 913,59	0,98
Terbutryn	0,00	0,00	3,50	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	1,00	2,50	2,00	0,00



Obr. 8. Koncentrace pesticidů v povodí VN Vír I – 2. vzorkovací kampaň (květen 2021)

Fig. 8. Concentration of pesticide residues in the basin of Vír I water supply reservoir – 2nd sampling campaign (May 2021)

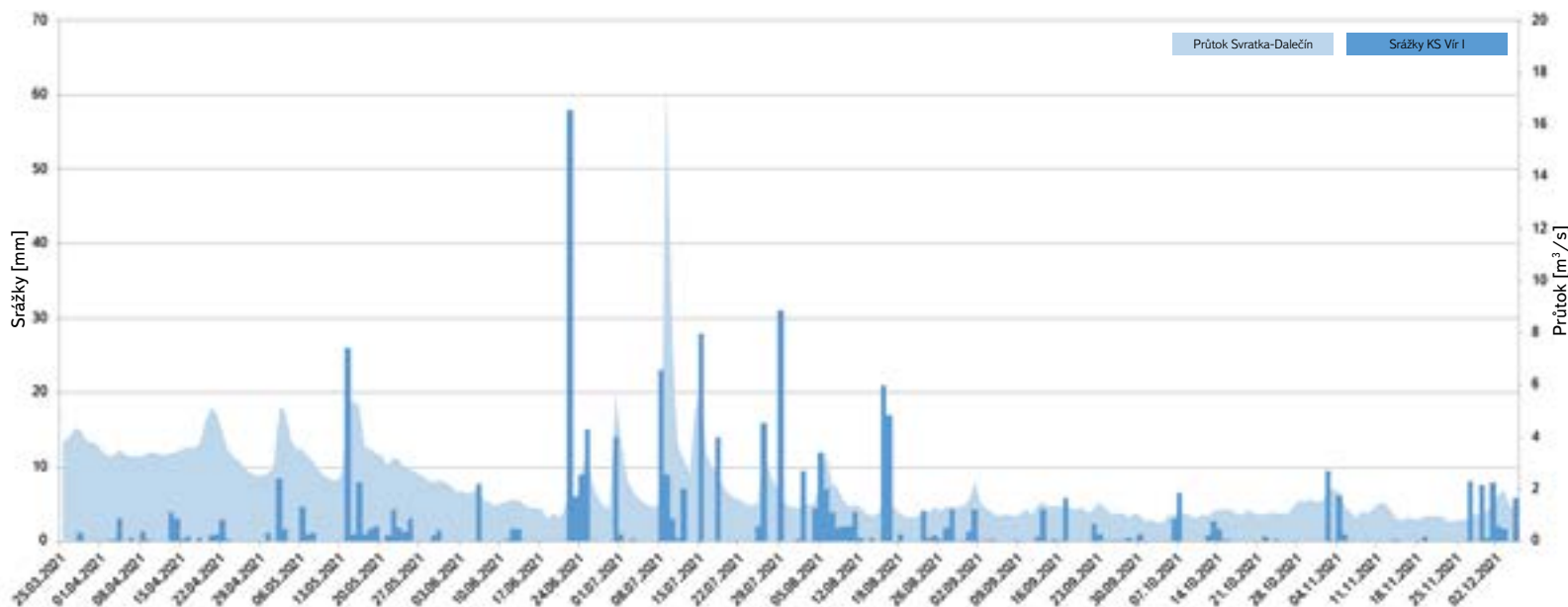


Obr. 9. Koncentrace pesticidů v povodí VN Vír I – 3. vzorkovací kampaň (červen 2021)

Fig. 9. Concentration of pesticide residues in the basin of Vír I water supply reservoir – 3rd sampling campaign (June 2021)

Nejvyšší koncentrace pesticidů byly na přítocích do nádrže nalezeny ve 2., 3. a 4. vzorkovací kampani (květen až červenec 2021) (obr. 8 a 9). K nejvíce znečištěným levostranným přítokům patřil Chlumský potok s vysokým obsahem kyseliny 2,4-dichlorfenoxycetové (2,4-D) ve 2. vzorkovací kampani. Tento potok je nejkratším ze sledovaných přítoků do VN Vír I (pod 1 km délky) a vyvěrá z malého rybníku pod obcí Chlum. 2,4-D je chlororganický selektivní herbicid

používaný na dvouřádkové plevy a aplikovaný především na obiloviny, v menším množství na kukuřici a píce. Jeho značný výskyt v tomto drobném vodním toku může souviset se srážkoodtokovou epizodou, která nastala v oblasti 14. května 2021 s úhrnem srážek 26 mm (obr. 10). Šlo o první významnou jarní srážku. V povodí Chlumského potoka byly v roce 2021 pěstovány jarní obiloviny.



Obr. 10. Srážkoodtokové poměry v povodí VN Vír I v roce 2021

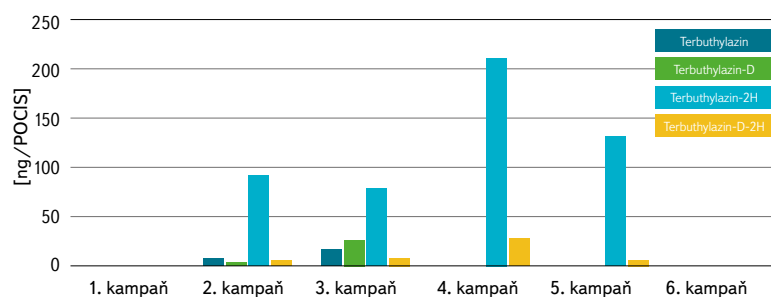
Fig. 10. Rainfall-runoff relationships in the basin of Vír I water supply reservoir in 2021

Z pravostranných přítoků pestrostí zachycených pesticidů dominoval Písečenský potok (délka 3,05 ř. km) pramenící na horním konci obce Písečné. Významně byl zastoupen terbuthylazin a jeho metabolity, metazachlor a jeho metabolity a metabolity alachloru. Terbuthylazin, který je používán k ošetření kukuřice, převažoval ve formě metabolitu terbuthylazin-2-hydroxy (*obr. 11*) s maximem ve 4. vzorkovací kampani (7/2021). Osevní plochy kukuřičí byly v lokalitě v roce 2021 velmi malé, a to v nejsvrchnější části povodí. „Mateřská“ látka tak byla potvrzena jen v minimálním množství. Patrně jde o zátěž z minulých let nebo transformaci původní účinné látky během transportu do vodoteče půdním profilem z větší vzdálenosti.

Metazachlor je používán na olejiny, jež v povodí Písečenského potoka nebyly v roce 2021 pěstovány. Pasivním vzorkováním byl potvrzen výhradně metabolit metazachlor ESA, a to již v první dubnové vzorkovací kampani (*obr. 12*). To ukazuje na jeho vyplavování z aplikací v předcházejících letech, dynamika koncentrací je odlišná a není tolik závislá na srážkoodtokových epizodách. Obdobná byla dynamika alachloru, jehož použití je od roku 2007 zakázáno a v povrchové vodě byl zastoupen výhradně metabolitem ESA s maximem v 6. vzorkovací kampani 9/2021).

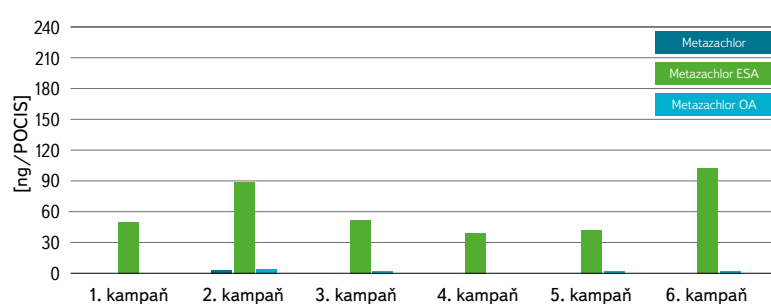
V profilu Svratka nad VN (Dalečín) bylo zachycené množství pesticidů většinou nižší než v drobných levostranných a pravostranných přítocích do nádrže. Zemědělské hospodaření je intenzivní zvláště v povodí Bílého potoka v jeho horní části kolem města Polička, tedy na samé horní hranici povodí Svratky. Vyšší koncentrace pesticidů v Bílém potoce jsou níže po proudu postupně naředňovány. Výjimkou byla 3. vzorkovací kampaň s potvrzeným vysokým obsahem pethoxamidu ve Svratce nad nádrží (*obr. 9*). Tento pesticid je používán k ošetřování kukuřice a olejnin samostatně nebo v kombinaci s terbuthylazinem (např. přípravek BALATON). Jeho vysoký záchyt v této vzorkovací kampani patrně souvisí s nejmohutnější srážkovou událostí 22. června 2022 (58 mm) (*obr. 10*) a splachem z lokalit mezi městysem Jimramov a obcí Strachujov jen několik kilometrů nad vzorkovacím profilem.

Intenzivní zemědělské hospodaření kolem Poličky s významným podílem obilovin, kukuřice a řepky (*obr. 13*) se projevilo v profilu Bílý potok – nad ústím Černého potoka především záchytem terbuthylazinu s převahou jeho metabolitů s postupným koncentračním nárůstem až do července 2021 ve 4. vzorkovací kampani (*obr. 14*) a chlorotoluronu s maximem ve 3. vzorkovací kampani (*obr. 15*).



Obr. 11. Dynamika koncentrací terbuthylazinu a jeho metabolitů v ústí Písečenského potoka v roce 2021

Fig. 11. Terbuthylazine and metabolites concentration dynamics in the outfall of Písečenský stream in 2021



Obr. 12. Dynamika koncentrací metazachloru a jeho metabolitů v ústí Písečenského potoka v roce 2021

Fig. 12. Metazachlor and metabolites concentration dynamics in the outfall of Písečenský stream in 2021

Druhy pěstovaných plodin

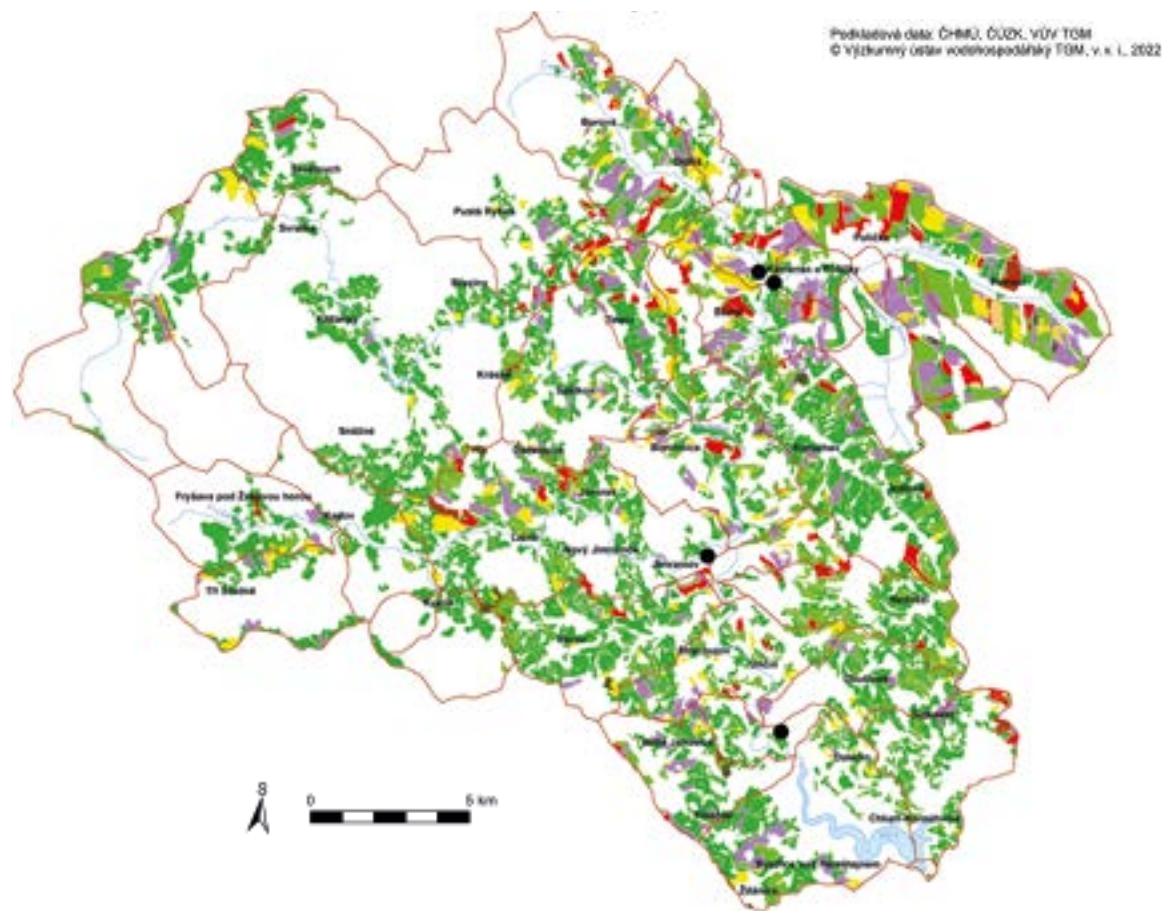


místa pasivního vzorkování vod

rozvodnice

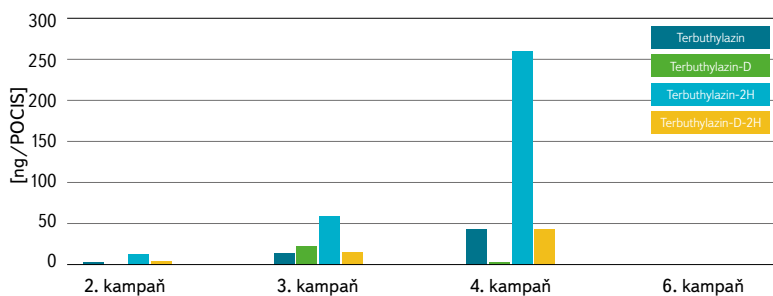
vodní plocha

vodní tok



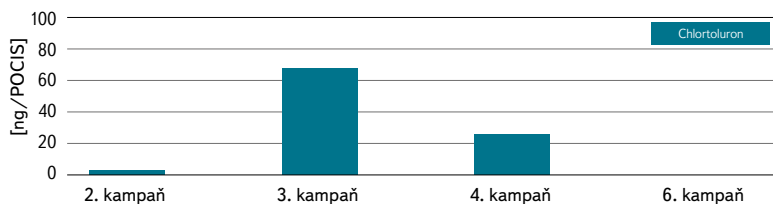
Obr. 13. Druhy plodin pěstovaných v povodí VN Vír I v roce 2021 z multitemporálních snímků DPZ

Fig. 13. Cultivated crops in the river basin above Vír I water supply in 2021 from the multitemporal shots of satellite survey of the Earth



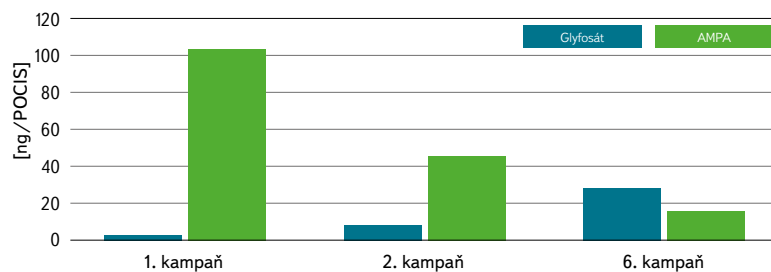
Obr. 14. Dynamika koncentrací terbutylazinu a jeho metabolitů v Bílém potoce nad ústím Černého potoka v roce 2021

Fig. 14. Terbutylazine and metabolites concentration dynamics in Bílý stream above the outfall of Černý stream in 2021



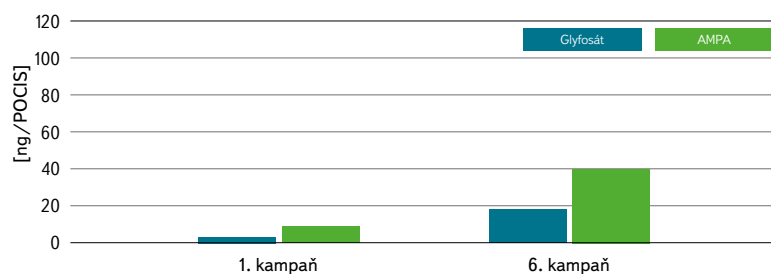
Obr. 15. Dynamika koncentrací chlortoluronu v Bílém potoce nad ústím Černého potoka v roce 2021

Fig. 15. Chlorotoluron concentration dynamics in Bílý stream above the outfall of Černý stream in 2021



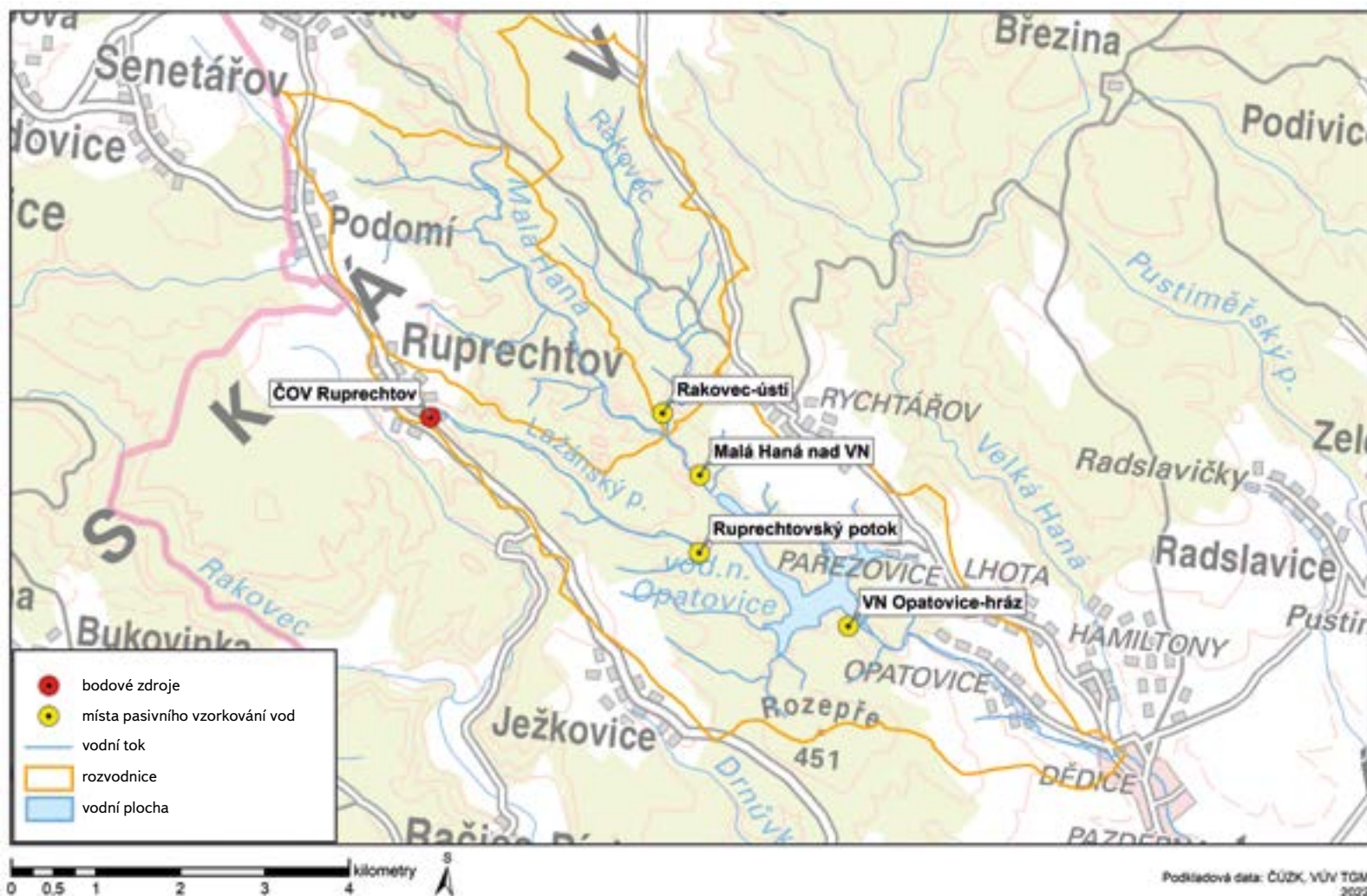
Obr. 16. Dynamika koncentrací glyfosátu a AMPA v ústí Písečenského potoka v roce 2021

Fig. 16. Glyphosate and AMPA concentration dynamics in the outfall of Písečenský stream in 2021



Obr. 17. Dynamika koncentrací glyfosátu a AMPA v ústí Karasínského potoka v roce 2021

Fig. 17. Glyphosate and AMPA concentration dynamics in the outfall of Karasínský stream in 2021



Obr. 18. Místa pasivního vzorkování přítoků do VN Opatovice v roce 2021

Fig. 18. Spots of passive sampling on the tributaries into Opatovice water supply reservoir in 2021

Zajímavá je dynamika koncentrací glyfosátu a jeho metabolitu AMPA. Jeho použití je obvyklé především na začátku jara před setbou a na konci léta před setbou ozimých obilovin. Glyfosát je od 1. ledna 2019 zakázáno použít pro desikaci plodin, které slouží pro potravinářské účely [11]. Glyfosát se poměrně rychle transformuje na metabolit AMPA v závislosti na teplotě, vlhkosti a mikrobiálním oživení půdy. Kinetika transformace za různých podmínek jeho úbytek vymezuje v intervalu 1,5 až 53,5 dní pro DT50 a 8 až 280 dní pro DT90. Metabolit AMPA je stabilnější, jeho perzistence je 11 až 21x větší [12]. Vždy záleží na konkrétních podmínkách, a dokonce i druhu pěstovaných plodin [13]. Při nízkých teplotách (+5 °C) je transformace glyfosátu 8,3x pomalejší než při teplotě +30 °C.

Dva rozdílné případy dynamiky koncentrací těchto dvou sloučenin lze vidět na obr. 16 a 17. V povodí Písečenského potoka byla maximální koncentrace metabolitu AMPA prokázána v 1. dubnové vzorkovací kampani, v zářijové 6. kampani byla zachycena převážně mateřská látka. V povodí Karasínského potoka byl glyfosát aplikován až před podzimní setbou.

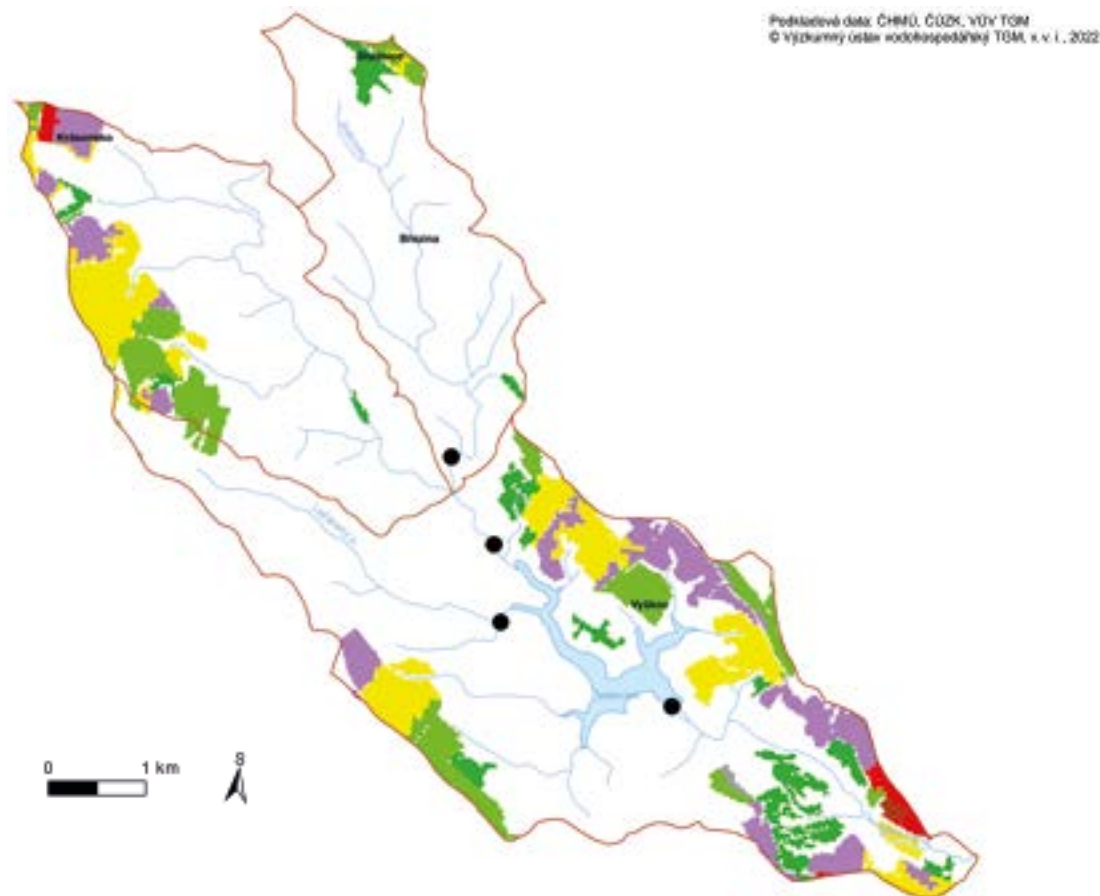
Ve Svatce na přítoku do VN mírně převládá glyfosát nad metabolitem AMPA s maximem ve 3. vzorkovací kampani. Je zajímavé, že glyfosát se ve VN Vír I zcela netransformoval a byl potvrzen i na výtoku z vodárenské nádrže.

Povodí vodárenské nádrže Opatovice

Místa pasivního vzorkování přítoků do VN Opatovice jsou znázorněna na obr. 18. Vodárenská nádrž má pouze dva významné přítoky: Malá Haná a Ruprechtovský potok. Levostranným přítokem Malé Hané je potok Rakovec, zčásti zasahující do vojenského újezdu Březina. Drobné levostranné přítoky do VN o délce 300–400 m v katastrech obcí Rychtářov a Pařezovice nebyly do řešení projektu zahrnuty pro jejich minimální vodnost. Informace o druhu pěstovaných plodin a rozloze v zájmových povodích vznikla klasifikací multitemporálních snímků dálkového průzkumu Země (DPZ). Jejich zastoupení v povodí VN Opatovice zachycuje obr. 19 a dokumentuje tab. 4. Nezemědělské využití tvoří 81 % plochy povodí. Přesto je zátěž vodní nádrže pesticidy značná. Z plodin jsou nejvíce zastoupeny obiloviny a řepka. Intenzivní zemědělská činnost probíhá v horních částech Ruprechtovského potoka, Malé Hané kolem obce Krásensko a na levostranné části nádrže kolem obcí Rychtářov a Pařezovice.

Z ověřovaných pesticidů a metabolitů bylo v pasivních vzorkovacích potvrzeno 27 látek a DEET (N,N-diethyl-3-methylbenzamide). Souhrnné výsledky s uvedením maximální nalezené koncentrace pesticidů včetně jejich metabolitů z osmi vzorkovacích kampaní jsou uvedeny v tab. 5. Dynamika koncentrací pesticidů ve srovnání s předchozí vodárenskou nádrží byla rozdílná. Nejvýznamněji byly zastoupeny metazachlor, metolachlor, terbutylazin a jejich

Druhy pěstovaných plodin



Podkladové data: ČHMÚ, GÜZK, VÚV TGM
© Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, s.r.o., 2022

Obr. 19. Druhy plodin pěstovaných v povodí VN Opatovice v roce 2021 z multitemporálních snímků DPZ

Fig. 19. Cultivated crops in the river basin above Opatovice water supply in 2021 from the multitemporal shots of satellite survey of the Earth

metabolity, glyfosát včetně jeho metabolitu AMPA a metabolity alachloru (obr. 20–23). V povodí Rakovce je zemědělská činnost vyvíjena jen v horní části kolem obce Studnice, pasivním vzorkováním bylo potvrzeno, že zastoupení pesticidů v tomto vodním toku je velice nízké. Hlavní zátěž nádrže pesticidy pochází z Malé Hané a Ruprechtovského potoka.

Tab. 4. Zastoupení pěstovaných plodin v povodí VN Opatovice v roce 2021 dle DPZ
Tab. 4. Cultivated crops in the river basin above Opatovice water supply in 2021 from the SSE

Způsob využití území	[m ²]	[%]
nezemědělská plocha	27 038 125	77,5
řepka	2 543 125	7,3
ozimé obiloviny	1 986 250	5,7
jarní obiloviny	1 829 375	5,2
řepa	39 375	0,1
kukuřice	204 375	0,6
ostatní plodiny	31 250	0,1
trvalé travní porosty	1 225 625	3,5

Zdroj: Český hydrometeorologický ústav

V 1. dubnové vzorkovací kampani převládaly v obou výše jmenovaných přítocích glyfosát a zvláště metabolit AMPA, zátěž ostatními pesticidy se projevila

minimálně. Ve 2. vzorkovací kampani již byly potvrzeny zvýšené a téměř rovnocenné koncentrace metolachloru, metazachloru a terbuthylazinu včetně jejich metabolitů v hlavním přítoku do nádrže.

S-metolachlor aplikovaný na kukuřici byl na své cestě z horních partií povodí Malé Hané do nádrže zastoupen téměř výhradně ve formě jeho metabolitu ESA. Opakovaně se ve významných koncentracích vyskytoval i v dalších vzorkovacích kampaních. Poločas rozpadu S-metolachloru v půdě se pohybuje v rozmezí 23,6 až 40,1 dne v závislosti na teplotě a vlhkosti půdy [14]. Míra jeho zastoupení v povrchové vodě byla vysoká, ačkoli osevňovací plocha kukuřic byla v povodí Hané v roce 2021 malá.

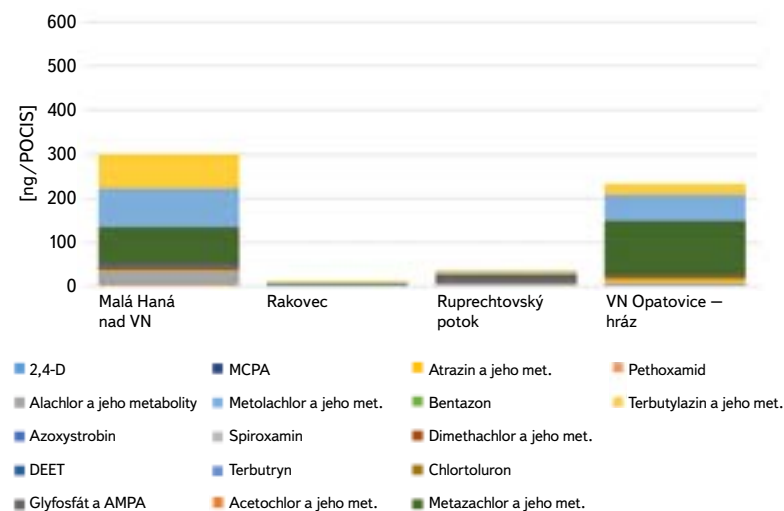
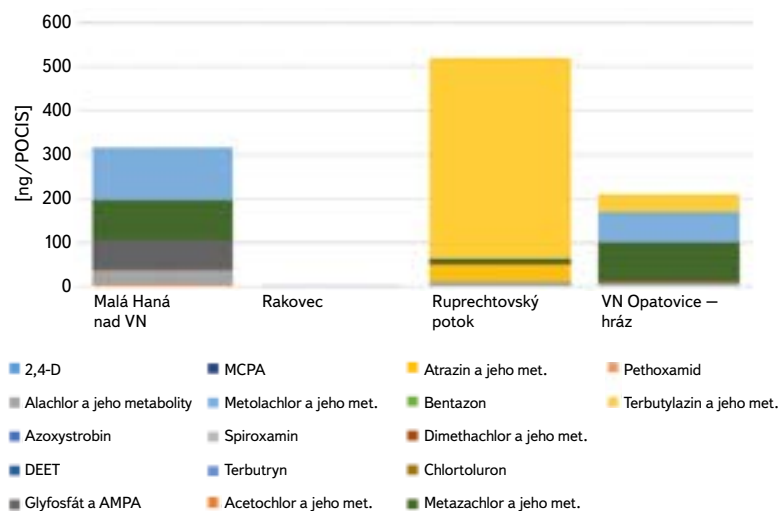
Stejnou dynamiku koncentrací s postupným vzrůstem až k 8. vzorkovací kampani vykazoval v Malé Hané metazachlor, rovněž výhradně zastoupený metabolitem ESA. Ten je používán k ošetřování olejnin, jež byly v tomto povodí v roce 2021 významnou pěstovanou plodinou. Poločas rozpadu mateřské sloučeniny je dle [15] ve vodním prostředí 19,3 dní, přičemž na degradaci se podílejí výhradně mikrobiální procesy. Vůči hydrolýze a fotolýze je metazachlor stabilní. Terbuthylazin, který je používán k ošetřování kukuřice, se v Malé Hané projevil pouze ve 2. vzorkovací kampani a v menší míře v 7. vzorkovací kampani, v obou případech jako terbuthylazin-2 hydroxy.

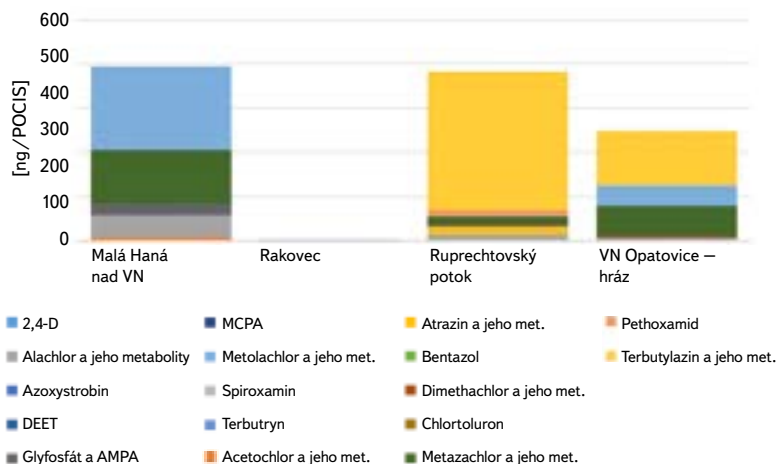
V Ruprechtovském potoce byl zachycen terbuthylazin-2 hydroxy až ve 4. a 5. vzorkovací kampani (červenec až srpen). V roce 2021 nebyla v jeho povodí kukuřice pěstována, tento pozdní nárůst jeho koncentrace ve vodním toku byl s velkou pravděpodobností zapříčiněn erozí v důsledku použití v předchozích letech intenzivními splachy při srážkových epizodách během léta nastupujících v 3. dekádě měsíce června (obr. 24). Srážkoodtoková událost začínající 22. června 2021 byla natolik enormní, že došlo k utržení a ztrátě pasivních vzorkovačů 3. vzorkovací kampaně, přestože byly fixovány ke kmeni stromu ocelovým lankem.

Tab. 5. Maximální zjištěné koncentrace pesticidů a jejich metabolitů pasivním vzorkováním na přítocích do VN Opatovice a VN Ludkovice v roce 2021 v ng/POCIS

Tab. 5. Maximal concentrations of pesticides and metabolites established by passive sampling on the tributaries into Opatovice and Ludkovice water supply reservoirs in 2021 (in ng/POCIS)

Profil	VN Opatovice		VN Ludkovice			
	Malá Haná nad VN	Rakovec	Ruprechtovský potok	VN Opatovice – hráz	Ludkovický potok nad VN	VN Ludkovice – hráz
2,4-D	1,42	0,46	1,28	1,61	3,39	4,00
Acetochlor a jeho metabolity	11,74	0,59	0,63	9,93	1,24	50,61
Alachlor a jeho metabolity	123,60	2,30	12,68	37,80	0,86	15,92
Atrazin a jeho metabolity	4,26	0,00	37,91	7,63	16,64	10,93
Azoxystrobin	1,70	0,00	1,40	0,00	1,00	0,00
Bentazon	0,18	0,00	0,00	1,03	0,13	0,07
DEET	0,00	0,00	3,60	0,00	19,00	20,00
Dimethachlor a jeho metabolity	4,74	0,00	0,93	18,76	0,12	3,44
Glyfosát a AMPA	71,61	4,60	145,90	10,47	155,10	14,62
Chlortoluron	0,61	0,00	0,00	1,99	–	–
MCPA	0,22	0,32	0,00	1,07	0,38	0,87
Metazachlor a jeho metabolity	138,02	0,76	18,46	426,70	1,46	27,72
Metolachlor a jeho metabolity	200,32	16,32	2,92	270,56	6,12	94,32
Pethoxamid	1,44	0,00	12,85	5,21	0,00	2,36
Spiroxamin	0,31	0,27	0,00	0,00	0,29	0,00
Terbutylazin a jeho metabolity	77,28	4,31	456,36	123,23	21,12	15,61
Terbutryn	0,00	0,00	1,00	0,00	2,30	0,00

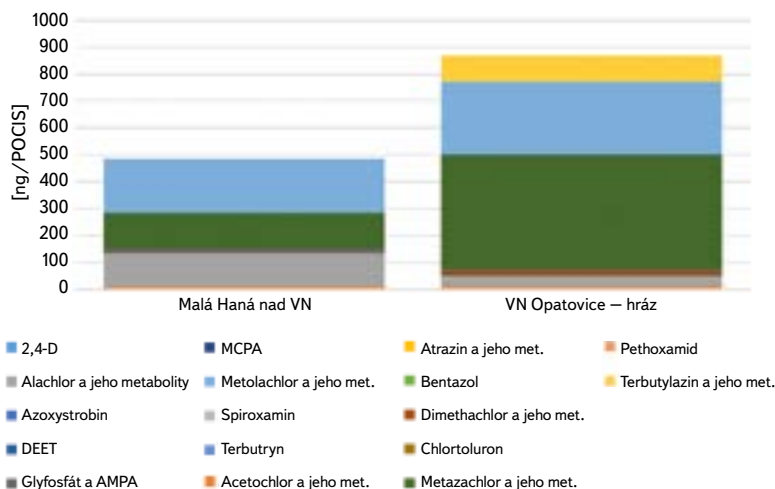
Obr. 20. Koncentrace pesticidů v povodí VN Opatovice – 2. vzorkovací kampaň (květen 2021)
Fig. 20. Concentration of pesticide residues in the basin of Opatovice water supply reservoir – 2nd sampling campaign (May 2021)Obr. 21. Koncentrace pesticidů v povodí VN Opatovice – 4. vzorkovací kampaň (červenec 2021)
Fig. 21. Concentration of pesticide residues in the basin of Opatovice water supply reservoir – 4th sampling campaign (July 2021)



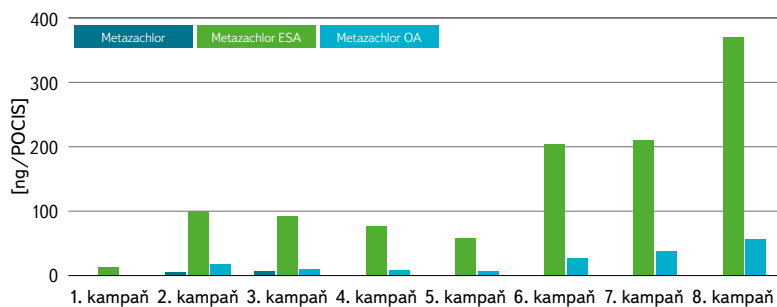
Obr. 22. Koncentrace pesticidů v povodí VN Opatovice – 5. vzorkovací kampaň (srpen 2021)
Fig. 22. Concentration of pesticide residues in the basin of Opatovice water supply reservoir – 5th sampling campaign (August 2021)

Z technických důvodů nebylo možné umístit pasivní vzorkovače do proudu surové vody na úpravně v obci Lhotka. Proto byly umístěny ve vodárenské nádrži v blízkosti odběrné věže se zanořením vzorkovačů do hloubky 3–4 m pod hladinou. Koncentrace pesticidů v tomto místě postupně narůstala od 6. vzorkovací kampaně (od 9/2021). Na obr. 25 a 26 je vidět dynamika koncentrací dvou nejvýznamnější zastoupených metabolitů metazachloru a metolachloru. Koncentrace významně rostly v podzimních vzorkovacích kampaních.

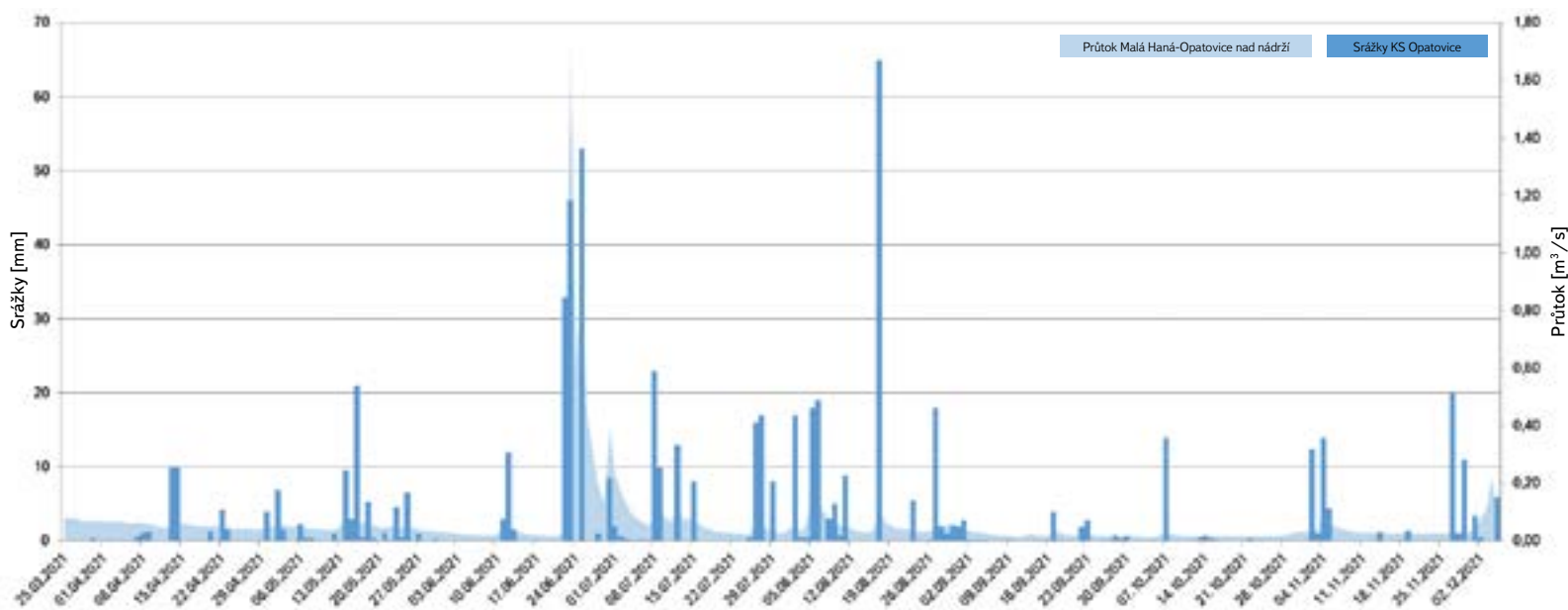
Zvýšené koncentrace glyfosátu a metabolitu AMPA na přítoku do VN Opatovice se v nádrži u hráze naopak během celé vzorkovací sezony prakticky neprojevovaly. Je však třeba mít na paměti, že teoretická doba zdržení vody v nádrži je přes 1,5 roku.



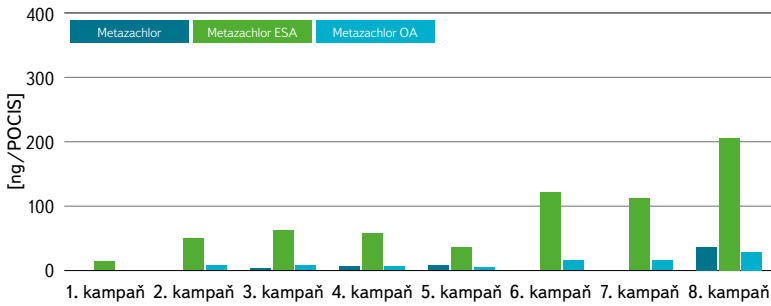
Obr. 23. Koncentrace pesticidů v povodí VN Opatovice – 8. vzorkovací kampaň (listopad 2021)
Fig. 23. Concentration of pesticide residues in the basin of Opatovice water supply reservoir – 8th sampling campaign (November 2021)



Obr. 25. Dynamika koncentrací metazachloru a jeho metabolitů na hrázi VN Opatovice v roce 2021
Fig. 25. Metazachlor and metabolites concentration dynamics at the dam of Opatovice water supply reservoir in 2021



Obr. 24. Srážkoodtokové poměry v povodí VN Opatovice v roce 2021
Fig. 24. Rainfall-runoff relationships in the basin of Opatovice water supply reservoir in 2021



Obr. 26. Dynamika koncentrací metolachloru a jeho metabolitů na hrázi VN Opatovice v roce 2021

Fig. 26. Metolachlor and metabolites concentration dynamics at the dam of Opatovice water supply reservoir in 2021

Povodí vodárenské nádrže Ludkovice

VN Ludkovice má jediný přítok – Ludkovický potok. Druhým vzorkovacím profilem byla nádrž v těsné blízkosti odběrného objektu u hráze (obr. 27). Informace o druhu pěstovaných plodin a rozloze v zájmových povodích vznikla klasifikací multitemporálních snímků dálkového průzkumu Země (DPZ). Jejich zastoupení v povodí VN ukazuje obr. 28 a dokumentuje tab. 6. Nezemědělské využití tvoří 91,7 % plochy povodí. Z plodin byly v roce 2021 nejvíce zastoupeny ozimé obiloviny.

Tab. 6. Zastoupení pěstovaných plodin v povodí VN Ludkovice v roce 2021 dle DPZ
Tab. 6. Cultivated crops in the river basin above Ludkovice water supply in 2021 from the SSE

Způsob využití území	[m ²]	[%]
nezemědělská plocha	9 164 375	68,8
řepka	87 500	0,7
ozimé obiloviny	578 750	4,3
jarní obiloviny	193 750	1,5
ozim sklizený na zeleno	246 875	1,9
trvalé travní porosty	3 043 750	22,9

Zdroj: Český hydrometeorologický ústav

Z ověřovaných pesticidů a jejich metabolitů bylo v pasivních vzorkovacích potvrzeno 24 látek a DEET (N,N-diethyl-3-methylbenzamide). Naprostá většina z nich (vyjma glyfosátu) byla zjištěna jen v nízkých koncentracích, a to jak na přítoku, tak i na odtoku z nádrže, přestože i v tomto povodí se v letním období vyskytlo více významných srážkoodtokových událostí. Souhrnné výsledky s uvedením maximální nalezené koncentrace pesticidů včetně jejich metabolitů z osmi vzorkovacích kampaní jsou uvedeny v tab. 5. Dotace pesticidů do nádrže Ludkovickým potokem zůstala prakticky nezměněna od 2. do 4. vzorkovací kampaně (obr. 29). V počátečních vzorkovacích kampaních dominoval glyfosát, resp. jeho metabolit AMPA. Glyfosát jako mateřská sloučenina byl v Ludkovickém potoce potvrzen před setbou ozimých obilovin v 6. vzorkovací kampani a překvapivě i v poslední listopadové 8. vzorkovací kampani (obr. 30).

V nádrži u hráze byly zvýšené koncentrace pesticidů zjištěny pouze v 6. zářijové vzorkovací kampani (obr. 31). Nejhojněji byly zastoupeny metabolity metolachloru ESA a OA, bez přítomnosti mateřské látky. Metolachlor je používán k ošetření kukuřice. Ta však v daném roce nebyla v povodí pěstována. Zároveň

byly v této kampani identifikovány významné koncentrace metabolitů ace-tochloru, jehož použití je již 10 let zakázáno. Pasivním zorkovačem tak byly zachyceny metabolity původních látek z aplikací v předchozích letech patrně vlivem podzimní cirkulace v nádrži mezi epilimnionem a hypolimnionem.

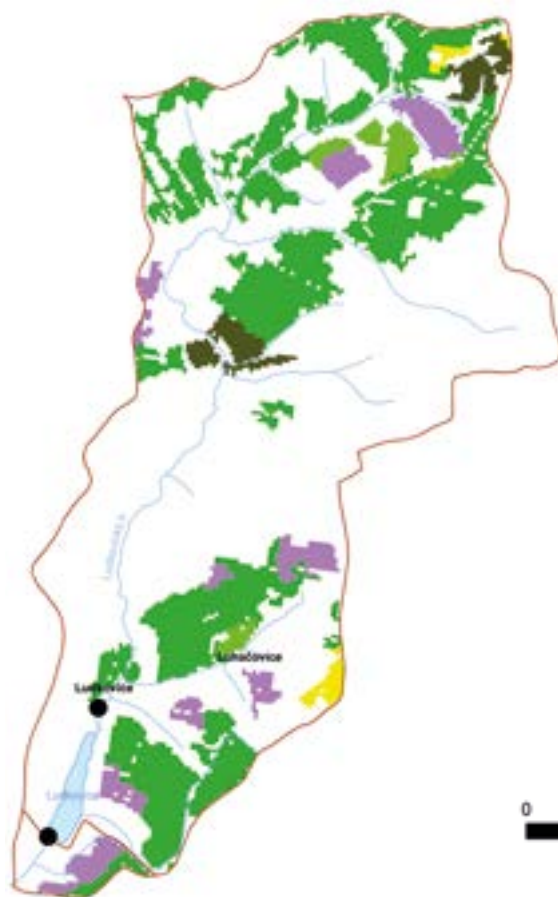
Třetím významným herbicidem identifikovaným v nádrži 6. vzorkovací kampaní byl metazachlor, resp. opět pouze jeho metabolity ESA a OA. Tento herbicid je používán k ošetření olejnin. Vzhledem k tomu, že na přítoku v Ludkovickém potoce nebyl metazachlor ani jeho metabolity pasivním vzorkováním v roce 2021 potvrzeny, půjde rovněž o záchyt znečištění z předchozích let pocházejících z hlubších vrstev vodního sloupce při jejich cirkulaci v nádrži.



Obr. 27. Místa pasivního vzorkování v povodí VN Ludkovice v roce 2021

Fig. 27. Spots of passive sampling on the tributaries into Ludkovice water supply reservoir in 2021

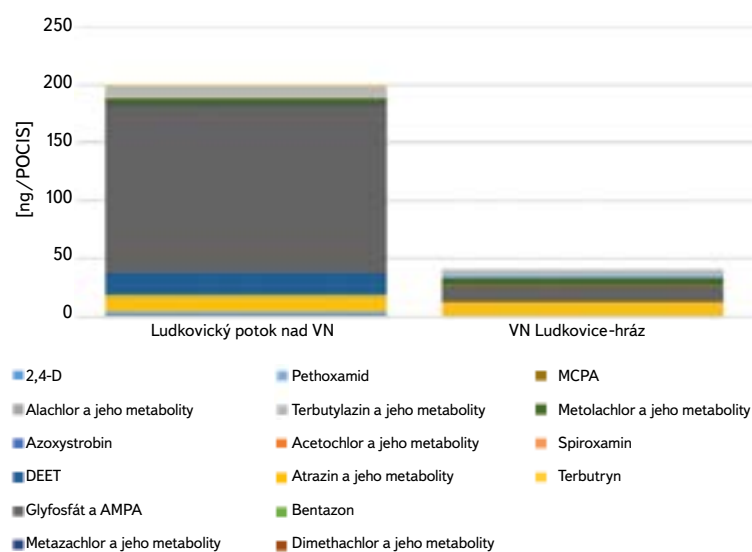
Druhy pěstovaných plodin



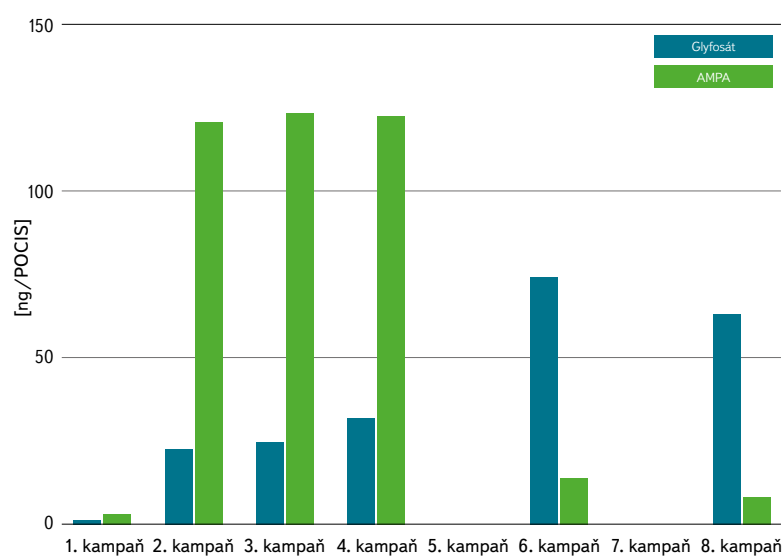
Podkladové data: ČHMÚ, ČÚZK, VÚV TGM
 © Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, s.r.o., 2022

Obr. 28. Druhy plodin pěstovaných v povodí VN Ludkovice v roce 2021 z multitemporálních snímků DPZ

Fig. 28. Cultivated crops in the river basin above Ludkovice water supply in 2021 from the multitemporal shots of satellite survey of the Earth



Obr. 29. Koncentrace pesticidů v povodí VN Ludkovice – 2. vzorkovací kampaň (květen 2021)
 Fig. 29. Concentration of pesticide residues in the basin of Ludkovice water supply reservoir – 2nd sampling campaign (May 2021)



Obr. 30. Dynamika koncentrací glyfosátu a metabolitu AMPA v Ludkovickém potoce nad VN v roce 2021

Fig. 30. Glyphosate and AMPA concentration dynamics in the outfall of Ludkovický stream above Ludkovice water supply reservoir in 2021

DISKUZE A ZÁVĚR

Na devíti přítocích do VN Vír I, třech přítocích do VN Opatovice a na přítoku do VN Ludkovice byla pasivním vzorkováním sledována dynamika koncentrací 36 účinných látek přípravků na ochranu rostlin a 14 metabolitů pesticidů v měsíčním kroku po celou dobu vegetační sezony. V povodí VN Vír I byly do pasivního vzorkování zahrnuty rovněž významné přítoky řeky Svratky: Fryšávka, Bílý potok a Černý potok. U všech tří vodárenských nádrží byl takto sledován rovněž odtok z nádrže. Ve spojení s hydrologickými a klimatickými poměry a skladbou pěstovaných plodin v daných lokalitách bylo možno výsledky interpretovat.

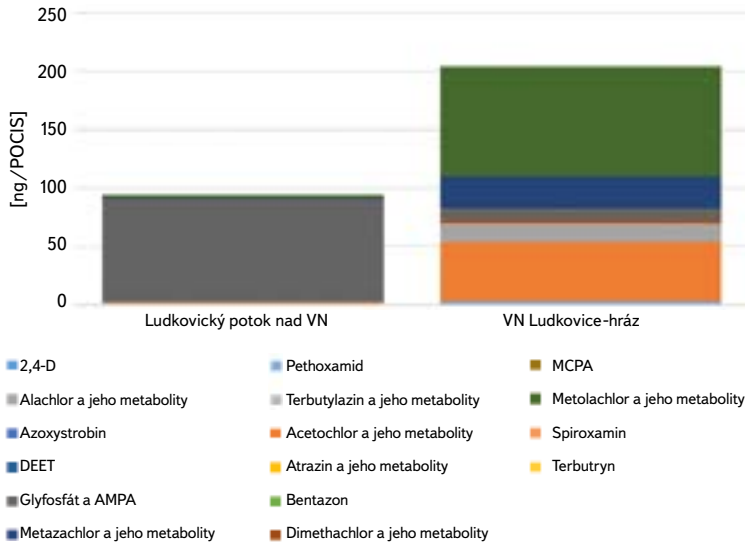
V povodí VN Vír I bylo v pasivních vzorkovacích potvrzeno celkem 29 látek. Koncentrace pesticidů měla stoupající trend od 2. ke 4. vzorkovací kampani. Aplikace přípravků na ochranu rostlin je v tomto období nejvíce relevantní. K tomu se v oblasti od konce června do druhé poloviny července plně projevily vydatné přívalové srážky. Zastoupení mateřských látek přípravků na ochranu rostlin bylo spíše minoritní, převládaly metabolity ESA, v případě terbutylazinu jako účinné látky to byl metabolit terbutylazin-2-hydroxy. Z levostranných přítoků VN Vír I byl významně znečištěn bezejmenný potok od obce Chlum (v této práci nazýván jako Chlumský p.) 2,4-dichlorfenoxyoctovou kyselinou používanou k ošetřování obilovin. Největší erozní splach se projevil v blízkém Nyklovickém potoce, avšak s menší negativní odezvou na jakost vody než v Chlumském potoce.

Naopak Korouhvičský potok, potok od obce Hluboké a Veselský potok byly pesticidy zatíženy minimálně. Z pravostranných přítoků byly pesticidy významně zastoupeny v Janovickém a především Písečenském potoce, ve kterém byly koncentrace nad 100 ng/POCIS potvrzeny u tří látek. Náležel k nim i metabolit alachlor ESA. Alachlor byl používán dlouhodobě od roku 1975, ale od roku 2006 je jeho použití zakázáno. V Písečenském potoce byl jeho výskyt největší ze všech ověřovaných lokalit. Stále se tedy projevuje zátěž způsobená jeho dřívějším použitím.

Intenzivní zemědělské hospodaření s různorodou skladbou pěstovaných plodin se negativně projevilo i na jakosti vod Bílého potoka pod Poličkou. V hlavním přítoku do VN, ve Svratce, byly zaznamenány koncentrace pesticidů většinou nižší než v ostatních drobných přítocích, patrně vlivem nařazení zátěže z horních částí povodí. Výjimkou byla 3. vzorkovací kampaň s potvrzeným vysokým obsahem pethoxamidu, který se používá k ošetřování kukuřice. Dynamika koncentrací na odtoku z VN Vír I byla odlišná. Koncentrace jednotlivých pesticidů postupně mírně narůstala. Významný koncentrační nástup se projevil až v 6. a 7. vzorkovací kampani. Nejvýznamněji byl zastoupen terbutylazin-2-hydroxy. Na dynamice koncentrací glyfosátu a metabolitu AMPA se dalo odhadnout, kde byl glyfosát použit před jarním osevem a kde před podzimním osevem (případně v obou obdobích).

Výsledky zatížení drobných levostranných a pravostranných přítoků do VN Vír I jsou cenné, protože jejich monitorování není v těchto tocích správcem povodí realizováno.

Vodárenská nádrž Opatovice se od ostatních sledovaných nádrží odlišuje dlouhou teoretickou dobou zdržení vody v nádrži (téměř 19 měsíců). Rakovec, levostranný přítok Malé Hané, je zatížen pesticidy minimálně, protože k zemědělskému využívání půdy dochází pouze v samé horní části jeho povodí. Opakem jsou ostatní dva nejvýznamnější přítoky do nádrže: Malá Haná a Ruprechtovský potok. Míra jejich zatížení pesticidy byla přibližně stejná, ale lišila se jak dynamikou, tak skladbou znečištění. Významnějším zdrojem byla Malá Haná, a to svou vodností i stálou přítomností širší škály pesticidů. Zastoupeny byly výhradně metabolity mateřských látek. Koncentrace metazachloru ESA a metolachloru ESA ve vzorkovacích postupně stoupala od 1. do 6. vzorkovací kampani a rovněž v poslední 8. kampani (listopad) byla významná. To je hodně překvapující, protože v roce 2021 byla kukuřice pěstována na velice malé rozloze v povodí. Tím, že šlo o pozvolný vzestup koncentrací (na rozdíl od povodí VN Vír I, kde byl nástup koncentrací rychlejší s maximem ve 4. vzorkovací kampani), se dá usuzovat na postupné vyplavování metabolizujících mateřských látek pocházejících z aplikací v předchozích letech.



Obr. 31. Koncentrace pesticidů v povodí VN Ludkovice – 6. vzorkovací kampaň (září 2021)
Fig. 31. Concentration of pesticide residues in the basin of Ludkovice water supply reservoir – 6th sampling campaign (September 2021)

Přepočet na průměrnou koncentraci ve vodním toku

Množství pesticidů zachycených pasivním vzorkovačem POCIS je možné přepočítat na průměrnou koncentraci během doby expozice (C_{TWA}), pokud je pro danou látku a typ pasivního vzorkovače známá vzorkovací rychlost R_s . V případě vzorkovačů POCIS pro polární organické látky platí pro přepočet následující vztah [16]:

$$C_{TWA} = \frac{N_t}{(R_s \cdot t)} \quad (1)$$

kde N_t je množství zachycené látky vzorkovačem v ng,
 R_s vzorkovací rychlost v l.den⁻¹
 t doba expozice vzorkovače ve dnech

Výsledná koncentrace C_{TWA} je vyjádřena v ng.l⁻¹.

Vzorkovací rychlost se zjišťuje kalibračními testy, nejčastěji v laboratorních podmínkách. Pro naše výpočty C_{TWA} jsme použili metodickou práci Grabice a kol. [16]. Její velkou předností je to, že kalibrace vzorkovačů POCIS byly realizovány v terénních podmínkách na českých řekách v jarní a podzimní sezoně. S využitím vztahu (1) bylo možno vypočítat C_{TWA} a se znalostí hodinových průtoků na hlavním přítoku do vodárenské nádrže látkovou bilanci znečištění pro vybrané pesticidy za celé období pasivního vzorkování součtem dílčích bilancí z každé vzorkovací kampani. Výsledky jsou uvedeny v tab. 7.

Z celkové bilance pesticidů a celkového objemu vody, která daným profilem protekla za dobu aplikace pasivních vzorkovačů, byla vypočtena průměrná koncentrace C_{TWA} pro sumu pesticidů. Přesnost výpočtu průměrné koncentrace ve vodním toku je dána přesností odvození vzorkovací rychlosti R_s na pasivní vzorkovač. Proto nelze v případě na $C_{TWA} \sum PES$ nahlížet jako na skutečnou sumární koncentraci pesticidů ve vodním toku, protože některé hodnoty R_s jsou použitelné dle práce Grabice [16] jen s nižší mírou spolehlivosti, jak je uvedeno v tab. 7 a vysvětlivkách pod ní. To platí především pro metazachlor ESA, bentazon, DEET a alachlor ESA, jež byly bilančně nejvýznamnější. Umožňuje nám to ale srovnat míru zátěže pesticidy mezi vodárenskými nádržemi navzájem. Z výsledků vyplývá, že VN Opatovice je pesticidy zatížena nejvíce.

Tab. 7. Výsledky přepočtu koncentrací z pasivních vzorkovačů na látkovou bilanci pesticidů hlavním přítokem do nádrže

Tab. 7. Results of the recalculation of the concentrations from passive samplers on the pesticide load by the main tributary into the water supply reservoir

Profil	Rs	Spolehlivost určení vzorkovací rychlosti Rs		Svratka – Dalečín nad VN Vír I [kg]	Malá Haná nad VN Opatovice [kg]	Ludkovický potok nad VN Ludkovice [kg]
		Jaro	Podzim			
Jednotka	[l.den⁻¹]					
2,4-D	0,0196			16,389	0,791	3,173
Acetochlor ESA	0,032			41,240	4,170	0,648
Alachlor ESA	0,032			136,983	34,797	0,358
Alachlor OA	0,031			0,348	0,062	0,020
Atrazin-desethyl	0,090			6,021	0,000	0,000
Azoxystrobin	0,060			9,650	0,267	0,335
Bentazon	0,003			192,140	0,648	0,518
DEET	0,046	x		240,012	0,000	8,126
Dimethachlor ESA	0,017			25,627	3,965	0,014
Chlortoluron	0,169			14,082	0,015	0,000
MCPA	0,015			43,650	0,135	0,554
Metazachlor ESA	0,016			966,795	136,646	0,955
Metazachlor OA	0,023			35,662	2,936	0,218
Metolachlor	0,159			34,198	0,095	1,372
Metolachlor OA	0,036			24,948	2,155	0,162
Tebukonazol	0,067			3,029	0,000	0,000
Terbutylazin	0,149			62,006	0,089	0,572
Terbutylazin-2-hydroxy	0,184			87,368	1,834	1,518
Terbutylazin-desethyl	0,185			7,750	0,000	0,272
Terbutylazin-desethyl-2-hydroxy	0,165			27,911	0,065	0,742
Celková bilance				1 975,81	188,67	19,56
Objem vody hlavního přítoku	[m³] za 8 kampaní			44 186 938	1 273 724	1 529 699
Průměrná koncentrace C_{TWA} Σ pesticidů	[µg.l⁻¹]			44,7	148,1	12,8

Rs použitelné pro robustní odhad koncentrací látek ve vodě

Rs použitelné, ale s nižší mírou spolehlivosti

Rs nelze použít pro kvantitativní vyhodnocení

Koncentrace ve vodě, data z bodových vzorků pod mezí stanovitelnosti, Rs nebylo možno ověřit

Koncentrace pesticidů v nádrži v blízkosti odběrného objektu u hráze vykazovaly do 5. vzorkovací kampaně podobnou koncentrační úroveň, od 6. kampaně pak významný nárůst až k 8. vzorkovací kampani (vyšší než na přítoku Malá Haná). Pesticidy převažující v metabolizované formě jsou v nádrži patrně kumulovány.

Znečištění Ruprechtovského potoka pesticidy bylo jiného rázu. Ve zvýšených koncentracích se projevilo znečištění metabolity atrazinu a terbutylazinu pouze ve 4. a 5. vzorkovací kampani. Glyfosát koncentračně „vyskočil“ v 1. a 6. vzorkovací kampani (aplikace před jarním i podzimním osemem). Pasivní vzorkovače 3. kampaně byly vlivem enormních srážek a průtoků 22. až 25. června 2021 utrženy, čímž nebylo možno tuto kampaň vyhodnotit.

Míra zátěže pesticidy z provedené bilance vztažené na jednotku přítoku vychází v případě VN Opatovice nejvyšší. Pokud tedy bude rozhodnuto realizovat opatření pro zlepšení, právě u této nádrže to má největší prioritu.

Vodárenská nádrž Ludkovice je nejmenší z posuzovaných nádrží s jediným přítokem. Celková zátěž pesticidy je nejnižší. Na přítoku do nádrže dominovaly koncentrace glyfosátu a metabolitu AMPA s maximem ve 2. a 4. vzorkovací kampani (nad 100 ng/POCIS). Na odtoku z nádrže se tato dynamika na vstupu do VN nijak výrazně neprojevila. Významná koncentrační zátěž na odtoku však byla zaznamenána u 6. vzorkovací kampaně metabolity více druhů pesticidů (acetochlor ESA, alachlor ESA, metazachlor ESA+OA, metolachlor ESA+OA), která může souviset s cirkulací v nádrži mezi epilimnionem a hypolimnionem na začátku podzimu.

Množství získaných výsledků a dat neumožnilo v rozsahu tohoto článku poskytnout vyčerpávající informace, v textu jsou prezentovány ty nejvýznamnější. V další fázi řešení budou získané výsledky konzultovány se správcem povodí a porovnány s informacemi o aplikaci přípravků na ochranu rostlin v daných územích, pokud budou k dispozici. Výstupy projektu (především druhu N_{map}) napomohou správci povodí k identifikaci a zhodnocení rizik znečištění vodního prostředí a pro následnou specifikaci nebo kontrolu opatření ke zvýšení ochrany vodních zdrojů z hlediska kvality vody.

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován v rámci projektu „Studie vnosu pesticidů a dalších mikropolutantů do vodárenských nádrží v povodí Moravy a Dyje“, č. SS01010248. Poděkování patří také pracovníkům Povodí Moravy, s. p., za poskytnutí dat a spolupráci při výběru vhodných lokalit.

Literatura

- [1] *Chemicals for a Sustainable Future. Report of the EEA Scientific Committee Seminar, Copenhagen, 17 May 2017. Publications Office of the European Union.* Luxembourg: European Environment Agency, 2018. 44 s. ISSN 1725-8449.
- [2] *Chemicals: Challenges for the Water Environment. Environment Agency, October 2021, s. 38.*
- [3] LIŠKA, M., SOUKUPOVÁ, K., DOBIÁŠ, J., METELKOVÁ, A., GOLDBACH, J., KVÍTEK, T. Jakost vody ve vodárenské nádrži Švihov na Želivce a jejím povodí se zaměřením na specifické organické látky. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace.* 2016, 58(3), s. 4–10. ISSN 0322-8916.
- [4] DOBIÁŠ, J., KOŽELUH, M., ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., LIŠKA, M. Dynamika vyplavování pesticidních látek v povodí Čechtického potoka. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace.* 2018, 60(4), s. 10–16. ISSN 0322-8916.
- [5] MIČANÍK, T., SÝKORA F., CHRASTINA, D., CIELECKÁ, N., KUCHARCZYKOVÁ, V., KRISTOVÁ, A., OCELKA, T., OCEĀNSKÝ, J. Časoprostorová dynamika vnosu organických látek do vodárenské nádrže Švihov. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace.* 2020, 62(2), s. 8–16. ISSN 0322-8916.
- [6] SMEDES, F., BOOIJ, K. Guideline for Passive Sampling of Hydrophobic Contaminants in Water Using Silicone Rubber Sampler. *ICES Techniques in Marine Environmental Sciences.* 2012, 52, s. 24.
- [7] ALVAREZ, D. A., PETTY, J. D., HUCKINS, J. N., JONES-LEPP, T. L., GETTING, D. T., GODDARD, J. P., MANAHAN, S. E. Development of a Passive, *in situ*, Integrative Sampler for Hydrophilic Organic Contaminants in Aquatic Environments. *Environmental Toxicology and Chemistry.* 2004, 23, s. 1640–1648.
- [8] *Spotřeba účinných látek obsažených v přípravcích na ochranu rostlin v jednotlivých krajích a okresech.* Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/ukuz/portal/pripravky-na-or/ucinne-latky-v-por-statistika-spotreba/spotreba-pripravky-na-or/spotreba-por-kraje-okresy/>

[9] GRABIC, R., GRABICOVÁ, K., FEDOROVA, G., GOLOVKO, O., RANDÁK, T. *Metodika sledování kontaminace povrchových vod organickými cizorodnými látkami pomocí pasivních vzorkovačů.* Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2015, s. 36. ISBN 978-80-7514-031-9.

[10] CLAUDE, B., BERHO, C., BAYOUDH, S., AMALRIC, L., COISY, E., NEHMÉ, R., MORIN, P. Preliminary Recovery Study of a Commercial Molarly Imprinted Polymer for the Extraction of Glyphosate and AMPA in Different Environmental Waters Using MS. *Environmental Science and Pollution Research.* 2017, 24(13), s. 12293–12300.

[11] *Pravidla pro užívání glyfosátu jsou připravená, před sklizní ho nebude možné použít na řepku ani obiloviny.* Tisková zpráva Ministerstva zemědělství, 19. listopad 2018. Dostupné z: https://eagri.cz/public/web/mze/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/x2018_pravidla-pro-uzivani-glyfosatu-jsou.html

[12] BENTO, C. P. M., YANG, X., GORT, G., XUE, S., DAM, R., ZOMER, P., MOL, H. G. J., RITSEMA, C. J., GEISSEN, V. Persistence of Glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid in Loess Soil under Different Combinations of Temperature, Soil Moisture and Light/Darkness. *Science of the Total Environment.* 2016, 572, s. 301–311.

[13] BENTO, C. P. M., HOEVEN, S., YANG, X., RIKSEN, M. J. P. M., MOL, H. G. J., RITSEMA, C. J., GEISSEN, V. Dynamics of Glyphosate and AMPA in the Soil Surface Layer of Glyphosate-Resistant Crop Cultivations in the Loess Pampas of Argentina. *Environmental Pollution.* 2019, 244, s. 323–331.

[14] LONG, Y. H., LI, R. T., WU, X. M. Degradation of S-Metolachlor in Soil as Affected by Environmental Factors. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 2014, 14(1). Dostupné z: https://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162014000100015

[15] VONK, V. J., SMIT, C. E., JONG, F. M. W. *Environmental Risk Limits for Metazachlor in Water – A Proposal for Water Quality Standards in Accordance with the Water Framework Directive.* RIVM Letter Report 601714024/2013, 2013. 59 s.

[16] GRABIC, R., VRANA, B., FEDOROVA, G., ŠVECOVÁ, H., URÍK, J., ČERVENÝ, D., GOLOVKO, O., GRABICOVÁ, K., ŠANDOVÁ, M., TUREK, J., RANDÁK, T. *Využití pasivních vzorkovačů POCIS pro monitoring farmak a pesticidů v povrchových vodách.* Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2018, s. 50. ISBN 978-80-7514-067-8.

Autoři

Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.¹

✉ tomas.micanik@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-5867-0985

Ing. František Sýkora¹

✉ frantisek.sykora@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-1003-0935

Mgr. David Chrastina¹

✉ david.chrastina@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-9945-3100

Ing. Danica Pospíchalová²

✉ danica.pospichalova@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-5803-3302

Ing. Nikola Verlíková¹

✉ nikola.verlikova@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-4323-3579

Ing. Alena Kristová¹

✉ alena.kristova@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-7247-1640

Mgr. Marek Hradil¹

✉ marek.hradil@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-5856-2784

¹ Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Ostrava

² Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022.11.003

DYNAMICS OF MICROPOLLUTANT LOADS INTO WATER SUPPLY RESERVOIRS VÍR I, OPATOVICE AND LUDKOVICE USING PASSIVE SAMPLERS

MIČANÍK, T.¹; SÝKORA, F.¹; CHRASTINA, D.¹;
POSPÍCHALOVÁ, D.²; VERLÍKOVÁ, N.¹; KRISTOVÁ, A.¹;
HRADIL M.¹

¹T. G. Masaryk Water Research Institute, Ostrava

²T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

Keywords: surface water – passive sampling – water supply reservoir – pollution – pesticides

Pesticides are still an important group of substances involved in surface water pollution. Their increased occurrence in the watercourses in the agricultural landscape is mainly linked to rainfall-runoff conditions, types of cultivated crops and methods of agricultural management. In order to capture these factors, passive sampling techniques were chosen for the assessment of the burden of these substances in the selected catchments of water supply reservoirs in the administration of the Povodí Moravy state enterprise. These techniques consist of continuous exposure of several weeks with gradual (integrative) capture of pollution on suitable sorbents. The POCIS type (a polar organic chemical integrative sampler), widely used samplers of suitable for capturing polar organic substances were chosen in this work. They were applied in eight consecutive sampling campaigns to cover the entire growing season. The aim was to assess the spatio-temporal dynamics (in monthly steps) of selected pesticides and their metabolites into five water supply reservoirs. Due to the scope of the obtained data, this article is focused on the presentation of the results water supply reservoirs Vír I, Opatovice and Ludkovice tributaries, which were monitored in 2021. If the sampling rate R_s was published, it was possible to recalculate the pollution captured by the passive sampler to the average concentration during the exposure. It was found out which tributaries into the reservoirs were loaded in the periods of the growing season by these hazardous substances. The results can be compared with the type of crops grown in a given year.

