

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta

Stanovení obsahu PAU v cigaretových nedopalcích

Diplomová práce

Bc. Monika Křížová

Školitelka: Ing. Pavla Fojtíková, Ph.D.

České Budějovice 2024

Křížová, M., 2024: Stanovení obsahu PAU v cigaretových nedopalcích. [Determination of PAHs content in cigarette butts. Mgr. Theses, in Czech.] – 62 p, Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Annotation

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are an important group of persistent substances, most of which have adverse effects on organisms, including humans. This master's thesis deals with determination of PAHs in cigarette butts using high performance liquid chromatography with spectrophotometric and fluorescence detection. The aim of the experiments was to monitor and describe the impact of outdoor exposure on the content of PAHs in cigarette butts. At first, the Preliminary study 07/2021 was conducted. Subsequently, based on the acquired experience and results, exposure conditions were adjusted for further experiments in winter and summer seasons - Experiment 11/2022 and Experiment 06/2023. Additionally, part of the work involved supervising a high school thesis on the topic of Chromatography with practical determination of PAHs.

Anotace

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) tvoří významnou skupinu perzistentních látek, z nichž většina vykazuje nepříznivé účinky na organismy včetně člověka. Tato diplomová práce se zabývá stanovením PAU v cigaretových nedopalcích pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie se spektrofotometrickou a fluorescenční detekcí. Cílem experimentů bylo sledovat a popsat vliv venkovní expozice na obsah PAU v nedopalcích cigaret. Nejprve byla provedena Předběžná studie 07/2021. Na základě získaných zkušeností a výsledků byly upraveny expoziční podmínky pro další experimenty provedené v zimním a letním období - Experiment 11/2022 a Experiment 06/2023. Dále bylo součástí práce vedení středoškolské odborné práce v rámci SOČ na téma Chromatografie s praktickým stanovením PAU.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval(a) pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích 12.04.2024

Bc. Monika Křížová

Klíčová slova

Kapalinová chromatografie, polycyklické aromatické uhlovodíky, cigaretové nedopalky

Key words

Liquid chromatography, polycyclic aromatic hydrocarbons, cigarette butts

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucí mé diplomové práce Ing. Pavle Fojtíkové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, předané zkušenosti a vstřícnost při zpracování práce. Dále děkuji za snahu a profesionální přístup Lindě Báře Pětivlasové, která k této diplomové práci přispěla v rámci své středoškolské odborné práce.

Obsah

1	Seznam použitých zkratek a symbolů	7
2	Úvod	8
3	Cíle práce.....	9
4	Teoretická část.....	10
4.1	Polycyklické aromatické uhlovodíky	10
4.2	Chemické a fyzikální vlastnosti PAU.....	13
4.3	Cigaretové nedopalky	15
4.4	Kouření cigaret jako zdroj PAU	16
5	Materiály a metody	22
5.1	Použité chemikálie.....	22
5.2	Instrumentální vybavení a spotřební materiál	22
5.3	Postup experimentální části práce	23
5.3.1	Příprava roztoků	23
5.3.2	Příprava kalibračních roztoků.....	23
5.3.3	Sběr a uchování vzorků	23
5.3.4	Přehled vzorků a průběh expozičních experimentů.....	24
5.3.5	Postup extrakce nedopalků	26
5.3.6	Podmínky chromatografické separace PAU.....	27
5.3.7	Zpracování naměřených dat.....	28
5.4	Výsledky	29
5.4.1	Předběžná studie 07/2021	29
5.4.2	Experiment 11/2022	32
5.4.3	Experiment 06/2023	36
5.5	Diskuse	40
5.5.1	Optimalizace procesu expozice	40
5.5.2	Stanovení obsahu PAU v neexponovaných nedopalcích	41
5.5.3	Stanovení obsahu PAU v exponovaných nedopalcích	43

5.6	Využití metody a problematiky kouření cigaret ve výuce na SŠ	46
6	Závěr.....	47
7	Seznam použitých literárních zdrojů	48
8	Přílohy	55

1 Seznam použitých zkratek a symbolů

AY	Acenaftýlen
ACN	Acetonitril
AE	Acenaften
AN	Antracen
BA	Benzo(a)antracen
BaP	Benzo(a)pyren
BbF	Benzo(b)fluoranthén
BkF	Benzo(k)fluoranthén
BP	Benzo(g,h,i)perýlen
CB	Cigaretové nedopalky
DA	Dibenzo(a,h)antracen
FE	Fenantren
FL	Fluoranthén
FLD	Fluorescenční detektor
FR	Fluoren
GC/MS	Plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií
HPLC	Vysokoučinná kapalinová chromatografie
CH	Chrysen
IP	Indeno(1,2,3-c,d)pyren
K _{ow}	Distribuční koeficient oktanol/voda
MF	Mobilní fáze
NA	Naftalen
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
PDA	Detektor fotodiodového pole
PR	Pyren
RP-HPLC	Vysokoučinná kapalinová chromatografie na reverzní fázi
SD	Směrodatná odchylka
SOČ	Středoškolská odborná činnost
SPME	Mikroextrakce tuhou fází
ST	Standardní sloučenina
US EPA	Agentura Spojených států pro ochranu životního prostředí
VS	Vnitřní standard
Σ _p 16 PAU	Suma průměrů 16 PAU

2 Úvod

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) jsou organické perzistentní sloučeniny rozšířené ve všech složkách životního prostředí. Pozornost těmto sloučeninám je věnována zejména kvůli jejich biologické aktivitě spojené s potenciálními toxickými a mutagenními vlastnostmi. PAU vznikají při nedokonalém spalování v řadě procesů. Jsou spolu s velkým množstvím dalších sloučenin rovněž produktem spalování tabákových listů při kouření. Část těchto látek zůstává zachycena v cigaretových nedopalcích, které tvoří nejčastější odpad v životním prostředí. Znepokojivým environmentálním problémem je zejména to, že látky obsažené v nedopalcích mohou následně kontaminovat přírodní ekosystémy. V rámci této diplomové práce byly provedeny experimenty zabývající se vlivem expozice na obsah 16 prioritních PAU dle US EPA v cigaretových nedopalcích. Jejich cílem bylo popsat a zhodnotit potenciál PAU se z nedopalků uvolnit do životního prostředí. Součástí práce bylo také vedení středoškolské odborné práce v rámci SOČ na téma Chromatografie s praktickým stanovením PAU. Výsledky předložené diplomové práce jsou součástí příspěvku na konferenci SETAC Europe 34th Annual Meeting (květen 2024), viz. uvedený abstrakt v Příloze A.

3 Cíle práce

- 1) Využití zavedené a validované metody pro analýzu obsahu PAU ve vzorcích nedopalků cigaret
- 2) Posouzení vlivu expozice vzorků nedopalků okolnímu prostředí na obsah PAU
- 3) Vedení středoškolské práce na dané téma

4 Teoretická část

4.1 Polycyklické aromatické uhlovodíky




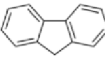
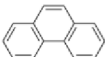
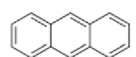
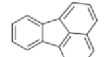
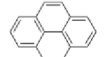
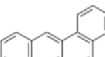
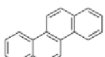
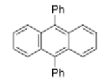
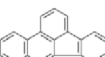
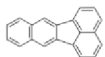
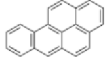
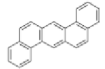

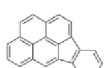
Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) představují organické perzistentní sloučeniny, které jsou přítomny ve všech složkách životního prostředí (Sýkora et al., 2023). Vznikají zejména pyrolýzou a spalováním organických sloučenin za nedokonalého přístupu vzduchu při teplotách v rozsahu 500-900 °C. Zdroje PAU mohou být původu antropogenního i neantropogenního. Mezi antropogenní zdroje patří například spalování fosilních paliv, výroba tepelné a elektrické energie. Neantropogenním zdrojem je například vulkanická činnost (Hajšlová, 1997). Výskyt PAU v životním prostředí se může lišit v závislosti na ročním období (Masih et al., 2012). Obecně bývají koncentrace PAU v životním prostředí v zimních měsících několikanásobně vyšší než v měsících letních. Nárůst emisí s vyšším obsahem PAU v životním prostředí v zimě souvisí se zahájením topné sezóny, častějším používáním motorových vozidel apod. (Olenycz et al., 2015). Vyšší obsahy PAU v zimním období byly také zaznamenány ve srážkových a povrchových vodách. Zároveň koncentrace PAU v povrchové vodě byla v porovnání s atmosférickou depozicí výrazně nižší. Atmosférické srážky jsou tedy bilančně významnějším zdrojem PAU v porovnání s povrchovými vodami (Sýkora et al., 2023). V zimním období byl také pozorován vyšší výskyt PAU v mušlích, které patří mezi organismy kumulující PAU (Olenycz et al., 2015). Ve vzduchu, půdě a vodě se PAU mohou vyskytovat v plynné fázi nebo sorbované na pevných částicích v závislosti na jejich fyzikálně-chemických vlastnostech (Arnika, 2022). PAU sorbované na částicích mohou být transportovány na velké vzdálenosti od místa vzniku (IRZ, 2021). Jedná se zejména o PAU s vyšší molární hmotností vázané na menší částice, které mají oproti nízkomolárním PAU menší tendenci podléhat fotodegradaci (Sýkora et al., 2023). Následně se PAU dostávají z atmosféry procesem mokré a suché depozice do půdy a vody. Při analýze koncentrací PAU v půdě, vzduchu, vodě a suchých/mokrých depozičních vzorcích pomocí GC-MS, bylo zjištěno, že PAU s vyšší molární hmotností (např. benzo(a)pyren) jsou distribuovány zejména suchou depozicí. PAU s nižší molární hmotností (např. naftalen) jsou více distribuovány mokrou depozicí (Zhong et Zhu, 2013). PAU tedy mohou kontaminovat půdy, mít nepříznivé účinky na růst rostlin a mikrobiální ekosystém (Dutta et al., 2017). Jejich rozšíření a perzistence v životním prostředí představuje pro člověka a jiné organismy environmentální problém (Hussar et al., 2012).

Agentura pro ochranu životního prostředí (US EPA) vyčlenila 16 PAU jako prioritní kontaminanty životního prostředí. Stanovením obsahu 16 prioritních PAU v nedopalcích cigaret se zabývá tato práce. V Tab. 1 je uveden přehled 16 PAU s molárními hmotnostmi

a zkratkami názvů sloučenin, které jsou pro jednotlivé analyty používány v textu (Hussar et al., 2012; US EPA, 2024; Merck, 2022). Pozornost těmto sloučeninám je věnována zejména kvůli jejich biologické aktivitě spojené s potenciálními toxickými a mutagenními vlastnostmi (Hajšlová, 1997). Škodlivé zdravotní účinky jednotlivých PAU jsou odlišné. Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC) dělí těchto 16 PAU do skupin v závislosti na jejich karcinogenních vlastnostech. Benzo(a)pyren je řazen do skupiny 1 - karcinogenní pro člověka (IARC, 2010). Dibenz(a,h)antracen patří do skupiny 2A - pravděpodobně karcinogenní pro člověka. Naftalen, benzo(a)antracen, chrysen, benzo(b)fluoranthén, benzo(k)fluoranthén, indeno(1,2,3-c,d)pyren jsou řazeny do skupiny 2B - potenciálně karcinogenní látky pro člověka. Pro ostatní PAU není karcinogenita vyhodnocena pro nedostatek vědeckých důkazů (IARC, 2010).

Koncentrace PAU v životním prostředí jsou sledovány a regulovány také v rámci Evropské Unie. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES ve znění směrnice 2013/39/ EU jsou vybrané PAU zařazeny na seznam prioritních látek, z nichž jsou některé PAU označeny jako prioritní nebezpečné látky - anthracen, benzo(a)pyren, benzo(b)fluoranthén, benzo(k)fluoranthén, benzo(g,h,i)perylene a indeno(1,2,3-cd)pyren. Podle Rámcové směrnice 2000/60/ES - Článek 16 (Strategie proti znečištění vod) je potřeba uvolňování těchto látek do životního prostředí cíleně snižovat. Požadavky z uvedených směrnic jsou začleněny do české legislativy v Nařízení vlády č. 401/2015 Sb..

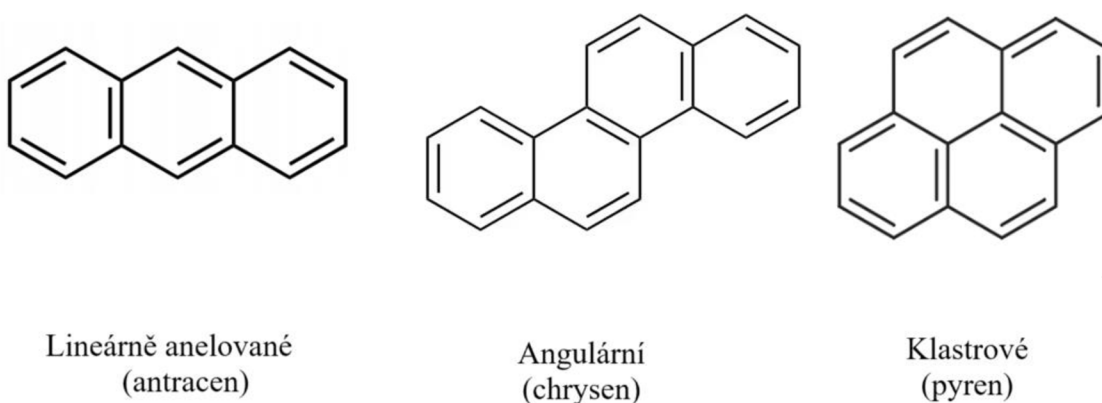
Tab. 1: Sloučeniny z kategorie 16 PAU dle US EPA a vnitřní standard

Sloučenina	Zkratka	Vzorec	Mr [g/mol]	CAS	
Naftalen	NA		C ₁₀ H ₈	128,17	91-20-3
Acenaftylen	AY		C ₁₂ H ₈	152,19	208-96-8
Acenaften	AE		C ₁₂ H ₁₀	154,21	83-32-9
Fluoren	FR		C ₁₃ H ₁₀	166,22	86-73-7
Fenantren	FE		C ₁₄ H ₁₀	178,23	85-01-8
Antracen	AN		C ₁₄ H ₁₀	178,23	120-12-7
Fluoranthen	FL		C ₁₆ H ₁₀	202,25	206-44-0
Pyren	PR		C ₁₆ H ₁₀	202,25	129-00-0
Benzo(a)antracen	BA		C ₁₈ H ₁₂	228,29	56-55-3
Chrysen	CH		C ₁₈ H ₁₂	228,29	218-01-9
9,10-difenylantracen	VS		C ₂₆ H ₁₈	330,42	1499-10-1
Benzo(b)fluoranthen	BbF		C ₂₀ H ₁₂	252,31	205-99-2
Benzo(k)fluoranthen	BkF		C ₂₀ H ₁₂	252,31	207-08-9
Benzo(a)pyren	BaP		C ₂₀ H ₁₂	252,31	50-32-8
Dibenzo(a,h)antracen	DA		C ₂₂ H ₁₄	278,35	53-70-3
Benzo(g,h,i)perylene	BP		C ₂₂ H ₁₂	276,33	191-24-2
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	IP		C ₂₂ H ₁₂	276,33	193-39-5

4.2 Chemické a fyzikální vlastnosti PAU

Polycyklické aromatické uhlovodíky jsou organické sloučeniny tvořené atomy uhlíku a vodíku uspořádanými do kondenzovaných aromatických jader. Na základě molární hmotnosti jednotlivých PAU se liší jejich fyzikálně-chemické vlastnosti (Holoubek, 1996; Kim et al., 2013). PAU s vyšší molární hmotností jsou stabilnější a toxičtější než PAU s nižší molární hmotností (Lawal, 2017). PAU lze rozdělit dle počtu aromatických jader, tedy v závislosti na jejich molární hmotnosti. Sloučeniny tvořené 2-3 benzenovými jádry jsou řazeny do kategorie s nízkou molární hmotností. PAU obsahující více než 4 benzenová jádra jsou označovány jako PAU s vysokou molární hmotností (Holoubek, 1996; Kim et al., 2013). PAU se 4 benzenovými jádry tvoří hranici mezi PAU s nízkou a vysokou molární hmotností. Mohou být tedy vyčleněny jako PAU se střední molární hmotností (WHO, 2010).

V závislosti na uspořádání benzenových jader rozlišujeme u PAU: lineárně anelované, angulární a klastrové uspořádání (Holoubek, 1996). Na Obr. 1 jsou zobrazena jednotlivá uspořádání včetně konkrétního příkladu PAU. Vlastnosti PAU se liší v závislosti na molární hmotnosti PAU, ale také na daném uspořádání jednotlivých aromatických kruhů (Lawal, 2017). Obecně platí, že stabilita roste od lineárního uspořádání ke klastrovému. To je způsobeno růstem rezonanční energie. U klastrového uspořádání je jedno benzenové jádro obklopeno alespoň třemi dalšími jádry, jedná se o nejstabilnější uspořádání (Holoubek, 1996; Lawal, 2017).



Obr. 1: Klasifikace PAU dle uspořádání aromatických jader, převzato z (Holoubek, 1996)

Za normálních podmínek jsou PAU bílé či nažloutlé krystalické pevné látky (IRZ, 2021; Boehm, 1964). Obecně je lze charakterizovat jako sloučeniny s vysokým bodem tání a varu, nízkou tenzí par a nízkou rozpustností ve vodě. Tyto látky jsou dobře rozpustné v organických rozpouštědlech a tedy vysoce lipofilní. Jak je zřejmé z Tab. 2, fyzikálně-chemické vlastnosti

PAU se liší v závislosti na molární hmotnosti. Se zvyšujícím se počtem benzenových jader a molární hmotností se tenze par a rozpustnost ve vodě pro jednotlivé PAU snižují a naopak teploty tání, varu a lipofilita se zvyšují (Abdel-Shafy et Mansour, 2016). V Tab. 2 jsou uvedeny pro jednotlivé PAU hodnoty distribučního (rozdělovacího) koeficientu oktanol/voda a tenze par (IRZ, 2021; PubChem, 2024). Distribuční koeficient K_{ow} vyjadřuje afinitu PAU k lipofilnímu prostředí a k vodě. Pomocí této hodnoty lze predikovat rozdělení xenobiotických látek mezi vodu, sediment a biotu. Vyšší hodnoty $\log K_{ow}$ značí, že PAU dosahují vyšší afinity k lipofilnímu prostředí, tedy mohou mít tendenci se kumulovat v tucích a membránách rostlin a živočichů (Dobaradaran et al., 2020; Schwarzbauer et Jovančičević, 2018). Rozpustnost ve vodě od naftalenu k PAU s vysokou molární hmotností klesá, konkrétně pro naftalen je rovna 30 mg/l a pro indeno(1,2,3-c,d)pyren $1,3 \cdot 10^{-6}$ g/l (NPIC, 2011; T3DB, 2024).

Tab. 2: Fyzikálně-chemické vlastnosti PAU

Analyt	Log K_{ow}	kPa při 25 °C	Analyt	Log K_{ow}	kPa při 25 °C
NA	3,3	$1,1 \cdot 10^{-2}$	BA	5,8	$1,5 \cdot 10^{-8}$
AY	3,7	$3,9 \cdot 10^{-3}$	CH	5,7	$5,7 \cdot 10^{-10}$
AE	3,9	$2,1 \cdot 10^{-3}$	BbF	6,4	$6,7 \cdot 10^{-8}$
FR	4,2	$8,7 \cdot 10^{-5}$	BkF	6,4	$2,1 \cdot 10^{-8}$
FE	4,5	$2,3 \cdot 10^{-5}$	BaP	6,0	$7,3 \cdot 10^{-10}$
AN	4,4	$3,6 \cdot 10^{-6}$	DA	6,5	$1,3 \cdot 10^{-11}$
FL	5,2	$6,5 \cdot 10^{-7}$	BP	6,6	$1,3 \cdot 10^{-11}$
PR	4,9	$3,1 \cdot 10^{-6}$	IP	7,0	$\sim 10^{-11}$

Obecně lze na základě fyzikálně-chemických vlastností PAU predikovat jejich chování, distribuci a výskyt ve složkách životního prostředí. PAU s nízkou molární hmotností (2-3 benzenová jádra) se vyskytují v atmosféře převážně v plynném stavu. Zejména se jedná o naftalen, který se v porovnání s ostatními PAU vyznačuje vysokou tenzí par a těkavostí (Holoubek, 1996; Arnika, 2022). PAU s vyšší molekulovou hmotností jsou převážně sorbovány na pevných částicích aerosolu a organickém uhlíku (IRZ, 2021). Podíl výskytu PAU v plynné fázi a ve fázi vázané na aerosolové částice je také závislý na okolní teplotě (WHO, 2010; Sýkora et al., 2023). PAU se vyznačují výraznou fluorescencí a rozmanitostí spekter ve viditelné a ultrafialové oblasti světla, což jsou velice užitečné vlastnosti pro jejich stanovení, resp. detekci (Holoubek, 1996).

4.3 Cigaretové nedopalky

Trh s cigaretami je rozmanitý a nabízí mnoho různých značek odlišných například v množství či druhu tabáku, obvodu a délky dané cigarety či složení a velikost filtru. Například značky Chesterfield Red, Marlboro a LM Blue jsou řazeny do velikosti King Size, zatímco cigarety značky LD Pink jsou označeny jako Superslim. Délka cigaret King Size je přibližně 85 mm a Superslim 100 mm, ovšem průměr cigaret Superslim bývá menší než průměr cigaret King Size. U jednotlivých značek je možné také rozlišit množství dehtu v cigaretě či obsah nikotinu (CeskaTrafika, 2024; Cigarety a škodliviny, 2013). Množství dehtu v cigaretě dle uvedeného zdroje je pro značky Chesterfield Red - 10 mg/cig, Marlboro - 10 mg/cig, LD Pink - 3 mg/cig a LM Blue - 7 mg/cig (Cigarety a škodliviny, 2013). Značka Chesterfield Red a Marlboro používá filtry korkové barvy vyrobené ze standardních acetátových vláken. U značky LM Blue je použit uhlíkový filtr v bílé barvě. Vlastnosti jednotlivých filtrů jsou konstruovány k minimalizování rizik kouření, ovšem jejich účinnost k zachycení nežádoucích látek se může v závislosti na složení filtrů lišit (CeskaTrafika, 2024; Cigarety a škodliviny, 2013). Parametry cigaret ovlivňují obsah látek vnikajících při kouření (Kalaitzoglou et Samara, 2006; Vu et al., 2015; Rodgman, 2001).

Cigarety obsahují celou řadu toxických látek a při kouření vznikají další látky nedokonalým spalováním tabákových listů. Všechny tyto sloučeniny (více než 7000) vnikají do dýchacího systému kuřáka, uvolňují se do ovzduší či zůstávají zachyceny ve filtrech cigaret a ostatních částech nedopalku. Konkrétně se jedná například o nikotin, těžké kovy, karbonyly, fenoly a také PAU (Soleimani et al., 2022; Dobaradaran et al., 2020; Novotny et al., 2009). Problematika odhozených cigaretových nedopalků, jakožto nebezpečného odpadu je shrnuta v review (Torkashvand et al., 2020). Odhozené cigaretové nedopalky tvoří navzdory malým rozměrům nejčastější odpad v životním prostředí. Poněvadž filtry cigaret jsou obvykle složeny z biologicky nerozložitelných materiálů, zůstávají v přírodě dlouho. Dle odhadu Amerického ministerstva zdravotnictví z roku 2014 se ročně vyrobí 5,5 bilionu cigaret (Torkashvand et al., 2020). Až dvě třetiny všech vykouřených cigaret skončí v životním prostředí v okolí lidských sídel (Novotny et Slaughter, 2014). Environmentálním problémem je zejména to, že látky zachycené v nedopalcích mohou následně kontaminovat složky životního prostředí (Dobaradaran et al., 2019).

Roční emise (rok 2007) 16 PAU v globálním měříku činily v atmosféře 504 Gg. Globální atmosférické emise 16 PAU pochází z 69 hlavních zdrojů, které byly odhadnuty pro období od roku 1960 do roku 2030 ve studii (Shen et al., 2013). Mezi uvedenými hlavními zdroji bylo spalování biomasy v domácnostech či komerčních prostorech (60,5 %), spalování

biomasy na otevřených prostorech (13,6 %) a spotřeba ropy silničními motorovými vozidly (12,8 %). Nicméně cigaretové nedopalky jako zdroj PAU nebyly do emisních součtů zahrnuty. Na základě odhadu ve studii (Dobaradaran et al., 2019) založeném na průměrném obsahu PAU v nedopalcích a množství nedopalků odhozených do životního prostředí bylo vyhodnoceno, že z čerstvě vykouřených nedopalků se potenciálně může uvolnit 21 Mg PAU ročně. Z čehož velkou část (4,9 Mg) představuje naftalen.

4.4 Kouření cigaret jako zdroj PAU

Vzhledem k celosvětovému množství vykouřených cigaret, obsahu tisíců chemických látek v kouři i nedopalcích, roste počet publikací, ve kterých je věnována pozornost stanovení obsahu jednotlivých sloučenin. Výsledky stanovení PAU a dalších toxických látek vznikajících při kouření cigaret jsou přehledně zpracovány v review (Soleimani et al., 2022). V této publikaci byl na základě vybraných 159 publikovaných studií zpracován přehled koncentračních rozsahů jednotlivých chemických látek obsažených v běžném kouři „mainstream smoke“, v různých typech vedlejšího kouře - „sidestream smoke“, „secondhand smoke“, „thirdhand smoke“ a odhozených cigaretových nedopalcích. Ze všech potenciálně toxických látek se nejvíce studií věnovalo zastoupení PAU a dalších aromatických uhlovodíků. Konkrétně se jednalo o 66 studií, z nichž velká část je věnována stanovení PAU v běžném kouři. Stanovení PAU, popřípadě jejich alkylderivátů v cigaretových nedopalcích bylo provedeno v 16 studiích. Nicméně pouze jedna studie byla zaměřena na obsah všech 16 PAU vyčleněných jako prioritní kontaminanty životního prostředí dle US EPA. Mezi sledovanými PAU jsou nejčastěji zmiňovány benzo(a)pyren, benzo(a)anthracen a naftalen (Soleimani et al., 2022).

V Tab. 3 je zobrazen přehled vybraných, pro tuto diplomovou práci relevantních, studií zabývajících se stanovením PAU v cigaretových nedopalcích a ve výluzích z cigaretových nedopalků. Konkrétní parametry metod stanovení PAU v různých matricích jsou v rámci chemických laboratoří odlišné. Mezi vybrané studie patří (Dobaradaran et al., 2019), která je zaměřena na stanovení 16 prioritních PAU dle US EPA v cigaretových nedopalcích. Cílem experimentu bylo porovnat obsahy PAU v nedopalcích čerstvě vykouřených s nedopalky exponovanými životnímu prostředí. Dále je zařazena studie (Moriwaki et al., 2009), která se zabývá potenciálem odpadků nalezených u silnic kontaminovat životní prostředí těžkými kovy a PAU. Celkem 11 PAU bylo stanoveno v cigaretovém nedopalku a v půdě podél silnic. V rámci studie (King et al., 2021) bylo stanoveno 10 PAU ze 16 prioritních PAU ve výluzích z cigaretových nedopalků a v mořském sedimentu. Vybrané studie se lišily ve způsobu sběru

a podmínkách expozice nedopalků, počtu měřených vzorků a stanovených PAU, procesu extrakce či použitou analytickou metodou. Při porovnávání naměřených dat bylo nezbytné brát v úvahu, že tyto zmíněné parametry ovlivňovaly výsledný obsah PAU.

Ve studii (Dobaradaran et al., 2019) probíhal sběr čerstvých nedopalků (32 vzorků) v jídelnách univerzitního kampusu (Duisburg-Essen). Sběr exponovaných nedopalků (72 vzorků) probíhal v městských oblastech Essenu a Mülheim an der Ruhr v Německu, které byly pravidelně čištěny jednou týdně. Jednalo se o různé části města, například okolí vlakového či autobusového nádraží. Nicméně konkrétní podmínky expozice či značky nedopalků nebyly uvedeny. Na nedopalky tedy mohl působit přímý sluneční svit, déšť či jiné faktory po různou dobu kratší než jeden týden. Exponované nedopalky (72 vzorků) byly dále odebírány v okolí vodstva do vzdálenosti maximálně 1,5 m od řeky Ruhr. Bližší informace k době expozice či jiným faktorům nebyly ve studii uvedeny. Pro účely studie (King et al., 2021) byly sbírány odhozené nedopalky různých značek v kampusu Kalifornské státní university v Long Beach. Následně byly rozřazeny v závislosti na značce cigaret a barvy filtru (hnědá/bílá). V rámci studie (Moriwaki et al., 2009) byla provedena analýza pouze jednoho cigaretového nedopalku jako součásti sběru odpadků ve městě Ueda v Japonsku v okolí silnic. Konkrétní druh cigarety a podrobnější podmínky expozice nejsou ve studii uvedeny.

Z hlediska extrakčního postupu byly v rámci studie (Dobaradaran et al., 2019) vyzkoušeny tři způsoby extrakce PAU z cigaretových nedopalků. Jednalo se o extrakci pomocí míchání na orbitální třepače, překlopné třepače a ultrazvukem. Nejvyšší výtěžnost vykazovala extrakce ultrazvukem, nicméně s ohledem na náročnost procesu byla ve studii zvolena metoda s použitím orbitální třepačky (390 rpm, 14 h) s nepatrně nižší výtěžností. Jako extrakční činidlo byl použit cyklohexan. Ve studii (King et al., 2021) byla provedena extrakce pomocí hexanu s využitím Soxhletovy aparatury. Před analýzou vzorků byly pro účely kvantifikace přidány vnitřní standardy obsahující d10-anthracen a d12-benzo(g,h,i)pyren. Ve studii (Moriwaki et al., 2009) byly PAU extrahovány pomocí ultrazvukové lázně a extrakčním rozpouštědlem byla směs toluen/ethanol. Následná analýza PAU byla ve studiích provedena pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie s fluorescenční a spektrofotometrickou detekcí či pomocí plynové chromatografie s hmotnostní detekcí.

V Tab. 3 jsou uvedeny k vybraným studiím průměrné obsahy PAU jakožto součet obsahů měřených analytů. Je potřeba vzít v potaz, že celkové součty obsahů PAU nejsou vždy tvořeny obsahy všech 16 prioritních PAU. Pro studii (Dobaradaran et al., 2020) je uvedeno naměřené rozmezí průměrných součtů obsahu PAU ve výluzích. V Tab. 4 jsou uvedeny

obsahy jednotlivých analytů stanovených v cigaretových nedopalcích ve studiích (Dobaradaran et al., 2019; King et al., 202; Moriwaki et al., 2009).

Obsahy 16 PAU ve studii (Dobaradaran et al., 2019) byly nejvyšší u čerstvých nedopalků a nejnižší u nedopalků exponovaných v okolí vodstva. Vliv expozice na obsah jednotlivých PAU se projevil úbytkem množství zejména u PAU s nízkou molární hmotností. Největší úbytek vlivem expozice nastal u naftalenu, který u čerstvých nedopalků dosahoval nejvyššího zastoupení z analytů a u exponovaných nedopalků v okolí řek dosahoval téměř nejnižších hodnot v porovnání s ostatními PAU. Naopak analyty s vysokými molárními hmotnostmi dosahovaly srovnatelných obsahů u čerstvých nedopalků s exponovanými nedopalky. Průměrný obsah 16 PAU uvedený s jednonásobkem směrodatné odchylky byl roven v nedopalcích čerstvých $24,6 \pm 4,57 \mu\text{g/g}$, v exponovaných v ulicích $20,4 \pm 3,95 \mu\text{g/g}$ a v nedopalcích exponovaných v okolí vodstva $18,7 \pm 2,93 \mu\text{g/g}$. Ve výsledcích uvedených ve studii byla zaznamenána variabilita mezi jednotlivými vzorky, která byla vyjádřena pomocí směrodatných odchylek. Rozdílný obsah PAU pro jednotlivé vzorky čerstvých nedopalků mohl být způsoben rozdíly mezi jednotlivými značkami cigaret, způsobem kouření a dalšími faktory. U exponovaných nedopalků mohla být variabilita výsledků způsobena rozdílnými podmínkami expozice. Ve studii (King et al., 2021) byl celkový součet obsahů 10 PAU v exponovaných nedopalcích roven 1734 ng/CB . Pro porovnání uvedených hodnot ve studiích byl proveden převod jednotky z ng/CB na $\mu\text{g/g}$. Na základě průměrné hmotnosti jednoho nedopalku z experimentální části této práce ($0,25\text{g}$) byl provedený odhad celkového obsahu 10 PAU roven $6,06 \mu\text{g/g}$. V Tab. 4 jsou zaznamenány obsahy jednotlivých analytů. Přepočtené výsledky jednotlivých PAU byly ve studii (King et al., 2021) vypočteny v rozmezí setin až jednotek $\mu\text{g/g}$. Obsahy PAU pro nedopalky ve studii (King et al., 2021) byly zhruba o řád nižší než pro studii (Dobaradaran et al., 2019). Nižší obsah PAU mohl být způsoben rozdílnou expozicí nedopalků, která v publikaci není specifikována. Ve studii (Dobaradaran et al., 2019) byl s vlivem expozice zaznamenán pokles analytů s nízkou molární hmotností. Tento trend je v souladu s fyzikálně-chemickými vlastnostmi jednotlivých PAU. Vyšší zastoupení naměřeného naftalenu a fenantrenu v porovnání s ostatními PAU v exponovaných nedopalcích nebylo ve studii (King et al., 2021) diskutováno. Ve studii (Moriwaki et al., 2009) činil celkový obsah 11 PAU v nedopalku $0,39 \mu\text{g/g}$, obsahy jednotlivých analytů jsou uvedeny v Tab. 4. Největšího obsahu dosahoval pyren. Nicméně uvedené obsahy jsou přibližně 10krát až 100krát nižší v porovnání se studii (King et al., 2021) a (Dobaradaran et al., 2019). Příčinou mohou být zejména neznáme podmínky expozice měřeného nedopalku a tedy uvolnění PAU do životního prostředí, dále jiný postup extrakce a analýzy vzorku.

Dále byla provedena studie (Dobaradaran et al. 2020) zaměřená na stanovení množství vyluhovaných PAU z cigaretových nedopalků do vody. Stanovení bylo provedeno pro tři typy vod, vždy byl vyluhován jeden nedopalek do objemu 19 ml. Expozice nedopalků ve vodě probíhala po dobu 4 h, 1, 2, 7, 14 a 21 dní. Měření vzorků proběhlo pomocí GC/MS. Celková množství všech vyextrahovaných PAU se pohybovala v rozmezí 3,9-5,7; 3,3-5,5 a 3,0-5,0 $\mu\text{g/l}$ pro vodu deionizovanou, vodovodní a říční. PAU s nižší molární hmotností byly ve výluhu detekovány již po 4 h a celkově dosahovaly nejvyšších koncentrací. Naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren a antracen byly vzhledem ke své vyšší rozpustnosti oproti PAU s vysokou molární hmotností ve vodě zjištěny při všech louhovacích časech. Zároveň bylo zjištěno nejvyšší zastoupení fluorenu a naftalenu při všech louhovacích časech. Analyty s vyšší molární hmotností, konkrétně benzo(a)anthracene, chrysen, benzo(b)fluoranthren, benzo(k)fluoranthren, a benzo(a)pyren byly detekovány pouze v expozičním čase 21 dnů. Obsahy indeno(1,2,3-c,d)pyrenu a dibenzo(a,h) antracenu se nacházely ve všech vodách pod mezí detekce.

Obsahy PAU v cigaretovém kouři je věnováno více publikací než obsahu v nedopalcích. Naměřené hodnoty pro kouř a částicový materiál obsažený v kouři jsou vyšší než obsahy PAU v nedopalcích, jednotlivé publikace se v hodnotách poměrně významně liší (Moir et al., 2008; Verdolotti et al., 2012; Moldoveanu et al., 2008; Soleimani et al., 2022; Dobaradaran et al., 2019; King et al., 2021; Moriwaki et al., 2009). V rámci studie (Moir et al., 2008) bylo provedeno porovnání hlavního a vedlejšího proudu tabákového kouře. Obsah 16 PAU dle US EPA pouze v hlavním proudu kouře byl roven přibližně 16 399 ng/CB. Na základě průměrné hmotnosti jednoho nedopalku z experimentální části této práce (0,25g) byl provedený odhad celkového obsahu 16 PAU roven přibližně 65,6 $\mu\text{g/g}$. V rámci této studie byly zaznamenány vyšší obsahy PAU s nízkou molární hmotností, např. pro naftalen, acenaftylen, fenantren a fluoren. Zastoupení těchto čtyř analytů z celkového množství bylo přibližně 95 %. Naopak výrazně nižší výtěžek byl zaznamenán u PAU s vyšší molekulovou hmotností, např. pro dibenzo(a,h)antracen a benzo(k)fluoranthren. Naměřený obsah 16 PAU v hlavním proudu tabákového kouře je přibližně 2,7krát vyšší v porovnání s obsahem 16 PAU v čerstvých nedopalcích ve studii (Dobaradaran et al., 2019).

Tab. 3: Přehled vybraných stanovení PAU

Stanovení		Počet CB	Analýza	Extrakce	Obsah	Citace
16 PAU	Čerstvé CB	32	GC/MS	Orbitální třepačka Cyklohexan	$\Sigma 24,6 \pm 4,57$ [$\mu\text{g/g}$]	(Dobaradaran et al., 2019)
16 PAU	Exponované CB v ulicích (max. 1 týden)	72			$\Sigma 20,4 \pm 3,95$ [$\mu\text{g/g}$]	
16 PAU	Exponované CB v okolí vodstva (délka expozice nespecifikována)	72			$\Sigma 18,7 \pm 2,93$ [$\mu\text{g/g}$]	
10 PAU	Exponované CB v kampusu (délka expozice nespecifikována)	21	GC/MS	Soxhletova extrakce Hexan	$\Sigma 1734$ [ng/CB] $\Sigma 6,06$ [$\mu\text{g/g}$]	(King et al., 2021)
11 PAU	Exponované CB u silnice (délka expozice nespecifikována)	1	HPLC/FLD	Ultrazvuková lázeň Toluen/ethanol	$\Sigma 0,39$ [$\mu\text{g/g}$]	(Moriwaki et al., 2009)
16 PAU	Výluh CB v deionizované vodě (4h-21dні)	3 CB x 6 expozic	GC/MS	SPME	$\Sigma 3,9-5,7$ [$\mu\text{g/l}$]	(Dobaradaran et al., 2020)
16 PAU	Výluh CB ve vodovodní vodě (4h-21dні)	3 CB x 6 expozic			$\Sigma 3,3-5,5$ [$\mu\text{g/l}$]	
16 PAU	Výluh CB v říční vodě (4h-21dні)	3 CB x 6 expozic			$\Sigma 3,0-5,0$ [$\mu\text{g/l}$]	

Tab. 4: Přehled obsahů v cigaretových nedopalcích

PAU	Čerstvé CB	Exponované CB univerzitní kampus	Exponované CB v okolí řeky	Exponované CB		Exponované CB
						(Moriwaki et al., 2009)
	(Dobaradaran et al., 2019)			(King et al., 2021)		
	[μg/g]			[ng/CB]	[μg/g]	[μg/g]
NA	5,76 ± 2,1	2,90 ± 1,8	0,820 ± 0,90	403,96 ± 63,47	1,62 ± 0,25	-
AY	1,11 ± 0,19	1,00 ± 0,20	0,810 ± 0,13	176,81 ± 25,43	0,71 ± 0,10	-
AE	1,66 ± 0,58	1,31 ± 0,45	0,620 ± 0,16	91,84 ± 13,55	0,367 ± 0,054	-
FR	1,57 ± 0,47	1,45 ± 0,45	0,870 ± 0,21	401,31 ± 30,62	1,61 ± 0,12	0,028
FE	0,480 ± 0,07	0,460 ± 0,08	0,490 ± 0,09	276,86 ± 19,21	1,107 ± 0,077	0,078
AN	1,17 ± 0,17	1,17 ± 0,24	1,10 ± 0,18	122,62 ± 10,76	0,490 ± 0,043	0,0071
FL	1,13 ± 0,17	1,10 ± 0,20	1,12 ± 0,20	112,85 ± 10,51	0,451 ± 0,042	-
PR	1,01 ± 0,15	0,980 ± 0,17	1,01 ± 0,18	103,66 ± 10,71	0,415 ± 0,043	0,091
BA	1,51 ± 0,28	1,51 ± 0,29	1,70 ± 0,31	19,77 ± 5,38	0,079 ± 0,022	0,026
CH	1,23 ± 0,23	1,23 ± 0,23	1,37 ± 0,25	24,70 ± 5,81	0,099 ± 0,023	0,044
BbF	1,31 ± 0,23	1,30 ± 0,24	1,45 ± 0,26	-	-	0,031
BkF	0,950 ± 0,17	0,950 ± 0,18	1,07 ± 0,20	-	-	0,015
BaP	1,28 ± 0,24	1,28 ± 0,24	1,43 ± 0,26	-	-	0,031
DA	1,83 ± 0,32	1,65 ± 0,37	1,98 ± 0,36	-	-	0,0065
BP	0,740 ± 0,13	0,720 ± 0,14	0,800 ± 0,15	-	-	0,031
IP	1,83 ± 0,34	1,82 ± 0,35	2,05 ± 0,38	-	-	-

5 Materiály a metody

5.1 Použité chemikálie

- Směsný standard PAU MIX-9 (Dr. Ehrenstorfer) obsahující 16 PAU dle US EPA
- Vnitřní standard 9,10-difenylnantracen (Sigma-Aldrich)
- Acetonitril-HPLC Super Gradient (Avantor Performance Materials)
- Hexan $\geq 98,0\%$ (Sigma-Aldrich)
- Aceton $\geq 99,8\%$ (Sigma-Aldrich)
- Isopropylalkohol p.a. (Lach-Ner)
- Diethylenglykol $\geq 99,0\%$ p.a. (Sigma-Aldrich)
- Deionizovaná voda

5.2 Instrumentální vybavení a spotřební materiál

- Kapalinový chromatograf s PDA a FLD detekcí (Dionex UltiMate 3000, Thermo Scientific)
- Analytické váhy (Mettler Toledo)
- Chromatografická kolona PAU C18; délka 250 mm; vnitřní průměr 3 mm; velikost částic 5,0 μm (Waters)
- Výrobník deionizované vody (Smart2Pure 6 UV/UF, Thermo)
- Vakuová odparka (IKA RV 10)
- Lednice pro laboratorní vzorky s mrazákem ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Liebherr)
- Ultrazvuková lázeň (VWR)
- Centrifuga (Sigma)
- Automatické dávkovací pipety (Eppendorf)
- Odměrné sklo: třída přesnosti A (FischerBrand)
- Laboratorní sklo, Skleněné válce bez dna – průměr 5,5 cm, výška 10 cm
- Krimpovací kleště, pinzeta
- Skleněné dávkovací stříkačky o objemu 5, 10, 25, 50, 100, 250 a 500 μl (Hamilton)
- Spotřební materiál: plastové špičky, krimpovací vialky z čírého skla s hliníkovým uzávěrem s pryžovým septem, centrifugační zkumavky, hliníková fólie
- Zpracování výsledků bylo provedeno v programu Microsoft Excel 2019
- Pro ovládání kapalinového chromatografu a zpracování chromatogramů byl použit program Chromeleon 7.2.

5.3 Postup experimentální části práce

5.3.1 Příprava roztoků

V rámci experimentální části práce byly použity dvě mobilní fáze - MFA (50 % ACN) a MFB (zásobní ACN). Dále byly připraveny dvě koncentrace VS (9,10-difenylnantracenu), koncentrace 100 µg/l pro přípravu kalibrační řady a koncentrace 1500 µg/l pro extrakční proces nedopalků. Roztok ST (16 PAU dle US EPA) byl připraven o koncentraci 20 µg/l a 1000 µg/l. Extrakční rozpouštědlo tvořila směs hexanu a acetonu v poměru 1:1 a keeper směs isopropanolu a diethylenglykolu v poměru 4:1. Jako rozpouštědlo byl vždy použit 50 % ACN. Podrobný postup přípravy jednotlivých roztoků je shodný s přípravami uvedenými v bakalářské práci v kapitole 5.3 (Křížová, 2022).

5.3.2 Příprava kalibračních roztoků

Řada kalibračních roztoků byla provedena v jednom opakování pro 12 koncentračních úrovní. Celkem bylo tedy připraveno 12 kalibračních roztoků o celkovém objemu 1000 µl v rozsahu koncentrací 0,100-500 µg/l. Pro nižší koncentrační úrovně 1-8 byl použit roztok ST o koncentraci 20 µg/l a pro vyšší koncentrační úrovně 9-12 roztok ST o koncentraci 1000 µg/l. Jako vnitřní standard bylo použito 100 µl roztoku VS o koncentraci 100 µg/l.

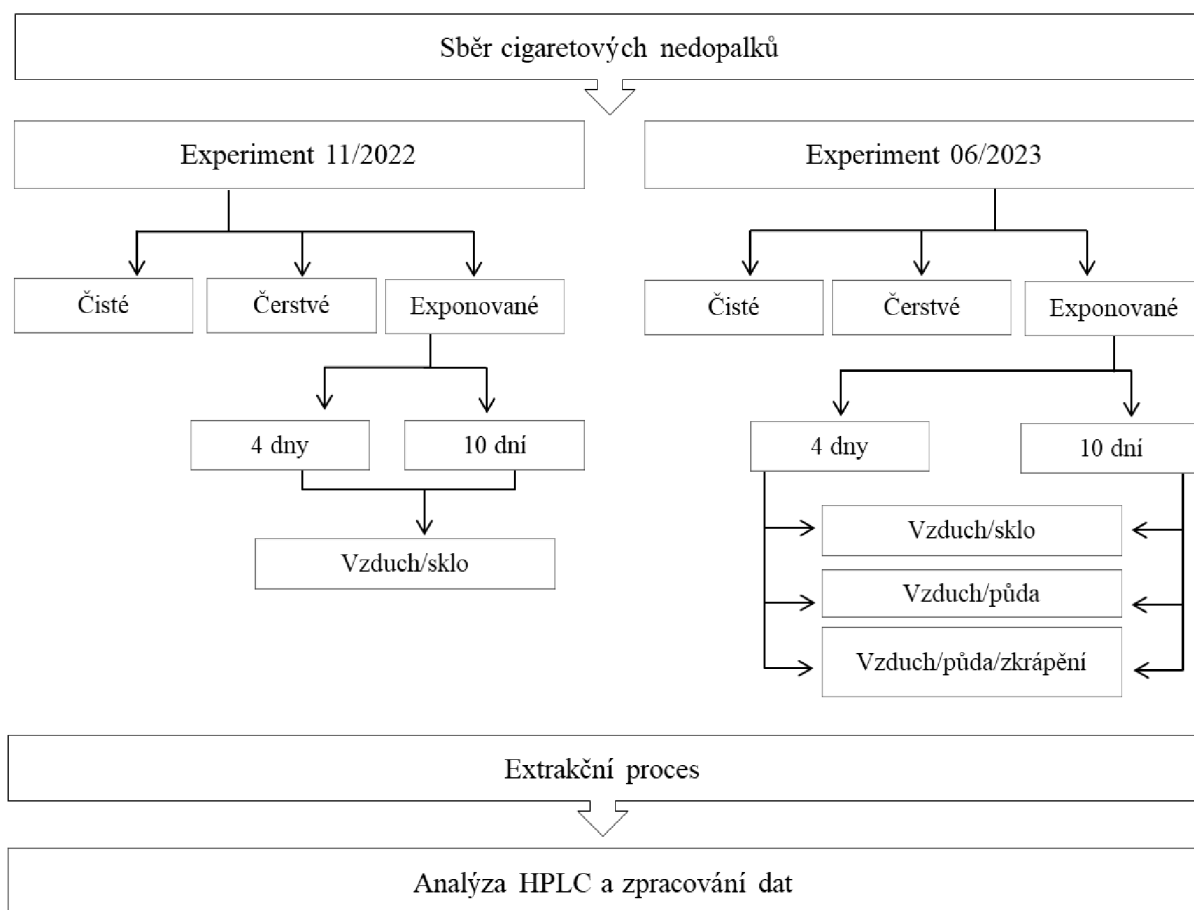
5.3.3 Sběr a uchování vzorků

Odběr vzorků nedopalků pro Předběžnou studii 07/2021 byl proveden v areálu Přírodovědecké fakulty, JU. Pro Experiment 11/2022 a Experiment 06/2023 proběhl odběr vzorků v místě bydliště autorky práce. Čerstvě vykouřené nedopalky byly v průběhu dne odebírány, uloženy ve hliníkové fólii a následně uchovány při teplotě -20 °C. V rámci předběžné studie byly použity nedopalky čtyř různých značek cigaret - LD Pink, balené cigarety, Marlboro a LM označených jako A, B, C, a D. 20 nedopalků bylo určeno pro stanovení obsahu PAU v čerstvých nedopalcích a 20 nedopalků pro expoziční experiment. Pro účely následných experimentů byly odebírány nedopalky pouze značky Chesterfield poskytované jedním kuřákem. Pro srovnání čerstvě vykouřených nedopalků s nevykouřenými byly připraveny tzv. čisté nedopalky odstřížením z nepoužitých cigaret. Hmotnosti jednotlivých nedopalků před extrakcí se pro Experiment 11/2022 a Experiment 06/2023 pohybovaly v rozsahu 0,1601-0,3441 g.

5.3.4 Přehled vzorků a průběh expozičních experimentů

V rámci Předběžné studie 07/2021 bylo celkem 17 nedopalků tří různých značek - A, B, C exponováno venkovnímu prostředí po dobu 21 dní. Nedopalky byly umístěny na přibližně 5cm vrstvu proseté půdy (velikost otvoru síta 2 mm) umístěné v kádinkách, pod hlínou byla přibližně 10cm vrstva kamenů. Předběžná studie probíhala v červenci 2021 pod venkovním přístřeškem. Část vzorků nedopalků byla pravidelně zkrápěna průměrným ročním objemem srážek na daný region, část vzorků byla exponována bez zkrápění. Rovněž byla provedena expozice pouze v kádince bez hlíny a bez zkrápění. Výsledky předběžné studie byly využity pro plánování vhodných expozičních podmínek dalších experimentů, tedy listopadového Experimentu 11/2022 a červnového Experimentu 06/2023. Na Obr. 2 je pro přehlednost znázorněno schéma postupu navazujících experimentů a přehled analyzovaných cigaretových nedopalků.

Obr. 2: Schéma experimentální části práce



Experiment 11/2022 byl proveden jako součást středoškolské odborné práce v rámci SOČ studenty SŠ. Byl sledován vliv délky expozice nedopalku na obsah PAU v nedopalcích. Nedopalky byly položeny na skle umístěném pod stříškou a nebyly zkrápěny. Na začátku experimentu bylo 5 nedopalků umístěno na skleněné Petriho misce a vystaveno expozici po dobu 10 dní. Během tohoto období bylo na druhou Petriho misku přidáno dalších 5 nedopalků, jejichž expozice trvala 4 dny. Konkrétní expoziční podmínky jsou uvedeny v Tab. 5. Následně byly vzorky uchovány do analýzy obsahu PAU v hliníkové folii při teplotě -20 °C.

Tab. 5: Expoziční podmínky Experimentu 11/2022

Doba expozice		Klimatické podmínky
Expozice 10 dní	15.11.2022	polojasno / 6,5 °C
	16.11.2022	celý den déšť / 8 °C
	19.11.2022	sníh / -2 °C
Expozice 10, resp. 4 dny	21.11.2022	zataženo / 3,5 °C
	22.11.2022	zataženo / 5 °C
	23.11.2022	polojasno / 5 °C
	25.11.2022	zataženo / 4 °C

Experiment 06/2023 probíhal na území Přírodovědecká fakulty, JU. Celkový počet exponovaných nedopalků značky Chesterfield činil 30. Nedopalky byly exponovány opět 4 a 10 dní, ovšem podmínky expozice se od experimentu 11/2022 lišily. Expozice probíhala na odtravněném hliněném prostoru s vyrobeným přístřeškem. Vybrané nedopalky byly jednotlivě umístěny do 10cm skleněných válců s průměrem 5,5 cm beze dna, které byly z poloviny výšky zasazeny do půdy. Na začátku experimentu bylo 10 nedopalků jednotlivě umístěno do skleněných válců, z nichž 5 nedopalků bylo v průběhu desetidenní expozice zkrápěno vodovodní vodou průměrným ročním objemem srážek na daný region a zbylých 5 nedopalků bylo pouze položeno na půdě bez zkrápění. Dalších 5 nedopalků s desetidenní expozicí bylo umístěno na Petriho misce bez zkrápění. Obdobně probíhal experiment s kratší čtyřdenní expoziční dobou.

Konkrétní expoziční podmínky jsou uvedeny v Tab. 6. Dny, v které bylo možné provést zkrápění, jsou označeny X. Nedopalky s desetidenní expozicí byly zkrápěny vypočteným objemem vody 4,6 ml a nedopalky s čtyřdenní expozicí objemem vody 4,1 ml. Následně byly vzorky uchovány do analýzy obsahu PAU v hliníkové folii a uloženy při teplotě -20 °C. Pro

stanovení obsahu PAU byla rovněž sesbírána a uchována půda umístěná v průběhu expozice pod nedopalkem. Analýza obsahu PAU v půdách nebyla již předmětem této diplomové práce.

Tab. 6: Expoziční podmínky Experimentu 06/2023

Doba expozice		Zkrápěno	Klimatické podmínky
Expozice 10 dní	5.6.2023	X	Děšť / 15 °C
	6.6.2023	X	Zataženo / 20 °C
	7.6.2023	X	Oblačno, dešťové přeháňky / 20 °C
	8.6.2023	X	Oblačno, dešťové přeháňky / 21 °C
	9.6.2023	X	Přeháňky, bouřky / 22 °C
	10.6.2023	-	Přeháňky, bouřky / 22 °C
Expozice 10, resp. 4 dny	11.6.2023	X	Polojasno / 24 °C
	12.6.2023	X	Skoro jasno / 21 °C
	13.6.2023	X	Skoro jasno / 21 °C
	14.6.2023	X	Polojasno / 21 °C
	15.6.2023	-	Polojasno / 22 °C

5.3.5 Postup extrakce nedopalků

Extrakce PAU z nedopalků (čistých i exponovaných) probíhaly dle postupu zavedeného a validovaného v laboratoři analytické chemie (KCH, PŘF JU) dle publikace (Primbs et al., 2008). Vzorek nedopalku byl vždy nejprve zvážen na analytických vahách a vložen do Erlenmayerovy baňky. Následně bylo přidáno 100 µl roztoku VS o koncentraci 1500 µg/l, 10 ml extrakčního rozpouštědla a uzavřená baňka byla vložena do ultrazvukové lázně na 10 min. Poté byl první podíl odlit do srdcové baňky o objemu 25 ml. Do Erlenmayerovy baňky s nedopalkem bylo znova přidáno 10 ml extrakčního rozpouštědla a opět byla vložena na 10 min do ultrazvukové lázně. Následně byl druhý podíl extraktu přilít do srdcové baňky k prvnímu podílu. Do roztoku extraktu bylo přidáno 0,5 ml keeperu a bylo provedeno odpařování při 300 mBar, teplotě 40 °C, 100 rpm na konečný objem přibližně 0,5 ml extraktu. K extraktu byl přidán 1 ml MF (50 % ACN), promíchaný roztok byl převeden do centrifugační zkumavky a následně proběhla centrifugace při 18000 rpm.

Před HPLC analýzou byl extrakt 10krát zředěn 50% roztokem ACN ve vodě (MFA) a v případě potřeby znova centrifugován. Extrakt k analýze byl pro každý vzorek ředěn ve čtyřech opakováních.

5.3.6 Podmínky chromatografické separace PAU

Analýza roztoků standardů a vzorků s obsahem PAU probíhala pomocí RP-HPLC s FLD a PDA detekcí za gradientové eluce. Použitou chromatografickou kolonou byla PAU C18, MFA byl 50 % ACN a MFB byl zásobní roztok ACN (Pilík 2018). Podmínky separace jsou uvedeny v Tab. 7. Optimalizace metody byla provedena v rámci bakalářské práce (Křížová, 2022).

Tab. 7: Podmínky chromatografické separace PAU

Parametr separace	Hodnota	
Velikost nástřiku pro kalibrační roztoky	90 μ l	
Velikost nástřiku pro reálné vzorky	10, resp. 15 μ l	
Průtok MF	1 ml/min	
Teplota kolonového prostoru	35 °C	
Gradientový program	Čas [min]	Zastoupení MFB [%]
	0 – 2,5	0
	2,5 – 10	0 \rightarrow 100
	10 – 14	100
	14 – 15	100 \rightarrow 0
	15 – 20	0

5.3.7 Zpracování naměřených dat

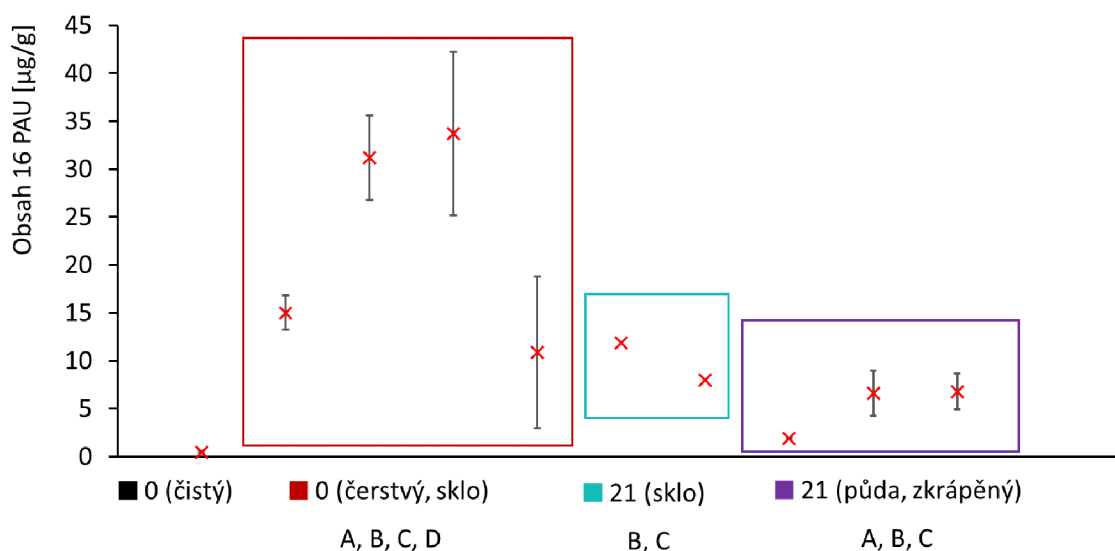
Zpracování naměřených dat bylo provedeno pomocí programu Chromeleon 7.2 a MS Excel. Výsledky v kapitole 5.4 jsou uvedeny jako obsah analytu v μg na 1 gram nedopalku [$\mu\text{g/g}$] s dvojnásobkem směrodatné odchylky. Výsledné obsahy byly stanoveny pouze pro analyty, jejichž hodnoty se nacházely nad mezí kvantifikace. Ta byla určena hodnotou nejnižšího kalibračního bodu pro daný analyt. Obsah analytů na 1 gram nedopalku [$\mu\text{g/g}$] byl vypočítán podílem obsahu analytů v nedopalku [$\mu\text{g/nedopalek}$] a hmotností odpovídajícího nedopalku před extrakcí. Hodnota obsahu analytů v nedopalku [$\mu\text{g/nedopalek}$] byla získána pomocí relativního obsahu analytu neboli podílu hmotnosti analytu a hmotnosti VS, který byl vynásoben hmotností VS přidané do extrakční směsi na začátku extrakce vzorků. Relativní obsah analytů byl vypočten pomocí rovnice kalibrační křivky získané na základě vyhodnocení analýz vlastních kalibračních roztoků. Metodika zpracování dat je totožná s postupem v bakalářské práci (Křížová, 2022). Na základě Přílohy B a Přílohy C byly vypočteny průměrné hodnoty jednotlivých analytů v nedopalcích dle expozice Tab. 9 a Tab. 11. Součástí tabulek jsou také Σ_p 16 PAU, které byly vypočteny jako průměr z pěti hodnot Σ 16 PAU ze zmíněné Přílohy B a Přílohy C. Zároveň z pěti hodnot Σ 16 PAU pro daný vzorek byl spolu s Σ_p 16 PAU vypočten dvojnásobek směrodatné odchylky. Procentuální zastoupení průměrných obsahů analytů v Tab. 10 a Tab. 12 bylo vypočteno podílem průměrného obsahu daného analytu z celkového součtu průměrů 16 PAU pro daný vzorek nedopalku.

5.4 Výsledky

V kapitole 5.4 jsou uvedeny výsledky ze tří experimentů. První část je věnována výsledkům Předběžné studie 07/2021, na základě kterých byly zvoleny podmínky pro další experimenty v zimním a letním období - Experiment 11/2022 a Experiment 06/2023.

5.4.1 Předběžná studie 07/2021

Předběžná studie 07/2021 se zabývá stanovením obsahů 16 PAU v čerstvých a exponovaných nedopalcích cigaret 4 různých značek (A, B, C, D). Cílem této studie bylo optimalizovat expoziční podmínky k zachycení průběhu úbytku PAU u exponovaných nedopalků. Podmínky expozice nedopalků jsou uvedeny v kapitole 5.3.4. Průměrné obsahy jednotlivých analytů přepočtené na gram nedopalku včetně dvojnásobku směrodatných odchylek jsou uvedeny v Tab. 8. Výsledky z předběžné studie jsou rovněž znázorněny na Obr. 3 jakožto závislost obsahů všech 16 PAU pro danou značku cigaret na expozici.



Obr. 3: Znázornění průměrného obsahu 16 PAU ve vzorcích s expozicí 0 a 21 dní (Předběžná studie 07/2021)

Průměrný obsah 16 PAU v čistém vzorku, tedy v odstřižené části nevykouřené cigarety s filtrem, byl $0,48 \pm 0,12 \mu\text{g/g}$. U čerstvých nedopalků se průměrné hodnoty celkového obsahu analytů pohybovaly v rozmezí 11-39 $\mu\text{g/g}$ v závislosti na konkrétní značce cigaret. Dle zastoupení PAU lze značky cigaret vzestupně seřadit D (LM), A (LD Pink), B (balené cigarety) a C (Marlboro). Největší podíl obsahu stanovovaných PAU vždy tvořil NA s obsahem v rozsahu 8,2-21,6 $\mu\text{g/g}$. Obsah analytů s nízkou molární hmotností NA, AY, AE, FR a FE tvořil u čerstvých nedopalků přibližně 90-94 % celkového obsahu. Těchto pět analytů bylo tedy zastoupeno z podstatně větší části v porovnání s analyty s vyšší molární hmotností.

Nedopalky exponované venkovnímu prostředí vykazovaly podstatně nižší obsah PAU oproti čerstvým nedopalkům. Konkrétně u značek B a C při expozici vzduchu na skle bez zkrápění byl obsah PAU roven 8,00 a 11,9 $\mu\text{g/g}$. Na základě průměrných hodnot obsahů u čerstvých nedopalků pro danou značku vzatých jako celek (tedy 100 %) byly odhadnuty celkové úbytky PAU během expozice. Úbytek 16 PAU u značek nedopalků B a C byl vypočten na 68 a 80 %.

V případě zkrápěných nedopalků pro značky A, B a C byl naměřený obsah PAU $1,918 \pm 0,084$; $6,6 \pm 2,4$ a $6,8 \pm 1,9$ $\mu\text{g/g}$, což v porovnání s nedopalky čerstvými odpovídá úbytku přibližně 82-88 %. Největší úbytek byl zaznamenán pro analyty s nízkou molární hmotností. Konkrétně obsah NA byl v extraktech exponovaných nedopalků pod mezí stanovitelnosti a to jak pro expozici bez zkrápění tak pro expozici na hlíně se zkrápěním.

Tab. 8: Předběžná studie 07/2021 - Průměrné obsahy analytů pro nedopalky různých značek uvedené s dvojnásobkem směrodatné odchylky

Expozice	Značka	NA	AY	AE	FR	FE	AN	FL	Σ PR - IP	Σp 16 PAU
		[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]
0 (čistý)	-	<0,011	<0,022	0,0073 ± 0,0035	0,0168 ± 0,0059	0,145 ± 0,046	0,0256 ± 0,0066	0,100 ± 0,026	0,181	0,48 ± 0,12
0 (čerstvý, sklo)	A	9,6 ± 1,1	1,58 ± 0,89	0,728 ± 0,122	1,74 ± 0,26	1,30 ± 0,18	0,348 ± 0,037	0,467 ± 0,097	0,794	16,6 ± 2,7
	B	18,5 ± 3,2	6,00 ± 0,21	1,63 ± 0,21	4,74 ± 0,70	2,79 ± 0,31	0,791 ± 0,031	0,850 ± 0,056	1,89	37,2 ± 4,4
	C	21,6 ± 5,0	5,3 ± 1,8	1,94 ± 0,49	5,0 ± 1,5	2,67 ± 0,87	0,79 ± 0,24	0,70 ± 0,28	1,04	39 ± 10
	D	8,2 ± 5,8	<0,022	0,46 ± 0,37	0,99 ± 0,77	0,62 ± 0,53	0,17 ± 0,15	0,17 ± 0,10	0,382	11,0 ± 8,0
21 (sklo)	B	<0,011	0,888	4,49	1,79	1,31	0,472	0,684	2,19	11,9
	C	<0,011	0,766	3,43	1,22	1,28	0,293	0,318	0,687	8,00
21 (půda, zkrápěný)	A	<0,011	<0,022	0,6002 ± 0,0028	0,341 ± 0,017	0,381 ± 0,048	0,1020 ± 0,0044	0,177 ± 0,021	0,316	1,918 ± 0,084
	B	<0,011	<0,022	2,4 ± 1,1	1,31 ± 0,50	1,11 ± 0,40	0,39 ± 0,13	0,440 ± 0,098	1,49	6,6 ± 2,4
	C	<0,011	<0,072	2,30 ± 0,92	1,48 ± 0,46	1,24 ± 0,38	0,40 ± 0,13	0,41 ± 0,14	0,873	6,8 ± 1,9

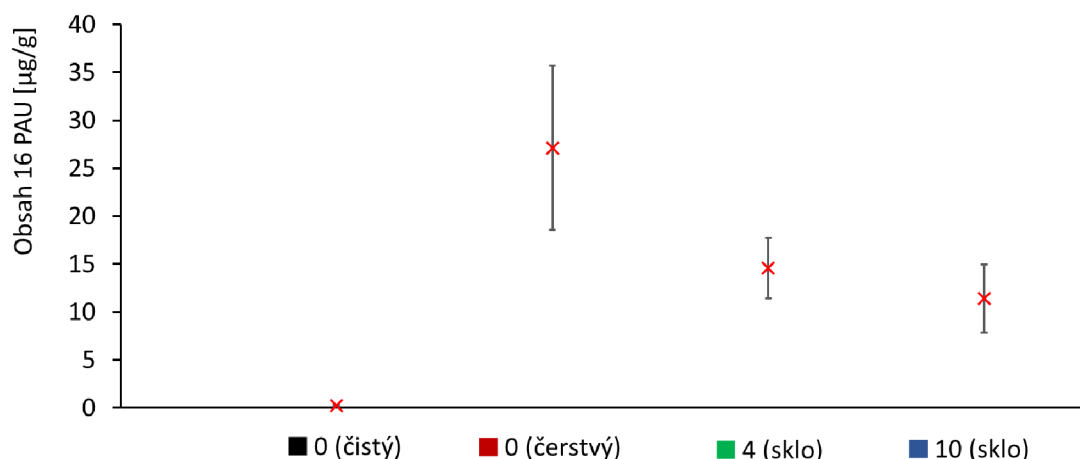
Uvedené značky cigaret a počet analyzovaných nedopalků (čerstvý; exponovaný 21 dní na skle; exponovaný 21 dní na půdě se zkrápěním):

- A – LD Pink (3; 0; 2)
- B – balené cigarety (3; 1; 4)
- C – Marlboro (3; 1; 9)
- D – LM Blue (3; 0; 0)

5.4.2 Experiment 11/2022

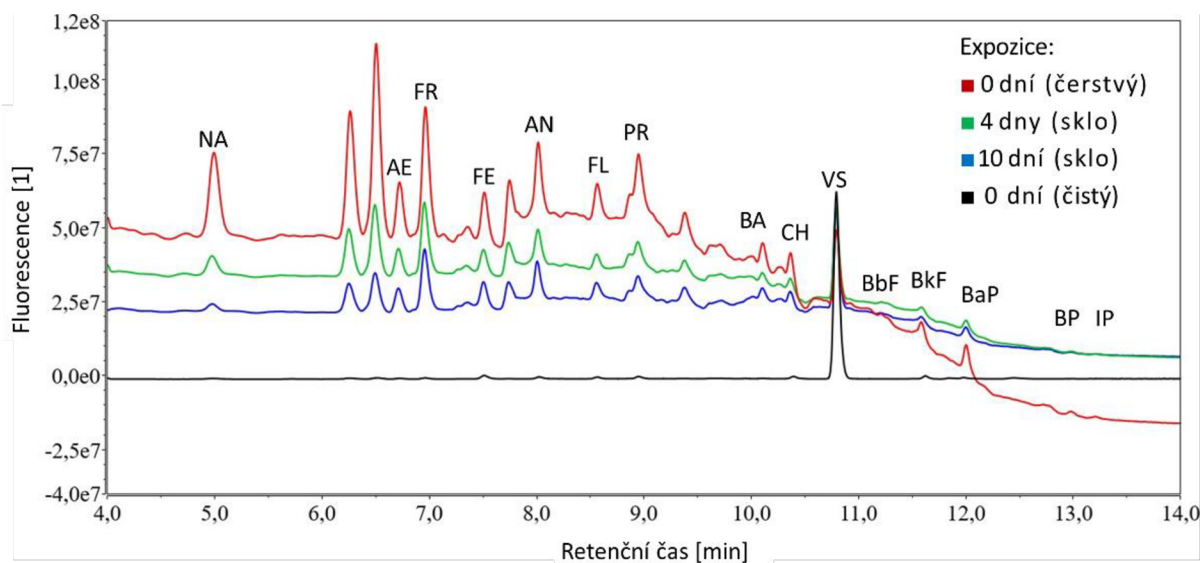
Na základě zkušeností a výsledků pozorování v průběhu předběžné studie byl následně proveden Experiment 11/2022. Tento experiment probíhal v zimním období a cílem bylo sledovat a popsat vliv expozice bez zkrápění na obsah PAU v nedopalku. V porovnání s předběžnou studií byly zvoleny kratší časy expozice a celý experiment byl prováděn s jedním typem cigaretových nedopalků. Délka expozice byla 4 a 10 dní, nedopalek byl umístěn na skle. Experiment byl tématem středoškolské odborné práce studentky gymnázia uskutečněný pod vedením autorky této diplomové práce. Konkrétní expoziční podmínky jsou zaznamenány v Tab. 5. V Příloze B jsou uvedeny výsledky analýz jako průměrná hodnota obsahu analytu ze čtyř měření pro daný nedopalek s dvojnásobkem směrodatné odchylky. Na základě údajů uvedených v Příloze B jsou v Tab. 9 vypočteny průměrné obsahy analytů v nedopalcích pro jednotlivé expozice.

Pro čerstvé neexponované nedopalky byl stanoven průměrný obsah PAU $27,1 \pm 8,6 \mu\text{g/g}$. Po expozici vzduchu po dobu 4 dnů byl obsah 16 PAU $14,6 \pm 3,1 \mu\text{g/g}$, což představuje v porovnání s průměrnou hodnotou obsahu čerstvých nedopalků úbytek o 46 %. Nedopalky exponované 10 dnů obsahovaly průměrně $11,4 \pm 3,6 \mu\text{g/g}$, což odpovídá celkovému poklesu o 58 %. Čisté vzorky obsahovaly průměrně pouze $0,216 \pm 0,079 \mu\text{g/g}$ stanovovaných PAU. Průměrný obsah PAU v nedopalcích pro různé doby expozice je znázorněn na Obr. 4.



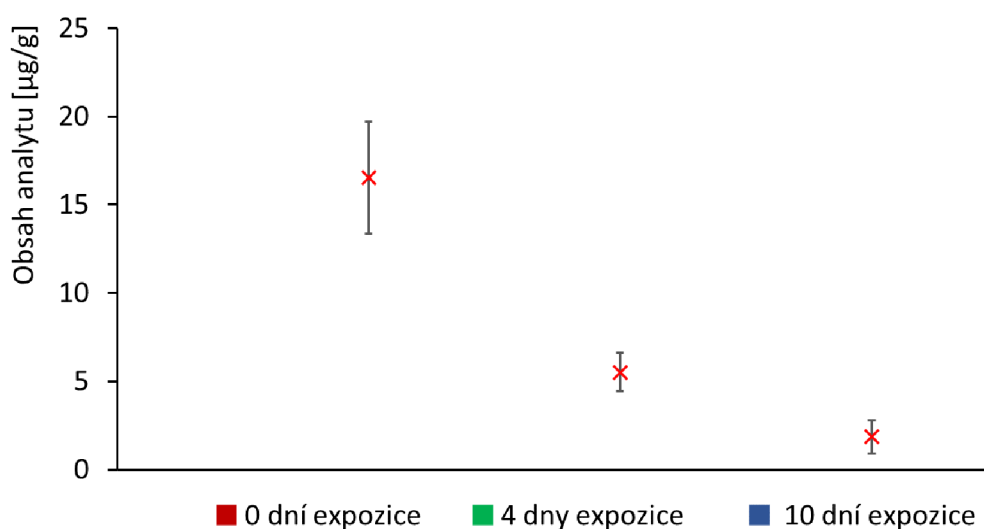
Obr. 4: Znázornění průměrného obsahu 16 PAU ve vzorcích (expozice 0-10 dní bez zkrápění)

Na Obr. 5 jsou zobrazeny vybrané chromatogramy získané analýzou extraktů jednotlivých nedopalků značky Chesterfield s různou délkou expozice.



Obr. 5: Chromatogram analýzy extraktů vzorků značky Chesterfield

V chromatogramu jsou znázorněny píky jednotlivých analytů detekovaných FLD detekcí. Analyt AY byl detekován pomocí PDA detekce a analyt DA nebylo možné změřit nad mezí stanovitelnosti. Z tohoto důvodu nejsou analyty AY a DA v chromatogramu uvedeny. V závislosti na době expozice lze pozorovat výrazný úbytek u analytů s nízkou molární hmotností a to zejména u NA, což je rovněž znázorněno na Obr. 6.



Obr. 6: Znázornění vlivu délky expozice na průměrný obsah naftalenu v nedopalcích (expozice 0-10 dní bez zkrápění)

Analyty s nízkou molární hmotností tvořily většinu obsahu PAU v čerstvých nedopalcích. Konkrétně obsah NA byl průměrně $16,5 \pm 3,2 \mu\text{g/g}$ z celkové sumy $27,1 \pm 8,6 \mu\text{g/g}$. U nedopalků s expozicí 4 dny na vzduchu činila průměrná hodnota zastoupení NA $5,5 \pm 1,1 \mu\text{g/g}$ z celkové sumy $14,6 \pm 3,1 \mu\text{g/g}$. Průměrné zastoupení obsahu NA u nedopalků exponovaných 10 dní vzduchu bylo rovno $1,85 \pm 0,94 \mu\text{g/g}$ z celkové sumy $11,4 \pm 3,6 \mu\text{g/g}$.

V Příloze D je uvedeno procentuální zastoupení jednotlivých analytů v cigaretových nedopalcích. Dále v Tab. 10 je vypočteno procentuální zastoupení na základě průměrů jednotlivých analytů na danou expozici. U čerstvých nedopalků dosahovaly sestupně nejvyššího procentuálního zastoupení analyty NA; FR; AY; FE a AE, které dohromady představovaly přibližně 92 % celkového množství. Průměrná procentuální hodnota pro samotný NA je rovna 60,9 %. U nedopalků s expozicí 4 dny na skle bylo sestupné pořadí dle zastoupení analytů následující NA; FR; FE; AE a AY. Tyto analyty dohromady zaujímaly přibližně 86 % z celkového množství. Hodnota pro samotný NA byla 37,8 %. U nedopalků s expozicí 10 dnů na skle bylo zastoupení nejvyšší sestupně pro analyty FR; FE; NA; AY a AE. Celkové procentuální zastoupení těchto analytů činilo přibližně 79 %. Při této expozici dosahoval nejvyššího zastoupení v cigaretových nedopalcích FR s hodnotou 29,0 %, samotný NA zaujímal 16,2 %. Nicméně vždy se jedná o analyty s nízkou molární hmotností, které obsahují 2-3 aromatická jádra. Jednotlivé PAU s vyšší molární hmotností obsahující 4 a více jader s výjimkou analytů FL a PR jsou v nedopalcích zastoupeny z méně než 1 %. Přes zřejmý úbytek PAU s nízkou molární hmotností stále tvoří podstatnou část obsahu PAU i v nedopalcích exponovaných vnějším podmínkám.

Tab. 9: Experiment 11/2022 – Průměrné obsahy analytů v nedopalcích dle expozice uvedené s dvojnásobkem směrodatné odchylky

Expozice	NA	AY	AE	FR	FE	AN	FL	Σ _p PR-IP	Σ _p 16 PAU
[0-10 dní]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]
0 (čistý)	0,080	< 0,072	< 0,0036	0,0179 ± 0,0015	0,106 ± 0,018	0,0116 ± 0,0011	0,0201 ± 0,0051	0,0201 ± 0,0079	0,216 ± 0,079
0 (čerstvý)	16,5 ± 3,2	2,1 ± 1,3	1,14 ± 0,47	3,3 ± 1,8	1,9 ± 1,1	0,55 ± 0,31	0,51 ± 0,32	1,06 ± 0,77	27,1 ± 8,6
4 (sklo)	5,5 ± 1,1	0,88 ± 0,35	0,94 ± 0,25	3,36 ± 0,79	1,80 ± 0,56	0,54 ± 0,17	0,50 ± 0,14	1,06 ± 0,47	14,6 ± 3,1
10 (sklo)	1,85 ± 0,94	0,99 ± 0,79	0,88 ± 0,28	3,3 ± 1,0	2,03 ± 0,52	0,60 ± 0,23	0,58 ± 0,34	1,18 ± 0,75	11,4 ± 3,6

Tab. 10: Experiment 11/2022 - Procentuální zastoupení průměrného obsahu analytů v cigaretových nedopalcích na danou expozici

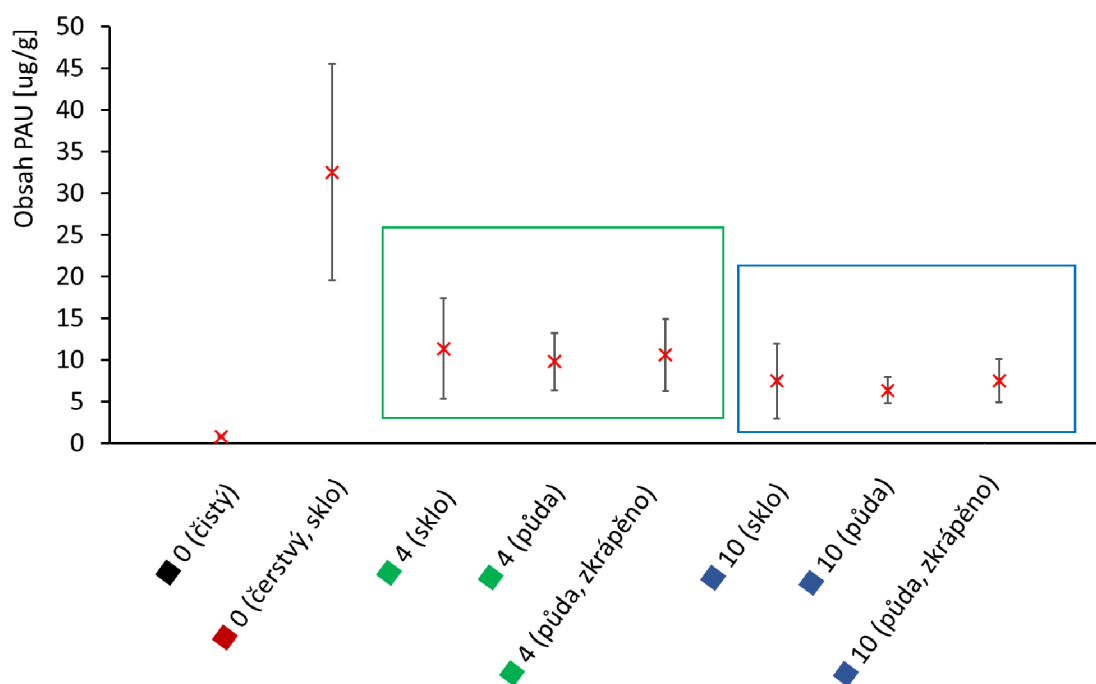
Expozice	NA	AY	AE	FR	FE	AN	FL	PR	BA	CH	BbF	BkF	BaP	DA	BP	IP	Σ
[0-10 dní]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0 (čistý)	31,3	-	-	6,99	41,4	4,55	7,87	7,88	-	-	-	-	-	-	-	-	100
0 (čerstvý)	60,9	7,71	4,21	12,2	7,17	2,03	1,88	2,74	0,271	0,375	0,0866	0,0541	0,161	-	0,104	0,102	100
4 (sklo)	37,8	6,04	6,44	23,0	12,3	3,73	3,40	5,32	0,507	0,697	0,166	0,098	0,276	-	0,171	-	100
10 (sklo)	16,2	8,64	7,75	29,0	17,8	5,24	5,05	7,72	0,698	0,922	0,173	0,136	0,406	-	0,279	-	100

5.4.3 Experiment 06/2023

Experiment 06/2023 se zabývá stanovením obsahu PAU v cigaretových nedopalcích vystavených expozici vzduchu, vodě a půdě po dobu 4 a 10 dnů. Každému druhu expozice bylo vystaveno 5 nedopalků značky Chesterfield, konkrétní expoziční podmínky jsou uvedeny v Tab. 6. Dále proběhla analýza obsahu PAU v 5 čerstvých neexponovaných nedopalcích a ve 2 čistých vzorcích. Po extrakci byl vždy výsledný eluát zředěn za účelem provedení analýzy ve čtyřech opakováních pro každý nedopalek. V příloze C jsou tyto výsledky vyjádřeny jako průměrná hodnota obsahu analytu ze čtyř měření v daném nedopalku s dvojnásobkem směrodatné odchylky. V Příloze E je také uvedeno procentuální zastoupení jednotlivých analytů v cigaretových nedopalcích.

Na základě údajů uvedených v Příloze C jsou v Tab. 11 vypočteny průměrné hodnoty pro jednotlivé expozice. Nejvyšší koncentrace 16 PAU byla zjištěna u vzorků neexponovaných čerstvých nedopalků a to s průměrnou hodnotou $33 \pm 13 \mu\text{g/g}$. V závislosti na době a způsobu expozice průměrný obsah 16 PAU v nedopalcích klesal. V nedopalcích exponovaných vzduchu na skle po dobu 4 dnů bylo celkově obsaženo $11,4 \pm 6,0 \mu\text{g/g}$, což v porovnání s průměrnou hodnotou obsahu čerstvých nedopalků představuje úbytek o 65 %. Po čtyřdenní expozici nedopalků na půdě bez zkrápění bylo naměřeno průměrné zastoupení 16 PAU $9,8 \pm 3,5 \mu\text{g/g}$, což představuje celkový úbytek o 70 % a u nedopalků se zkrápěním $10,6 \pm 4,3 \mu\text{g/g}$, tedy s úbytkem o 68 %. U nedopalků exponovaných 10 dní na skle byla průměrná hodnota $7,5 \pm 4,5 \mu\text{g/g}$ a 10 dní na půdě se zkrápěním byla průměrná hodnota shodná a činila $7,5 \pm 2,6 \mu\text{g/g}$, což představuje pro každou expozici úbytek o 77 %. Pro expozici pouze na půdě po dobu 10 dnů bylo zastoupení 16 PAU $6,4 \pm 1,6 \mu\text{g/g}$, tedy s úbytkem 81 %. Čisté vzorky obsahovaly průměrně pouze $0,81 \pm 0,11 \mu\text{g/g}$.

Naměřené průměrné obsahy z Tab. 11 jsou v závislosti na expozici znázorněny včetně dvojnásobku směrodatných odchylek pomocí grafu na Obr. 7.



Obr. 7: Graf závislosti obsahu PAU na expozici (0-10 dní, Experiment 06/2023)

V neexponovaných čerstvých nedopalcích je nejvyšší obsah zastoupen analyty s nízkou molární hmotností zejména pak NA, jehož průměrný obsah je $18,5 \pm 7,7 \mu\text{g/g}$ z celkového obsahu PAU $33 \pm 13 \mu\text{g/g}$. U nedopalků s expozicí 4 dny na skle je obsah NA $2,60 \pm 1,33 \mu\text{g/g}$ z celkového obsahu $11,4 \mu\text{g/g}$, na půdě $0,30 \mu\text{g/g}$ z celkového obsahu $9,8 \pm 3,5 \mu\text{g/g}$ a na půdě se zkrápěním $0,23 \pm 0,26 \mu\text{g/g}$ z $10,6 \pm 4,3 \mu\text{g/g}$. U všech expozic trvajících 10 dnů byl obsah NA pod mezí stanovitelnosti, tedy menší než $0,036 \mu\text{g/g}$.

V Tab. 12 je vypočteno procentuální zastoupení průměrů jednotlivých analytů na danou expozici. U čerstvých nedopalků měly nejvyšší procentuální zastoupení sestupně analyty NA; FR; FE; AY; AE, které dohromady zaujímaly přibližně 91 % celkového množství. U nedopalků s expozicí 4 dny na skle bylo sestupné pořadí dle zastoupení analytů následující FR; NA; FE; AE; AY se součtem hodnot přibližně 83 %. U nedopalků se stejnou dobou expozice 4 dny ovšem na půdě bylo nejvyšší procentuální zastoupení analytů FR; FE; AY; AE; AN. Tyto analyty dohromady zaujímaly přibližně 83 % z celkového množství. U nedopalků s expozicí 4 dny na půdě se zkrápěním bylo sestupné pořadí analytů FR; FE; AY; AE; FL, které dohromady zaujímaly přibližně 82 % celkového množství. Procentuální

zastoupení nedopalků exponovaných 4 dny na půdě bez zkrápění a se zkrápěním je téměř shodné.

U nedopalků s expozicí vzduchu po dobu 10 dnů bylo zjištěno nejvyšší procentuální zastoupení pro analyty FR; FE; AY; AE; FL, které celkem zaujímaly přibližně 81 %. Pro nedopalky se stejnou dobou expozice ovšem na půdě bylo celkové zastoupení analytů FR; FE; FL; AN; AY rovno přibližně 84 %. U nedopalků s expozicí 10 dní na půdě se zkrápěním bylo sestupné zastoupení analytů FR; FE; AY; FL; AN, které zaujímaly přibližně 82 % z celkového množství. Vždy se jedná o analyty s nízkou molární hmotností, které obsahují 2-3 aromatické jádra. PAU s vyšší molární hmotností obsahující 4 a více jader s výjimkou analytů FL a PR jsou v nedopalcích zastoupeny z méně než 2,5 %.

Tab. 11: Experiment 06/2023 - Průměrné obsahy analytů v nedopalcích na danou expozici s dvojnásobkem směrodatné odchylky

Expozice	NA	AY	AE	FR	FE	AN	FL	Σ_p PR - IP	Σ_p 16 PAU
[0-10 dní]	[$\mu\text{g/g}$]	[$\mu\text{g/g}$]	[$\mu\text{g/g}$]	[$\mu\text{g/g}$]	[$\mu\text{g/g}$]	[$\mu\text{g/g}$]	[$\mu\text{g/g}$]	[$\mu\text{g/g}$]	[$\mu\text{g/g}$]
0 (čistý)	0,141 ± 0,013	< 0,072	0,0656 ± 0,0066	0,096 ± 0,014	0,387 ± 0,076	0,0297 ± 0,0038	0,0501 ± 0,0023	0,03689 ± 0,00029	0,81 ± 0,11
0 (čerstvý)	18,5 ± 7,7	2,3 ± 1,9	1,52 ± 0,60	5,0 ± 2,2	2,7 ± 1,2	0,83 ± 0,35	0,70 ± 0,26	1,3 ± 1,2	33 ± 13
4 (sklo)	2,60 ± 1,33	0,77 ± 0,23	0,9 ± 0,55	3,5 ± 2,1	1,82 ± 0,87	0,64 ± 0,43	0,58 ± 0,29	0,79 ± 0,54	11,4 ± 6,0
4 (půda)	0,300 ± 0,098	0,97 ± 0,60	0,88 ± 0,31	3,7 ± 1,6	2,06 ± 0,74	0,76 ± 0,35	0,627 ± 0,094	0,74 ± 0,27	9,8 ± 3,5
4 (půda, zkrápěno)	0,23 ± 0,26	1,14 ± 0,61	0,90 ± 0,32	3,9 ± 1,6	2,2 ± 1,0	0,82 ± 0,32	0,83 ± 0,42	0,97 ± 0,48	10,6 ± 4,3
10 (sklo)	< 0,036	0,75 ± 0,54	0,58 ± 0,32	2,7 ± 1,7	1,62 ± 0,97	0,49 ± 0,31	0,55 ± 0,25	1,00 ± 0,71	7,5 ± 4,5
10 (půda)	< 0,036	0,47 ± 0,27	0,41 ± 0,12	2,49 ± 0,73	1,67 ± 0,32	0,53 ± 0,13	0,557 ± 0,054	0,71 ± 0,27	6,4 ± 1,6
10 (půda, zkrápěno)	< 0,036	0,75 ± 0,41	0,48 ± 0,16	2,65 ± 0,87	1,77 ± 0,68	0,54 ± 0,16	0,57 ± 0,22	0,9 ± 0,58	7,5 ± 2,6

Tab. 12: Experiment 06/2023 - Procentuální zastoupení průměrného obsahu analytů v cigaretových nedopalcích na danou expozici

Expozice	NA	AY	AE	FR	FE	AN	FL	PR	BA	CH	BbF	BkF	BaP	DA	BP	IP	Σ
[0-10 dní]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0 (čistý)	17,5	-	8,13	11,9	48,0	3,68	6,21	4,57	-	-	-	-	-	-	-	-	100
0 (čerstvý)	56,2	7,05	4,63	15,2	8,21	2,52	2,13	2,66	0,342	0,489	0,121	0,0852	0,201	-	0,123	-	100
4 (sklo)	22,5	6,68	7,78	29,9	15,8	5,58	4,99	3,65	0,763	1,26	0,248	0,250	0,442	-	0,194	-	100
4 (půda)	2,98	9,65	8,73	36,9	20,5	7,60	6,24	3,24	1,09	1,52	0,410	0,239	0,583	-	0,297	-	100
4 (půda, zkrápěno)	2,10	10,4	8,20	35,5	20,2	7,39	7,51	4,65	1,09	1,43	0,438	0,274	0,644	-	0,306	-	100
10 (sklo)	-	9,79	7,54	34,9	21,1	6,46	7,18	6,64	1,00	1,65	0,402	0,452	0,638	1,91	0,355	-	100
10 (půda)	-	6,89	6,01	36,4	24,4	7,68	8,14	4,87	1,35	2,12	0,425	0,415	0,858	-	0,357	-	100
10 (půda, zkrápěno)	-	9,79	6,23	34,5	23,1	7,09	7,45	6,05	1,10	2,04	0,386	-	0,686	1,10	0,419	-	100

5.5 Diskuse

5.5.1 Optimalizace procesu expozice

Na základě Předběžné studie 07/2021 byl optimalizován proces expozice nedopalků pro další experimenty. Konkrétně se jednalo o výběr nedopalků, určení doby expozice, vhodné umístění a způsob provedení experimentu.

V předběžné studii byla prokázána vysoká variabilita obsahu PAU v nedopalcích mezi různými druhy značek cigaret. Vysoké hodnoty SD, resp. dvojnásobku SD naznačují, že velká variabilita je i v rámci nedopalků shodné značky (kapitola 5.4.1). Jak je uvedeno v teoretické části v kapitole 4.3, jednotlivé značky cigaret se liší v celé řadě parametrů a ty následně ovlivňují obsah PAU v nedopalcích. V Předběžné studii 07/2021 byl u čerstvých nedopalků značky C (Marlboro) zaznamenán nejvyšší průměrný obsah 16 PAU. Dle literatury se jedná o cigarety s vysokým obsahem dehtu 10 mg/cig., velikosti cigaret King Size s filtry korkové barvy ze standardních acetátových vláken. Nižší obsah PAU byl naměřen u vzorků B (balené cigarety) a A (LD Pink). Balené cigarety nejsou komerční značka cigaret, tudíž pro ni není možné uvést potřebné parametry k porovnání. U značky A (LD Pink) je obsah dehtu pouze 3 mg/cig. a dle parametrů je řazena do kategorie Superslim (delší a užší). Nejnižší průměrný obsah 16 PAU byl zaznamenán u nedopalků značky D (LM Blue), které mají obdobně jako značka C (Marlboro) velikost King Size. Ovšem liší se nižším obsahem dehtu, který je roven 7 mg/cig a použitým uhlíkovým filtrem v bílé barvě (CeskaTrafika, 2024; Cigarety a škodliviny, 2013). Lze předpokládat, že zmíněné faktory (obsah dehtu, rozměry cigarety, typ filtru) vedou k variabilitě naměřených výsledných obsahů PAU mezi konkrétními značkami cigaret. V rámci studie (Kalaitzoglou et Samara, 2006) bylo sledováno 16 prioritních PAU v hlavním proudu cigaretového kouře pro 59 značek cigaret. Ty byly rozděleny do 15 tříd na základě rozměrů cigarety, přítomnosti či druhu filtru, obsahu dehtu, nikotinu apod. Koncentrace všech PAU dosahovaly nejvyšších hodnot u nefiltrovaných cigaret a cigaret s vysokým obsahem dehtu. Nejnižší hodnoty byly zjištěny ve třídě s nízkým obsahem dehtu.

Jednotlivé charakteristiky různých značek cigaret mají vliv na obsah látek v nich následně stanovených (Kalaitzoglou et Samara, 2006; Vu et al., 2015; Rodgman, 2001). Na základě těchto výsledků bylo rozhodnuto používat pro sledování vlivu podmínek expozice na obsah PAU v nedopalcích cigaretové nedopalky shodné značky. Dalším činitelem může být intenzita kouření daného kuřáka, proto byly pro následné experimenty sbírány nedopalky pouze od jednoho kuřáka (Moldoveanu et al., 2008). Vzhledem k velké variabilitě obsahu PAU v nedopalcích byly další experimenty prováděny vždy s pěti nedopalky pro dané expoziční podmínky.

Dle výsledků z předběžné studie byla doba expozice zkrácena z původních 21 dní na 4 a 10 dní. Jednalo se tak zejména kvůli zachycení průběhu úbytku NA, který nebylo možné pro analýzy exponovaných nedopalků po dobu 21 dní v předběžné studii naměřit nad mezi stanovitelnosti. Dále byla provedena úprava metody samotné expozice. Namísto kádinek s na dně umístěnými kamínky a prosetou půdou byly použity skleněné válce beze dna zasazené do odtravněné půdy. Důvodem bylo zprostředkovat realističtější podmínky expozice venkovnímu prostředí a umožnit odtok vody v průběhu zkrápění.

5.5.2 Stanovení obsahu PAU v neexponovaných nedopalcích

V nedopalcích cigaret se během kouření zachycují PAU, což jednoznačně prokazuje porovnání získaných dat pro čisté a čerstvé nedopalky. Průměrný obsah stanovovaných PAU u čistého vzorku je např. u Experimentu 11/2022 $0,216 \pm 0,079 \mu\text{g/g}$. Tato hodnota je stonásobně nižší než průměrný obsah v čerstvých nedopalcích, který je roven $27,1 \pm 8,6 \mu\text{g/g}$. Tento závěr je ve shodě s obsahem bakalářské práce (Křížová, 2022).

U Experimentu 06/2023 je průměrný celkový obsah 16 PAU u čerstvých nedopalků $33 \pm 13 \mu\text{g/g}$. Vyšší hodnota dvojnásobku směrodatné odchylky v analýze čerstvých nedopalků v Experimentu 06/2023 prokazuje vyšší variabilitu mezi jednotlivými vzorky nedopalků. Tu lze pozorovat zejména u výsledků obsahu NA v čerstvých nedopalcích v Příloze C. Tato variabilita mohla být způsobena odlišným časem odběru jednotlivých nedopalků, které byly sbírány během dne či vlivem průběhu, příp. aktuální intenzity daného kouření. Výsledky experimentů jsou srovnatelné s průměrným zastoupením 16 PAU v předběžné studii, které se pohybovalo v rozmezí $11-39 \mu\text{g/g}$. Vliv parametrů, jako je obsah dehtu, druh filtru či rozměry cigaret dané značky, byl diskutován v kapitole 5.2.1. Pro značku Chesterfield Red je stanoven obsah dehtu 10 mg/cig. , velikost King Size a filtry korkové barvy ze standardních acetátových vláken. Tyto parametry jsou totožné s cigaretami C (Marlboro), jejichž celkový obsah v čerstvých nedopalcích byl $39 \pm 10 \mu\text{g/g}$. V porovnání s obsahem Experimentu 11/2022 a 06/2023 byl tedy mírně vyšší. Zároveň výsledné hodnoty obsahu 16 PAU u čerstvých nedopalků v Experimentu 11/2022 a 06/2023 jsou vyšší než průměrné hodnoty 16 PAU v předběžné studii u čerstvých nedopalků značek A a D. Pro tyto značky je stanoven menší obsah dehtu, příp. cigarety mají jiné rozměry a druh filtru.

Výsledky obsahu PAU v čerstvých nedopalcích jsou srovnatelné se studií (Dobaradaran et al., 2019), která je podrobněji popsána v kapitole 4.4 včetně naměřených obsahů PAU uvedených v Tab. 4. Cílem této studie bylo porovnat obsahy 16 prioritních PAU dle US EPA v nedopalcích čerstvě vykouřených s nedopalky exponovanými životnímu prostředí.

Průměrná hodnota PAU v čerstvých nedopalcích s jednonásobkem směrodatné odchylky byla ve studii rovna $24,6 \pm 4,57 \mu\text{g/g}$. Tento naměřený obsah se nachází v rozmezí 11-39 $\mu\text{g/g}$, které bylo naměřeno pro 16 PAU v Předběžné studii 07/2021 u různých značek cigaret.

Co se týče průměrného procentuálního zastoupení, výsledky uvedené v rámci Experimentu 11/2022 a Experimentu 06/2023 se téměř shodují a nejvíce zastoupené analyty byly NA; FR; AY či FE; AE. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v Tab. 10 a Tab. 12. Při porovnání těchto výsledků s hodnotami procentuálního zastoupení analytů v čerstvých nedopalcích různých značek cigaret, které jsou uvedeny v bakalářské práci (Křížová, 2022) byla nalezena shoda. Kde konkrétní pořadí analytů dle klesajícího zastoupení bylo NA; FR; FE; AE; AY. Přes jisté odlišnosti v pořadí se jedná o stejné analyty. NA je zastoupen ve všech čerstvých nedopalcích z více než 50 % hmotnosti celkového obsahu 16 PAU (Křížová, 2022).

Ve studii (Dobaradaran et al., 2019) bylo sestupné pořadí dle obsahu analytů následující NA, DA, IP, AE a FR. Výsledky této diplomové práce se s literaturou (Dobaradaran et al., 2019) shodují ve velkém procentuálním obsahu analytů s nižší molární hmotností NA, AE a FR. Na druhou stranu není shoda pro analyty IP a DA, které ve studii dosahují vysokého zastoupení, ale v této diplomové práci byly obsahy těchto analytů zřídka nad mezí stanovitelnosti. Příčinou rozdílného zastoupení některých analytů může být odlišný postup extrakce nedopalků a následné analýzy extraktu. V rámci citované studie byla extrakce nedopalků provedena pomocí extrakčního činidla cyklohexanu a prostřednictvím agitační desky (390 rpm, 14 h). Při extrakci nedopalků v rámci experimentů v této diplomové práci bylo jako extrakční rozpouštědlo použita směs hexanu s acetonem a ultrazvuková lázeň. Následná analýza vzorků byla ve studii provedena pomocí GC/MS, v diplomové práci jsou všechny uváděné výsledky analýz pomocí HPLC/FLD/PDA.

5.5.3 Stanovení obsahu PAU v exponovaných nedopalcích

Při expozici nedopalků byl prokázán zřetelný úbytek jednotlivých analytů a to zejména analytů s nízkou molární hmotností. U analytů s vyšší molární hmotností nebyl výrazný úbytek vlivem expozice zaznamenán. Pozorování jsou v souladu s fyzikálně-chemickými vlastnostmi jednotlivých PAU, které se liší v závislosti na molární hmotnosti. S rostoucí molární hmotností klesá rozpustnost ve vodě a tenze par. PAU s nízkou molární hmotností jsou tedy více těkavé a lze předpokládat jejich uvolnění do ovzduší. Naopak analyty s větším počtem aromatických jader v molekule jsou sorbovány k pevným částicím a organickému uhlíku. Tyto vlastnosti ovlivňují distribuci PAU mezi složkami životního prostředí (Holoubek, 1996; Kim et al., 2013; Sýkora et al., 2023).

U Experimentu 11/2022 byl průměrný obsah 16 PAU po čtyřdenní expozici na vzduchu $14,6 \pm 3,1 \mu\text{g/g}$ a po desetidenní expozici na vzduchu $11,4 \pm 3,6 \mu\text{g/g}$. U Experimentu 06/2023 byly průměrné výsledky obsahu PAU pro stejné expozice nižší. Po čtyřdenní expozici na vzduchu byl zastoupení PAU $11,4 \pm 6,0 \mu\text{g/g}$ a po desetidenní expozici $7,5 \pm 4,5 \mu\text{g/g}$. Pro experimenty v zimním a letním období byl zaznamenán částečný průnik konfidenčních intervalů. Nicméně příčinou nižších hodnot obsahů a tedy vyššího úbytku PAU v Experimentu 06/2023 mohou být konkrétní expoziční podmínky. Ty jsou uvedeny v kapitole 5.3.4. Zejména teplotní podmínky byly odlišné, poněvadž první experiment byl proveden v listopadu a druhý v červnu. Vyšší červnové teploty mohly ovlivnit úbytek NA, jakožto nejvíce zastoupeného analytu. Tenze par NA v závislosti na teplotě stoupá, což mohlo být příčinou vyššího uvolnění NA do ovzduší. Úbytek NA je také možný pozorovat ve změnách průměrného procentuálního zastoupení v nedopalcích v závislosti na expozici, pro Experiment 11/2022 Tab. 10 a pro Experiment 06/2023 Tab. 12. U Experimentu 11/2022 bylo průměrné procentuální zastoupení NA z celku následující – pro čerstvé nedopalky 60,9 %, pro nedopalky 4 dny na skle 36,8 % a pro nedopalky 10 dní na skle 16,2 %. U Experimentu 06/2023 bylo průměrné procentuální zastoupení NA z celku následující – pro čerstvé nedopalky 56,2 %, pro nedopalky 4 dny na skle 22,5 % a pro nedopalky 10 dní na skle nebyl NA naměřen nad mezí stanovitelnosti.

Výsledky exponovaných nedopalků je možné porovnat se studií (Dobaradaran et al., 2019). Průměrný obsah 16 PAU pro exponované nedopalky v městských oblastech byl s jednonásobkem směrodatné odchylky roven $20,4 \pm 3,95 \mu\text{g/g}$. Ve studii byl zaznamenán pokles obsahu PAU v exponovaných nedopalcích v porovnání s čerstvými vzorky, avšak tento pokles nebyl tak výrazný jako v experimentech provedenými v rámci této diplomové práce. Sběr nedopalků v publikaci (Dobaradaran et al., 2019) probíhal v městských oblastech Essenu a Mülheim an der Ruhr v Německu, které jsou pravidelně čištěny jednou týdně. Nicméně

konkrétní podmínky expozice nejsou známy. Na nedopalky tedy mohl působit přímý sluneční svit, déšť či jiné faktory po různou dobu kratší než jeden týden.

Součástí předběžné studie bylo zkrápění nedopalků na půdě po dobu 21 dnů. Průměrné obsahy 16 PAU u značek A, B a C byly ve srovnání s výsledky pro expozici 21 dní na vzduchu nižší. Vystavení půdě a vodě mohlo tedy způsobit vyšší úbytek jednotlivých analytů. Nicméně tyto výsledky nejsou zcela v souladu s analýzou v rámci Experimentu 06/2023, v kterém byly nedopalky vystaveny půdě a vodě s kratší dobou expozice. U čtyřdenní expozice činily průměrné obsahy 16 PAU u nedopalků vystavených pouze vzduchu na skle $11,4 \pm 6,0 \mu\text{g/g}$, na půdě bez zkrápění $9,8 \pm 3,5 \mu\text{g/g}$ a na půdě se zkrápěním $10,6 \pm 4,3 \mu\text{g/g}$. U expozice 10 dnů bylo zastoupení pro nedopalky na vzduchu na skle $7,5 \pm 4,5 \mu\text{g/g}$, pro expozici na půdě bez zkrápění $6,4 \pm 1,6 \mu\text{g/g}$ a pro expozici na půdě se zkrápěním $7,5 \pm 2,6 \mu\text{g/g}$. Průměrný úbytek 16 PAU v nedopalcích vystavených pouze půdě bez zkrápění je vyšší než u nedopalků exponovaných na půdě se zkrápěním či u těch vystavených pouze vzduchu na skle. Nicméně rozdíl není natolik výrazný, aby bylo možné adekvátně popsat vliv zkrápění na obsah PAU v nedopalcích. Existuje určitá variabilita mezi samotnými vzorky, která je zřejmá z hodnot dvojnásobků směrodatných odchylek v Tab. 11. Z výsledků Experimentu 06/2023 je patrné, že obsah NA je výrazně (přibližně 9-11krát) vyšší v nedopalcích exponovaných pouze vzduchu v porovnání s obsahem NA naměřeným při čtyřdenní expozici na půdě bez i se zkrápěním. Vlivem půdní vlhkosti a zkrápěním se analyty mohly dostat do půdního roztoku, popřípadě se sorbovat na organické částice obsahující organický uhlík a přejít tak do půdní složky. Rozpustnost PAU je nízká a se vzrůstající molární hmotností klesá. Nicméně ve studii (Dobaradaran et al., 2020) zaměřené na stanovení PAU z cigaretových nedopalků vyluhovaných do vody bylo zjištěno, že zejména PAU s nízkou molární hmotností se do vody mohou uvolňovat. Analyty NA a FR při všech časech louhování nedopalků ve vodě (4h-21 dní) byly zastoupeny nejvíce.

Ve zmíněné studii (Dobaradaran et al., 2019) byl dále sledován úbytek analytů v nedopalcích exponovaných v okolí vodstva. Konkrétně byly vzorky odebrány do vzdálenosti maximálně 1,5 m od řeky Ruhr. Bližší informace k době expozice či jiným faktorům nejsou známy. Průměrný obsah 16 PAU byl s jednonásobkem směrodatné odchylky roven $18,7 \pm 2,93 \mu\text{g/g}$. Uvedená hodnota je nižší v porovnání obsahů 16 PAU u nedopalků exponovaných v městských ulicích či u čerstvých nedopalků. Konkrétní výsledky této studie jsou zpracovány v Tab. 3 a Tab. 4. Nicméně výsledky exponovaných nedopalků ve studii jsou přibližně 1,3-2,9krát vyšší v porovnání s výsledky exponovaných nedopalků uvedenými v této diplomové práci. V obou případech byla prokázána distribuce PAU z cigaretových nedopalků.

Variabilita výsledků může být způsobena zejména odlišnou expozicí nedopalků v obou studiích. V citované publikaci neprobíhala expozice za kontrolovaných podmínek na rozdíl od této diplomové práce.

5.6 Využití metody a problematiky kouření cigaret ve výuce na SŠ

Problematika PAU obsažených v cigaretových nedopalcích poskytuje vhodné téma pro středoškolskou odbornou práci. Toto téma propojuje oblast biologie, výchovy ke zdraví a zejména odborné chemie s využitím v praxi. Pod vedením autorky této práce vypracovala studentka gymnázia středoškolskou odbornou práci v rámci SOČ zaměřenou na Chromatografii s praktickým stanovením PAU. Nejdříve byla seznámena s principem kapalinové chromatografie a následně s postupy v laboratoři analytické chemie Přírodovědecké fakulty, JU. V rámci práce se studentka zabývala Experimentem 11/2022, který se věnoval posouzení vlivu expozice vzorků cigaretových nedopalků vzduchu na obsah 16 PAU. Studentka provedla a zaznamenala expozici nedopalků vzduchu, následně byla provedena extrakčním procesem a vyhodnocením analýz. Jako součást práce si také připravila a vyhodnotila řadu kalibračních roztoků.

6 Závěr

Tato diplomová práce se zabývá stanovením 16 PAU v cigaretových nedopalcích a posouzením vlivu expozice venkovnímu prostředí na obsah PAU v cigaretových nedopalcích. V rámci teoretické části byly popsány vlastnosti PAU, možnosti a výsledky jejich stanovení v cigaretových nedopalcích, výluzích a v cigaretovém kouři. V experimentální části byly provedeny expoziční experimenty nedopalků environmentálně relevantním podmínkám.

V nedopalcích cigaret se během kouření zachycují PAU, což jednoznačně prokazuje porovnání získaných dat pro čisté a čerstvé nedopalky. Byla prokázána vysoká variabilita obsahu PAU v nedopalcích mezi různými druhy značek cigaret. Při expozici nedopalků byl prokázán zřetelný úbytek jednotlivých analytů a to zejména analytů s nízkou molární hmotností. U analytů s vyšší molární hmotností nebyl výrazný úbytek vlivem expozice zaznamenán. Pozorování jsou v souladu s fyzikálně-chemickými vlastnostmi jednotlivých PAU.

V rámci této diplomové práce bylo zjištěno, že podstatná část zejména PAU s nízkou molární hmotností se do životního prostředí uvolní již během 10 dní expozice. Tento výsledek je znepokojující především kvůli množství odhozených cigaretových nedopalků, které tvoří nejčastější odpad v životním prostředí. Environmentálním problémem je zejména to, že látky zachycené v nedopalcích následně kontaminují přírodní ekosystémy.

Během expozičních pokusů byla odebrána a uchována půda umístěná pod nedopalky. Analýza obsahu PAU v půdách nebyla již předmětem této diplomové práce. Probíhající statistické zpracování naměřených dat z provedených experimentů spolu s analýzou obsahu PAU v půdách poskytnou další informace pro popis a posouzení problematiky kontaminace životního prostředí skupinou 16 PAU z nedopalků.

7 Seznam použitých literárních zdrojů

Arnika, 2022 [online]. Polycyklické aromatické uhlovodíky, M. Havel., P. Válek. [citováno 14.3.2024].

Dostupné z: [Chráníme naše životní prostředí. \(arnika.org\)](https://arnika.org)

Boehm, P. D., 1964. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Environmental Forensics: Contaminant Specific Guide, 313–337.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-012507751-4/50037-9>

CeskaTrafika, 2024 [online]. Chesterfield crown 100 red [citováno 10.1.2024].

Dostupné z: <https://www.ceskatrafika.eu/chesterfield-crown-100-red/>

Cigarety a škodliviny, 2013 [online]. Přehled značek cigaret. [citováno 15. 1. 2024].

Dostupné z: <http://www.cigarety.wz.cz/cigarettes.php?sort=count>

Dobaradaran, S., Schmidt, T. C., Lorenzo-Parodi, N., Jochmann, M. A., Nabipour, I., Raeisi, A., Stojanović, N., Mahmoodi, M., 2019. Cigarette butts: An overlooked source of PAHs in the environment? Environmental Pollution, 249, 932–939.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.097>

Dobaradaran, S., Schmidt, T. C., Lorenzo-Parodi, N., Kaziur-Cegla, W., Jochmann, M. A., Nabipour, I., Lutze, H. V., Telgheder, U., 2020. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) leachates from cigarette butts into water. Environmental Pollution, 259, 113916.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.113916>

Dutta, T., Kwon, E., Bhattacharya, S. S., Jeon, B. H., Deep, A., Uchimiya, M., Kim, K. H., 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons and volatile organic compounds in biochar and biochar-amended soil: a review. GCB Bioenergy, 9(6), 990–1004.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12363>

Hajšlová, J., 1997. Polycyklické aromatické uhlovodíky v potravinách. 366, 357–366.

Holoubek, I., 1996. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs) v prostředí. Praha: Český ekologický ústav a Odbor ekologických rizik a monitoring MŽP ČR.

Hussar, E., Richards, S., Lin, Z. Q., Dixon, R. P., a Johnson, K. A., 2012. Human health risk assessment of 16 priority polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of chattanooga, Tennessee, USA. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(9), 5535–5548.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1265-7>

IARC, 2010 [online]. Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume, 92:1–853. [citováno 2.3.2024].

Dostupné z: <http://publications.iarc.fr/110>

IRZ, 2021 [online]. Integrovaný registr znečišťování, Ministerstvo životního prostředí, Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). [citováno 1.12.2023].

Dostupné z: <https://www.iregistr.cz/>

Kalaitzoglou, M., Samara, C., 2006. Gas/particle partitioning and yield levels of polycyclic aromatic hydrocarbons and n-alkanes in the mainstream cigarette smoke of commercial cigarette brands. *Food and Chemical Toxicology*, 44(8), 1432–1442.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.03.010>

Kim, K. H., Jahan, S. A., Kabir, E., & Brown, R. J. C., 2013. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. *Environment International*, 60, 71–80.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.07.019>

King, I. C., Lorenzi, V., Blasius, M. E., Gossett, R., 2021. Leachates from Cigarette Butts Can Persist in Marine Sediment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 232(2), 1-13.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11270-021-04999-3>

Lawal, A. T., 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons. A review. *Cogent Environmental Science*, 3(1), 1339841.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/23311843.2017.1339841>

Masih, J., Singhvi, R., Kumar, K., Jain, V. K., Taneja, A., 2012. Seasonal Variation and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Indoor and Outdoor Air in a Semi Arid Tract of Northern India. *Aerosol and Air Quality Research*, 12(4), 515–525.

Dostupné z: <https://doi.org/10.4209/aaqr.2011.11.0192>

Merck, 2022 [online]. [citováno 21.3.2024]

Dostupné z: <https://www.sigmaaldrich.com/CZ/en>

Moldoveanu, S. C., Coleman, W., Wilkins, J. M., 2008. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in exhaled cigarette smoke. *Beitrage zur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Research*, 23(2), 85–97.

Dostupné z: <https://doi.org/10.2478/cttr-2013-0851>

Moir, D., Rickert, W. S., Levasseur, G., Larose, Y., Maertens, R., White, P., Desjardins, S., 2008. A comparison of mainstream and sidestream marijuana and tobacco cigarette smoke produced under two machine smoking conditions. *Chemical Research in Toxicology*, 21(2), 494–502.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/tx700275p>

Křížová, M., 2022: Použití kapalinové chromatografie v analýze vzorků životního prostředí, Faculty of Science, České Budějovice, Czech Republic.

Moriwaki, H., Kitajima, S., Katahira, K., 2009. Waste on the roadside, ‘poi-sute’ waste: Its distribution and elution potential of pollutants into environment. *Waste Management*, 29(3), 1192–1197.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2008.08.017>

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.

Dostupné z:

https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/main_topic.xsp?documentId=a9176464a5cc8d28c1257d9600473fd0

NPIC, 2011 [online]. National pesticide information center. Naphthalene Technical Fact Sheet. [citováno 2.2.2024].

Dostupné z:

http://npic.orst.edu/factsheets/archive/naphtech.html?fbclid=IwAR2b9dOg3ZCb-XPQaLoB-qVPxG4LqAbP0NeIWnE3HgiY5KeUR5n_hVZK094

Novotny, T. E., Lum, K., Smith, E., Wang, V., Barnes, R., 2009. Cigarettes butts and the case for an environmental policy on hazardous cigarette waste. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6(5), 1691–1705.

Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijerph6051691>

Olenycz, M., Sokotowski, A., Niewińska, A., Wołowicz, M., Namieśnik, J., Hummel, H., & Jansen, J., 2015. Comparison of PCBs and PAHs levels in European coastal waters using mussels from the *Mytilus edulis* complex as biomonitors. *Oceanologia*, 57(2), 196–211.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2014.12.001>

Pilík, P., 2018. Vývoj, optimalizace a validace analytické metody na stanovení 16 indikátorových polycyklických aromatických uhlovodíků dle US EPA ve vodě pomocí HPLC-PDA-FLD, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Přírodovědecká fakulta.

PubChem, 2024 [online]. National Library of Medicine. [citováno 11.2.2024].

Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

WHO, 2003. Polynuclear aromatic hydrocarbons in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality.

Dostupné z:

<https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/polynuclear-aromatic-hydrocarbons-background-document.pdf>

Rodgman, A., 2001. Studies of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Cigarette Mainstream Smoke: Identification, Tobacco Precursors, Control of Levels: A review. Contributions to Tobacco & Nicotine Research, 19(7), 361–379.

Dostupné z: <https://doi.org/10.2478/cttr-2013-0724>

Schwarzbauer, J., Jovančičević, B., 2018. Organic Pollutants in the Geosphere.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68938-8>

Shen, H., Huang, Y., Wang, R., Zhu, D., Li, W., Shen, G., Wang, B., Zhang, Y., Chen, Y., Lu, Y., Chen, H., Li, T., Sun, K., Li, B., Liu, W., Liu, J., Tao, S., 2013. Global atmospheric emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons from 1960 to 2008 and future predictions. Environmental Science and Technology, 47(12), 6415–6424.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/ES400857Z>

Soleimani, F., Dobaradaran, S., De-la-Torre, G. E., Schmidt, T. C., Saeedi, R.; 2022. Content of toxic components of cigarette, cigarette smoke vs cigarette butts: A comprehensive systematic review. Science of the Total Environment, 813, 152667.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152667>

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES ze dne 16. prosince 2008 o normách environmentální kvality v oblasti vodní politiky, změně a následném zrušení směrnic Rady 82/176/EHS, 83/513/EHS, 84/156/EHS, 84/491/EHS a 86/280/EHS a změně směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES.

Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32008L0105>

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2013/39/EU ze dne 12. srpna 2013, kterou se mění směrnice 2000/60/ES a 2008/105/ES, pokud jde o prioritní látky v oblasti vodní politiky.

Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=celex:32013L0039>

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.

Dostupné z :

[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/planovani_oblasti_vod/\\$FILE/OOV-RS_60_2000-20001222.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/planovani_oblasti_vod/$FILE/OOV-RS_60_2000-20001222.pdf)

Sýkora, F., Mičaník, T., Semerádová, S., Suchara, I., Verlíková, N., Sucharová, J., 2023. Atmosférická depozice jako možný zdroj znečištění povrchových vod. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 65(4), 18-30.

Dostupné z: <https://doi.org/10.46555/vtei.2023.05.003>

T3DB, 2024 [online]. Indeno(1,2,3-cd)pyrene. [citováno 2.2.2024].

Dostupné z:

http://www.t3db.ca/toxins/T3D0174?fbclid=IwAR0ZDjxFkllxYLCiAoilXYnA1xODHNBhMNpnZayGi1Zf_ZrgVbmgWGnyXME

Torkashvand, J., Farzadkia, M., Sobhi, H. R., Esrafil, A., 2020. Littered cigarette butt as a well-known hazardous waste: A comprehensive systematic review. Journal of Hazardous Materials, 383, 121242.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121242>

US EPA, 2022 [online]. Substance registry services US EPA. [citováno 18.3.2024].

Dostupné z:

https://sor.epa.gov/sor_internet/registry/substreg/substance/details.do?displayPopup=&id=6012

Verdolotti, L., Salerno, A., Lamanna, R., Nunziata, A., Netti, P., Iannace, S., 2012. A novel hybrid PU-alumina flexible foam with superior hydrophilicity and adsorption of carcinogenic compounds from tobacco smoke. *Microporous and Mesoporous Materials*, 151, 79–87.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2011.11.010>

Vu, A. T., Taylor, K. M., Holman, M. R., Ding, Y. S., Hearn, B., Watson, C. H., 2015. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Mainstream Smoke of Popular U.S. Cigarettes. *Chemical Research in Toxicology*, 28(8), 1616–1626.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.5b00190>

WHO, 2010. World Health Organization Regional Office for Europe Selected Pollutants. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants.

Dostupné z: www.euro.who.int

Yang, Y., Baumann, W., 1995. Seasonal and areal variations of polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in street dust determined by supercritical fluid extraction and gas chromatography–mass spectrometry. *Analyst*, 120(2), 243–248.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/AN9952000243>

Zhong, Y., Zhu, L., 2013. Distribution, input pathway and soil-air exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons in Banshan Industry Park, China. *Science of the Total Environment*, 444, 177–182.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.09>

8 Přílohy

Příloha A: Abstrakt příspěvku na konferenci SETAC Europe 34th Annual Meeting

Cigarette butts (CBs) are small residues with mixed composition. Produced in large amounts, their accumulation in the environment has become alarming. It is possible to classify more than 7000 chemical components generated either in the burning process or when distilled from the tobacco. The aim of our research is to describe the rate of release of phenolic compounds and polyaromatic hydrocarbons (PAHs) from CBs.

At first, attention was paid to the determination of phenolic compounds and PAHs in fresh CBs. Subsequently, the changes in the content of these compounds in CBs during exposure of the butts to external conditions were monitored. An analysis of the soil on which the cigarette butts were exposed was also carried out. Based on the measured data, it is possible to describe the fate of selected organic pollutants after discarding a cigarette butt into the environment. This research provides missing information on the phenolic content in CBs and the rate of their release into water. It also provides a description of the kinetics of the release of PAHs during exposure of CBs. It thus complements previously published information on CBs as a source of environmental contamination.

Příloha B: Experiment 11/2022 - Obsahy analytů v nedopalcích s dvojnásobkem směrodatné odchylky

Expozice [0-10 dní]	Vz	NA	AY	AE	FR	FE	AN	FL	Σ PR - IP	Σ 16 PAU
		[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]
0 (čistý)	1	0,080	< 0,072	< 0,0036	0,0173 ± 0,0012	0,0995 ± 0,0052	0,01122 ± 0,00094	0,0183 ± 0,0035	0,0174	0,244
	2	< 0,036	< 0,072	< 0,0036	0,01840 ± 0,00084	0,1123 ± 0,0050	0,01202 ± 0,00084	0,0219 ± 0,0029	0,0229	0,188
0 (čerstvý)	3	16,50 ± 0,29	1,65 ± 0,28	0,974 ± 0,043	2,356 ± 0,022	1,586 ± 0,089	0,4316 ± 0,0072	0,388 ± 0,046	0,76	24,6
	4	16,66 ± 0,20	2,02 ± 0,18	1,219 ± 0,011	3,858 ± 0,057	2,193 ± 0,069	0,629 ± 0,019	0,566 ± 0,041	1,15	28,3
	5	15,36 ± 0,29	1,56 ± 0,39	1,168 ± 0,016	3,346 ± 0,051	2,016 ± 0,055	0,569 ± 0,023	0,543 ± 0,050	1,13	25,7
	6	19,07 ± 0,46	3,20 ± 0,60	1,472 ± 0,044	4,52 ± 0,12	2,66 ± 0,14	0,754 ± 0,031	0,734 ± 0,018	1,56	34,0
	7	15,02 ± 0,70	2,04 ± 0,18	0,873 ± 0,014	2,482 ± 0,051	1,265 ± 0,020	0,369 ± 0,068	0,325 ± 0,046	0,600	23,0
4 (sklo)	8	5,88 ± 0,11	1,03 ± 0,26	1,000 ± 0,047	3,471 ± 0,024	1,678 ± 0,051	0,510 ± 0,029	0,48 ± 0,12	0,905	15,0
	9	5,31 ± 0,20	1,11 ± 0,41	1,052 ± 0,033	3,760 ± 0,069	2,17 ± 0,12	0,6499 ± 0,0092	0,562 ± 0,025	1,36	16,0
	10	6,04 ± 0,080	0,723 ± 0,046	1,004 ± 0,015	3,651 ± 0,059	2,004 ± 0,019	0,610 ± 0,033	0,53 ± 0,12	1,22	15,8
	11	5,636 ± 0,067	0,773 ± 0,092	0,907 ± 0,023	3,097 ± 0,016	1,659 ± 0,021	0,505 ± 0,011	0,53 ± 0,16	0,92	14,0
	12	4,68 ± 0,23	0,77 ± 0,11	0,736 ± 0,041	2,808 ± 0,046	1,488 ± 0,033	0,448 ± 0,028	0,383 ± 0,030	0,811	12,1
10 (sklo)	13	2,13 ± 0,14	0,645 ± 0,088	0,910 ± 0,041	2,979 ± 0,049	1,86 ± 0,13	0,543 ± 0,035	0,42 ± 0,16	0,789	10,3
	14	1,10 ± 0,21	1,58 ± 0,49	0,745 ± 0,057	2,859 ± 0,037	1,68 ± 0,34	0,447 ± 0,011	0,372 ± 0,067	0,762	9,57
	15	2,30 ± 0,39	1,09 ± 0,67	1,107 ± 0,030	4,139 ± 0,063	2,27 ± 0,13	0,745 ± 0,016	0,71 ± 0,11	1,59	14,0
	16	1,725 ± 0,076	0,62 ± 0,38	0,7939 ± 0,0070	3,130 ± 0,031	2,037 ± 0,025	0,5857 ± 0,0082	0,633 ± 0,077	1,22	10,7
	17	1,995 ± 0,075	1,00 ± 0,24	0,8675 ± 0,0099	3,415 ± 0,045	2,301 ± 0,029	0,672 ± 0,015	0,746 ± 0,065	1,49	12,5

Příloha C: Experiment 06/2023 - Obsahy analytů v nedopalcích s dvojnásobkem směrodatné odchylky (část 1.)

Expozice [0-10 dní]	Vz	NA	AY	AE	FR	FE	AN	FL	Σ PR - IP	Σ 16 PAU
		[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]
0 (čistý)	1	0,136 ± 0,016	< 0,072	0,0633 ± 0,0011	0,0913 ± 0,0016	0,3605 ± 0,0068	0,02832 ± 0,00037	0,0510 ± 0,0037	0,0370	0,767
	2	0,146 ± 0,012	< 0,072	0,0679 ± 0,0013	0,10134 ± 0,00090	0,414 ± 0,010	0,03101 ± 0,00072	0,0493 ± 0,0040	0,0368	0,846
0 (čerstvý)	3	17,04 ± 0,32	1,93 ± 0,84	1,695 ± 0,064	5,540 ± 0,033	2,71 ± 0,16	0,93 ± 0,13	0,818 ± 0,091	1,82	32,5
	4	19,66 ± 0,37	3,9 ± 2,6	1,65 ± 0,078	5,64 ± 0,13	3,09 ± 0,13	0,908 ± 0,068	0,727 ± 0,062	0,424	36,0
	5	17,6 ± 0,59	1,94	1,481 ± 0,096	4,812 ± 0,026	2,591 ± 0,058	0,766 ± 0,094	0,597	0,410	30,2
	6	24,31 ± 0,54	2,35	1,77 ± 0,058	5,82 ± 0,12	3,343 ± 0,068	0,99 ± 0,16	0,825 ± 0,091	1,23	40,6
	7	13,92 ± 0,28	1,43 ± 0,22	1,017 ± 0,031	3,180 ± 0,057	1,771 ± 0,023	0,552 ± 0,028	0,529 ± 0,049	0,858	23,3
4 (sklo)	8	1,989 ± 0,081	0,571 ± 0,074	0,602 ± 0,015	2,329 ± 0,049	1,303 ± 0,042	0,412 ± 0,011	0,3898 ± 0,0068	0,627	8,22
	9	1,973 ± 0,094	0,83 ± 0,12	0,707 ± 0,013	2,625 ± 0,068	1,479 ± 0,025	0,459 ± 0,019	0,484 ± 0,025	0,314	8,87
	10	2,59 ± 0,11	0,81 ± 0,51	0,900 ± 0,016	3,38 ± 0,11	1,895 ± 0,095	0,67 ± 0,11	0,602 ± 0,096	0,703	11,5
	11	3,56 ± 0,22	0,189	1,321 ± 0,015	5,02 ± 0,14	2,381 ± 0,073	0,93 ± 0,24	0,77 ± 0,17	0,971	15,7
	12	2,88 ± 0,13	0,87 ± 0,52	0,961 ± 0,011	3,898 ± 0,033	2,059 ± 0,093	0,751 ± 0,013	0,64 ± 0,15	0,359	12,4
4 (půda)	13	< 0,036	1,41 ± 0,27	1,0340 ± 0,0069	4,407 ± 0,092	2,434 ± 0,037	1,022 ± 0,017	0,598	0,467	11,4
	14	0,35 ± 0,10	0,9 ± 0,31	0,884 ± 0,016	3,878 ± 0,024	2,21 ± 0,16	0,71 ± 0,22	0,647 ± 0,098	0,406	10,0
	15	0,285 ± 0,021	0,799 ± 0,014	0,631 ± 0,020	2,369 ± 0,076	1,491 ± 0,075	0,548 ± 0,024	0,563 ± 0,086	0,335	7,02
	16	0,32 ± 0,11	1,27 ± 0,70	0,983 ± 0,011	4,287 ± 0,063	2,27 ± 0,23	0,84 ± 0,17	0,64 ± 0,14	0,435	11,1
	17	0,238 ± 0,015	0,77 ± 0,54	0,855 ± 0,021	3,593 ± 0,020	1,916 ± 0,067	0,70 ± 0,13	0,69 ± 0,10	0,693	9,45
4 (půda, zkrápěno)	18	0,423 ± 0,086	1,06 ± 0,91	0,7739 ± 0,0077	3,157 ± 0,038	1,782 ± 0,072	0,712 ± 0,072	0,58 ± 0,10	0,396	8,89
	19	< 0,036	1,14	0,894 ± 0,018	3,958 ± 0,057	2,284 ± 0,035	0,79 ± 0,23	0,86 ± 0,13	0,957	10,9
	20	0,184 ± 0,013	1,66 ± 0,23	1,149 ± 0,047	5,076 ± 0,052	3,02 ± 0,15	1,076 ± 0,038	1,128 ± 0,039	0,629	13,9
	21	0,145 ± 0,010	0,89 ± 0,88	0,759 ± 0,016	3,196 ± 0,085	1,715 ± 0,035	0,67 ± 0,16	0,68 ± 0,13	0,392	8,45
	22	0,1743 ± 0,0073	0,96 ± 0,65	0,949 ± 0,014	4,18 ± 0,18	2,324 ± 0,061	0,83 ± 0,17	0,892 ± 0,057	0,447	10,8

Příloha C: Experiment 06/2023 - Obsahy analytů v nedopalcích s dvojnásobkem směrodatné odchylky (část 2.)

Expozice [0-10 dní]	Vz	NA	AY	AE	FR	FE	AN	FL	Σ PR - IP	Σ 16 PAU
		[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]	[μg/g]
10 (sklo)	23	< 0,036	0,98 ± 1,2	0,795 ± 0,065	4,09 ± 0,15	2,43 ± 0,19	0,744 ± 0,028	0,737 ± 0,026	1,30	11,1
	24	< 0,036	0,407 ± 0,091	0,351 ± 0,052	1,769 ± 0,059	1,16 ± 0,23	0,332 ± 0,018	0,403 ± 0,047	0,631	5,05
	25	< 0,036	0,8 ± 0,16	0,58983 ± 0,00060	2,485 ± 0,041	1,57 ± 0,12	0,48 ± 0,015	0,594 ± 0,048	1,07	7,60
	26	< 0,036	1,02 ± 0,16	0,6155 ± 0,0096	2,613 ± 0,067	1,537 ± 0,035	0,499 ± 0,011	0,539 ± 0,011	0,550	7,38
	27	< 0,036	0,53 ± 0,11	0,538 ± 0,018	2,403 ± 0,089	1,39 ± 0,21	0,419 ± 0,015	0,476 ± 0,018	0,504	6,27
10 (půda)	28	< 0,036	< 0,072	0,428 ± 0,014	2,789 ± 0,091	1,83 ± 0,58	0,549 ± 0,034	0,579 ± 0,035	0,630	6,81
	29	< 0,036	< 0,072	0,309 ± 0,055	2,232 ± 0,023	1,52 ± 0,63	0,436 ± 0,037	0,531 ± 0,043	0,288	5,32
	30	< 0,036	0,555 ± 0,065	0,440 ± 0,048	2,70 ± 0,12	1,77 ± 0,36	0,565 ± 0,061	0,558 ± 0,022	0,349	6,94
	31	< 0,036	0,314 ± 0,020	0,418 ± 0,014	1,981 ± 0,058	1,47 ± 0,35	0,481 ± 0,026	0,588 ± 0,052	0,470	5,72
	32	< 0,036	0,545 ± 0,090	0,462 ± 0,019	2,780 ± 0,090	1,761 ± 0,069	0,597 ± 0,017	0,529 ± 0,045	0,355	7,03
10 (půda, zkrápěno)	33	< 0,036	0,59 ± 0,23	0,411 ± 0,010	2,210 ± 0,098	1,320 ± 0,099	0,428 ± 0,011	0,402 ± 0,023	0,277	5,64
	34	< 0,036	0,475 ± 0,026	0,377 ± 0,018	2,153 ± 0,094	1,92 ± 0,25	0,560 ± 0,065	0,635 ± 0,022	0,862	6,98
	35	< 0,036	0,87 ± 0,13	0,559 ± 0,061	3,085 ± 0,028	2,24 ± 0,28	0,649 ± 0,021	0,70 ± 0,14	1,00	9,11
	36	< 0,036	0,90 ± 0,40	0,519 ± 0,019	2,944 ± 0,084	1,76 ± 0,13	0,518 ± 0,032	0,54 ± 0,13	0,666	7,83
	37	< 0,036	0,935 ± 0,046	0,521 ± 0,012	2,844 ± 0,063	1,631 ± 0,099	0,563 ± 0,012	0,573	0,909	7,98

Příloha D: Experiment 11/2022 - Procentuální zastoupení PAU v cigaretových nedopalcích

Expozice [0-10 dní]	Vz	NA	AY	AE	FR	FE	AN	FL	PR	BA	CH	BbF	BkF	BaP	DA	BP	IP	Σ
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0 (čistý)	1	32,8	-	-	7,12	40,8	4,61	7,51	7,13	-	-	-	-	-	-	-	-	100
	2	-	-	-	9,81	59,9	6,41	11,7	12,2	-	-	-	-	-	-	-	-	100
0 (čerstvý)	3	67,0	6,69	3,95	9,56	6,44	1,75	1,58	2,22	0,241	0,348	0,087	-	0,116	-	0,0614	-	100
	4	58,9	7,15	4,31	13,6	7,75	2,22	2,00	2,88	0,281	0,404	0,100	-	0,181	-	0,120	0,106	100
	5	59,8	6,07	4,55	13,0	7,85	2,21	2,11	3,06	0,335	0,457	0,112	0,0636	0,178	-	0,0892	0,118	100
	6	56,1	9,41	4,33	13,3	7,83	2,22	2,16	3,28	0,303	0,409	0,0717	0,0692	0,199	-	0,142	0,115	100
	7	65,4	8,87	3,80	10,8	5,51	1,61	1,41	1,98	0,172	0,227	-	0,0271	0,112	-	0,0895	-	100
4 (sklo)	8	39,3	6,90	6,68	23,2	11,2	3,41	3,18	4,58	0,396	0,560	0,154	-	0,206	-	0,156	-	100
	9	33,3	6,93	6,58	23,5	13,6	4,07	3,52	6,46	0,574	0,798	0,224	-	0,285	-	0,160	-	100
	10	38,3	4,58	6,36	23,1	12,7	3,86	3,37	5,91	0,526	0,733	0,145	-	0,287	-	0,152	-	100
	11	40,2	5,51	6,46	22,1	11,8	3,60	3,77	4,61	0,536	0,741	0,150	0,105	0,293	-	0,138	-	100
	12	38,6	6,36	6,07	23,2	12,3	3,70	3,15	4,82	0,499	0,637	0,148	-	0,319	-	0,266	-	100
10 (sklo)	13	20,7	6,28	8,86	29,0	18,1	5,29	4,13	5,67	0,650	0,816	-	-	0,341	-	0,198	-	100
	14	11,5	16,6	7,79	29,9	17,7	4,67	3,89	6,23	0,484	0,680	-	-	0,316	-	0,246	-	100
	15	16,5	7,80	7,93	29,7	16,3	5,34	5,06	8,95	0,711	1,003	0,188	-	0,362	-	0,210	-	100
	16	16,1	5,76	7,39	29,1	19,0	5,45	5,89	8,67	0,819	1,047	0,161	-	0,416	-	0,259	-	100
	17	16,0	7,97	6,95	27,4	18,4	5,39	5,98	8,39	0,787	1,001	0,180	0,190	0,568	-	0,464	0,324	100

Procentuální zastoupení je uvedeno pouze pro analyty, jejichž hodnoty byly nad mezí stanovitelnosti.

Příloha E: Experiment 06/2023 - Procentuální zastoupení PAU v nedopalcích (1. část)

Expozice [0-10 dní]	Vz	NA	AY	AE	FR	FE	AN	FL	PR	BA	CH	BbF	BkF	BaP	DA	BP	IP	Σ
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0 (čistý)	1	17,7	-	8,24	11,9	47,0	3,69	6,64	4,82	-	-	-	-	-	-	-	-	100
	2	17,2	-	8,03	12,0	48,9	3,67	5,83	4,35	-	-	-	-	-	-	-	-	100
0 (čerstvý)	3	52,4	5,95	5,22	17,1	8,35	2,87	2,52	4,13	0,334	0,512	0,130	0,096	0,240	-	0,149	-	100
	4	54,6	10,9	4,58	15,7	8,56	2,52	2,02	-	0,317	0,476	0,094	-	0,183	-	0,108	-	100
	5	58,2	6,44	4,91	16,0	8,59	2,54	1,98	-	0,373	0,481	0,115	0,0827	0,203	-	0,105	-	100
	6	59,8	5,77	4,36	14,3	8,23	2,43	2,03	1,74	0,359	0,443	0,119	-	0,210	-	0,158	-	100
	7	59,9	6,16	4,37	13,7	7,61	2,37	2,27	2,48	0,347	0,609	-	-	0,176	-	0,0800	-	100
4 (sklo)	8	24,2	6,94	7,32	28,3	15,8	5,01	4,74	4,50	0,705	1,49	0,220	-	0,494	-	0,218	-	100
	9	22,3	9,33	7,98	29,6	16,7	5,17	5,46	-	0,844	1,54	0,293	-	0,545	-	0,313	-	100
	10	22,4	7,01	7,79	29,3	16,4	5,81	5,21	3,07	0,840	1,26	0,281	-	0,460	-	0,184	-	100
	11	22,6	4,97	8,40	31,9	15,1	5,92	4,88	3,42	0,725	1,04	0,253	0,184	0,380	-	0,162	-	100
	12	23,2	6,99	7,75	31,4	16,6	6,05	5,15	-	0,780	1,30	0,217	-	0,432	-	0,159	-	100
4 (půda)	13	-	12,4	9,09	38,8	21,4	8,98	5,26	-	1,16	1,37	0,422	0,243	0,600	-	0,311	-	100
	14	3,52	8,99	8,85	38,9	22,1	7,12	6,48	-	1,19	1,67	0,381	-	0,584	-	0,242	-	100
	15	4,07	11,4	8,98	33,7	21,2	7,81	8,02	-	1,15	1,62	0,443	0,292	0,758	-	0,515	-	100
	16	2,93	11,5	8,89	38,8	20,6	7,60	5,80	-	1,05	1,50	0,497	-	0,562	-	0,333	-	100
	17	2,52	8,17	9,05	38,0	20,3	7,39	7,25	3,45	1,07	1,74	0,361	-	0,540	-	0,174	-	100
4 (půda, zkrápěno)	18	4,76	12,0	8,71	35,5	20,0	8,01	6,52	-	1,09	1,67	0,417	0,268	0,685	-	0,323	-	100
	19	-	10,5	8,21	36,4	21,0	7,30	7,92	4,71	1,05	1,50	0,449	0,256	0,555	-	0,274	-	100
	20	1,32	11,9	8,26	36,5	21,7	7,73	8,11	-	1,30	1,35	0,475	0,338	0,765	-	0,297	-	100
	21	1,71	10,6	8,98	37,8	20,3	7,92	8,09	-	1,10	1,58	0,523	0,283	0,728	-	0,430	-	100
	22	1,62	8,94	8,82	38,9	21,6	7,69	8,30	-	1,08	1,47	0,421	0,267	0,612	-	0,305	-	100

Příloha E: Experiment 06/2023 - Procentuální zastoupení PAU v nedopalcích (2. část)

Expozice [0-10 dní]	Vz	NA	AY	AE	FR	FE	AN	FL	PR	BA	CH	BbF	BkF	BaP	DA	BP	IP	Σ
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
10 (sklo)	23	-	8,89	7,17	36,9	21,9	6,72	6,65	6,47	0,930	1,60	0,396	-	0,516	1,40	0,422	-	100
	24	-	8,06	6,94	35,0	22,9	6,59	7,98	8,21	1,08	1,80	0,452	-	0,694	-	0,266	-	100
	25	-	10,6	7,76	32,7	20,7	6,31	7,82	8,29	1,05	1,73	0,377	-	0,683	1,63	0,360	-	100
	26	-	13,9	8,34	35,4	20,8	6,77	7,31	-	1,15	1,86	0,513	0,469	0,872	2,18	0,410	-	100
	27	-	8,53	8,59	38,3	22,2	6,68	7,59	4,37	0,940	1,54	0,329	-	0,575	-	0,291	-	100
10 (půda)	28	-	-	6,29	41,0	26,9	8,07	8,51	4,90	1,21	1,98	0,373	-	0,788	-	-	-	100
	29	-	-	5,81	42,0	28,6	8,20	9,97	-	1,59	2,35	0,523	-	0,936	-	-	-	100
	30	-	8,01	6,34	38,9	25,5	8,15	8,05	-	1,35	2,20	0,437	-	0,846	-	0,211	-	100
	31	-	5,49	7,31	34,6	25,7	8,40	10,28	-	2,05	3,00	0,565	0,545	1,39	-	0,666	-	100
	32	-	7,76	6,58	39,5	25,1	8,50	7,53	-	1,22	2,02	0,421	0,364	0,741	-	0,292	-	100
10 (půda, zkrápěno)	33	-	10,5	7,29	39,2	23,4	7,59	7,13	-	1,16	2,35	0,416	-	0,663	-	0,330	-	100
	34	-	6,80	5,41	30,9	27,5	8,02	9,11	5,73	1,33	2,38	0,512	-	0,799	1,21	0,380	-	100
	35	-	9,58	6,14	33,9	24,6	7,13	7,71	6,39	1,18	1,84	0,380	-	0,750	-	0,479	-	100
	36	-	11,2	6,63	37,6	22,5	6,62	6,96	4,49	0,850	1,97	0,252	-	0,591	-	0,353	-	100
	37	-	11,7	6,53	35,7	20,4	7,06	7,19	6,56	1,12	2,04	0,434	-	0,692	-	0,554	-	100

Procentuální zastoupení je uvedeno pouze pro analyty, jejichž hodnoty byly nad mezí stanovitelnosti. Analyt PR nebylo vždy možné vlivem matrice integrovat.

