



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

VYUŽITÍ METOD SPE PRO STANOVENÍ ULTRASTOPOVÝCH KONCENTRACÍ PLATINOVÝCH KOVŮ V ENVIRONMENTÁLNÍCH MATRICÍCH

THE USE OF SPE METHODS FOR DETERMINATION OF ULTRATRACE CONCENTRATIONS OF PLATINUM
METALS IN ENVIRONMENTAL MATRICES

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE

SUMMARY OF DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Stanislav Ježek

ŠKOLITEL

SUPERVISOR

doc. Mgr. Renata Komendová, Ph.D.

BRNO 2024

ABSTRAKT

Tato disertační práce je zaměřena na studium sorpčních technik pro stanovení platiny a palladia na modifikovaných pevných sorbentech a iontoměničích. Finální stanovení proběhlo atomovou absorpční spektrometrií s elektrotermickou atomizací (ET-AAS).

Pro studium sorpce bylo vybráno šest modifikovaných sorbentů. Byly studovány čtyři modifikované nepolární silikagely a dva sorbenty na bázi kopolymeru styren divinylbenzen. Dále byly studovány tři kationtoměničové pryskyřice a tři aniontoměničové.

U modifikovaných sorbentů a aniontoměničových pryskyřic byla studována účinnost sorpce platiny a palladia. Dále pak vliv interferujících prvků (Fe, Cu, Zn, Pb, K, Na, Ca a Mg). Další parametr pro hodnocení účinnosti sorbentů je objem elučního činidla, potřebného pro účinnou eluci platiny a palladia ze sorbentů. Na základě získaných výsledků byl vybrán optimální sorbent silikagel C18 pro prekoncentraci platiny a palladia z reálných environmentálních vzorků.

Studium koncentrace platiny a palladia ve složkách životního prostředí je rozdělena na dvě části. První část porovnává dvě města s odlišnou velikostí a koncentrací vozidel. Jedná se o krajské město v České republice – Jihlava a o hlavní město Rakouska – Vídeň. Pro vzorkování půdních matric byly vytipovány lokality v blízkosti frekventovaných dopravních uzlů.

V Jihlavě se koncentrace platiny pohybovala od 16,93 do 38,72 ng.g⁻¹ a u palladia od 2,705 do 8,452 ng.g⁻¹. Ve Vídni byly zjištěné koncentrace vyšší. Koncentrace platiny se pohybovaly od 39,22 ng.g⁻¹ do 159,2 ng.g⁻¹ a u palladia od 18,45 ng.g⁻¹ do 98,21 ng.g⁻¹.

Druhá část výzkumu byla zaměřena na nejfrekventovanější dopravní uzel v České republice – dálnici D1, se zaměřením na úsek v blízkosti vodní nádrže Švihov, která slouží jako jeden z hlavních zdrojů pitné vody pro hlavní město ČR – Prahu. V tomto úseku jsou instalovány dešťové retenční nádrže – „lapoly“. V blízkosti těchto lapolů byl vždy odebrán půdní vzorek a z lapolů pak sediment v nádrži a odsazená voda na odtoku z nádrže. Tyto dešťové retenční nádrže se ukázaly jako vhodná místa pro monitoring polutantů z automobilové dopravy.

KLÍČOVÁ SLOVA

platina, palladium, SPE, prekoncentrace, HR-CS-ET-AAS, autokatalyzátory

ABSTRACT

This dissertation is focused on the study of sorption techniques for the determination of platinum and palladium on modified solid sorbents and ion exchangers. The final determination was made using atomic absorption spectrometry with electrothermal atomization (ET-AAS).

Six modified sorbents were selected for the sorption study. Four modified non-polar silica gels were studied and two sorbents were based on styrene divinylbenzene copolymer. Furthermore, three cation exchange resins and three anion exchange resins were studied.

The sorption efficiency of platinum and palladium was studied with modified sorbents and anion exchange resins. Furthermore, the influence of interfering elements (Fe, Cu, Zn, Pb, K, Na, Ca and Mg). Another parameter for evaluating the effectiveness of sorbents is the volume of the elution mixture required for the effective elution of platinum and palladium from the sorbents. Based on the results, a sorbent was selected for the preconcentration of platinum and palladium from real environmental samples from the environment.

The study of the concentration of platinum and palladium in environmental components is divided into two parts. The first part compares two cities with different sizes and vehicle concentrations. It is a regional capital in the Czech Republic – Jihlava and the capital of Austria – Vienna. For soil matrix sampling, locations near frequent traffic junctions were selected. In Jihlava, the concentration of platinum ranged from 16.93 to 38.72 ng.g⁻¹ and for palladium from 2.705 to 8.452 ng.g⁻¹. In Vienna, the detected concentrations were higher. Platinum concentrations ranged from 39.22 ng.g⁻¹ to 159.2 ng.g⁻¹ and for palladium from 18.45 ng.g⁻¹ to 98.21 ng.g⁻¹.

The second part was focused on the busiest traffic junction in the Czech Republic - the D1 highway, focusing on the section near the Švihov water reservoir, which serves as one of the main sources of drinking water for the capital of the Czech Republic - Prague. Rain retention tanks - "lapolas" - are installed in this section. A soil sample was always taken in the vicinity of these lapolas, and from the lapolas the sediment in the reservoir and settled water at the outlet from the reservoir. These rain retention tanks proved to be suitable places for monitoring pollutants from automobile traffic.

KEYWORDS

platinum, palladium, SPE, preconcentration, HR-CS-ET-AAS, autocatalysts

OBSAH

1	ÚVOD	5
2	TEORETICKÁ ČÁST/AKTUÁLNÍ STAV STUDOVANÉ PROBLEMATIKY	6
2.1	Těžba platiny a palladia a jejich využití.....	6
2.1.1	Automobilový průmysl / automobilové katalyzátory	6
2.1.2	Autopark ve světě a České republice	7
2.2	Toxikologie.....	7
2.3	Platina a palladium v životním prostředí	8
2.3.1	Platina a palladium v atmosféře	8
2.3.2	Platina a palladium v půdě	9
2.3.3	Platina a palladium v akvatickém prostředí.....	10
2.3.4	Platina a palladium v e fauně a flóře	10
3	PREKONCENTRAČNÍ METODY	12
3.1	Extrakce tuhou fází (SPE).....	13
3.1.1	Vazba iontového páru/asociátu	13
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	15
4.1	Optimalizace metody stanovení a soprných procesů	15
4.2	Studium vlivu rušivých vlivů.....	15
4.2.1	Vliv interferujících iontů v prekoncentračním kroku	15
4.2.2	Modifikované sorbenty	15
4.2.3	Iontoměničové sorbenty	16
4.3	Reálné vzorky	16
4.3.1	Usazovací nádrže v blízkosti dálnice D1 („lapoly“)	17
4.3.2	Odběrová místa ve Vídni.....	18
4.3.3	Odběrová místa Jihlava	18
5	VÝSLEDKY A DISKUZE	19
5.1	Sorpce na modifikované sorbenty.....	19
5.2	Sorpce na iontoměniče.....	21
5.2.1	Výběr koncentrace elučního roztoku.....	21
5.3	Optimalizace sorpčních procesů na aniontových pryskyřicích	23
5.4	Analýza reálných vzorků	24
5.4.1	Porovnání evropských měst	24
5.4.2	Studium kontaminace životního prostředí v okolí frekventovaných silnic (D1).....	28
6	ZÁVĚR	31
7	LITERATURA	33
8	PŘÍLOHY	38
8.1	Životopis.....	38
8.2	Prezentace na odborných konferencích.....	40
9	SEZNAM PUBLIKACÍ	41

1 ÚVOD

Disertační práce se zabývá separací, prekoncentrací a stanovením vybraných rizikových kovů v environmentálních maticích. Kovy byly vybrány v závislosti na jejich přítomnosti a využití v automobilovém průmyslu, a jejich následných exhalacích pocházejících z dopravy, což je hlavní cesta jejich vstupu do životního prostředí. Pro posouzení a studium kontaminace různých vzorků ze životního prostředí byly vybrány platina (Pt) a palladium (Pd).

Platina a palladium tvoří aktivní vrstvu v automobilových katalyzátorech, odkud se postupně uvolňují. Autokatalyzátory jsou primárně využívány k přeměně oxidu uhelnatého, nespálených uhlovodíků a oxidů dusíku ve výfukových plynech na netoxické formy, jako jsou oxid uhličitý, voda a dusík. Povrch katalyzátorů je během používání chemicky, fyzikálně, teplotně a mechanicky opotřebován. Toto opotřebení má za následek uvolňování platiny a palladia do složek životního prostředí. V závislosti na této skutečnosti se předpokládá nejvyšší koncentrace platiny a palladia v blízkosti dopravních komunikací, převážně pak ve větších městských aglomeracích nebo v místech s vyšší hustotou dopravy, jako jsou například dálnice.

Primárně dochází k jejich uvolnění do atmosféry odkud jsou následně transportovány na kratší či delší vzdálenosti. Po emisi z autokatalyzátoru jsou dále platina a palladium suchou nebo mokrou atmosférickou depozicí transportovány do okolní půdy, vegetace nebo vodních ekosystémů.

I přes zvyšující se hustotu automobilové dopravy, a tudíž i zvyšující se koncentrací obou kovů ve složkách životního prostředí, jsou v porovnání s jinými kontaminanty stále v nízkých koncentracích. Často nelze takto nízké koncentrace platinových kovů stanovit na přímo, a to ani za použití nejcitlivějších analytických technik s velmi nízkými detekčními limity. Z tohoto důvodu jsou vhodné prekoncentrační techniky, během kterých dojde k zakoncentrování na takovou koncentrační úroveň, aby bylo možné kovy stanovit za pomoci běžnějších analytických metod. Pro prekoncentraci kovů metodou extrakce do tuhé fáze se využívají rozdílné principy sorpce, jako je adsorpce, iontová výměna, chelatace nebo sorpce iontových párů.

V této práci byla provedena optimalizace prekoncentračních metod. V návaznosti na výsledcích byl vybrán sorbent silikagel C18 modifikovaný kationtovým tenzidem Septonex pro prekoncentraci platiny a palladia z půdních vzorků, ze vzorků sedimentů a povrchové vody.

Půdní vzorky byly odebírány ze dvou městských aglomerací lišící se ve velikosti populace a v blízkosti dálnice D1. V blízkosti této dálnice jsou instalovány retenční nádrže pro splachy z vozovky. Tyto nádrže, jiným označením lapoly, jsou vhodným odběrovým místem pro dva typy vzorků, a to sedimentu a odsazené povrchové vody. Tyto vzorky byly použity pro monitoring platiny a palladia v této disertační práci.

2 TEORETICKÁ ČÁST/AKTUÁLNÍ STAV STUDOVANÉ PROBLEMATIKY

2.1 TĚŽBA PLATINY A PALLADIA A JEJICH VYUŽITÍ

Platina a palladium jsou primárně získávány těžbou. Nejvýznamnější naleziště jsou v Jihoafrické republice, Ruské federaci, Zimbabwe, Kanadě a ve Spojených státech amerických [1]. V Tab. 1 je vidět produkce platiny a palladia v roce 2022.

Tab. 1: produkce platiny a palladia ve světě v roce 2022 [1]

Kov	Jihoafrická republika	Ruská federace	Zimbabwe	Kanada	Spojené státy americké
Platina (tuny)	140	20	15	6	3,3
Palladium (tuny)	80	88	12	15	11

Dalším zdrojem platiny a palladia je recyklace již použitých kovů. Důvodem recyklace je kromě limitovaného množství kovů v pedosféře, také neekologické zpracování hornin během extrakce kovu z matrice, kdy je nutné využít směsi kyselin [2], [3]. Recyklace je významný zdroj platiny a palladia. Za posledních deset let se recyklací získalo více jak 100 tun platiny a palladia ročně [4].

Platina je kov, který je ze skupiny platinových kovů nejvyužívanější. Díky jejím výjimečným vlastnostem nachází uplatnění v různých typech průmyslu. Majoritní využití platiny (80 %) je v automobilovém průmyslu. Chemický průmysl, elektroprůmysl a ostatní tvoří minoritní část, přibližně kolem 20 % [5]. Oproti tomu palladium má pestřejší rozložení využití v různých průmyslových oblastech. Hlavní využití je opět v automobilovém průmyslu, kde se využívá přibližně 35 % zdrojů. Následují další průmysly se sestupným řazením využití palladia – šperkařství, ropný průmysl, sklářský průmysl, využití v lékařství a ostatních průmyslových odvětvích [6], [7].

2.1.1 Automobilový průmysl / automobilové katalyzátory

V tomto průmyslu nalézají platina a palladium největší uplatnění jako aktivní část v autokatalyzátorech [9].

Automobilový katalyzátor je zařízení, které je instalováno do výfukového systému vozidla pro snížení toxicity výfukových emisí. Mezi tyto emise patří oxid uhelnatý, uhlovodíky a oxidy dusíku. Za pomoci autokatalyzátorů dochází k transformaci na oxid uhličitý, plynný dusík a vodní páru [10].

Platina a palladium jsou nanášeny na vnitřním povrchu autokatalyzátoru, který slouží jako reakční vrstva. Běžná pracovní teplota autokatalyzátoru se pohybuje v rozmezí mezi 300-600°C. V případě studených startů, kdy není dosaženo dostatečné teploty, je účinnost autokatalyzátoru značně snížena. Tabulka Tab. 2 porovnává emisní limity z automobilu bez použití autokatalyzátoru a s jeho použitím. Je vidět snížení emisí až o 95 % [11].

Tab. 2: Porovnání emisních limitů u automobilu s a bez použití autokatalyzátoru [11]

Parametr	Bez autokatalyzátoru g.km ⁻¹	S autokatalyzátorem g.km ⁻¹
CO	10	0,5
NO _x	2	0,2
C _x H _y	0,9	0,045

2.1.1.1 Emisní normy

Ve světě jsou požívány různé typy norem, sloužící k dodržování snižování emisí z automobilové dopravy. Ve spojených státech jsou používány emisní normy vydané U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), v Indii se jedná o normy Bharat norms (BS) a v Evropské unii se jedná o EURO normy. EURO normy jsou zaváděny i v České republice [12].

Od 1.07.2025 by měla vejít v platnost norma EURO7 pro osobní vozidla. U této normy je zajímavé, že se nebude již vztahovat pouze na vozidla se spalovacími motory, ale některé z jejich předpisů budou muset splňovat také na elektromobily. Jedná se o vznik emisí při otěru pneumatik a brzd. Tato norma zároveň zavádí stejné emisní normy bez rozdílu na typu použitého paliva [13].

2.1.2 Autopark ve světě a České republice

Nárůst automobilů ve světě a v České republice je konstantně narůstající. Nelze přesně zjistit kolik automobilů na světě existuje. Odhady se pohybují kolem 1,4 miliard. Nicméně je možné říci, že počet automobilů od roku 1976, kdy byl celkový počet vozidel ve světě odhadován na 342 milionů vozidel, neustále narůstá [14].

V České republice je počet registrovaných automobilů přes 6,4 milionu. V závislosti na populaci v ČR je poměr populace na automobily je 1,64 lidí na jedno vozidlo [14].

V Evropské unii je průměrný věk vozidel přibližně 12 let. Česká republika se řadí na páté místo od konce v EU. Průměrné stáří osobních vozidel v ČR je více jak 16 let [15].

2.2 TOXIKOLOGIE

Platina a palladium se do životního prostředí uvolňují převážně v kovové formě z autokatalyzátorů. Kovové formy platiny a palladia nejsou pro člověka samy o sobě toxické. Naproti tomu, jejich sloučeniny vykazují určitý stupeň toxicity [16]. Některé studie *in vitro* poukazují na to, že komplexy platiny a palladia jsou schopny inhibovat řadu buněčných funkcí. Může to být následek jejich schopnosti vytvářet silné komplexy s různými anorganickými a organickými ligandy [17]. Hlavním nežádoucím zdravotním účinkem sloučenin platiny je senzibilizace. Citlivost na sloučeniny platiny se projevuje jako zánět spojivek, rýma nebo astma. Alergické příznaky se zdají být omezeny na komplexy obsahující halogenové ligandy [18].

Byla dokázána přímá úměra mezi rozpustností sloučenin platiny a jejich toxicitou. Čím nižší rozpustnost, tím je nižší toxicita, a naopak čím vyšší rozpustnost tím větší toxicita [19].

Nejvíce toxické sloučeniny platiny jsou ty, ve kterých se platina nachází v komplexní vazbě. Testování na potkanech prokázalo letální dávku (LD₅₀) těchto sloučenin od 20 do 200 mg.kg⁻¹. Tyto sloučeniny působí na organismus nefroticky a poškozují tubuly ledvin [20].

Při kontaktu s pokožkou může nastat vyrážka a změna zbarvení pokožky. Při respirační expozici může dojít k dušnosti, cyanóze až k astmatu [19].

Některé studie prokázaly negativní účinek palladia na správnou funkci jater. Může také způsobovat hemolýzu krve [16]. Lékařské studie dokumentují negativní příznaky lidí, kteří přišli do kontaktu s palladiem. Mezi tyto příznaky patří změna barvy pokožky, hemolýza nebo horečka [21]. Absorpce palladia pokožkou byla prokázána nejen přes porušenou pokožku, ale také přes celistvou pokožku. Rozdíly mezi oběma stavy byly zanedbatelné [22].

2.3 PLATINA A PALLADIUM V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ

Platina a palladium se ve složkách životního prostředí vyskytují ve velmi nízkých koncentracích. Výjimku tvoří lokality v blízkosti těžby těchto kovů. Nejmenší koncentrace se vyskytují v místech nezasazených těžbou a dalšími antropogenními zdroji [23], [24].

Na Obr. 1 je vidět, jak se platina a palladium transportují mezi jednotlivými složkami životního prostředí. Na Obr. 1 jsou uvedeny hodnoty koncentrací v jednotlivých složkách životního prostředí. Tyto hodnoty byly sepsány z vědeckých studií uvedených v tabulkách a odstavcích, této práce.

2.3.1 Platina a palladium v atmosféře

Atmosféra je primární složkou životního prostředí, do které se uvolňují platinové kovy z autokatalyzátorů. Do dalších složek životního prostředí se dostávají v závislosti na klimatických podmínkách. Jedná se buď o mokrou (srážky) nebo suchou atmosférickou depozici (způsobeno gravitačně sedimentací). Dále jsou Pt a Pd atmosférou unášeny na kratší či delší vzdálenosti. Platinové kovy byly nalezeny také ve středním Grónsku, kam se dostaly právě z dálkového atmosférického přenosu [25]. Zdrojem byla dopravní infrastruktura, ale i další antropogenní zdroje. Další studii dálkového přenosu prováděli v jihozápadním Německu od roku 2008-2010. Tato práce se zaměřovala na studii platiny. Odebírané vzorky byly shromažďovány z městské aglomerace Frankfurtu nad Mohanem a na venkově v blízkosti obce Deuselbach. Práce dokazovala, že nejvyšší koncentrace byly ve velké městské aglomeraci Frankfurt a se zvyšující se vzdáleností od města docházelo ke snižování koncentrace. Průměrná hodnota ve městě byla $12,4 \text{ pg.m}^{-3}$. Na venkově se oproti tomu pohybovala v průměru 2 pg.m^{-3} . Kromě snižující se koncentrace se snižovaly i velikosti částic. Na venkově byly částice 10krát menší než ve městě [26].

Tab. 3: Studie zaměřené na sledování koncentrace platiny a palladia v atmosféře

Kontinent	Lokalita	Platina	Palladium	Zdroj
Evropa	Zagreb, Chorvatsko	0,488 – 1,071 pg.m^{-3}	3,856 – 5,600 pg.m^{-3}	[27]
	Istanbul, Turecko	-	< 1 - 640 ng.m^{-3}	[28]
	Deuselbach, Německo	< 1 – 37,5 ng.m^{-3}	< 1 – 13,3 ng.m^{-3}	[26]
	Frankfurt, Německo	1,2 – 80,9 ng.m^{-3}	1,2 – 683 ng.m^{-3}	[26]
	Mnichov Německo	7,3 - 62 pg.m^{-3}	-	[29]
	Budapešť, Maďarsko	-	260 - 860 ng.m^{-3}	[28]
	Brno ČR	2,3 – 51,5 $\mu\text{g.l}^{-1}$	-	[30]
Asie	Peking, Čína	7 - 304 ng.m^{-3}	< 1 – 24,75 ng.m^{-3}	[24]
	Kalkata, Indie	0,86 - 12,3 ng.m^{-3}	2,7 - 111 ng.m^{-3}	[31]

2.3.2 Platina a palladium v půdě

V městských aglomeracích a v blízkosti frekventovaných dopravních uzlů se v důsledku antropogenních činností fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy výrazně liší od přirozené nekontaminované půdy. Tyto antropogenní půdy se skládají ze směsí přírodních produktů, které se do půdy dostávají zvětráváním, a antropogenních materiálů většinou z neidentifikovatelných [23]. Tyto zdroje mohou být z průmyslu, stavební činnosti, domovního odpadu atd. Půdní horizonty v městských oblastech byly smíchány, zničeny nebo odstraněny, půda je vertikálně a prostorově heterogenní, je zhutněna nebo uzavřena pod městskou infrastrukturou, může být obohacena nebo kontaminována různými anorganickými a organickými látkami a cirkulace vody, vzduch a živin jsou velmi narušeny. Pro městskou půdu jsou také typické neutrální až mírně nebo silně zásadité hodnoty pH půdy, bez ohledu na geologické podmínky [32].

Tab. 4: Studie zaměřené na sledování koncentrace platiny a palladia v půdní matrici

Kontinent	Lokalita	Platina	Palladium	Zdroj
Evropa	Vídeň, Rakousko	38 – 146 ng.g ⁻¹	13 – 42 ng.g ⁻¹	[33]
	Campania, Itálie	< 1 – 278,1 ng.g ⁻¹	< 1 – 431,9 ng.g ⁻¹	[34]
	Neapol, Itálie	1,6 – 52 ng.g ⁻¹	8 – 110 ng.g ⁻¹	[35]
	Palermo, Itálie	0,6 – 2240 ng.g ⁻¹	-	[36]
	Braunschweig, Německo	< 1 – 50 ng.g ⁻¹	< 1 – 43 ng.g ⁻¹	[37]
	Ulm, Německo	-	< 2 – 193 ng.g ⁻¹	[38]
	Berlín, Německo	< 1 – 366 ng.g ⁻¹	< 1 – 75,5 ng.g ⁻¹	[39]
	Moskva, Rusko	88,5 ng.g ⁻¹	34,2 ng.g ⁻¹	[40]
	Brno, ČR	< 1 – 12,8 ng.g ⁻¹	-	[41]
Asie	Hong Kong, Čína	15 – 160 ng.g ⁻¹	6 – 107 ng.g ⁻¹	[42]
	Šanghaj, Čína	< 1 – 100 ng.g ⁻¹	< 1 – 101 ng.g ⁻¹	[42]
	Kaohsiung, Taiwan	22,9 ng.g ⁻¹	148 ng.g ⁻¹	[43]
Amerika	Sao Paulo, Brazílie	< 1 – 18 ng.g ⁻¹	< 1 – 58 ng.g ⁻¹	[44]
	Toronto, Kanada	26 – 69 ng.g ⁻¹	10-121 ng.g ⁻¹	[45]
	Mexico City, Mexiko	3,1 – 332,7 ng.g ⁻¹	2,5 – 101,1 ng.g ⁻¹	[46]
Austrálie	Perth, Austrálie	13 – 440 ng.g ⁻¹	30 – 420 ng.g ⁻¹	[47]

2.3.3 Platina a palladium v akvatickém prostředí

Vodní ekosystémy jsou antropogenně kontaminovány platinovými kovy převážně ze dvou zdrojů. Primárním antropogenním zdrojem jsou splachy silničního prachu s obsahem Pt a Pd, druhým, poměrově menším a převážně bodovým zdrojem, je odpadní voda [48].

Součástí vodního ekosystému jsou také sedimenty. Jedná se o gravitačně usazený heterogenní systém na dně vodního ekosystému. Sediment je tvořenou řadou organických či anorganických látek přírodního i antropogenního původu [49]

Přestože je koncentrace platinových kovů ve vodních ekosystémech v porovnání s jinými složkami životního prostředí nižší, lze očekávat, že mohou ovlivňovat vodní faunu díky jejich schopnosti bioakumulace [50].

Tab. 5: Studie zaměřené na sledování koncentrace platiny a palladia ve vodním ekosystému

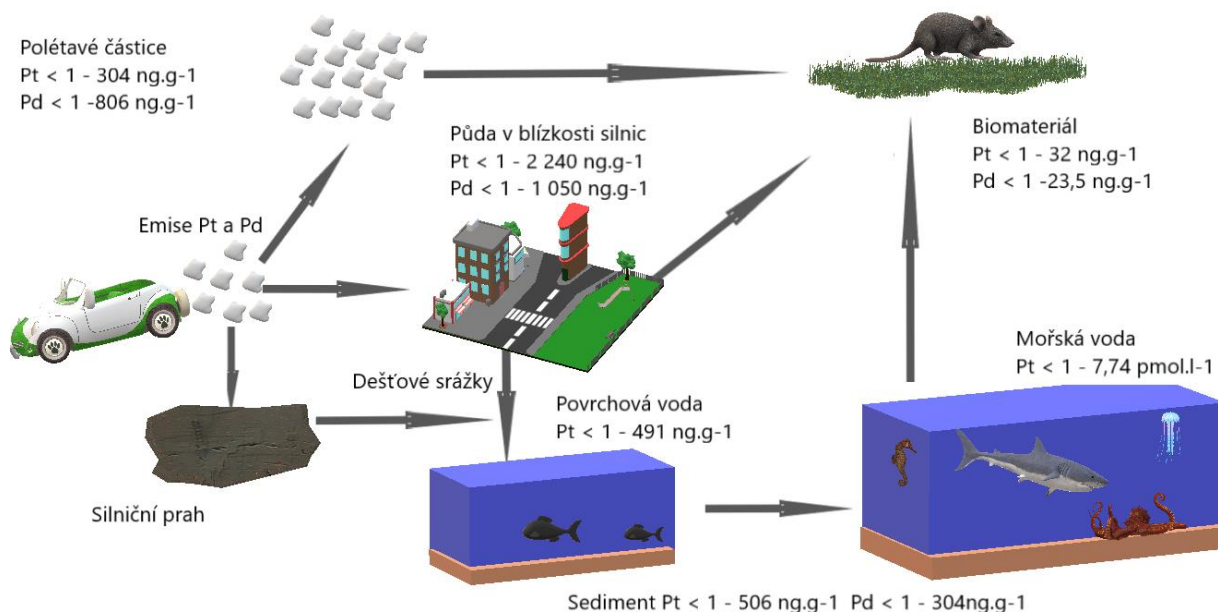
Kontinent	Lokalita	Platina	Palladium	Zdroj
Evropa	Středozevní moře sediment	6 – 15 ng.m ⁻³	13 – 42 ng.g ⁻¹	[33]
	Prodelta, Portugalsko sediment	9,5 ng.m ⁻³	–	[51]
	Sheffield, Velká Británie sediment	2 – 64 ng.m ⁻³	2 – 57 ng.m ⁻³	[52]
	Atlantský oceán voda	< 0,32 pmol.l ⁻¹	–	[53]
Afrika	Bushveld, Jihoafrická republika sediment	< 1 – 491 ng.m ⁻³	–	[52]
Asie	Tokio, Japonsko sediment	0,07 – 6,51 pmol.l ⁻¹	–	[54]
	Tokio, Japonsko říční voda	0,07 – 6,51 pmol.l ⁻¹	–	
Austrálie	Perth Austrálie sediment	9 – 103,8 ng.m ⁻³	5,4 – 61,2 ng.m ⁻³	[47]
Amerika	Havaj sediment	4,44 – 506 ng.m ⁻³	2,08 – 105 ng.m ⁻³	[55]
	Tichý oceán sediment	0,2 – 0,4 pmol.l ⁻¹	–	[56]

2.3.4 Platina a palladium v e fauně a flóře

Další složku životního prostředí tvoří biota. Vegetace rostoucí v okolí dopravních uzlů přichází jako první do kontaktu s platinou a palladiem uvolňující se z autokatalyzátorů. Tato vegetace je vhodná pro sledování koncentrace platiny a palladia. Z vegetace se přes potravní řetězec dostávají až do vrcholných predátorů.

Tab. 6: Studie zaměřené na sledování koncentrace platiny a palladia v biomatrici

Kontinent	Lokalita	Platina	Palladium	Zdroj
Evropa	Švédsko	Sladkovodní korýš < 1 – 38 ng.g ⁻¹	–	[57]
		Krahulčí vejce 0,54 ng.g ⁻¹	Krahulčí vejce 0,48 ng.g ⁻¹	[58]
		Část těla sokola stěhovavého 0,2 – 2,69 ng.g ⁻¹	Část těla sokola stěhovavého < 0,1 – 1,23 ng.g ⁻¹	[58]
		Trus sokola stěhovavého 0,1 ng.g ⁻¹	-	[58]
	Italie	Lidská moč 0,24 – 8,13 ng.l ⁻¹	Lidská moč 0,71 – 17,2 ng.l ⁻¹	[59]
	ČR	Tráva < 1 – 11,6 ng.g ⁻¹	-	[41]
	ČR	-	Lišejníky 5 – 23,58 ng.g ⁻¹	[60]
	Rakousko	Mech < 1 – 32 ng.g ⁻¹	Mech < 1 – 25 ng.g ⁻¹	[61]



Obr. 1: Osud platiny a palladia v životním prostředí [62]

3 PREKONCENTRAČNÍ METODY

Pro stanovení velmi nízkých obsahů kovů a jejich sloučenin v environmentálních a antropogenních vzorcích je často vyžadován prekoncentrační postup. I při vysoké citlivosti a selektivitě moderních instrumentálních analytických technik, jako je ETAAS, ICP-AES nebo ICP-MS, je vzhledem k velmi rozmanitému složení vzorků nutná předběžná matricová separace a zakoncentrování analytu.

Pro separaci analytu slouží různé typy extrakcí, volené dle typu matrice vzorku. Rozdělení extrakcí podle fází, ve kterých dochází k přestupu analytu viz Tab. 7.

Tab. 7: Rozdělení extrakcí podle fází [63]

Typ extrakce	Popis
Z pevné fáze do kapalné fáze	Hledaná složka je extrahovaná z pevného materiálu do kapalné fáze – rozpouštědla. Typ rozpouštědla musí být vybrán tak, aby se v něm pevná složka dobře rozpouštěla.
Z kapalné fáze do pevné	Tato extrakce je zvaná jako solid phase extraction – extrakce na pevnou fázi. Dochází k selektivnímu zachytu sledovaného analytu z kapalné fáze na pevnou fázi.
Z kapalné fáze do kapalné	Pro tuto extrakci jsou zapotřebí dvě společně nemísitelné kapaliny. Základem extrakce je rozdělovací rovnováha v systému dvou nemísitelných kapalin.
Z plynné (kapalné) fáze do pevné	Tato extrakce se nazývá solid phase microextraction – SPME. K adsorpci analytu (kapalného nebo plynného) zde dochází na vlákno pevného sorbentu.

Ze všech prekoncentračních a separačních metod má sorpce na pevné sorbenty několik zásadních výhod:

- možné vysoké prekoncentrační faktory,
- jednoduchost separace fází,
- vhodnost pro automatizaci.

Bylo vyvinuto velké množství metod separace kovů: sorpce na hydroxidy kovů, chemicky modifikovaný silikagel a také sorpce na celou řadu polymerních sorbentů [64].

Mezi sorpční metody extrakce do tuhé fáze se řadí:

- adsorpce,
- chelatace,
- iontová výměna,
- vazba pomocí iontového páru.

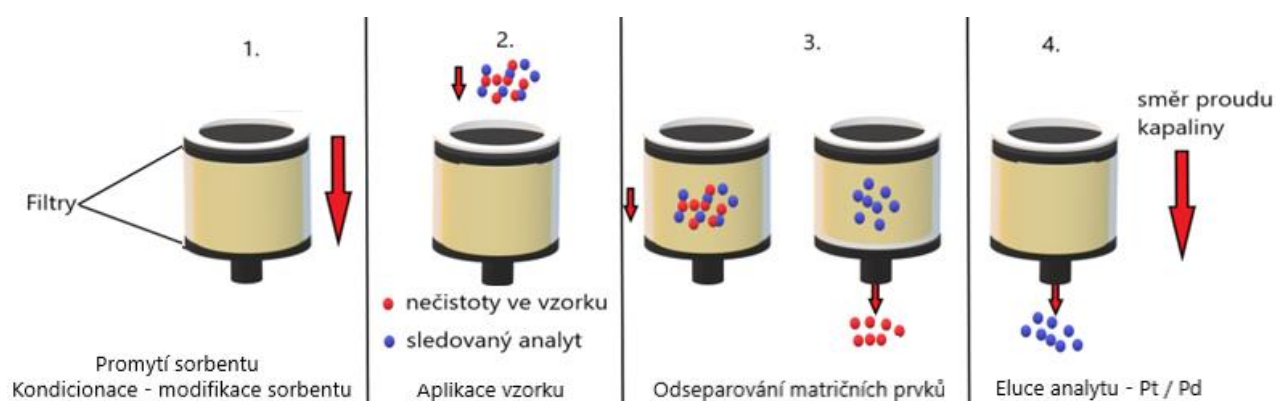
3.1 EXTRAKCE TUHOU FÁZÍ (SPE)

Na Obr. 2 Obr. 2: znázornění separace vzorku pomocí extrakce na pevnou fázi je prezentována separace vzorku pomocí extrakce na pevnou fázi. Prvním krokem je příprava sorbentu vhodným činidlem. Při tomto kroku dochází k navlhčení sorbentu a odstranění případných nečistot nebo vzduchových bublin ze sorbentu. Jako roztoky se používají kyseliny, polární organická rozpouštědla, tlumivé roztoky s danou hodnotou pH nebo destilovaná voda.

Poté probíhá kondicionace sorbentu, kdy jsou sorbenty modifikovány vhodným činidlem, které následně zajistí selektivní sorpci analytu.

Dalším krokem je nanášení vzorku a samotná sorpce analytu na sorbent. Vzorek prochází sorbentem gravitačně, pod tlakem (nasáváním) nebo přetlakem (protlačováním). Vzorek nesmí procházet přes sorbent příliš rychle, aby byla dostatečně dlouhá doba pro kvantitativní zachycení a sorpci analytu na sorbent. Na druhou stranu by neměla být doba průchodu přes sorbent příliš pomalá, aby se zbytečně neprodlužovala doba sorpce a celé analýzy. Během tohoto kroku dochází k odstranění matričních prvků.

Posledním krokem je samotná eluce. V tomto kroku se vybere vhodné eluční činidlo s dostatečně velkou eluční silou, aby došlo při optimální rychlosti průtoku ke kvantitativnímu vymytí analytu ze sorbentu [65].



Obr. 2: znázornění separace vzorku pomocí extrakce na pevnou fázi

3.1.1 Vazba iontového páru/asociátu

Vazba za pomoci iontového páru je významná při použití iontově párového činidla a nepolárního sorbentu. Nepolární část a nepolární sorbent spolu vzájemně interagují. Polární část vytvoří s ionty obsaženými ve vzorku iontový pár [66].

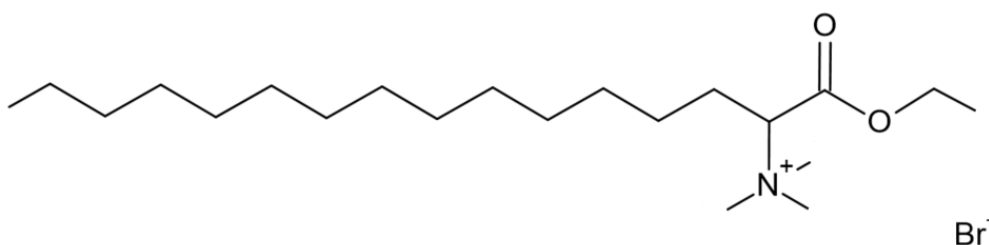
Řada kovových kationtů tvoří s anorganickým aniontem, jako je chlorid, bromid, jodid, fluorid, dusičnan, sulfát nebo thiokyanidem, iontově asociační komplex. Mnoho z nich se potom může extrahovat jako iontové páry do vhodného organického rozpouštědla. Nebo mohou být naopak analyzovány komplexní anionty kovů, které asociují s kationtovými tenzidy za tvorby asociátů sorbujících se na nepolární modifikovaný silikagel C18 [67].

3.1.1.1 Tenzidy

Jedná se o látky, které jsou široce používány například v chemickém nebo farmaceutickém průmyslu. Část hydrofobního alkylového řetězce tenzidů je umístěna v micelárním jádru a náboj hlavní skupiny tenzidů je situován na povrchu v kontaktu s roztokem. Agregační povaha tenzidů má důležitou roli v několika oblastech výzkumu. Interakce odpovědné za tvorbu micel jsou van der Waalsovy síly, hydrofobní a elektrostatické interakce. Tenzidy jsou dávkovány po promytí sorbentu a modifikují daný sorbent. Dochází ke snížení povrchového napětí a pomáhají zakonzentrovat chlorokomplexy platiny a palladia z analyzovaných vzorků. Mohou se rozdělit do tří skupin. Kationtové, aniontové nebo neiontové [68].

Kationtové tenzidy

Kationtové tenzidy mají antiseptický a antimikrobiální účinek. Molekuly tenzidů inkorporují do membrán a narušují jejich integritu. Mezi kationtové tenzidy patří například Septonex, který je zobrazen na Obr. 3



Obr. 3: Septonex - 1-ethoxykarbonylpentadecyltrimethylamonium bromid ($C_{21}H_{44}NO_2Br$)

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 OPTIMALIZACE METODY STANOVENÍ A SOPRČNÍCH PROCESŮ

Optimalizace metody stanovení byla provedena na HR-CS-ET-AAS, vysokorozlišovací atomové absorpční spektrometrii s kontinuálním zdrojem záření. V rámci optimalizace metody stanovení byly optimalizovány a studovány následující parametry: vlnová délka, teplotní program, vliv acidity a vliv interferentů. Pro optimalizaci metody sorpce byly studovány tyto parametry: interferenční vliv matrice, účinnost sorpce na modifikovaných sorbentech a aniontoměničových pryskyřicích, vliv koncentrace objemu elučního činidla. Vzhledem k charakteristice kationtoměničů nebyla u těchto materiálů měřena účinnost sorpce ani eluce, ale účinnost průchodu platiny a palladia přes sorbent. Výsledky těchto optimalizací jsou popsány v disertační práci této teze.

4.2 STUDIUM VLIVU RUŠIVÝCH VLIVŮ

Jak bylo popsáno již v kapitole Platina a palladium v životním prostředí, jsou reálné vzorky komplikovanou maticí, která většinou obsahuje interferenty. Z tohoto důvodu je nutné zajistit odseparování interferujících prvků z matrice. Pro disertační práci bylo vybráno celkově šest modifikovaných sorbentů a šest iontoměničů. Pro studium interferenčního vlivu matrice bylo vytipováno několik prvků, u kterých se předpokládá jejich přítomnost v reálných vzorcích, které byly analyzovány v této práci. Jedná se o železo, měď, zinek, olovo, vápník, hořčík, sodík a draslík. Pro stanovení byla vybrána koncentrace platiny a palladia $100 \mu\text{g.l}^{-1}$. Vlnové délky pro platinu (265,945 nm) a palladium (244,791 nm) byly vybrána podle optimalizace popsané v disertační práci. Vzhledem k charakteru reálných vzorků, kde jsou koncentrace platiny a palladia ve velmi nízkých koncentracích oproti zmíněným interferentům, byla koncentrace interferujících prvků zvolena stokrát vyšší na koncentraci 10 mg.l^{-1} .

Nejdříve byly připraveny modelové vzorky obsahující zvlášť platinu a palladium o koncentraci $100 \mu\text{g.l}^{-1}$. Do těchto modelových vzorků byly jednotlivě přidány zmíněné interferující prvky. Takto připravené vzorky byly proměřeny přímo na ET-AAS za optimalizovaných podmínek bez předchozího zakoncentrování.

Stejným způsobem byly připraveny i roztoky pro studium vlivu interferujících iontů na separační a prekoncentrační kroky za použití SPE.

4.2.1 Vliv interferujících iontů v prekoncentračním kroku

Pro posouzení vlivu účinnosti sorpce na vybraných pevných sorbentech, byly vybrány ionty, které jsou běžně přítomny v maticích životního prostředí – půdě, vodě i vegetaci. Vybraná koncentrace byla 100násobně vyšší než koncentrace platiny a palladia. Jednalo se o ionty železa, mědi, olova, zinku, a směs sodných, draselných, vápenatých a hořečnatých iontů.

4.2.2 Modifikované sorbenty

Pro modifikované sorbenty byla vybrána prekoncentrační metoda za podmínek uvedených níže v Tab. 8. Tato metoda byla ověřena na modelových roztocích, které byly připraveny pro platinu a palladium zvlášť. Pro stanovení byla vybrána koncentrace platiny a palladia $100 \mu\text{g.l}^{-1}$. Postup sorpce byl optimalizován podle práce týmu Vlašánková a kolektiv [69].

Hlavní skupinu studovaných sorbentů tvoří nepolární sorbenty na bázi silikagelu. Tyto sorbenty mají několik výhod, mezi které patří mechanická, chemická a tepelná stabilita za

různých podmínek. Po jejich modifikaci vhodným činidlem s významnou afinitou vůči analytu se vyznačují vysokou selektivitou [41].

Další skupinou jsou sorbenty na bázi kopolymeru styrenu a divinylbenzenu. Tyto sorbenty mají oproti sorbentům na bázi silikagelu výhodu v použití v celé škále pH [70].

Tab. 8: Prekoncentrační postup na modifikovaných sorbentech pro platinu a palladium

Krok	Podmínky pro platinu i palladium
Kondicionace	10 ml ethylalkohol
	10 ml destilovaná voda
	10 ml 0,005 mol.l ⁻¹ Septonex
Nanesení vzorku	50 ml vzorku
Promytí sorbentu	10 ml destilovaná voda
Eluce	10 ml acetonitrilu

4.2.3 Iontoměničové sorbenty

Pro studium iontové výměny bylo vtypováno šest iontoměničů. Jedná se o tři kationtoměniče a tři aniontoměniče. Pro prekoncentrační postup na kationtoměničích byl použit a modifikován postup, který vycházel z práce [71]. Pro optimalizaci metody sorpce na aniontoměničích se vycházelo z práce [72].

U aniontových pryskyřic byla pro analýzu zachytávána eluční část. Je to z toho důvodu, že platina a palladium se zachytávají na pryskyřici a k jejich eluci dojde právě za pomoci elučního činidla. Pro platinu a palladium nemá sorpce na kationtoměničích charakter prekoncentračního procesu. Funkcí kationtoměničových sorbentů je sorpce interferujících kationtů kovů [73]. Vzhledem k tomu, že se platina a palladium na pryskyřicích nesorbují, je nezbytné zachytávat analyt ihned po průchodu přes sorbent.

Tab. 9: Sorpční postup na iontoměničích.

Krok	Kationtoměnič	Aniontoměnič
Čištění I.	80 ml 4 mol.l ⁻¹ HCl	80 ml 4 mol.l ⁻¹ HCl
Kondicionace	20 ml 1 mol.l ⁻¹ HCl	60 ml 1 mol.l ⁻¹ HCl
Nanesení vzorku	150 ml vzorku	50 ml vzorku
Eluce	-	10 ml 0,3 mol.l ⁻¹ thiomočoviny v 0,1 mol.l ⁻¹ HCl pro Pt 10 ml 0,3 mol.l ⁻¹ thiomočoviny v 0,1 mol.l ⁻¹ HCl pro Pd
Čištění II.	10 ml 6 mol.l ⁻¹ HCl	20 ml 4 mol.l ⁻¹ HCl

4.3 REÁLNÉ VZORKY

Pro studium koncentrace platiny a palladia v životním prostředí byly vybrány tři druhy vzorků. Jednalo se o půdní matrici, sediment a odsazenou vodu. Půdní vzorky byly odebírány v blízkosti frekventovaných dopravních uzlů. Jednalo se o rušné městské ulice, křižovatky nebo dálnice. Vybraná města byla Jihlava (ČR) a Vídeň (Rakousko).

Vzorky sedimentů a odsazené vody byly odebírány v blízkosti dálnice D1 z nádrží, které slouží jako usazovací nádrže pro splach z dopravních komunikací.

4.3.1 Usazovací nádrže v blízkosti dálnice D1 („lapoly“)

Usazovací nádrže slouží ke sběru a záchytu smyvu (dešťové vody) z daného odvodněného dálničního úseku. Zároveň slouží k záchytu nebezpečných látek, především pak provozních kapalin, které se dostanou na vozovku a následně do nádrží po haváriích. V případě havárie, je zamezen odtok z dešťových usazovacích nádrží dále do dalších složek životního prostředí. Pokud se jedná o klasické smyvy z dálnice, tak odsedimentovaná voda odtéká dále do přílehlého vodního recipientu, potok, řeka apod. Vybraný úsek pro odběr vzorků byl zvolen v blízkosti vodní nádrže Švihov. Zobrazení jednotlivých míst je na následujícím obrázku.



Obr. 4: Usazovací nádrže v blízkosti dálnice D1 („lapoly“)

Vybraná odběrová místa se nachází v blízkosti vodní nádrže Švihov, která slouží jako zdroj pitné vody pro Prahu a část středočeského kraje.

Z odběrových míst byly odebrány v blízkosti nádrží vzorky půdy bez vegetace. Z nádrží pak sediment ze dna nádrže a vodná složka. Odběrová místa byla vybrána od 60. kilometru po 80. kilometr dálnice D1. Průměrné množství motorových vozidel dle Ředitelství silnic a dálnic je přibližně 37 000 vozidel za den [74].

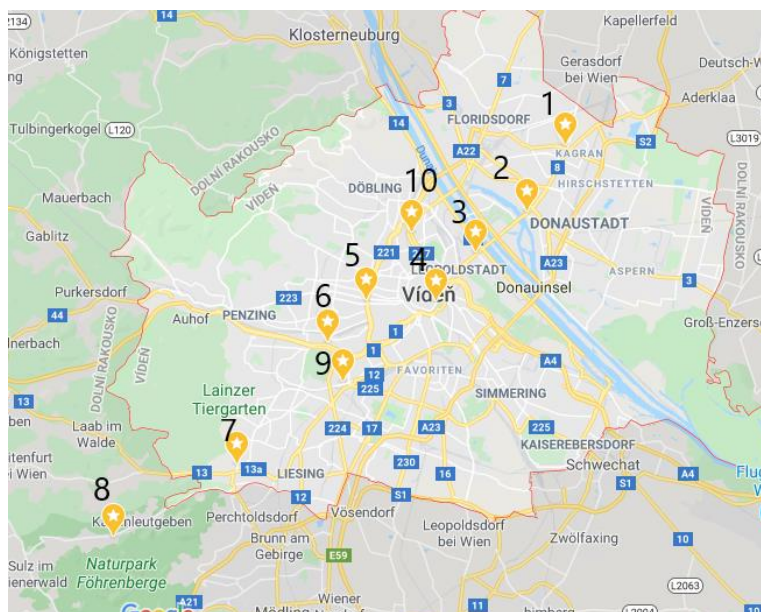
Sedimentační nádrž je vhodným zařízením pro monitoring, a to z toho důvodu, že obsahuje dvě matrice pro sledování koncentrace platiny a palladia. Jedná se o gravitačně usazený sediment a odsazenou vodu opouštějící nádrž. Sedimentace v těchto nádržích je prostá, to znamená, že nejsou dávkovány žádné srážecí chemikálie, tzv. koagulant nebo flokulant. Nádrže nejsou intenzifikovány lamelovou vestavbou. Nádrž se skládá z nátokové části, kde dochází k uklidnění proudu vstupní vody. Uklidněná voda postupuje dále do sedimentační části odkud přepadem odtéká odsazená voda.

Gravitačně usazený kal je akumulován na dně nádrže. Vzhledem k tomu, že se nejedná o velké množství kalu, tak není zapotřebí kontinuální odtah kalu. Kal je odsáván časově. Standardně se odsává na jaře a na podzim. Během odsávání kalu dojde k vypuštění a odstavení nádrže. Kal je odsáván za pomoci kalových čerpadel do sběrných vozů.

4.3.2 Odběrová místa ve Vídni

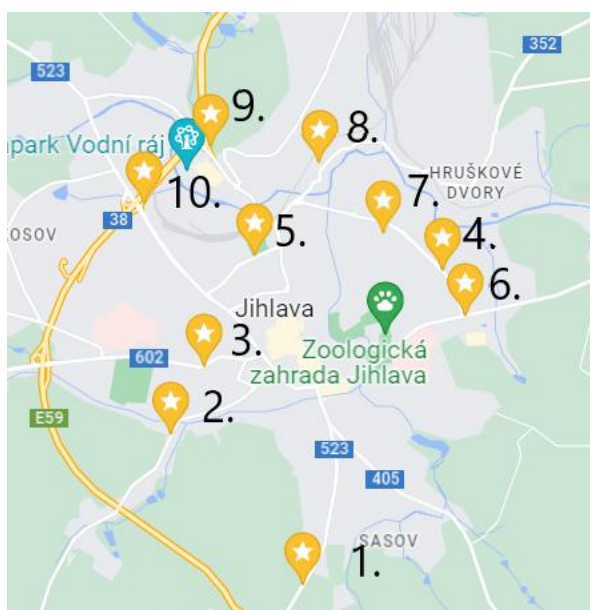
Odběrová místa ve Vídni byla vybrána tak, aby reprezentovala dopravní situaci celého města Vídně. Odběry byly provedeny na rušných dopravních křižovatkách, v klidné zástavbě i mimo Vídeň. Přesněji v blízkosti přírodního parku s názvem Föhrenberge. Odběrová místa jsou znázorněná na následující mapě. Z odběrových míst byly odebrány vzorky půdy bez vegetace.

Hlavní město Rakouska má počet obyvatel cca 2 miliony. Jedná se o největší aglomeraci v Rakousku. Město je dopravním uzlem pro Dolní Rakousy. V celém Rakousku je okolo 5 miliónu zaregistrovaných motorových vozidel. Ve Vídni pak přes 700 000 osobních automobilů.



4.3.3 Odběrová místa Jihlava

Jedná se o malé krajské město s počtem obyvatel přibližně 53 000. Ve městě je rozvinutá dopravní infrastruktura. Pro svou polohu ve středu dálnice spojující dvě největší města České republiky (Praha, Brno) je Jihlava dopravně frekventovaným městem. Počet osobních automobilů v Jihlavě je 51 000.

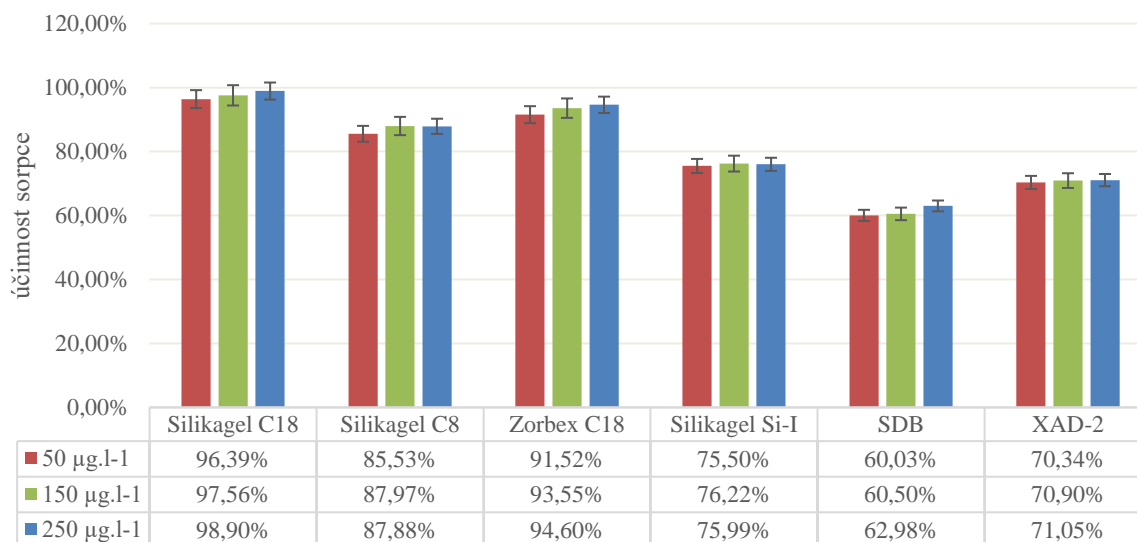


5 VÝSLEDKY A DISKUZE

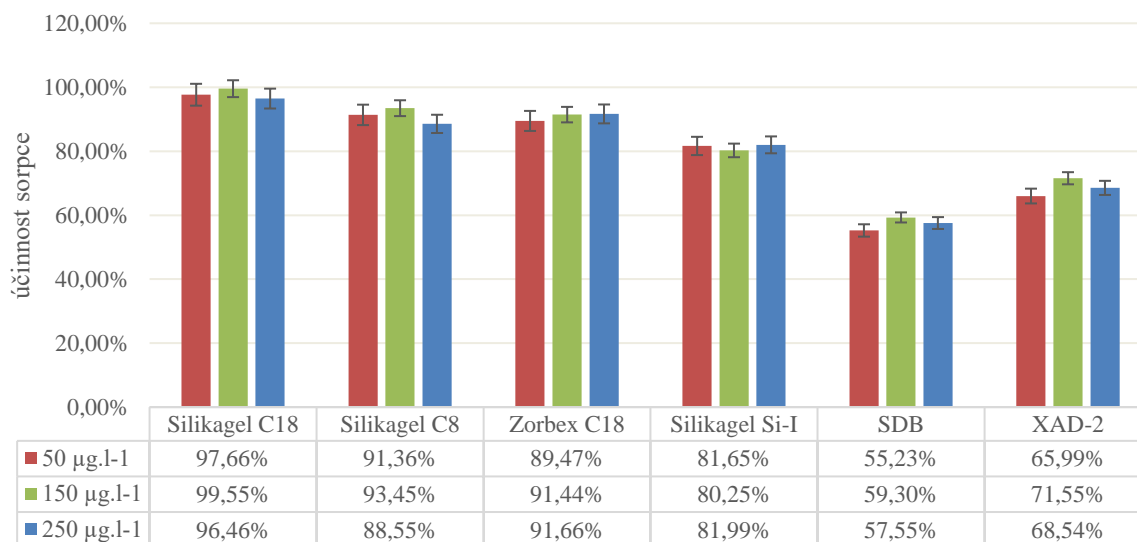
5.1 SORPCE NA MODIFIKOVANÉ SORBENTY

V této práci bylo studováno šest modifikovaných sorbentů, které byly využity pro prekoncentraci a stanovení platiny a palladia v reálných vzorcích z životního prostředí. Sorbenty jsou popsány v kapitole Modifikované sorbenty.

Pro ověření účinnosti sorpce na daném sorbentu byla připravena testovací sada tří koncentrací platiny a palladia, 50, 150 a 250 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Pro každý vzorek byly provedeny tři sorpce. Každý vzorek byl změřen třikrát. Výsledné účinnosti sorpcí platiny a palladia na vybraných sorbentech jsou znázorněny na Obr. 5 a Obr. 6.



Obr. 5: Účinnost sorpce platiny na vybraných modifikovaných sorbentech



Obr. 6: Účinnost sorpce palladia na vybraných modifikovaných sorbentech

Z Obr. 5 a Obr. 6 je patré, že nejlepších výsledků se dosahovalo s modifikovaným sorbentem Silikagel C18 od společnosti Agilent Technology. Účinnost sorpce u platiny vycházela v rozmezí 96,39 % až 98,90 % v závislosti na koncentraci platiny v připraveném testovacím laboratorním vzorku. U palladia byla účinnost obdobná a to v rozmezí od 96,46 % do 99,55 % v závislosti na koncentraci palladia v připraveném laboratorním vzorku.

Nejnižší účinnosti, a to jak u platiny tak u palladia, bylo dosahováno se sorbentem SDB od společnosti Strata. Účinnost nedosahovala ani 65 %. Sorbenty na bázi silikagelu vykazovaly lepší účinnost sorpce. Jednalo se o sorbenty Siligel C8 a Zorbax C18.

Pro vyhodnocení vhodného sorbentu, který bude použit pro stanovení platiny a palladia v reálných vzorcích, byly přijaty tři hlavní parametry. První parametr je požadované množství elučního činidla pro vymytí platiny a palladia. Druhý parametr byl vliv interferentů na účinnost sorpce. Třetí parametr byla samotná účinnost sorpce, neboli účinnost záchytu a následné eluce analytu ze sorbentu.

Před ověřením účinnosti sorpce byla provedena optimalizace objemu elučního činidla. Tato optimalizace je uvedena v kapitolách níže. Pro eluční krok byl zvolen, dle studie [69] acetonitril. Pro celkovou eluci analytu ze sorbentu na bázi silikagelu bylo zapotřebí 8 až 10ml elučního činidla. U dalších modifikovaných sorbentů bylo množství potřebného elučního činidla vyšší než 12 ml.

Při studiu vlivu interferujících prvků na sorpci platiny na vybraných modifikovaných sorbentech byl nejrušivější efekt v přítomnosti Fe. Rozsah interference na schopnost sorpce byl v jeho přítomnosti od 91,55 % u sorbentu silikagel C8 – výrobce Agilent T – do 115,81 % u sorbentu Zorbax C18. Zbylé vyhodnocení je uvedeno v Tab. 10 a Tab. 11. Zeleně zvýrazněné sorbenty v uvedených tabulkách byly zvoleny jako neúčinnější.

Největšímu rozsahu interferenčních vlivů docházelo pro studium sorpce platiny na modifikovaných sorbentech Silikagelu C8 a Zorbaxu C18. U studium interferenčních vlivů při sorpci palladia docházelo k největšímu obsahu u modifikovaného sorbentu Zorbax C18.

Z výše uvedených výsledků vychází nejlépe Silikagel C18 od společnosti Agilent. Proto byl tento sorbent vybrán pro následující studium koncentrace platiny a palladia ve složkách životního prostředí.

Tab. 10: Vliv interferentů na účinnost sorpce Pt (%)

Sorbent	Interferenty				
	Fe	Cu	Zn	Pb	K, Na, Ca, Mg
Silikagel C18	108,9	101,2	96,7	104,7	102,8
Silikagel C8	91,6	100,3	104,4	97,45	111,7
Zorbax C18	115,2	95,5	97,5	105,1	100,3
Silikagel Si-I	97,7	104,8	99,5	99,9	113,4
SDB	97,4	98,6	102,5	99,4	108,3
XAD-2	102,4	107,5	96,7	102,0	112,7

Tab. 11: Vliv interferentů na účinnost sorpce Pd (%)

Sorbent	Interferenty				
	Fe	Cu	Zn	Pb	K, Na, Ca, Mg
Silikagel C18	103,7	102,1	96,7	104,7	102,8
Silikagel C8	105,0	94,5	110,2	94,5	102,9
Zorbax C18	100,5	118,6	93,5	110,6	106,4
Silikagel Si-I	98,5	100,5	103,5	106,2	105,5
SDB	94,9	105,8	98,6	101,2	111,5
XAD-2	113,7	98,1	101,1	108,2	97,4

5.2 SORPCE NA IONTOMĚNIČE

Pro ověření účinnosti sorpce na daném sorbentu byla připravena sada tří koncentrací platiny a palladia 50, 150 a 250 $\mu\text{g.l}^{-1}$.

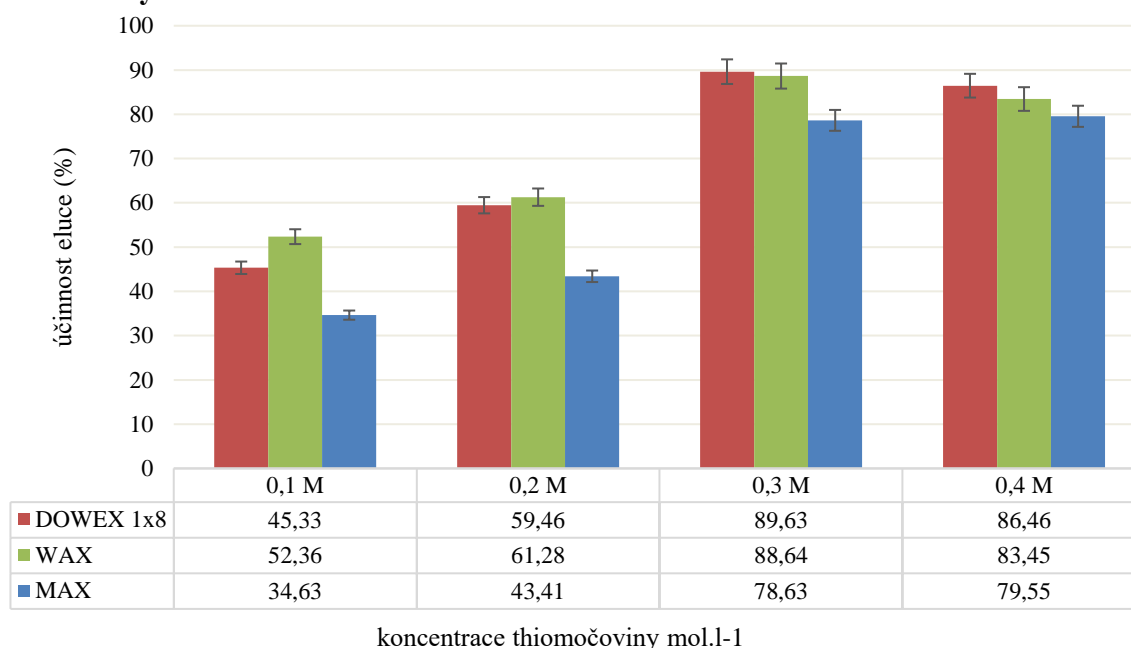
U aniontoměničových sorbentů byla studována jak sorpce, tak i eluční podmínky. Tyto podmínky vycházely z práce [71] jak je uvedeno v Tab. 9. Pro eluci platiny a palladia byla vybrána thiomocovina v $0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ HCl. Na Obr. 7 je zobrazena závislost koncentrace thiomocoviny na účinnosti eluce platiny a palladia z aniontoměničových pryskyřic. Nejúčinnější desorpce platiny se dosahovaly již při koncentraci $0,3 \text{ mol.l}^{-1}$. U vyšší koncentrace $0,4 \text{ mol.l}^{-1}$ byla účinnost mírně snížena. Pro další studium sorpce platiny na aniontoměničových pryskyřicích byla vybrána koncentrace $0,3 \text{ mol.l}^{-1}$ v $0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ HCl.

Pro úplnou eluci palladia z aniontoměničových pryskyřic byla v závislosti na výsledcích z Obr. 8 vybrána vyšší koncentrace thiomocoviny než u platiny, a to $0,4 \text{ mol.l}^{-1}$ v $0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ HCl.

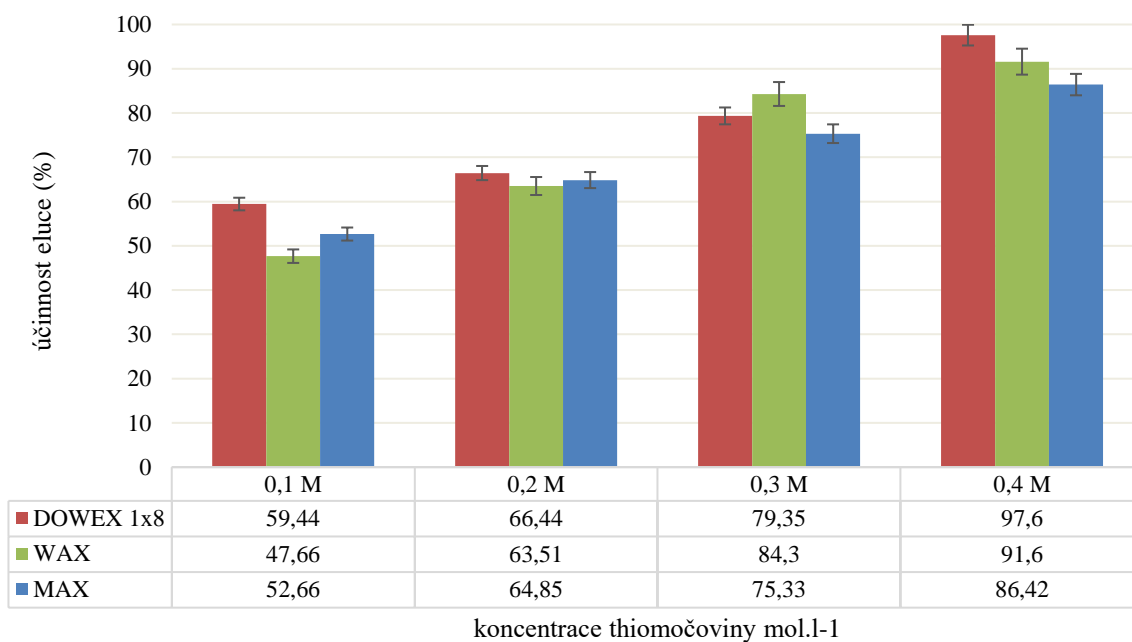
Jak bylo zmíněno výše, tak u kationtoměničových pryskyřic se sledoval analyt, který prošel přes sorbent ihned po nanesení vzorku. Objem naneseného vzorku byl 150 ml. Vzhledem k tomu, že se analyt nesorbotoval na pryskyřici, tak byl eluční krok nahrazen krokem přečištění sorbentu. Tato regenerace sorbentu se prováděla 10 ml 6 mol.l^{-1} HCl.

Jak u kationtových, tak i aniontových pryskyřic byly vždy provedeny tři sorpce pro každou pryskyřici zvlášť [71].

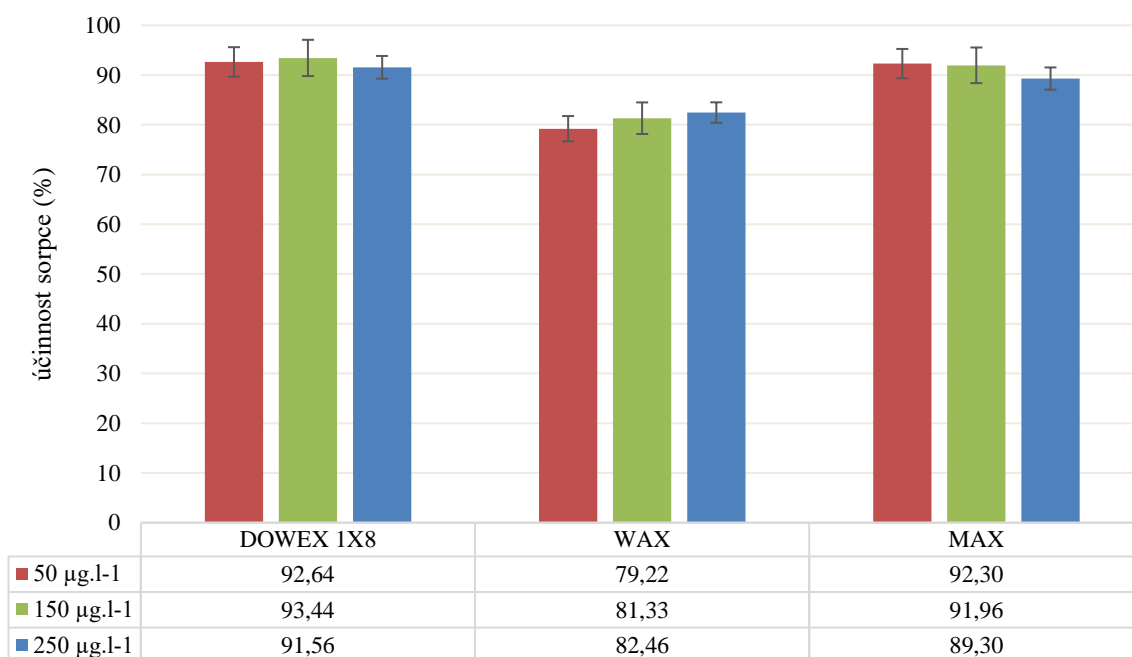
5.2.1 Výběr koncentrace elučního roztoku



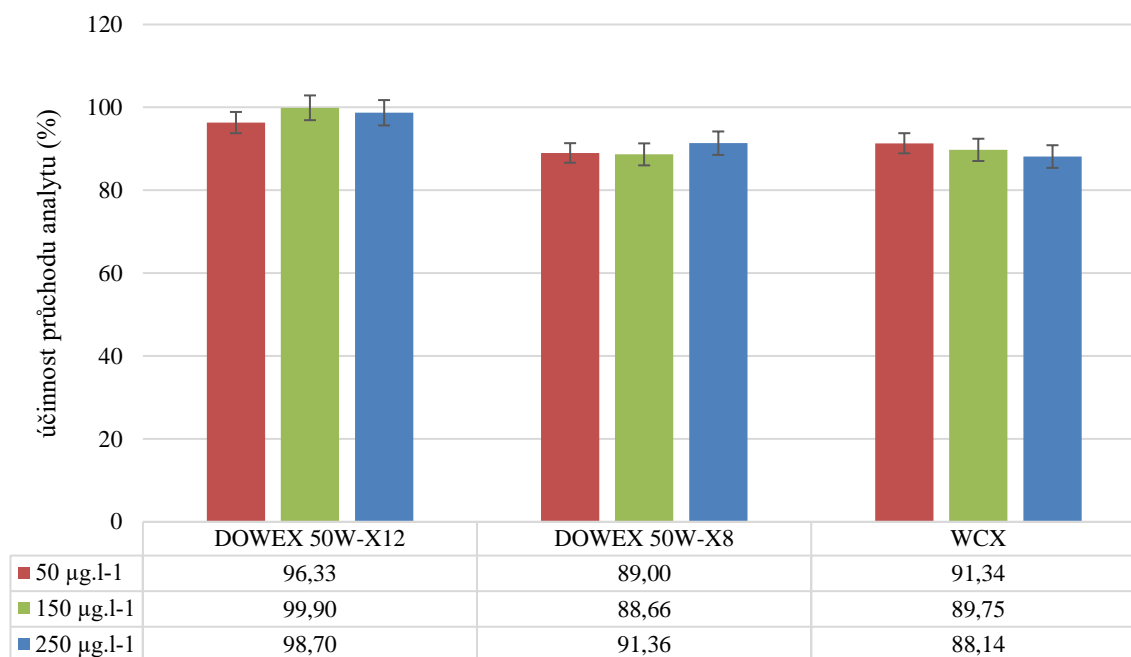
Obr. 7: Vliv koncentrace thiomocoviny na účinnost eluce platiny z aniontoměničových pryskyřic



Obr. 8: Vliv koncentrace thiomocoviny na účinnost eluce palladia z aniontoměničových pryskyřic



Obr. 9: Účinnost sorpce platiny na aniontoměničových pryskyřicích



Obr. 10: Hodnocení průchodu platiny na kationtoměničových pryskyřicích

5.3 OPTIMALIZACE SORPČNÍCH PROCESŮ NA ANIONTOVÝCH PRYSKYŘICÍCH

Aniontové pryskyřice vhodným sorbentem pro prekoncentraci platiny a palladia ze vzorků z životního prostředí. Při optimalizaci sorpce na vybraných aniontoměničových pryskyřicích byl studován vliv množství vybraného elučního činidla pro účinnou eluci platiny a palladia ze sorbentů. Potřebná koncentrace thiomocoviny pro eluci platiny je $0,3 \text{ mol.l}^{-1}$ v závislosti na Obr. 7. Pro účinnou eluci ze sorbentů MAX, WAX a DOWEX bylo zapotřebí 10 ml elučního roztoku. Potřebná koncentrace thiomocoviny pro plnou eluci palladia byla $0,4 \text{ mol.l}^{-1}$ v závislosti na Obr. 8. Pro plnou eluci palladia bylo zapotřebí 10 ml elučního roztoku na všech sledovaných aniontoměničových pryskyřicích.

Jako další parametr byl studován vliv vybraných interferujících prvků. Vzhledem k tomu, že se jedná o kationty, které se na aniontoměničových pryskyřicích nesorbují, tak se předpokládala jejich separace po průchodu vzorku přes sorbent. Interferenty byly testovány stejně jako u studia sorpce na vybraných modifikovaných sorbentech. Největší vliv interference byl zaznamenán v přítomnosti olova, a to u všech studovaných aniontoměničových pryskyřic. U pryskyřice WAX se jednalo o zvýšení návratnosti u platiny o 15 % a palladia o 36,4 %, jak je patrné na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Pryskyřice MAX vykazovala zvýšení návratnosti při sorpci platiny v přítomnosti skupiny kovů K, Na, Ca a Mg o 22,44 %, při sorpci palladia byl nejintenzivnější vliv interference zaznamenán v přítomnosti olova a to o 29,5 %. U pryskyřice DOWEX 1-X8 bylo navýšení návratnosti v přítomnosti olova o 30,4 % u platiny a 22,4 % u palladia. Nejnižší vliv interferentů na pryskyřici WAX byl prokázán u přítomnosti skupiny kationtů K, Na, Ca a Mg. Při sorpci platiny v přítomnosti těchto kationtů byla návratnost ovlivněna negativně, a to o 1,4 %. U palladia pak byl trend obrácený, kdy výsledná návratnost byla zvýšena o 2,4 %. Při použití pryskyřice DOWEX 1-X8 byla nejnižší interference zaznamenána v přítomnosti zinku, kdy byl vliv interference zanedbatelný. Výsledky sledovaných parametrů pro vybrané aniontoměničové pryskyřice WAX a DOWEX 1-X8 byly víceméně obdobné.

5.4 ANALÝZA REÁLNÝCH VZORKŮ

5.4.1 Porovnání evropských měst

Tato práce zahrnuje také monitoring emitovaného množství platiny a palladia do složek životního prostředí vlivem automobilové dopravy. První část reálných vzorků porovnává dvě města odlišná v počtu obyvatel a hustoty automobilové dopravy. Pro srovnání sloužila půdní matrice zbavena vegetační složky.

Odběrová místa byla vybírána tak, aby charakterizovala místa s nejvyšší frekvencí automobilové dopravy, kde se očekává nejvyšší expozice. Mezi tyto místa patří ulice v obytných čtvrtích, křižovatky, dálniční nájezdy a rychlostní silnice. Pro monitoring byly vybrány stejné klimatické podmínky, kdy nedocházelo k srážkovým událostem, přibližně 7 dní před odběrem.

Pro monitoring koncentrace platiny a palladia byly vybrány města Jihlava, Česká republika a Vídeň, Rakousko. V obou lokalitách bylo odebráno 10 vzorků půd, ve kterých byla optimalizovanými postupy stanovena platina a palladium. Vídeň má přibližně 700 000 registrovaných vozů, to je 13x více než Jihlava s 51 000 registrovanými vozy. Intenzita dopravy se tak odrazila na koncentraci platiny a palladia. Pokud porovnáme stanovené hodnoty, tak ve Vídni byla nalezena 3,5x vyšší koncentrace platiny a téměř 9x vyšší koncentrace palladia než v Jihlavě.

V Jihlavě byla nalezena nejvyšší koncentrace platiny v odběrovém místě J5 – 38,72 ng.g⁻¹. Jedná se o ulici Fritzova. Tato ulice je jednou z nejvytíženějších ulic v širším centru města, kde dochází k častým dopravním komplikacím. Průměrné množství vozidel projíždějících touto ulicí je přibližně 12 000 za den [74].

Nejvyšší koncentraci palladia bylo možné najít na nájezdu na městský okruh – odběrové místo J9 a to 8,452 ng.g⁻¹, nicméně rozdíl s odběrovým místem J5 nebyl zase tak veliký. Koncentrace platiny v tomto odběrovém místě – 36,01 ng.g⁻¹ – se blížila koncentraci na ulici Fritzová. Odběrové místo je charakteristické tím, že auta zde zvyšují výkon motoru hned ze dvou důvodů. Prvním důvodem je, že se jedná o výjezd z města a druhým je stoupání do kopce. Pro srovnání můžeme porovnat dva nájezdy na městský okruh. První již zmíněný odběrový bod J9 a druhý J10. Obě místa jsou od sebe vzdáleny 700 m vzdušnou čarou. Frekvence dopravy je v obou místech srovnatelná. Přesto koncentrace platiny je v místě J10 – 25,34 ng.g⁻¹ – o 30 % nižší než v odběrovém místě J9. U palladia je rozdíl koncentrací menší a to o 6,5 %. Koncentrace palladia v místě odběru J10 je 7,904 ng.g⁻¹. Rozdíl mezi těmito dvěma místy je v tom, že J9 je nájezd do kopce a J10 z kopce. Z toho důvodu je zapotřebí nižší výkon vozu pro zvýšení na požadovanou rychlost. Průměrné množství vozidel projíždějící silnicí u odběrového místa J9 bylo dle celostátního sčítání cca 16 500 vozidel za den [74].

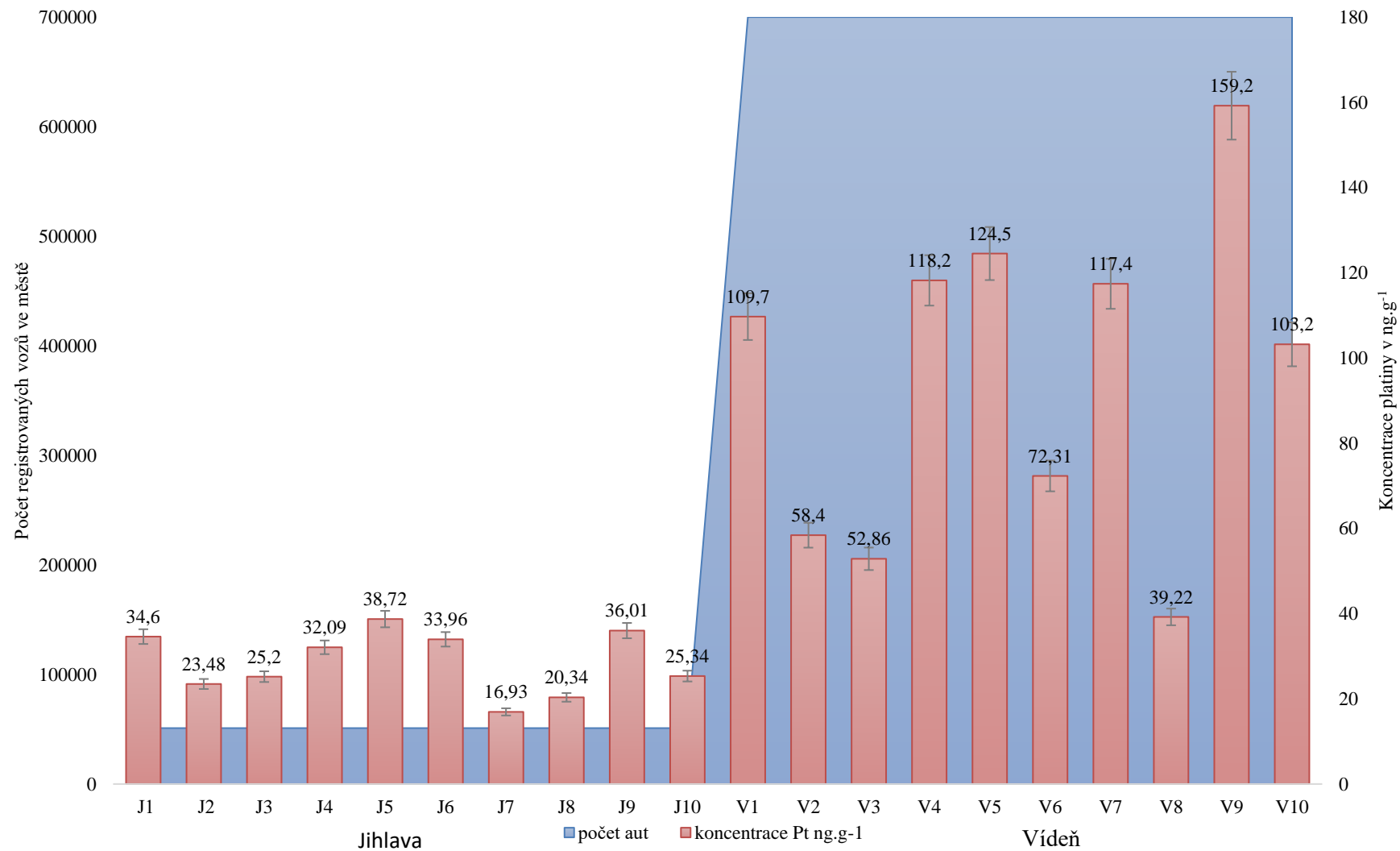
U odběrového místa J10 je to pak cca 14 500 vozidel za den [74]. Nejnižší koncentrace se nachází na odběrovém místě J7 – sídliště Březinova, v tomto odběrovém místě nedošlo k celostátním sčítání vozidel. V tomto místě je omezená rychlost na 30 km.h⁻¹ a jízda probíhá převážně z kopce. Z tohoto důvodu není zapotřebí vynakládat vysoký výkon, a tudíž i emise z automobilů nejsou vysoké. Koncentrace platiny byla 16,93 ng.g⁻¹ a palladia 3,318 ng.g⁻¹.

Ve Vídni byla nejvyšší koncentrace platiny – 159,2 ng.g⁻¹ – i palladia – 98,21 ng.g⁻¹ – v odběrovém místě V9. Odběrové místo V9 je rychlostní silnice ve středu města na ulici Edelsinnstraße. V odběrovém místě je vlivem zástavby významně ovlivněna možnost rozptylu kovů. V této ulici dochází často v denních „špičkách“ k dopravním komplikacím, kdy vozidla popojíždějí tzv. start-stop. Při tomto stylu jízdy dochází k vyšší emisi výfukových plynů, a tudíž

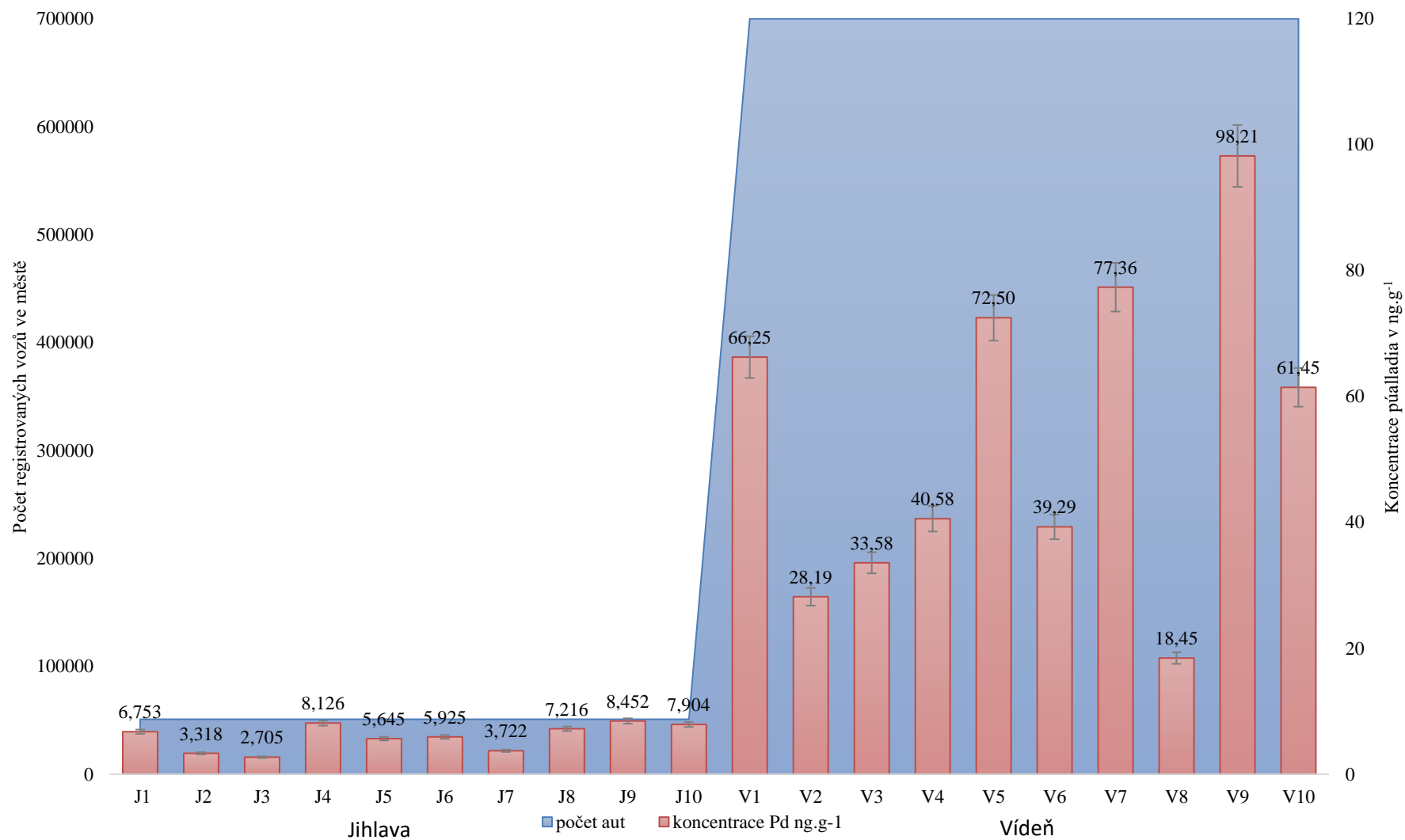
je zvýšena i emise platinových kovů. Ve Vídni bylo vybráno i „pozaďové“ odběrové místo. Pro tento účel bylo vybráno odběrové místo V8. Jedná se o lesopark s nízkou obydleností a nízkou frekvencí dopravy na jihozápadě metropole s názvem Waldgasse. V tomto místě byla zjištěná koncentrace platiny $39,22 \text{ ng.g}^{-1}$ a palladia $18,45 \text{ ng.g}^{-1}$. Odběr vzorku V8 proběhl 30 m od silnice, na kraji lesoparku.

Nejnižší hodnoty v metropoli jsou v odběrových místech V2 a V3. Tyto lokality mají převážně plynulý provoz. V odběrovém místě V2 byla koncentrace platiny $58,40 \text{ ng.g}^{-1}$ a palladia $28,19 \text{ ng.g}^{-1}$. V odběrovém místě V3 byla naměřená koncentrace platiny $52,86 \text{ ng.g}^{-1}$ a palladia $33,58 \text{ ng.g}^{-1}$. V obou odběrových místech se jednalo o široké ulice s dobrými rozptylovými podmínkami. Z tohoto důvodu zřejmě dochází k rozptylu do vzdálenějšího okolí. Bohužel nebyl nalezen zdroj charakterizující množství vozidel projíždějících místy, kde byly provedeny odběry vzorků.

Při porovnání obou zmíněných měst se potvrzuje, že čím vyšší frekvence automobilové dopravy, tím je vyšší množství platinových kovů emitováno do složek životního prostředí. Velký vliv má i styl jízdy. Kdy v místech s plynulou jízdou je koncentrace nižší než v místě, kde dochází ke stylu jízdy „start/stop“ nebo rozjezdu s potřebným vysokým výkonem – například do kopce.



Obr. 11: Výsledné koncentrace platiny ve vzorcích půdní matrice odebraných ve městě Jihlava a Viedeň (Rakousko)



Obr. 12: Výsledné koncentrace palladia ve vzorcích půdní matrice odebraných ve městě Jihlava a Vídeň (Rakousko)

5.4.2 Studium kontaminace životního prostředí v okolí frekventovaných silnic (D1)

Druhá část výsledků reálných vzorků této disertační práce byla zaměřena na studium uvolňování platiny a palladia do složek životního prostředí z vysokofrekventované dálnice D1.

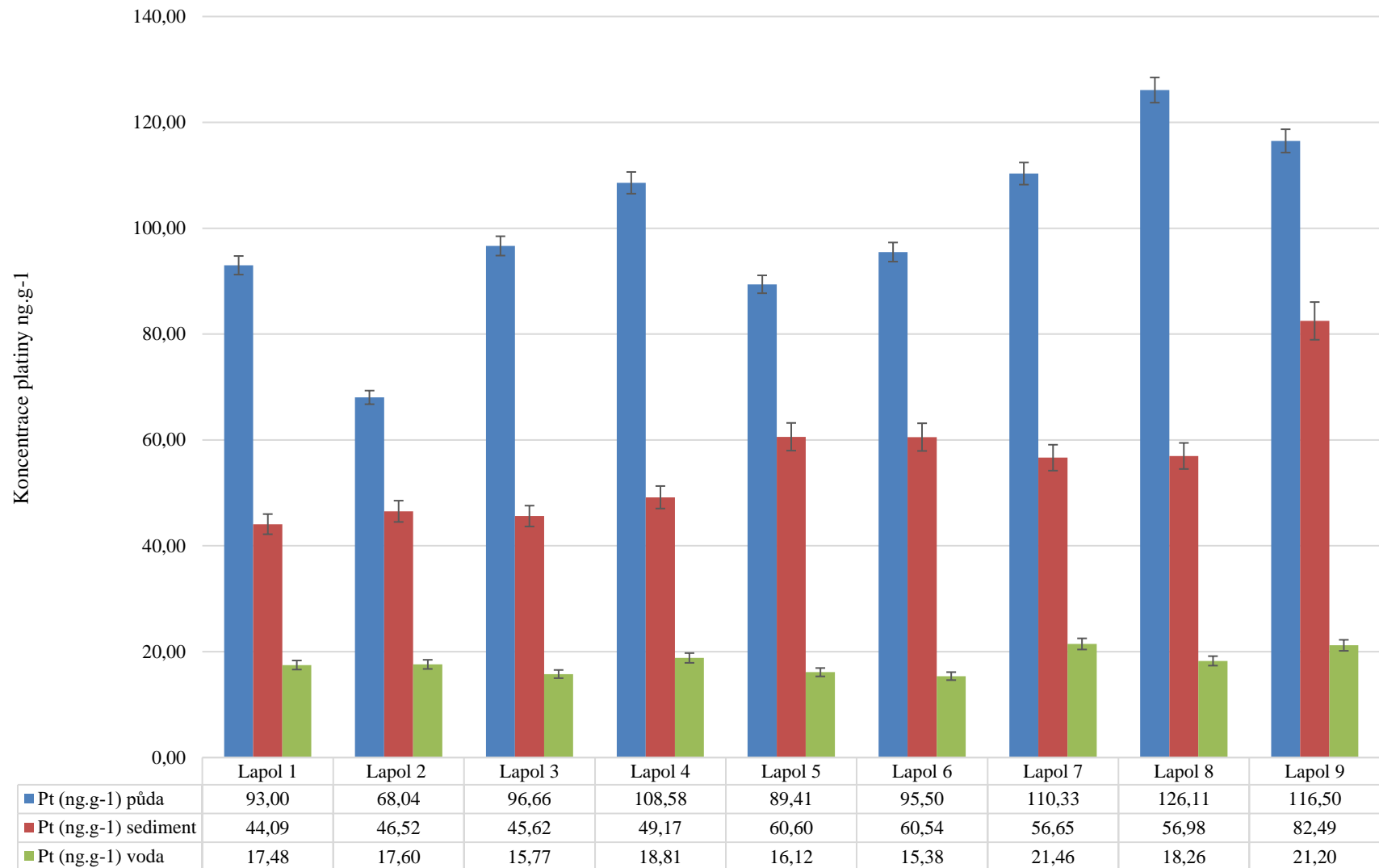
Tato dálnice spojuje dvě největší města české republiky – Prahu a Brno. Zároveň se jedná o důležitý dopravní uzel ve střední Evropě, kdy spojuje transferem jihovýchodní Evropu se západem.

Místa odběru byla vybrána v blízkosti vodní nádrže Švihov. Od 60. kilometru po 80. kilometr dálnice D1. V tomto dvacetikilometrovém úseku bylo vybráno celkem devět záchytných nádrží, tzv. lapolů. Tyto záchytné nádrže byly popsány již výše, v kapitole Usazovací nádrže v blízkosti dálnice D1 („lapoly“).

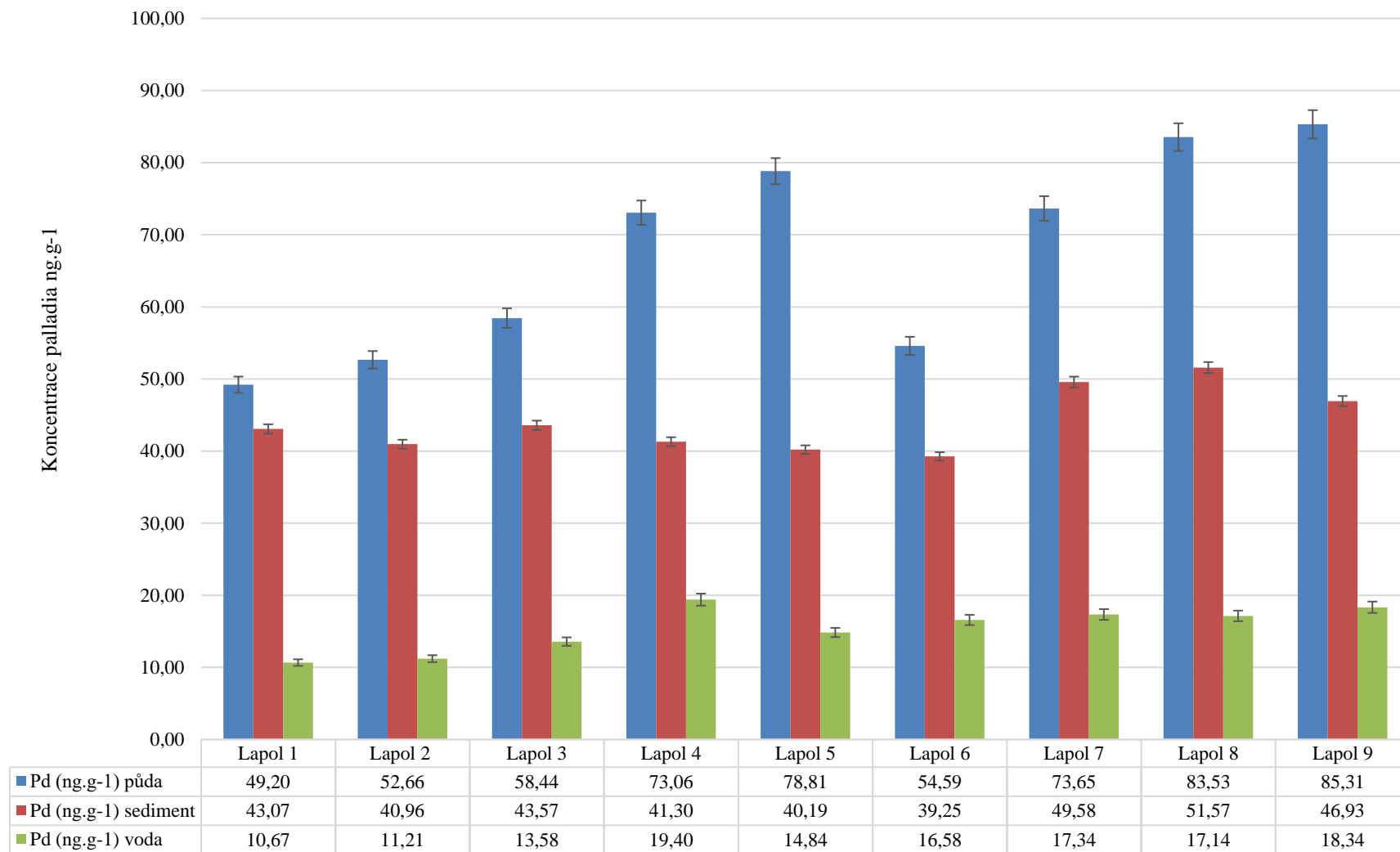
Na vybraném úseku dálnice se nenachází žádný významný sjezd, který by ovlivnil průměrné množství projíždějících vozidel. Můžeme tedy uvažovat konstantní množství vozidel projíždějící vybraným úsekem.

Průměrné koncentrace platiny byly v půdě $100,5 \text{ ng.g}^{-1}$, v sedimentu $55,85 \text{ ng.g}^{-1}$ a ve vodě $18,01 \text{ ng.g}^{-1}$. U palladia byly průměrné hodnoty v půdě $67,69 \text{ ng.g}^{-1}$, v sedimentu $44,04 \text{ ng.g}^{-1}$ a ve vodě $14,98 \text{ ng.g}^{-1}$.

Nejvyšší koncentrace platiny v půdním vzorku byla v odběrovém místě L8 – $126,11 \text{ ng.g}^{-1}$. Palladia zde bylo v půdním vzorku $83,53 \text{ ng.g}^{-1}$. Takto vysoké koncentrace oproti průměru byly způsobeny lokalizací nádrže. Nádrž na odběrovém místě L8 byla mezi vozovkou a lesním porostem, který tvoří bariéru pro rozptyl emisí v daném místě. Díky tomu je v místě zvýšená akumulace kovů do půdy. Stejný trend měly i koncentrace v sedimentu. Koncentrace platiny v místě L8 byla $56,98 \text{ ng.g}^{-1}$ a palladia $40,19 \text{ ng.g}^{-1}$. Ve vodě byla pak koncentrace platiny $18,26 \text{ ng.g}^{-1}$ a palladia $17,14 \text{ ng.g}^{-1}$. Nižší koncentrace platiny v půdních vzorcích než je průměr byly v lapolech L1, L2, L3, L5 a L6. Opět se jedná o to, jak byly lapoly umístěny. U lapolů L2 a L3 se jednalo o lokality s nízkou nebo žádnou vegetací, která by bránila dálkovému rozptylu. Lapoly 1 a 5 byly umístěny za vysokou vegetací a Lapol 6 byl umístěn v lesním porostu. Obě lokality byly tedy bráněny přírodní vegetací. Zbylé čtyři lapoly – L4, L7, L8 a L9 – jsou umístěny před lesním porostem nebo v mírném svahu. Z tohoto důvodu jsou zhoršeny rozptylové podmínky, a tudíž jsou v lokalitách vyšší koncentrace platiny a palladia, než je zmíněný průměr.



Obr. 13: Znáznornění výsledných koncentrací platiny ve vzorcích půdy, sedimentu a vod.



Obr. 14: Znárodnění výsledných koncentrací palladia ve vzorcích půdy, sedimentu a vod.

6 ZÁVĚR

Během posledního století se zvýšil počet automobilů na více než 1 miliardu po celé planetě. S růstem populace bude růst i toto číslo. V České republice se převážně jezdí dopravními prostředky, které jsou průměrně staré 16 let a více. V tu dobu je již vysoká amortizace vozidla, a to i autokatalyzátoru. Amortizace autokatalyzátorů má za následek vyšší intenzitu uvolňování platiny a palladia do životního prostředí. Uvolněné kovy se dostávají do všech složek životního prostředí, jak je graficky znázorněno na Obr. 1.

V důsledku složitosti environmentálních matic a dosud stopových koncentrací platinových kovů a jejich sloučenin v životním prostředí je zapotřebí prekoncentrace analytů pomocí sorpčních technik.

Přínosem této disertační práce je optimalizace metod stanovení na HR-CS-ET-AAS a optimalizace prekoncentračního postupu na komerčně dostupných sorbentech. Výsledné optimalizované metodiky byly využity pro monitoring platiny a palladia v reálných vzorcích z životního prostředí. Tento výzkum porovnává dvě městské aglomerace, které se řádově liší v počtu obyvatel – vozidel. Třetím odběrovým místem byla zvolena dálnice D1. Zde byly zcela nově využity retenční dešťové nádrže „lapoly“ pro monitoring platiny a palladia.

Optimalizace stanovení na přístroji AAS spočívala ve výběru vhodné vlnové délky, teplotního programu a zjištění vlivu interferentů na stanovení Pt a Pd. Optimalizace prekoncentračního kroku sestávala z výběru vhodného sorbentu a jeho modifikaci. Součástí optimalizace byla studie sorpčních a elučních podmínek, tak aby byla zajištěna kvantitativní sorpce a kvantitativní eluce platiny a palladia.

U vybraných sorbentů, které byly modifikované kationtovým tenzidem Septonexem, byla studována účinnost sorpce na třech koncentracích platiny a palladia. Z vybraných modifikovaných sorbentů byla největší účinnost sorpce zjištěna u modifikovaného nepolárního sorbentu Silikagel C-18 s navázaným kationtovým tenzidem, kdy docházelo k tvorbě iontových asociátů, a tak k selektivnímu zadržování chlorokomplexů platiny a palladia ze sorbovaného roztoku.

Ze skupiny studovaných iontoměničů je vhodnější využít pro studium aniontoměniče. Platina a palladium tvoří v roztoku v prostředí HCl aniontové chlorokomplexy. Z vybraných aniontoměničů byla největší účinnost sorpce zjištěna u aniontoměniče DOWEX 1X8. Vliv interferentů byl u všech studovaných aniontoměničů obdobný. Nejvyšší vliv byl pozorován v přítomnosti iontů olova.

Poslední skupinou studovaných sorbentů byly kationtoměničové pryskyřice. Kationtoměničové pryskyřice jsou z vybraných sorbentů nejméně vhodným materiálem. Účel využití těchto pryskyřic spočívá zejména v tom, že se platinové kovy nezachycují, ale dochází k sorpci všech kationtů ze sorbovaného roztoku. Kationtoměničové pryskyřice je tedy vhodné použít pro vzorky s vysokou koncentrací platiny a palladia, kdy právě sorpčním procesem dojde k odstranění rušivé matrice.

Jako nejvhodnější ze všech studovaných sorbentů pro analýzu reálných vzorků byl vybrán Silikagel C18, který byl modifikován kationtovým tenzidem Septonexem.

Pro studium stavu kontaminace životního prostředí platinovými kovy byly vybrány dvě městské aglomerace. Jednalo se o město s Jihlava, Česká republika s přibližně 50 000 obyvateli a město Vídeň, Rakousko s přibližně 2 miliony obyvateli. Jako vhodným materiálem pro studium obsahu platinových kovů ve složkách životního prostředí byly použity vzorky půd z těchto oblastí. Na výsledcích, které jsou přehledně uvedeny na Obr. 11 a Obr. 12, je patrný

výrazný vliv množství vozidel na koncentraci platiny a palladia v půdách v okolí dopravních komunikací. Ve městě Jihlava, kde je registrováno přibližně 50 000 vozidel, se koncentrace platiny pohybovaly od 16,93 do 38,72 ng.g⁻¹ a u palladia se pohybovala koncentrace od 2,705 do 8,452 ng.g⁻¹. V městské aglomeraci Vídeň je počet registrovaných vozidel okolo 700 000. Zjištěné koncentrace platiny se pohybovaly od 39,22 do 159,2 ng.g⁻¹. Koncentrace palladia byla stanovena v rozmezí od 18,45 do 98,21 ng.g⁻¹.

Pro neexistenci dat však nebylo možné zjistit ani v jedné aglomeraci reálné množství projíždějících vozidel v daných lokalitách. Z tohoto důvodu se pro vyhodnocení vlivu intenzity dopravy na uvolnění platiny a palladia do životního prostředí použil celkový počet registrovaných vozidel v daném městě. Tato závislost je však pravděpodobně mírně zkreslena skutečným počtem vozidel, které přijíždějí do měst z přilehlých oblastí.

Poslední část této disertační práce byla zaměřena na studium koncentrace platiny a palladia na nejfrekventovanějším dopravním uzlu v České republice. Jednalo se o dálnici D1 mezi šedesátým a osmdesátým kilometrem v blízkosti vodní nádrže Švihov. Pro účely studie byly zvoleny dešťové retenční nádrže. V těsné blízkosti těchto nádrží byla odebrána půdní matrice. V nádržích byly odebrány vzorky sedimentů a na odtoku z nádrže byla odebrána odsazená voda. Dopravní situace v tomto úseku dálnice D1 je pro všechny odběrová místa velmi obdobná. Koncentrace platiny v půdních vzorcích se pohybovaly v rozmezí od 68,04 do 126,1 ng.g⁻¹, u palladia v rozsahu od 49,20 do 85,31 ng.g⁻¹. Dalšími vzorkovanými materiály byly sediment a odsazená voda v lapolech. U těchto vzorků se pohybovala koncentrace platiny u sedimentů od 44,09 do 82,49 ng.g⁻¹ a u odsazené vody od 15,77 do 21,46 ng.g⁻¹. U palladia se pohybovaly koncentrace u vzorků sedimentů od 39,25 do 51,57 ng.g⁻¹ a u odsazené vody od 10,67 do 19,40 ng.g⁻¹.

I přes vysoké dopravní vytížení dálnice D1, zde výsledné hodnoty koncentrací platiny a palladia byly nižší než ve městě Vídeň. Předpokládá se, že důvodem je styl jízdy, kdy na dálnici dochází ke stabilnímu stylu jízdy, zatímco ve městech se jedná spíše o styl jízdy start/stop, kdy je katalyzátor výrazně namáhán.

Lapoly se jeví jako vhodným místem pro monitoring emise platiny a palladia do životního prostředí. V nádržích se akumulují kovy ze splachů silnic a odsazená voda pokračuje dále do dalších složek životního prostředí. Kaly z lapolů jsou vyváženy z nádrží několikrát do roka a jsou skládkovány na nejbližších skládkách. Odtud mohou kovy, při špatném zabezpečení skládek, dále migrovat do spodních vod a půd v okolí skládky.

Možným řešením do budoucna, s ohledem na snižování vstupů Pt a Pd do prostředí, se jeví využití elektromobilů, u kterých nedochází k uvolňování těchto kovů. Elektromobilita má v budoucím světě své místo a jedná se o jednu z variant, která může nahradit a nahrazuje spalovací motory, které obsahují autokatalyzátory.

Pokud ale zůstane stávající trend využití spalovacích motorů, tak vzhledem k neustále rostoucímu množství automobilů ve světě lze předpokládat i zvyšující se koncentrace platiny a palladia ve složkách životního prostředí. Je proto nezbytné dále sledovat tyto kovy a studovat jejich další osud v životním prostředí.

7 LITERATURA

- [1] Melissa Pistilli, ‘Top 5 Palladium- and Platinum-producing Countries’, PRECIOUS METALS.
- [2] A. Zupanc, J. Install, M. Jereb, and T. Repo, ‘Sustainable and Selective Modern Methods of Noble Metal Recycling’, *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 62, no. 5, Jan. 2023, doi: 10.1002/anie.202214453.
- [3] E. Schoeman, S. M. Bradshaw, G. Akdogan, C. A. Snyders, and J. J. Eksteen, ‘The extraction of platinum and palladium from a synthetic cyanide heap leach solution with strong base anion exchange resins’, *Int J Miner Process*, vol. 162, pp. 27–35, May 2017, doi: 10.1016/j.minpro.2017.02.017.
- [4] S. Sun, C. Jin, W. He, G. Li, H. Zhu, and J. Huang, ‘A review on management of waste three-way catalysts and strategies for recovery of platinum group metals from them’, *J Environ Manage*, vol. 305, p. 114383, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.114383.
- [5] Johnson Matthey, ‘Platinum (Pt)’, <https://matthey.com/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-markets/pgm-platinum>.
- [6] Johnson Matthey, ‘Palladium (Pd)’, <https://matthey.com/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-markets/palladium>.
- [7] H. Tang *et al.*, ‘Recycling of platinum-group metals from spent automotive catalysts by smelting’, *J Environ Chem Eng*, vol. 10, no. 6, p. 108709, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.jece.2022.108709.
- [8] G. Dai, C. Peng, G. Yao, Y. Wang, C. Duan, and P. Li, ‘Recovery of platinum group metals from aqueous solution by iron-electrocoagulation’, *Miner Eng*, vol. 202, p. 108276, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.mineng.2023.108276.
- [9] Y. Ding *et al.*, ‘Recovery of Platinum from Spent Petroleum Catalysts: Optimization Using Response Surface Methodology’, *Metals (Basel)*, vol. 9, no. 3, p. 354, Mar. 2019, doi: 10.3390/met9030354.
- [10] A. Méndez, C. A. Nogueira, and A. P. Paiva, ‘Recovery of Platinum from a Spent Automotive Catalyst through Chloride Leaching and Solvent Extraction’, *Recycling*, vol. 6, no. 2, p. 27, Apr. 2021, doi: 10.3390/recycling6020027.
- [11] W. Amatayakul and O. Ramnäs, ‘Life cycle assessment of a catalytic converter for passenger cars’, *J Clean Prod*, vol. 9, no. 5, pp. 395–403, Oct. 2001, doi: 10.1016/S0959-6526(00)00082-2.
- [12] CarTrade Editorial Team, ‘Emission Norms and their importance BS II, III, and IV’, <https://www.cartrade.com/blog/2010/auto-guides/emission-norms-and-their-importance-bs-ii-iii-and-iv-14.html>.
- [13] MotoFocus, ‘Podrobnosti o normě Euro 7 – kdy začne platit?’, <https://motofocus.cz/legislativa/77581,podrobnosti-o-norme-euro-7-kdy-zacne-platit>.
- [14] SDA, ‘Složení vozového parku’, Sdružení automobilového průmyslu.
- [15] ACEA, ‘Average age of the EU vehicle fleet, by country’, <https://www.acea.auto/figure/average-age-of-eu-vehicle-fleet-by-country/>.
- [16] I. Beseda, M. SCHWARZ, and D. BADIDOVÁ, *Toxikológia a ekotoxikológia*. Košice, 2009.
- [17] C. L. S. Wiseman and F. Zereini, ‘Airborne particulate matter, platinum group elements and human health: A review of recent evidence’, *Science of The Total Environment*, vol. 407, no. 8, pp. 2493–2500, Apr. 2009, doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.12.057.
- [18] M. Kiilunen, A. Aitio, and T. Santonen, ‘Platinum*’, in *Handbook on the Toxicology of Metals*, Elsevier, 2015, pp. 1125–1141. doi: 10.1016/B978-0-444-59453-2.00050-0.

- [19] World health organization, 'Platinum: ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA', World health organization.
- [20] T. Gebel, 'Toxicology of platinum, palladium, rhodium, and their compounds', in Zereini, F., Alt, F. (eds) *Anthropogenic Platinum-Group Element Emissions*, Berlin: Springer, 2000, pp. 245–255.
- [21] World health organization, 'Palladium: Environmental Health Criteria ', Geneva: World health organization.
- [22] V. Leso and I. Iavicoli, 'Palladium Nanoparticles: Toxicological Effects and Potential Implications for Occupational Risk Assessment', *Int J Mol Sci*, vol. 19, no. 2, p. 503, Feb. 2018, doi: 10.3390/ijms19020503.
- [23] L. Savignan, S. Faucher, P. Chéry, and G. Lespes, 'Platinum group elements contamination in soils: Review of the current state', *Chemosphere*, vol. 271, p. 129517, May 2021, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.129517.
- [24] L. Zhang, Q. Song, Y. Liu, and Z. Xu, 'Novel approach for recovery of palladium in spent catalyst from automobile by a capture technology of eutectic copper', *J Clean Prod*, vol. 239, p. 118093, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118093.
- [25] S. Rauch *et al.*, 'Importance of Automobile Exhaust Catalyst Emissions for the Deposition of Platinum, Palladium, and Rhodium in the Northern Hemisphere', *Environ Sci Technol*, vol. 39, no. 21, pp. 8156–8162, Nov. 2005, doi: 10.1021/es050784m.
- [26] F. Zereini *et al.*, 'Platinum group elements (Pt, Pd, Rh) in airborne particulate matter in rural vs. urban areas of Germany: Concentrations and spatial patterns of distribution', *Science of The Total Environment*, vol. 416, pp. 261–268, Feb. 2012, doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.11.070.
- [27] J. Rinkovec, G. Pehnc, R. Godec, S. Davila, and I. Bešlić, 'Spatial and temporal distribution of platinum, palladium and rhodium in Zagreb air', *Science of The Total Environment*, vol. 636, pp. 456–463, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.295.
- [28] S. Atilgan *et al.*, 'Monitoring of Pd in airborne particulates by solid sampling high-resolution continuum source electrothermal atomic absorption spectrometry', *Spectrochim Acta Part B At Spectrosc*, vol. 70, pp. 33–38, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.sab.2012.04.008.
- [29] R. Schierl, 'Environmental monitoring of platinum in air and urine', *Microchemical Journal*, vol. 67, no. 1–3, pp. 245–248, Dec. 2000, doi: 10.1016/S0026-265X(00)00068-0.
- [30] H. Kosárová, R. Komendová, and R. Skeril, 'Development of an analytical method for the determination of platinum in urban dust in the agglomeration of Brno, Czech Republic', *Fresenius Environ Bull*, vol. 24, no. 6, pp. 2070–2075, 2015.
- [31] H. T. Diong *et al.*, 'Anthropogenic platinum group element (Pt, Pd, Rh) concentrations in PM10 and PM2.5 from Kolkata, India', *Springerplus*, vol. 5, no. 1, p. 1242, Dec. 2016, doi: 10.1186/s40064-016-2854-5.
- [32] M. Gaberšek and M. Gosar, 'Towards a holistic approach to the geochemistry of solid inorganic particles in the urban environment', *Science of The Total Environment*, vol. 763, p. 144214, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144214.
- [33] A. Limbeck, C. Puls, and M. Handler, 'Platinum and Palladium Emissions from On-Road Vehicles in the Kaisermühlen Tunnel (Vienna, Austria)', *Environ Sci Technol*, vol. 41, no. 14, pp. 4938–4945, Jul. 2007, doi: 10.1021/es062675t.
- [34] D. Zuzolo, D. Cicchella, A. L. Doherty, S. Albanese, A. Lima, and B. De Vivo, 'The distribution of precious metals (Au, Ag, Pt, and Pd) in the soils of the Campania Region (Italy)', *J Geochem Explor*, vol. 192, pp. 33–44, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.gexplo.2018.03.009.

- [35] D. Cicchella, B. De Vivo, and A. Lima, 'Palladium and platinum concentration in soils from the Napoli metropolitan area, Italy: possible effects of catalytic exhausts', *Science of The Total Environment*, vol. 308, no. 1–3, pp. 121–131, Jun. 2003, doi: 10.1016/S0048-9697(02)00632-0.
- [36] S. Orecchio and D. Amorello, 'Platinum levels in urban soils from Palermo (Italy); Analytical method using voltammetry', *Microchemical Journal*, vol. 99, no. 2, pp. 283–288, Nov. 2011, doi: 10.1016/j.microc.2011.05.016.
- [37] H. Wichmann, G. A. K. Anquandah, C. Schmidt, D. Zachmann, and M. A. Bahadir, 'Increase of platinum group element concentrations in soils and airborne dust in an urban area in Germany', *Science of The Total Environment*, vol. 388, no. 1–3, pp. 121–127, Dec. 2007, doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.07.064.
- [38] K. Leopold, K. Wörle, R. Schindl, L. Huber, M. Maier, and M. Schuster, 'Determination of traffic-related palladium in tunnel dust and roadside soil', *Science of The Total Environment*, vol. 583, pp. 169–175, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.048.
- [39] M. Birke, U. Rauch, J. Stummeyer, H. Lorenz, and B. Keilert, 'A review of platinum group element (PGE) geochemistry and a study of the changes of PGE contents in the topsoil of Berlin, Germany, between 1992 and 2013', *J Geochem Explor*, vol. 187, pp. 72–96, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.gexplo.2017.09.005.
- [40] D. V. Ladonin, 'Platinum-Group Elements in Soils and Street Dust of the Southeastern Administrative District of Moscow', *Eurasian Soil Science*, vol. 51, no. 3, pp. 268–276, Mar. 2018, doi: 10.1134/S1064229318030055.
- [41] R. Komendova and S. Jezek, 'The distribution of platinum in the environment in large cities: a model study from Brno, Czech Republic', *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 16, no. 7, pp. 3109–3116, Jul. 2019, doi: 10.1007/s13762-018-1954-x.
- [42] S. Pan, G. Zhang, Y. Sun, and P. Chakraborty, 'Accumulating characteristics of platinum group elements (PGE) in urban environments, China', *Science of The Total Environment*, vol. 407, no. 14, pp. 4248–4252, Jul. 2009, doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.03.030.
- [43] W.-H. Hsu, S.-J. Jiang, and A. C. Sahayam, 'Determination of Pd, Rh, Pt, Au in road dust by electrothermal vaporization inductively coupled plasma mass spectrometry with slurry sampling', *Anal Chim Acta*, vol. 794, pp. 15–19, Sep. 2013, doi: 10.1016/j.aca.2013.08.001.
- [44] C. P. R. Morcelli, A. M. G. Figueiredo, J. E. S. Sarkis, J. Enzweiler, M. Kakazu, and J. B. Sigolo, 'PGEs and other traffic-related elements in roadside soils from São Paulo, Brazil', *Science of The Total Environment*, vol. 345, no. 1–3, pp. 81–91, Jun. 2005, doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.10.018.
- [45] C. L. S. Wiseman, Z. Hassan Pour, and F. Zereini, 'Platinum group element and cerium concentrations in roadside environments in Toronto, Canada', *Chemosphere*, vol. 145, pp. 61–67, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.11.056.
- [46] O. Morton, H. Puchelt, E. Hernández, and E. Lounejeva, 'Traffic-related platinum group elements (PGE) in soils from Mexico City', *J Geochem Explor*, vol. 72, no. 3, pp. 223–227, Jun. 2001, doi: 10.1016/S0375-6742(01)00163-7.
- [47] J. D. Whiteley and F. Murray, 'Anthropogenic platinum group element (Pt, Pd and Rh) concentrations in road dusts and roadside soils from Perth, Western Australia', *Science of The Total Environment*, vol. 317, no. 1–3, pp. 121–135, Dec. 2003, doi: 10.1016/S0048-9697(03)00359-0.
- [48] S. J. Brand *et al.*, 'Bioaccumulation and metal-associated biomarker responses in a freshwater mussel, *Dreissena polymorpha*, following short-term platinum exposure', *Environmental Pollution*, vol. 246, pp. 69–78, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.envpol.2018.11.061.

- [49] E. Abdulbur-Alfakhoury *et al.*, ‘Distribution of platinum (Pt), palladium (Pd), and rhodium (Rh) in urban tributaries of the Scheldt River assessed by diffusive gradients in thin films technique (DGT)’, *Science of The Total Environment*, vol. 784, p. 147075, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147075.
- [50] J. Pawlak, E. Łodyga-Chruścińska, and J. Chrystowicz, ‘Fate of platinum metals in the environment’, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, vol. 28, no. 3, pp. 247–254, Jul. 2014, doi: 10.1016/j.jtemb.2014.03.005.
- [51] A. Cobelo-García, P. Neira, M. Mil-Homens, and M. Caetano, ‘Evaluation of the contamination of platinum in estuarine and coastal sediments (Tagus Estuary and Prodelta, Portugal)’, *Mar Pollut Bull*, vol. 62, no. 3, pp. 646–650, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.12.018.
- [52] D. M. Díaz-Morales *et al.*, ‘Metal contamination and toxicity of soils and river sediments from the world’s largest platinum mining area’, *Environmental Pollution*, vol. 286, p. 117284, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.envpol.2021.117284.
- [53] D. E. López-Sánchez, A. Cobelo-García, M. J. A. Rijkenberg, L. J. A. Gerringa, and H. J. W. de Baar, ‘New insights on the dissolved platinum behavior in the Atlantic Ocean’, *Chem Geol*, vol. 511, pp. 204–211, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.chemgeo.2019.01.003.
- [54] A. S. Mashio, H. Obata, H. Tazoe, M. Tsutsumi, A. Ferrer i Santos, and T. Gamo, ‘Dissolved platinum in rainwater, river water and seawater around Tokyo Bay and Otsuchi Bay in Japan’, *Estuar Coast Shelf Sci*, vol. 180, pp. 160–167, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.ecss.2016.07.002.
- [55] R. A. Sutherland, ‘Platinum-group element concentrations in BCR-723: A quantitative review of published analyses’, *Anal Chim Acta*, vol. 582, no. 2, pp. 201–207, Jan. 2007, doi: 10.1016/j.aca.2006.09.030.
- [56] L. Fischer, G. Smith, S. Hann, and K. W. Bruland, ‘Ultra-trace analysis of silver and platinum in seawater by ICP-SFMS after off-line matrix separation and pre-concentration’, *Mar Chem*, vol. 199, pp. 44–52, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.marchem.2018.01.006.
- [57] M. Moldovan, S. Rauch, M. Gómez, M. Antonia Palacios, and G. M. Morrison, ‘Bioaccumulation of palladium, platinum and rhodium from urban particulates and sediments by the freshwater isopod *Asellus aquaticus*’, *Water Res*, vol. 35, no. 17, pp. 4175–4183, Dec. 2001, doi: 10.1016/S0043-1354(01)00136-1.
- [58] K. H. Ek, S. Rauch, G. M. Morrison, and P. Lindberg, ‘Platinum group elements in raptor eggs, faeces, blood, liver and kidney’, *Science of The Total Environment*, vol. 334–335, pp. 149–159, Dec. 2004, doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.04.067.
- [59] B. Bocca, A. Alimonti, A. Cristaudo, E. Cristallini, F. Petrucci, and S. Caroli, ‘Monitoring of the exposure to platinum-group elements for two Italian population groups through urine analysis’, *Anal Chim Acta*, vol. 512, no. 1, pp. 19–25, Jun. 2004, doi: 10.1016/j.aca.2004.02.032.
- [60] R. Komendova, ‘The HR-CS-GF-AAS determination and preconcentration of palladium in contaminated urban areas, especially in lichens’, *Environmental Pollution*, vol. 256, p. 113468, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.envpol.2019.113468.
- [61] H. G. Zechmeister, H. Hagedorfer, D. Hohenwallner, A. Hanus-Illnar, and A. Riss, ‘Analyses of platinum group elements in mosses as indicators of road traffic emissions in Austria’, *Atmos Environ*, vol. 40, no. 40, pp. 7720–7732, Dec. 2006, doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.08.018.
- [62] S. Ježek, J. Sykora, and R. Komendová, ‘Determination of platinum and palladium released from autocatalysts in soil samples from different-sized urban agglomerations’, *International Journal of Environmental Science and Technology*, Jan. 2024, doi: 10.1007/s13762-023-05345-2.

- [63] Eray KIZILASLAN, Serdar AKTAS, and M. Kelami S,ES,EN, ‘Towards environmentally safe recovery of platinum from scrapautomotive catalytic converters’, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 2009.
- [64] I. Kovalev, ‘FIA-FAAS system including on-line solid phase extraction for the determination of palladium, platinum and rhodium in alloys and ores’, *Talanta*, vol. 52, no. 1, pp. 39–50, May 2000, doi: 10.1016/S0039-9140(00)00314-3.
- [65] J. S. FRITZ, *Analytical solid-phase extraction*, 1st ed. Iowa State University, 1999.
- [66] A. N. Nikoloski, K.-L. Ang, and D. Li, ‘Recovery of platinum, palladium and rhodium from acidic chloride leach solution using ion exchange resins’, *Hydrometallurgy*, vol. 152, pp. 20–32, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.hydromet.2014.12.006.
- [67] R. Vlasankova and L. Sommer, ‘Preconcentration Of Platinum Group Metals For Their Determination In Environmental Samples’, *Crit Rev Anal Chem*, vol. 29, no. 2, pp. 130–131, Jun. 1999, doi: 10.1080/10408347.1999.11978292.
- [68] M. K. Banjare, R. Kurrey, T. Yadav, S. Sinha, M. L. Satnami, and K. K. Ghosh, ‘A comparative study on the effect of imidazolium-based ionic liquid on self-aggregation of cationic, anionic and nonionic surfactants studied by surface tension, conductivity, fluorescence and FTIR spectroscopy’, *J Mol Liq*, vol. 241, pp. 622–632, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.molliq.2017.06.009.
- [69] R. Vlasánkova, ‘Preconcentration of platinum group metals on modified silicagel and their determination by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry in airborne particulates’, *Talanta*, vol. 48, no. 4, pp. 839–846, Apr. 1999, doi: 10.1016/S0039-9140(98)00100-3.
- [70] C. KANTIPULY, S. KATRAGADDA, A. CHOW, and H. GESSER, ‘Chelating polymers and related supports for separation and preconcentration of trace metals’, *Talanta*, vol. 37, no. 5, pp. 491–517, May 1990, doi: 10.1016/0039-9140(90)80075-Q.
- [71] I. Jarvis, M. M. Totland, and K. E. Jarvis, ‘Determination of the platinum-group elements in geological materials by ICP-MS using microwave digestion, alkali fusion and cation-exchange chromatography’, *Chem Geol*, vol. 143, no. 1–2, pp. 27–42, Nov. 1997, doi: 10.1016/S0009-2541(97)00098-3.
- [72] P. P. Sun, J. Y. Lee, and M. S. Lee, ‘Separation of platinum(IV) and rhodium(III) from acidic chloride solution by ion exchange with anion resins’, *Hydrometallurgy*, vol. 113–114, pp. 200–204, Feb. 2012, doi: 10.1016/j.hydromet.2011.12.009.
- [73] A. Mitra, I. S. Sen, C. Walkner, and T. C. Meisel, ‘Simultaneous determination of platinum group elements and rhenium mass fractions in road dust samples using isotope dilution inductively coupled plasma-tandem mass spectrometry after cation exchange separation’, *Spectrochim Acta Part B At Spectrosc*, vol. 177, p. 106052, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.sab.2020.106052.
- [74] ŘSD ČR, ‘Celostátní sčítání dopravy 2020’, https://scitani.rsd.cz/CSD_2020/pages/map/default.aspx.

8 PŘÍLOHY

8.1 ŽIVOTOPIS

Osobní údaje

Jméno a příjmení: Stanislav Ježek
Datum narození: 30.04.1991
Adresa trvalého bydliště: Herčíkova 2492/4, Brno, Česká republika
Národnost: česká
Telefon: +420 777 772 223
Email: stanislavjezek@email.cz

Vzdělání

09/2011 – 06/2014 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická
Obor: Chemie a technologie ochrany životního prostředí
Bakalářský studijní program – ukončeno státní zkouškou
Závěrečná práce – Cín a jeho sloučeniny v životním prostředí

09/2014 – 06/2016 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická
Obor: Chemie a technologie ochrany životního prostředí
Navazující magisterský studijní program – ukončeno státní zkouškou
Závěrečná práce – Stanovení platinových kovů ve velkých městských aglomeracích

09/2016 - doposud Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická
Obor: Chemie a technologie ochrany životního prostředí
Doktorský studijní program

Zahraniční stáže

Studijní stáž na „Kaunas University of Technology“ – doba trvání 5 měsíců
Praktická stáž na „University of Nova Gorica“ – doba trvání 2 měsíce
Asistence na optimalizaci metody On-line thermal lens spectrometric detection
Praktická stáž na „Lomonosov Moscow State University“ – doba trvání 3 měsíce
Optimalizace metody sorpce a detekce platiny a palladia z půdních matric odebraných v blízkosti důležitých dopravních tepen v Moskvě, RF.

Pedagogická činnost

Praktikum z analytické chemie
Praktikum z instrumentální a strukturní analýzy
Praktikum z environmentální analýzy

Zaměstnání
09/2017 – 05/2019
Pracovní náplň

- ASIO TECH – technik oddělení výzkumu
- návrh, výroba a testování poloprovozních jednotek pro úpravu a čištění různých druhů vod,
 - spolupráce na projektech s univerzitami – projekty od TAČR a MPO
 - organizace práce poloprovozních jednotek na vybrané lokalitě
 - prezentace na mezinárodních konferencích,
 - uvádění nových výrobků do provozu a tvorba postupů pro práci se zařízením

06/2019 - doposud
Pracovní náplň

- ENVITES, spol. s r.o. – obchodně-technický zástupce
- návrh technologických celků
 - komunikace se zákazníky
 - spolupráce s vývojovým oddělením
 - prezentace společnosti na výstavách a odborných konferencích
 - řízení obchodní a realizační činnosti projektů jak v české republice, tak i v zahraničí
 - marketing společnosti
 - směřování společnosti v oblasti obchodu

Jazykové znalosti
Čeština
Angličtina
Ruština

Rodilý mluvčí
Aktivní
Aktivní

8.2 PREZENTACE NA ODBORNÝCH KONFERENCÍCH

2021

JEŽEK, S.; KOMENDOVÁ, R. *Determination of heavy and platinum group metals in rains settling tanks near highway*. CHEMIE JE ŽIVOT 2021. Ing. Petr Dzik, Ph.D. Purkyňova 464/118, 612 00 Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2021. s. 79-80. ISBN: 978-80-214-6002-7.

2020

JEŽEK, S.; KOMENDOVÁ, R. *Vliv dopravy na kontaminaci povrchových vod těžkými a platinovými kovy*. Mladá voda břehy mele 2. ročník konference. Ing. Petra Vachová a Ing. Filip Harciník. Asociace pro vodu ČR z.s., Traťová 574/1, 619 00 Brno: © Young Water Professionals Czech republic, 2020. s. 142-145. ISBN: 978-80-270-8323-7.

2019

JEŽEK, S.; KOMENDOVÁ, R. *Kontaminace životního prostředí platinovými kovy v závislosti na intenzitě automobilové dopravy - srovnávací studie*. Bratislava, Slovensko: Slovenská chemická spoločnosť, 2019. s. 214-215.

2018

JEŽEK, S.; KOMENDOVÁ, R. *The comparison of platinum metal contaminations of the environment in Brno, Czech Republic and Moscow, Russia*. Book of Abstracts. Brno, ČR: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Purkyňova 464/118, 612 00 Brno, 2018. s. 137-137. ISBN: 978-80-214-5488-0.

2017

JEŽEK, S.; KOMENDOVÁ, R. *THE USE OF VARIOUS SOLID SORBENT FOR DETERMINATION OF PLATINUM GROUP METALS IN THE ENVIRONMENT*. The 10th International Conference of Young Chemists. Petrohrad, Ruská Federace: 2017. s. 431-431.

JEŽEK, S.; KOMENDOVÁ, R. *The comparison of the concentrations of platinum and palladium in Brno and Moscow*. Chemie je život 2017. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická: 2017. s. 65-65. ISBN: 978-80-214-5488- 0.

2016

JEŽEK, S.; KOMENDOVÁ, R. *STANOVENÍ PLATINOVÝCH KOVŮ VE VELKÝCH MĚSTSKÝCH AGLOMERACÍCH*. Chémia a technológie pre život. Bratislava: SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, 2016. s. 439-440. ISBN: 978-80-227-4628- 1.

KOMENDOVÁ, R.; JEŽEK, S. *Road dust, soil and plant material - the matrix suitable for the assessment of the content of platinum in the environment*. Súčasný stav a perspektívy analytickej chémie v praxi. STU Bratislava. Bratislava: STU Bratislava, 2016. s. 130-131. ISBN: 978-80-227-4556- 7.

9 SEZNAM PUBLIKACÍ

Publikace 1

JEŽEK, S.; SYKORA, J. a KOMENDOVÁ, R. Determination of platinum and palladium released from autocatalysts in soil samples from different-sized urban agglomerations. Online. *International Journal of Environmental Science and Technology*. ISSN 1735-1472. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05345-2>. [cit. 2024-01-15].

Publikace 2

KOMENDOVA, R. a JEZEK, S. The distribution of platinum in the environment in large cities: a model study from Brno, Czech Republic. Online. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2019, roč. 16, č. 7, s. 3109-3116. ISSN 1735-1472. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1954-x>. [cit. 2024-01-15].

Publikace 3

FOJT, Pavel; ZLÁMALOVÁ-GARGOŠOVÁ, Helena a JEŽEK, Stanislav. Possible use of terrestrial gastropod (*Helix aspersa aspersa*) and its life stages as a tool for environmental risk assessment. Online. *Chemistry and Ecology*. 2022, roč. 38, č. 4, s. 389-399. ISSN 0275-7540. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/02757540.2022.2048824>. [cit. 2024-01-15].