ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie

Znečištění zeminy polyaromatickými uhlovodíky pocházející z lokálních topenišť

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Vlastimila Mikulová
Bakalant: Jan Šustáček

© 2016 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Šustáček

Územní technická a správní služba

Název práce

Znečištění zeminy polyaromatickými uhlovodíky pocházející z lokálních topenišť

Název anglicky

Soil contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons from local heating

---

Cíle práce

Cílem práce je zdokumentování vlivu lokálních topenišť na životní prostředí a zdraví lidu, se zaměřením na zjištění obsahu PAU v zemině a zmapování znečištění na území malé obce Bušanovice s lokálním vytápěním na uhlí, v relativně průmyslově nedotčeném Šumavském podhůří (Prachaticko).

Metodika

Bakalářská práce bude zpracována formou studie s členěním kapitol dle „Metodických pokynů pro zpracování bakalářské práce FŽP ČZU". Rešeršní část bude vycházet z odborné literatury, internetových zdrojů tuzemských i zahraničních. Vedle rámcové problematiky znečištění prostředí se zaměření na shrnutí poznatků o polyaromatických uhlovodících, zejména na jejich nebezpečné vlastnosti, vznik a transport do životního prostředí. Ke zjištění hodnot znečištění zemin v předem určených bodech vypracovat Plán odběru vzorků zeminy (koncentrace a plošný rozsah). Účastnit se přípravy a analýzy vzorků ke zjištění PAU ve specializované laboratoři. Výsledné hodnoty rovněž porovnat s indikátory znečištění zemin dle metodického pokynu MŽP. Grafické a mapové zpracování s fotodokumentací.

Doporučený rozsah práce

min. 30 str.

Klíčová slova

rozptýlené zdroje znečištění, plán odběru vzorků zemin, nebezpečné vlastnosti

---

Doporučené zdroje informací

Bernáth, P., Kohout, P., Plzák, Z., Vencelides, Z., Vilímec J. (2010): Terminologie vzorkování. Metodické listy EURACHEM-ČR. dostupné z: www.eurachem.cz.

Holoubek, I. 1996: Polycyklické aromatické uhlovodíky v prostředí, Český ekologický ústav, Praha , ISBN 80-85087-44-8

Mikulová, V. [ed.] (2005): Staré ekologické zátěže. PLANETA. XII, 10/2005.

MŽP 2013: Metodický pokyn Indikátory znečištění, MŽP Praha, http://www.mzp.cz/cz/metodiky_ekologicke_zateze

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 166/2006, kterým se zřizuje evropský registr úniků a přenosů znečišťujících látek

Zpráva o životním prostředí České republiky, MŽP, Praha 2014

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

RNDr. Vlastimila Mikulová

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Konzultant

Ing. Josef Šimek, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 25. 1. 2016

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 26. 1. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 06. 03. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Znečištění zeminy polyaromatickými uhlovodíky pocházející z lokálních topenišť" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 9. 4. 2016 ……..

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval paní RNDr. Mikulové, za její odborné vedení a pomoc při zpracování práce, dále mému externímu konzultantovi Ing. Josefu Šimkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a zajištění technického zázemí pro provádění analýz a v neposlední řadě mé rodině za její trpělivost.

V Praze dne 9. 4. 2016 ……..

Znečištění zeminy polyaromatickými uhlovodíky pocházející z lokálních topenišť

--

Soil contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons from local heating

Souhrn

Polyaromatické uhlovodíky (PAU) jsou jednou ze znečišťujících látek přírodního prostředí, jejichž hlavním producentem je člověk a s ním spojená lidská činnost. Tyto polutanty vznikají zejména spalováním fosilních paliv a biomasy, dále pak dopravou a průmyslovou výrobou. Z literatury byly získány poznatky ohledně PAU, jejich vlastnostech a skupinových trendech. U hlavních PAU byla nalezena jejich relativní genetická toxicita a byl popsán mechanismus jejich působení na DNA. Na základě literatury byl sestaven žebříček paliv s ohledem na produkci PAU.

Byl proveden monitoring oblasti nezasažené průmyslem a dopravou. V obci Bušanovice okr. Prachatice byly odebrány vzorky zemin z povrchového horizontu. Vzorky byly odebrány v roce 2015 na různě vzdálených místech od středu obce. U těchto vzorků byl stanoven obsah základních PAU metodou HPLC.

Bylo zjištěno, že největším zdrojem znečištění jsou lokální topeniště spalující pevná paliva, jako je dřevo a uhlí. V odebraných vzorcích byly koncentrace PAU v rozmezí 0,24 až 19,21 mg/kg suš. Tyto hodnoty jsou značně zvýšené oproti očekávání a v Evropském měřítku odpovídají koncentracím běžných ve velkých městech zatížených dopravou nebo průmyslových oblastech.

Klíčová slova: Polyaromatické uhlovodíky, toxicita PAU, životní prostředí, rozptyl, spalování, rozptýlené zdroje znečištění

Summary

Polyaromatic hydrocarbons (PAHs) are the pollutants of the environment. These dangerous chemical compounds are produced by man and its activities. The source of these pollutants are mainly burning of fossil fuels and biomass, as well as transportation and industrial production. From the literature they were obtained evidence regarding PAHs, their properties and group trends. For the main PAHs was found their relative genetic toxicity and was described mechanism of their effect on DNA. Based on the literature was compiled ranking of fuels with respect to the production of PAHs.

The monitoring of untouched area by industry and transportation. The sampling was done in the surroundings Bušanovice village located in Prachatice district. The samples were taken from surface soil horizon. Samples were taken in 2015 to various remote locations from the center of the village. These samples were analyzed by HPLC technique.

It was found that the largest source of contamination are local furnaces burning solid fuels such as wood and coal. The concentrations of PAHs in the samples was in the range of 0.24 to 19.21 mg / kg dm. These values are considerably higher than was expected and in the European scale concentrations correspond to large cities with heavy traffic or industrial areas.

Keywords: Polyaromatic hydrocarbons, toxicity PAH, environment, dispersion, burning process, diffuse sources of pollution

Obsah

1. Úvod ... 1
2. Cíle práce ... 1
3. Literární rešerše ... 2
3.1. Polyaromatické uhlovodíky ... 2
3.1.1. Základní fyzikálně-chemické vlastnosti PAU ... 2
3.1.2. Vlastnosti jednotlivých PAU ... 3
3.2. Toxicita PAU ... 17
3.3. Vznik PAU a jejich transport do životního prostředí ... 20
4. Stav řešené problematiky ... 21
4.1. Obsah PAU v zeminách ... 21
4.2. Zatížení životního prostředí PAU v ČR ... 22
4.3. Indikátory znečištění životního prostředí dle metodiky MŽP ČR ... 23
5. Charakteristika řešeného území ... 24
6. Metodika ... 26
6.1. Vzorkování zemin ... 26
6.2. Stanovení obsahu PAU ... 26
6.2.1. Princip metody ... 27
6.2.2. Chemikálie a pomocné látky ... 27
6.2.3. Přístroje a pomůcky ... 28
6.2.4. Postup stanovení ... 29
Příprava pomocných materiálů ... 29
6.2.5. Parametry analytické metody ... 29
6.2.6. Popis vlastního laboratorního postupu ... 30
Příprava vzorku k analýze ... 30
Extrakce vzorku ... 31
Příprava extraktu k analýze ... 31
Výtěžnost analytického postupu ... 31
Vlastní chromatografická analýza ... 32
7. Výsledky ... 33
7.1. Plán odběru vzorků ... 33
8. Diskuse ... 37
9. Závěr ... 38
10. Použitá literatura ... 39
11. Přílohy ... 42

1. Úvod

Neustávající lidskou činností vznikají nebezpečné látky, které ohrožují životní prostředí a i zdraví a život obyvatel. Jedním typem zvlášť nebezpečných látek, které se před příchodem člověka v přírodě vyskytovaly v minimálním množství, jsou polyaromatické uhlovodíky (PAU). Tyto uhlovodíky vznikají spalováním různých uhlíkatých materiálů.

Pro rozvoj lidské společnosti je zapotřebí značné množství energie. Jednou z cest získání této energie je spalování uhlíkatých materiálů. Těmi mohou být fosilní paliva, jako je uhlí a ropa, dále umělé hmoty, ale i biomasa, dřevo, rostlinné oleje, tuky. Značným zdrojem těchto uhlovodíků je rovněž i spalování odpadů, které obsahují umělé hmoty, pryž a barviva.

Polyaromatické uhlovodíky uvolněné při spalovacích procesech pak odcházejí se spalinami do atmosféry, kde se sorbují na sazové a popelové částice. Společně s těmito částicemi se dostávají do dýchacích orgánů živočichů a člověka. Spad z komínů topenišť obsahující polyaromatické uhlovodíky rovněž kontaminuje okolní zeminu.

V zemi jsou polyaromatické uhlovodíky velmi špatně odbourávány a akumulují se v zemině.

Jejich největším nebezpečím je pak jejich toxicita, mutagenita a karcinogenita. Tyto látky zapříčiňují rovněž odumírání vegetace.

Největším zdrojem znečištění polyaromatickými uhlovodíky byl v historii průmysl. Nyní jsou tyto velké zdroje jako uhelné výtopny, teplárny a elektrárny upraveny tak, že produkují minimum těchto látek. Hlavními zdroji polyaromatických uhlovodíků v současné době je spalování kapalných paliv v dopravě a spalování pevných paliv v lokálních topeništích.

2. Cíle práce

Předkládaná bakalářská práce si klade za cíle v rešeršní části shrnout poznatky týkající se vlastností polyaromatických uhlovodíků, jejich vzniku při spalování tuhých a kapalných paliv.

Experimentální část bakalářské práce se pak zaměřuje na jednoduchý monitoring polyaromatických uhlovodíků v odlehlé lokalitě vesnici Bušanovice, kde žije 245 stálých obyvatel. Tato obec se nachází v Šumavském podhůří a v minulosti nebyla dotčena průmyslem. Cílem tohoto monitoringu je zjištění obsahu polyaromatických uhlovodíků v nezasažené krajině a v centru malé obce.

Výsledkem by rovněž mělo být zjištění, jak velké okolí obce a jakou koncentrací dokáže osobní doprava a lokální topeniště polyaromatickými uhlovodíky kontaminovat.

3. Literární rešerše

Literární část předkládané bakalářské práce se zabývá shrnutím poznatků o polyaromatických uhlovodících. Jsou rovněž zahrnuty jejich toxické vlastnosti pro živé organismy. Poslední část literární rešerše se zabývá vznikem polyaromatických uhlovodíků a jejich transportem do životního prostředí.

3.1. Polyaromatické uhlovodíky

Polyaromatické uhlovodíky jsou skupina uhlovodíků obsahujících ve své molekule kondenzovaná aromatická jádra.[1] Mezi polyaromatické uhlovodíky se neřadí pouze benzen.[1] Tyto uhlovodíky obsahují ve své molekule pouze uhlík a vodík.[2] Z termodynamického hlediska může vzniknout až několik tisíc takovýchto uhlovodíků, a však pouze přibližně 100 jich bylo zkoumáno.[2][3] Pro polyaromatické uhlovodíky se používá zkratka PAU. V anglickém jazyce pak PAH nebo PAHs (Polycyclic aromatic hydrocarbons). Pro tento dokument již dále bude pro polyaromatické uhlovodíky používána zkratka PAU.

3.1.1. Základní fyzikálně-chemické vlastnosti polyaromatických uhlovodíků

Společnou vlastností PAU je jejich velmi malá rozpustnost ve vodě (například rozpustnost benzo[a]pyrenu ve vodě je při 25°C 3,8 μg/l).[2] Naopak, všechny PAU jsou značně lipofilní a velice dobře se rozpouští v organických rozpouštědlech.[4] Oproti ostatním uhlovodíkům se stejnou molekulovou hmotností mají PAU vyšší body tání a varu. [2] Díky vyšším bodům varu a nízké rozpustnosti ve vodě mají PAU nízkou migrační rychlost v pevných matricích.[3]

PAU jsou širokou skupinou látek s rozmezím molárních hmotností od 128,2 do 937 g/mol.[2] Přestože mají PAU relativně velkou molekulovou hmotnost a vysoké body varu jsou oproti uhlovodíkům se stejnou molekulovou hmotnostní podstatně těkavější.[2] PAU s dvěma a třemi aromatickými kruhy se v atmosféře vyskytují převážně v plynné fázi. Naopak PAU s pěti a více aromatickými kruhy již mají těkavost tak nízkou, že se ve vzduchu velice rychle sorbují na povrch prachových a jiných částic a v plynné fázi se vyskytují s jen velmi malou koncentrací. PAU se střední molekulovou váhou a čtyřmi aromatickými kruhy se ve vzduchu vyskytují jak v plynné, tak v nesorbované podobě a poměr mezi těmito fázemi závisí na atmosférickém tlaku. Například jako jeden z nejnebezpečnějších PAU benzo[a]pyren, který má velmi vysoký karcinogenní potenciál se vyskytuje v plynné fázi v rozmezí od 51 - 64%.[5]

Polyaromatické uhlovodíky jsou povětšinou bezbarvé, ale díky značné akumulaci benzenových jader vykazují silnou absorpci ultrafialového záření. PAU rovněž v této oblasti vykazují silnou fluorescenci. Této vlastnosti se využívá pro stanovení PAU v různých matricích.[5]

3.1.2. Vlastnosti jednotlivých PAU

Polyaromatické uhlovodíky mají rozmanitou strukturu. Popis a vlastnosti nejvýznamnějších zástupců PAU je uveden níže. V této kapitole je popsáno pouze 16 takzvaných základních PAU, které jsou běžně stanovovány v životním prostředí.[3] Nyní je známo více nežli 400 PAU, avšak jejich obsah je oproti základním 16 značně menší. O těchto uhlovodících jsou známy pouze základní informace.[16]

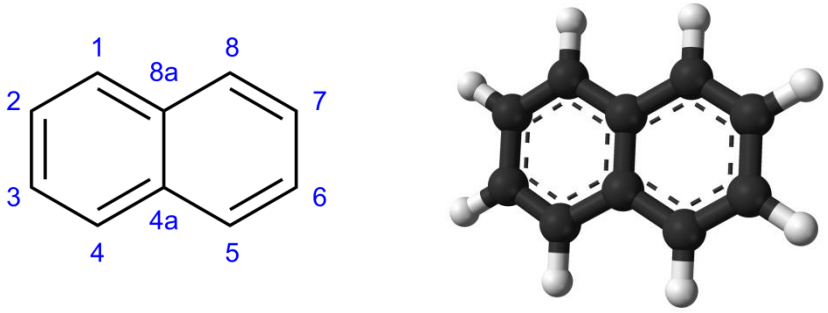
Naftalen

Naftalen je nejjednodušší PAU. Tvoří ho 10 uhlíků a 8 vodíků. Obsahuje ve své molekule pouze dva aromatické kruhy. Z aromatických uhlovodíků byl objeven jako druhý po benzenu. Naftalen je bílá krystalická látka charakteristického štiplavého zápachu.[6]

Byl objeven roku 1821 jako produkt destilace černouhelného dehtu.[6] Při této destilaci naftalen vykondenzoval jako bílá krystalická látka. Jeho strukturu se podařilo navrhnout roku 1826 a potvrdit roku 1866.[6]

Naftalen je jednou ze základních petrochemických surovin. Vyrábí se destilací a následnou krystalizací z černouhelného dehtu. Je jednou z nejdůležitějších petrochemických surovin.[7] Vyrábí se z něj řada dalších chemikálií, jako je ftalananhydrid, 1-naftol, 2-naftol, tetralín, dekalín a řada dalších. Rovněž slouží jako základní surovina pro syntézu insekticidů, barviv a detergentů.[7] Slouží také jako surovina pro výrobu polymerů, například za pomoci kondenzace s formaldehydem. Takto vzniklé polymery jsou používány jako plastifikátory pro výrobu betonu.[8]

Struktura naftalenu je uvedena na obrázku č. 1 a jeho vlastnosti jsou pak uvedeny v tabulce č. 1.



Obrázek č. 1 Strukturní vzorec naftalenu[9]

Tabulka č. 1 Vlastnosti naftalenu[9]

Sumární vzorec	*$C_{10}H_8$*
Molární hmotnost	*128,17 g*mol^{-1}*
Registrační číslo CAS	*91-20-3*
Bod tání	*78,2°C*
Bod varu	*217,97°C*
Rozpustnost ve vodě	*31,6 mg/l (25°C)*
Karcinogenita - poměrová vůči benzo[a]pyrenu	*0,02*

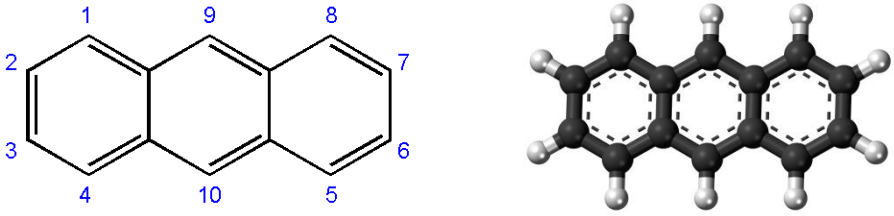
Toxicita naftalenu a jeho karcinogenní vlastnosti jsou v porovnání s ostatními polyaromatickými uhlovodíky relativně nízké.[10] Ve studii[10] bylo zjištěno, že pokud jsou krysy vystaveny parám naftalenu po dobu dvou let (pouze ve všedních dnech mimo víkendy), vyvinuly se u nich různé druhy zhoubného i nezhoubného bujení.[10] Karcinogenní vlastnosti naftalenu jsou pro savce laboratorně prokázány a tato látka byla zařazena mezi karcinogeny třídy 2B - potenciální karcinogen pro člověka.[10]

Nejvyšší přípustná koncentrace v pracovním prostředí byla pro naftalen stanovena na 10 ppm - což odpovídá 50 mg/m^3.[10]

Anthracen

Anthracen je PAU se třemi benzenovými jádry umístěnými vedle sebe. Anthracen se získává z černouhelného dehtu, kde je obsažen přibližně v obsahu 1,5 %.[11]

Struktura anthracenu je uvedena na obrázku č. 2 a jeho vlastnosti jsou uvedeny v tabulce číslo 2.[11]



Obrázek č. 2 Strukturní vzorec anthracenu[12]

Tabulka č. 2 Vlastnosti anthracenu[12]

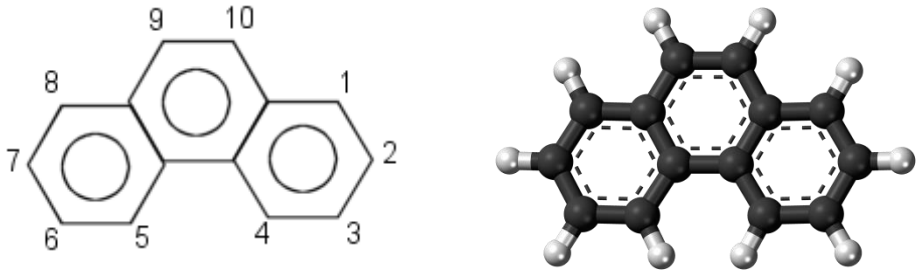
Sumární vzorec	*$C_{14}H_{10}$*
Molární hmotnost	*178,23 g*mol^{-1}*
Registrační číslo CAS	*120-12-7*
Bod tání	*215,76°C*
Bod varu	*339,9°C*
Rozpustnost ve vodě	*0,044 mg/l (25°C)*
Karcinogenita - poměrová vůči benzo[a]pyrenu	*0*

Anthracen má široké využití. Používá se jako základní látka v petrochemickém průmyslu. Je surovinou pro výrobu barviv (červená barva - alizarin), dále je používán pro výrobu antrachinonu, fenanthrenu a karbazolu.[12]

Jako jeden z mála PAU není karcinogenní a není zařazen ani v žádné skupině podezřelých uhlovodíků.[12]

Fenanthren

je bílá, modře fosforeskující krystalická látka, která má ve své molekule tři aromatická jádra, která však oproti anthracenu nejsou v lineární pozici.[13] Strukturní vzorec naftalenu je uveden na obrázku č. 3, vlastnosti jsou pak uvedeny v tabulce č. 3.



Obrázek č. 3 Strukturní vzorec fenanthrenu [13]

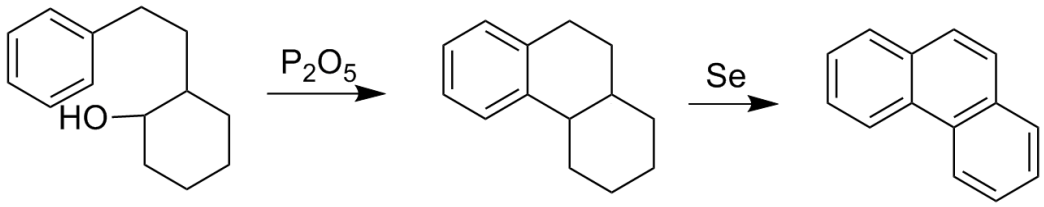
Tabulka č. 3 Vlastnosti fenanthrenu [13]

Sumární vzorec	*$C_{14}H_{10}$*
Molární hmotnost	*178,23 g*mol^{-1}*
Registrační číslo CAS	*85-01-8*
Bod tání	*101°C*
Bod varu	*332°C*
Rozpustnost ve vodě	*1,6 mg/l (25°C)*
Karcinogenita - poměrová vůči benzo[a]pyrenu	*0,2*

Oproti anthracenu je fenanthren mnohem stabilnější a rovněž je i mnohem méně rozpustný ve vodě.[13]

Fenanthren se vyrábí z černouhelného dehtu, společně s anthracenem. Princip výroby je destilace dehtu, odpovídající destilační frakce je pak podrobena frakční krystalizaci.[6]

Tento PAU je možné rovněž připravovat laboratorně a to za pomoci Bardhan–Senguptovy syntézy. Tato syntéza spočívá v postupném uzavírání cyklánických kruhů a následné dehydrogenaci za pomoci selenu.[13] Schéma této syntézy je uvedeno na obrázku č. 4.



Obrázek č. 4 Schéma syntézy fenanthrenu[13]

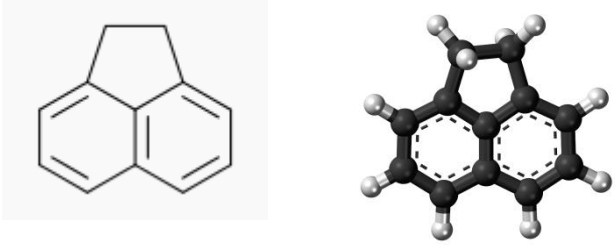
Fenanthren je rovněž jednou ze základních chemikálií. Je používán jako skelet pro výrobu mnoha organických látek. Těmi jsou například fenanthrochinion, 9,10-dihydrofenanthren, diphenyl aldehyde, 9-bromphenanthren. Dále je používán pro syntézu léčiv, barviv a stabilizátorů. [13]

Fenanthren vykazuje karcinogenní vlastnosti, je silně dráždivý a dojde-li ke styku s pokožkou, stává se tato fotosenzitivní.[3] Značné koncentrace fenanthrenu byly nalezeny v cigaretovém kouři. Tato látka je rovněž dávána do souvislosti s rakovinou plic.[2]

Acenaften

Je PAU se základní strukturou naftalenu doplněnou o ethylenový můstek v polohách 1 a 8. Acenaften je bílá krystalická látka charakteristického dehtového zápachu.[14]

Strukturní vzorce jsou uvedeny na obrázku č. 5 a vlastnosti jsou uvedeny v tabulce č. 4.



Obrázek č. 5 Strukturní vzorec acenaftenu [15]

Tabulka č. 4 Vlastnosti acenaftenu [15]

Sumární vzorec	*$C_{12}H_{10}$*
Molární hmotnost	*178,23 g*mol^{-1}*
Registrační číslo CAS	*83-32-9*
Bod tání	*93,4°C*
Bod varu	*279°C*
Rozpustnost ve vodě	*0,04 mg/l (25°C)*

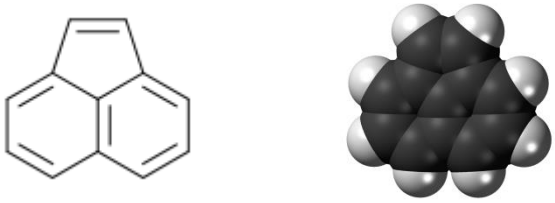
Acenaften se vyrábí z černouhelného dehtu, kde je obsažen v přibližné koncentraci 0,3 %. Z dehtu se rovněž i vyrábí. V destilační frakci, ze které se vyrábí, je zastoupen společně se svými homology jako je například acenaftylen.[15]

Poprvé byl acenaften získán z černouhelného dehtu roku 1860 Marcellinem Berthelotem, tím byl o několik let později syntetizován z α-ethylnaftalenu.[14]

Acenaften je důležitou chemikálií. Používá se pro syntézu organických látek, hlavně součástí pigmentů a optických zjasňovačů.[14]

Acenaftylen

Je derivát naftalenu, obdobný jako acenaften, ale místo ethylenového můstku má můstek acetylenový. Jeho strukturní vzorce jsou uvedeny na obrázku č. 6 a vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 5. [16]



Obrázek č. 6 Strukturní vzorec acenaftylenu [15]

Tabulka č. 5 Vlastnosti acenaftylenu [16]

Sumární vzorec	*$C_{12}H_8$*
Molární hmotnost	*152,2 g*mol^{-1}*
Registrační číslo CAS	*208-96-8*
Bod tání	*91,8°C*
Bod varu	*280°C*
Rozpustnost ve vodě	*3,93 mg/l (25°C)*

Vyrábí se z černouhelného dehtu, kde je jeho obsah přibližně 2 %. Je možné ho hydrogenovat na acenaften.[15]

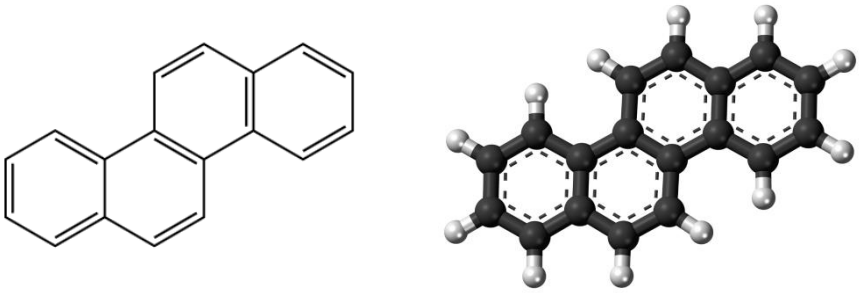
Používá se pro výrobu optických zjasňovačů a pigmentů.[16]

Je to jediný PAU, který nevykazuje fluorescenci, což ztěžuje jeho kvantitativní stanovení v různých matricích.[16]

Chrysen

Chrysen je čtyřjaderný PAU. Čistý je bezbarvý, a však v technické čistotě má jasnou zlatou barvu, která je způsobena stopovým obsahem tetracenu, stereoizomeru chrysenu. To je rovněž důvod jeho označení, jež pochází z řeckého *chrysos* - zlato.[17]

Jeho strukturní vzorce jsou uvedeny na obrázku č. 7 a vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 6. [16]



Obrázek č. 7 Strukturní vzorec chrysenu [17]

Tabulka č. 6 Vlastnosti chrysenu [16]

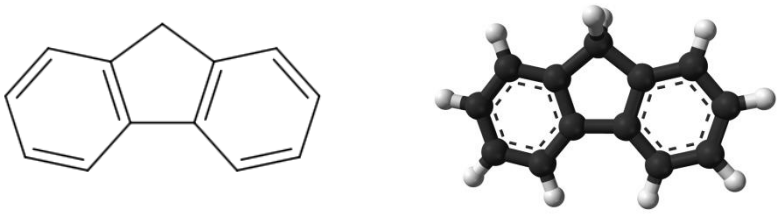
Sumární vzorec	$C_{18}H_{12}$
Molární hmotnost	*228,29 g*mol*$^{-1}$
Registrační číslo CAS	*218-01-9*
Bod tání	*254°C*
Bod varu	*448°C*
Rozpustnost ve vodě	*2,8 * 10*$^{-3}$ *mg/l (25°C)*

Chrysen je řazen mezi karcinogeny. Prokazatelně vyvolává zhoubné bujení u savců.[16] Deriváty chrysenu jsou používány jako léčiva pro studium funkcí estrogenu v lidském organismu. Těmito látkami jsou tetrahydrochrysen a 2,8-dihydroxyhexahydrochrysen.[17]

Fluoren

Je PAU, který obsahuje ve své molekule dvě aromatická jádra, která jsou spojena pětičlenným kruhem. Tento uhlovodík je bezbarvý a má zápach naftalenu. Fluoren je neobvyklý svou fialovou fluorescencí. Díky této vlastnosti si vysloužil své jméno.[18]

Struktura tohoto PAU je uvedena na obrázku č. 8 a vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 7. [16]



Obrázek č. 8 Strukturní vzorce fluorenu [18]

Tabulka č. 7 Vlastnosti fluorenu [16]

Sumární vzorec	*$C_{18}H_{12}$*
Molární hmotnost	*166,22 g*mol^{-1}*
Registrační číslo CAS	*86-73-7*
Bod tání	*116°C*
Bod varu	*295°C*
Rozpustnost ve vodě	*1,992 mg/l (25°C)*

Pro komerční účely se fluoren stále vyrábí z černouhelného dehtu. Alternativní způsob výroby tohoto uhlovodíku je dehydrogenace a cyklizace difenylmethanu.[18]

Tento uhlovodík díky své struktuře má dva značně kyselé vodíky, umístěné na uhlíku mezi aromatickými cykly. Z těchto důvodů je látka řazena mezi C-kyseliny.[3]

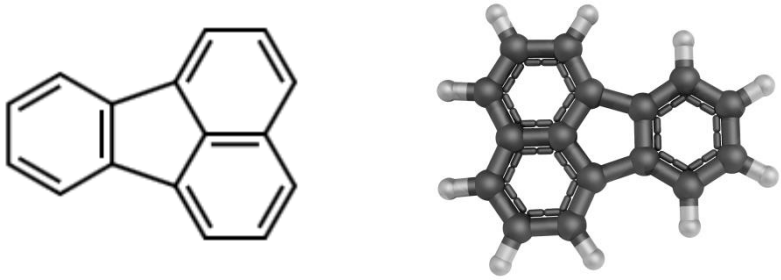
Fluoren má široké praktické použití, vyrábí se z něj léčiva a prekursory barviv. Dále je nepostradatelný jako reaktant pro peptidovou syntézu.[4]

Z fluorenu je možné vyrábět polymery, které jsou elektricky vodivé. Rovněž díky své fluorescenci se z něj vyrábí luminofory pro organické LED diody.[18]

Fluoranthen

Je pevná krystalická látka se žlutozeleným nádechem. Samotný fluoranthen je barevný, jeho deriváty jsou bezbarvé. Je tvořen třemi aromatickými kruhy spojenými jedním pětičlenným kruhem. Fluoranthen je strukturním isomerem pyrenu, na rozdíl od pyrenu je však podstatně méně stabilní.[19]

Struktura tohoto PAU je uvedena na obrázku č. 9 a vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 8. [16]



Obrázek č. 9 Strukturní vzorce fluoranthenu [19]

Tabulka č. 8 Vlastnosti fluoranthenu [16]

Sumární vzorec	$C_{16}H_{10}$
Molární hmotnost	*202,26 g*mol*$^{-1}$
Registrační číslo CAS	*206-44-0*
Bod tání	*110,8°C*
Bod varu	*375°C*
Rozpustnost ve vodě	*0,265 mg/l (25°C)*

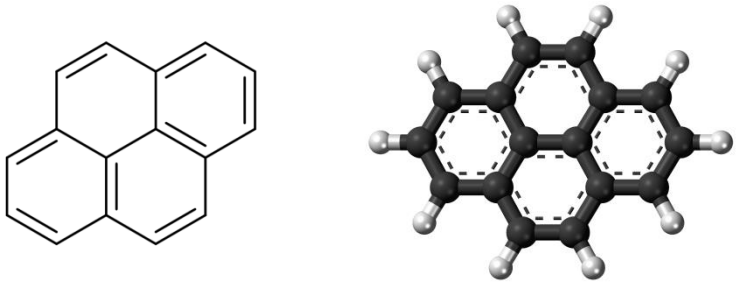
Fluoranthen vykazuje silnou fluorescenci v ultrafialovém světle.[19]

Jako samotný PAU uhlovodík nemá technické využití a není průmyslově vyráběn. Jako většina PAU je obsažen v černouhelném dehtu a ropě.[16]

Pyren

Je PAU, který má ve své molekule čtyři kondenzované aromatické kruhy. Tyto aromatické kruhy mají nejtěsnější uspořádání ze všech čtyřjaderných PAU.[16] Jednotlivé aromatické kruhy jsou spolu spojeny více než jednou stranou. Molekula pyrenu je tak dobře koncipována, že vytváří jeden homogenní plochý aromatický systém. Tento systém je více rezonančně stabilní nežli PAU obsahující ve své molekule pětičlenný kruh. [20]

Strukturní vzorce pyrenu jsou uvedeny na obrázku č. 10 a vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 9. [16]



Obrázek č. 10 Strukturní vzorec pyrenu [20]

Tabulka č. 9 Vlastnosti pyrenu [20]

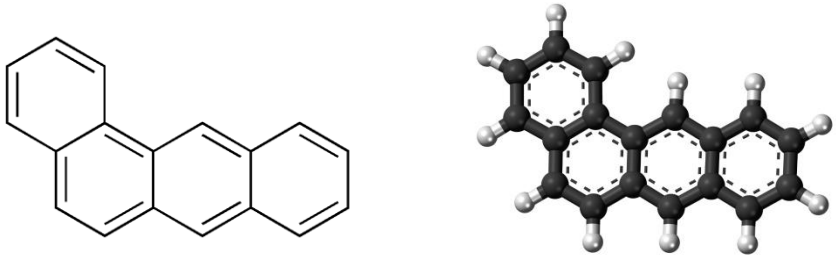
Sumární vzorec	*$C_{18}H_{10}$*
Molární hmotnost	*202,25 g*mol^{-1}*
Registrační číslo CAS	*129-00-0*
Bod tání	*148°C*
Bod varu	*404°C*
Rozpustnost ve vodě	*0,135 mg/l (25°C)*

Pyren je PAU s širokým využitím, díky své fluorescenci a fluorescenci svých derivátů slouží tyto látky jako molekulární sondy ve fluorescenční mikroskopii. Tato metoda se využívá pro biochemický vývoj.[3]

Z pyrenu se rovněž vyrábí široká škála pigmentů, jako je například pyranin nebo 1,4,5,8-naftalen tetrakarboxylová kyselina.[20] Díky speciální konfiguraci aromatických jader pyrenu může tato sloučenina sloužit jako donor elektronů, čímž ztmavuje barvu chromoforů.[2][20]

Benz(a)anthracen

Benz(a)anthracen je čtyřjaderný PAU, který má tři jádra v jedné řadě a jedno jádro napojené k řetězci v poloze (a). [3] Strukturní vzorce tohoto PAU jsou uvedeny na obrázku č. 11 a vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 10. [16]



Obrázek č. 11 Strukturní vzorec benz(a)anthracen [3]

Tabulka č. 10 Vlastnosti benz(a)anthracen [16]

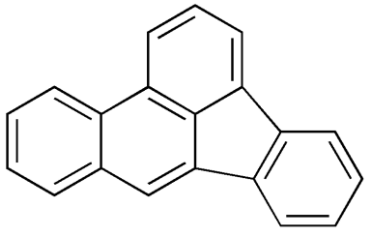
Sumární vzorec	*$C_{18}H_{12}$*
Molární hmotnost	*228,29 g*mol^{-1}*
Registrační číslo CAS	*55-56-3*
Bod tání	*158°C*
Bod varu	*438°C*
Rozpustnost ve vodě	*0,010 mg/l (25°C)*

Benz(a)anthracen nemá žádné technické využití a průmyslově se nevyrábí. Je obsažen v malém množství v černouhelném dehtu, ale je obtížné ho z něj izolovat.[16]

Benzo(b)fluoranthen

Tento PAU má ve své molekule čtyři aromatická jádra a jeden pětičlenný kruh. Základem této sloučeniny je fluoranthen, který je doplněn o jedno aromatické jádro v poloze (b).[3] Je to bílá krystalická látka vykazující UV fluorescenci.[8]

Strukturní vzorec tohoto PAU je uveden na obrázku č. 12 a vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 11. [16]



Obrázek č. 12 Strukturní vzorec benzo(b)fluoranthenu [5]

Tabulka č. 11 Vlastnosti benzo(b)fluoranthenu [16]

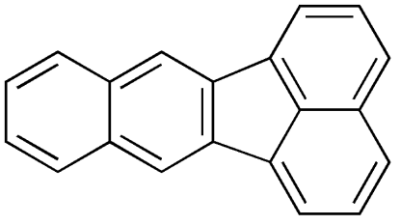
Sumární vzorec	*$C_{20}H_{12}$*
Molární hmotnost	*228,29 g*mol^{-1}*
Registrační číslo CAS	*209-99-2*
Bod tání	*168,3°C*
Bod varu	*- neuvedeno -*
Rozpustnost ve vodě	*0,0012 mg/l (25°C)*

Benzo(b)fluoranthen nemá technické využití a ani není průmyslově vyráběn. [5]

Benzo(k)fluoranthen

Benzo(k)fluoranthen je nažloutlá krystalická látka, extrémně málo rozpustná ve vodě a je rovněž i málo rozpustná v organických rozpouštědlech. [8][16] Vytváří krystaly ve formě jehlic a znečištěný nabírá bílošedou barvu. [5] Tento PAU je stereoizomerem benzo(b)fluoranthenu, jeho struktura je odvozena od fluoranthrenu a čtvrté benzenové jádro je lineárně napojeno na osamocené jádro na pětičlenném kruhu. [16]

Strukturní vzorec tohoto PAU je uveden na obrázku č. 13 a vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 12. [16]



Obrázek č. 13 Strukturní vzorec benzo(k)fluoranthenu [5]

Tabulka č. 12 Vlastnosti benzo(k)fluoranthenu [16]

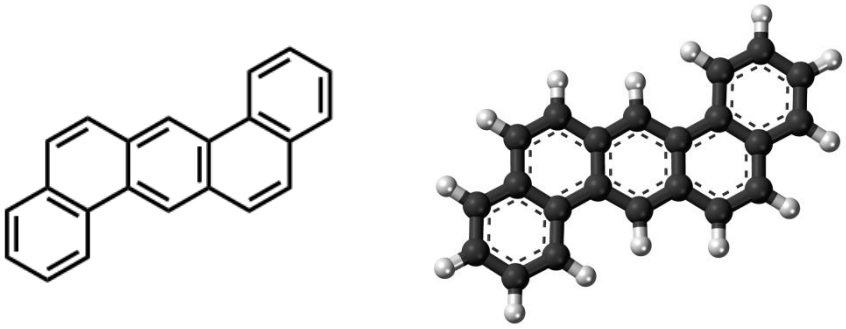
Sumární vzorec	$C_{20}H_{12}$
Molární hmotnost	*228,29 g*mol*$^{-1}$
Registrační číslo CAS	*207-8-9*
Bod tání	*215,7°C*
Bod varu	*480°C*
Rozpustnost ve vodě	*7,6* 10*$^{-4}$ *mg/l (25°C)*

Benzo(k)fluoranthen nemá technické využití a ani není vyráběn.[5]

Dibenz(a,h)anthracen

Je polyaromatický uhlovodík, který ve své molekule obsahuje pět benzenových jader. Jeho základem je anthracen, který má na sebe lineárně navázány tři jádra, na která jsou v para pozici (polohy (a a h) navázána dvě další jádra.[5] Dibenz(a,h)anthracen je bezbarvá (méně čistá je pak nažloutlá) krystalická látka vytvářející krystaly ve formě lístků a šupinek.[16]

Strukturní vzorce tohoto PAU jsou uvedeny na obrázku č. 14 a vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 13. [16]



Obrázek č. 14 Strukturní vzorce dibenz(a,h)anthracenu [16]

Tabulka č. 13 Vlastnosti dibenz(a,h)anthracenu [3]

Sumární vzorec	*$C_{22}H_{14}$*
Molární hmotnost	*278,35 g*mol^{-1}*
Registrační číslo CAS	*53-70-3*
Bod tání	*262°C*
Bod varu	*-neuvedeno-*
Rozpustnost ve vodě	*5 * 10^{-4} mg/l (25°C)*

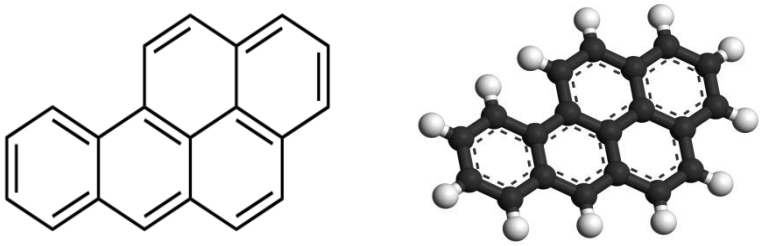
Dibenz(a,h)anthracen je látka, která často vzniká při spalování fosilních paliv, dřeva a biomasy. Rovněž vzniká zahříváním olejů. Tento PAU je obsažen v cigaretovém kouři.[5][8]

Dibenz(a,h)anthracen je značně toxický, má silné karcinogenní a mutagenní účinky. Dibenz(a,h)anthracen vykazuje značnou genotoxicitu, prokazatelně způsobuje mutace v bakteriálních buňkách a i v buňkách savců.[5]

Benzo(a)pyren

Je PAU s pěti benzenovými jádry, která jsou v těsné konfiguraci. Tento skelet sestává z dvou řad aromatických kruhů tříčlenné a dvoučlenné řady. Benzenové kruhy benzo(a)pyrenu tvoří jeden systém, ve kterém jsou elektrony delokalizovány.[3]

Strukturní vzorce tohoto PAU jsou uvedeny na obrázku č. 15 a vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 14. [21]



Obrázek č. 15 Strukturní vzorce benzo(a)pyrenu [21]

Tabulka č. 14 Vlastnosti benzo(a)pyrenu [3]

Sumární vzorec	$C_{20}H_{12}$
Molární hmotnost	*252,32 g*mol^{-1}*
Registrační číslo CAS	*50-32-8*
Bod tání	*179°C*
Bod varu	*495°C*
Rozpustnost ve vodě	*2.3* 10^{-3} mg/l (25°C)*

Benzo(a)pyren je světle žlutá látka, která byla objevena v černouhelném dehtu, v dehtových zbytcích po spalování dřeva a uhlí. Benzo(a)pyren byl identifikován jako karcinogen a původce nádorů, které různé dehty a zbytky po spalování způsobovaly.[21]

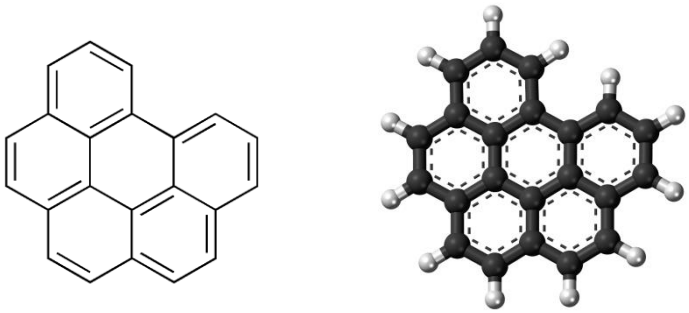
Na případu benzo(a)pyrenu byl rovněž objasněn mechanizmus genotoxicity, karcinogenity a mutagenity polyaromatických uhlovodíků.[5][16]

Jako jeden ze silně karcinogenních PAU je benzo(a)pyren hojně stanovován v životním prostředí, ve vzduchu a v potravinách. Benzo(a)pyren vzniká při spalování fosilních paliv, při úpravě potravin, které jsou připravovány při teplotách vyšších nežli 150°C (smažení, grilování apod.)[21]

Benzo(g,h,i)perylen

Tento PAU je složen z šesti aromatických jader. Pět benzenových jader obklopuje centrální jádro, jehož všechny uhlíky jsou součástí jader okolních. Teto aromatický systém má velmi těsné uspořádání a jeho elektrony jsou plně delokalizovány.[22]

Strukturní vzorce tohoto PAU jsou uvedeny na obrázku č. 16 a vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 15. [5]



Obrázek č. 16 Strukturní vzorce benzo(g,h,i)perylenu [22]

Tabulka č. 15 Vlastnosti benzo(g,h,i)perylenu [3]

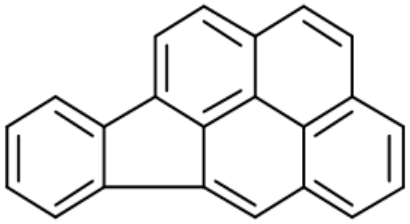
Sumární vzorec	*$C_{22}H_{12}$*
Molární hmotnost	*276,33 g*mol^{-1}*
Registrační číslo CAS	*191-24-2*
Bod tání	*273°C*
Bod varu	*550°C*
Rozpustnost ve vodě	*2,6* 10^{-4} mg/l (25°C)*

Benzo(g,h,i)perylen je krystalická látka se žlutozeleným nádechem. Vykazuje silnou fluorescenci v ultrafialovém světle. Tato látka nemá praktické využití a nevyrábí se. Je obsažena v černouhelném dehtu a rovněž i v ropě.[16]

Indeno(1,2,3-cd)pyren

Je PAU s pěti benzenovými kruhy a jedním pětičlenným kruhem. Molekula je tvořena indenem a pyrenem spojenými v polohách 1,2,3,c a d.[23]

Strukturní vzorec tohoto PAU je uveden na obrázku č. 17 a vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 16. [16]



Obrázek č. 17 Strukturní vzorec indeno(1,2,3-cd)pyrenu [23]

Tabulka č. 16 Vlastnosti indeno(1,2,3-cd)pyrenu [16]

Sumární vzorec	*$C_{22}H_{12}$*
Molární hmotnost	*276,33 g*mol^{-1}*
Registrační číslo CAS	*193-39-5*
Bod tání	*218°C*
Bod varu	*342°C*
Rozpustnost ve vodě	*0,076 mg/l (25°C)*

Indeno(1,2,3-cd)pyren je rovněž silně karcinogenní a jeho metabolismus byl podrobně zkoumán. Byly popsány cesty, jakým způsobem mění DNA živočichů.[23]

Tento uhlovodík nemá žádné technické využití.[16]

3.2. Toxicita PAU

Polyaromatické uhlovodíky byly jako vůbec první látky spojovány se vznikem zhoubného a nezhoubného nádorového bujení. Díky nalezení tohoto spojení byl umožněn rozvoj studia této nemoci.[3]

V osmnáctém století ve Velké Británii dochází k rozmachu měst a s tím spojenému vytápění domů uhlím. Díky nevhodné konstrukci komínů bylo nutné jejich časté vymetání od sazí. Tuto práci vykonávali především mladí chlapci, pro které, díky jejich malému vzrůstu, nebyl problém prolézání komínem. [24] V roce 1775 si lékař Sir Percivall Pott všiml, že se u těchto dětských kominíků vyskytují různé druhy rakoviny, a to především rakovina plic, rakovina kůže a rakovina varlat. Tito mladí chlapci trpěli rakovinou ve velmi nízkém věku. Obvykle ve věku od 15 do 25 let se u nich projevilo zhoubné bujení s fatálními následky.[25] Tento výskyt rakoviny byl oproti zbytku populace natolik markantní, že si tohoto jevu Sir Percivall Pott všiml a v roce 1775 postuloval vznik zhoubného bujení vyvolaného látkami vstupujícími do organismu z okolního prostředí.[24]

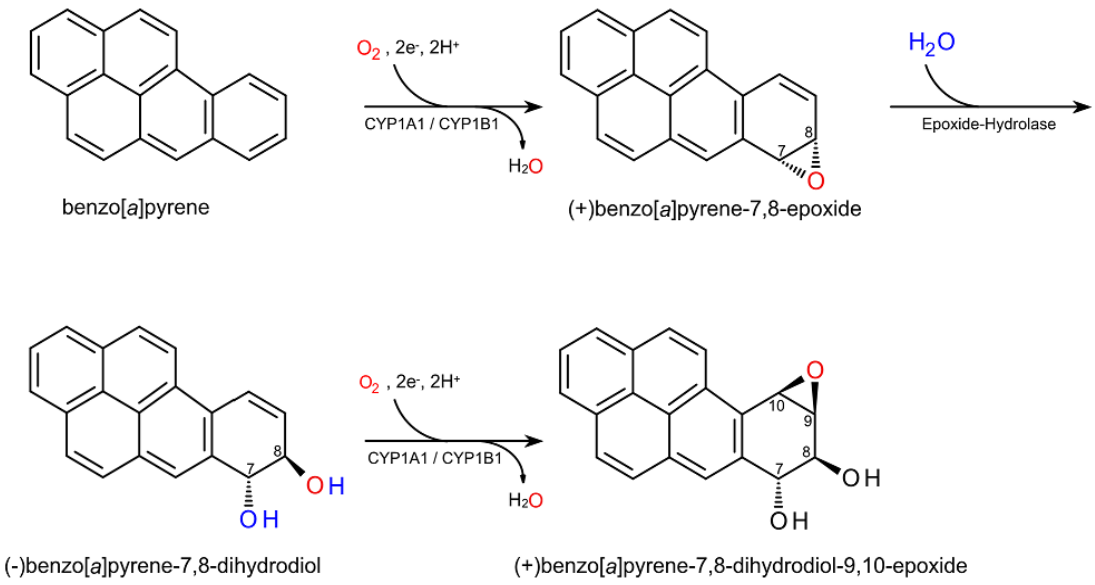
V následujících letech bylo zjištěno, že původcem zhoubného bujení jsou saze a térovité zbytky ze spalování uhlí obsažené v komínech. Sir Percivall Pott následně v roce 1788 demonstroval vznik rakoviny kůže u pokusných hlodavců, které potíral roztokem dehtu.[26]

Rozvojem analytických metod byly v roce 1922 izolovány z dehtovitých a térovitých látek různé polyaromatické uhlovodíky. U nich byly zkoušeny karcinogenní vlastnosti. Jako hlavní původce karcinogenních vlastností byl nalezen benzo(a)pyren.[26] Dalším rozvojem separačních metod byla nalezena celá škála PAU s karcinogenními a mutagenními vlastnostmi.[3]

Samotné PAU nejsou genotoxické, karcinogenní a mutagenní. Avšak tyto vlastnosti mají pouze jejich metabolity vznikající v organismu. PAU se tudíž řadí do skupin látek zvaných protokarcinogeny.[21]

Metabolické dráhy a genotoxické působení PAU byly detailně prozkoumány na několika případech. Hlavní výzkumné práce byly zaměřeny na benzo(a)pyren.[6]

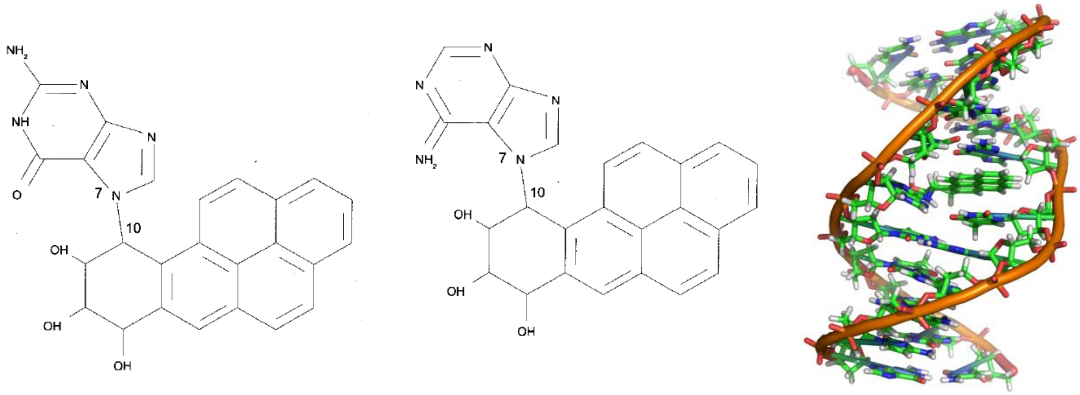
Mechanismus působení benzo(a)pyrenu je následující: Benzo(a)pyren je oxidován za pomoci enzymů na (+)benzo(a)pyren-7,8-epoxyd, který je následně hydratován epoxyhydrolázou na (-)benzo(a)pyren-7,8-dihydrodiol, který je opět dále oxidován na (+)benzo(a)pyren-7,8-dihydrodiol-9,10-epoxid.[21] (schéma metabolických reakcí je uvedeno na obrázku č. 18)



Obrázek č. 18 Metabolické odbourávání benzo[a]pyrenu [21]

Vzniklý epoxid se velice snadno váže na guaninové nukleové báze (adenin a guanin) obsažené v DNA.[21] Tím, že se tento epoxid PAU naváže do DNA, umožní pak mutaci, která může vyústit v nádorové bujení.[3]

Schéma napojení metabolizovaných PAU a jejich zavázání do DNA je uvedeno na obrázku č. 19.



Obrázek č. 19 Navázání metabolitu benzo[a]pyrenu do DNA [21]

Podobný metabolismus a stejné působení na DNA mají i ostatní PAU se strukturou umožňující vznik dihydrodiol peroxidu.[3]

Toxicita jednotlivých PAU je značně rozdílná. Díky rozdílným konstitucím PAU může metabolické odbourávání postupovat jiným způsobem a produkovat různě genově toxické aktivní látky. Poměrové toxicity PAU jsou uvedeny v tabulce číslo 17.

Tabulka č. 17 Poměrová toxicita jednotlivých PAU [16][2][3]

Polyaromatický uhlovodík	***Poměrná toxicita vůči benzo[a]pyrenu***
Naftalen	*0,002*
Anthracen	*0*
Acenaften	*0,001*
Acenaftylen	*0,001*
Chrysen	*0,1*
Fluoren	*0,001*
Fluoranthen	*0,08*
Pyren	*0,001*
Benz(a)anthracen	*0,2*
Benzo(b)fluoranthen	*0,8*
Benzo(k)fluoranthen	*0,03*
Dibenz(a,h)anthracen	*10*
Benzo(a)pyren	*1*
Benzo(g,h,i)perylen	*0,009*
Indeno(1,2,3-cd)pyren	*0,07*

Pro vyvolání zhoubného bujení je rovněž i zásadní doba kontaktu a koncentrace PAU. Velkým nebezpečím je u PAU jejich značná stabilita. Doba odbourávání je v přírodě extrémně dlouhá a poločasy rozpadu se u jednotlivých PAU pohybují v řádu desítek až stovek let.[3]

Výše popsané karcinogenní a mutagenní látky se naší činností dostávají do životního prostředí, odkud přecházejí přes prachové částice do našich dýchacích cest a spolu s kontaminovanými potravinami do trávicího traktu.[4] Takto přijaté PAU v mnoha případech způsobují zhoubné bujení.

3.3. Vznik PAU a jejich transport do životního prostředí

Polyaromatické uhlovodíky vznikají z širokého spektra uhlovodíků a to vždy při vyšších teplotách v rozmezí od 300 do 600°C. Díky velmi vysoké stabilitě aromatických jader a pětičlenných cyklů mají uhlovodíky tendenci se při překonání energetické bariéry stabilizovat ve struktuře tvořené těmito elementy.[2] PA uhlovodíky vznikají jak za přístupu vzduchu, tak i bez jeho přítomnosti. PAU vznikly rovněž i velmi brzo po velkém třesku při vzniku vesmíru a jejich vznik je spojen s tvorbou a zánikem nových hvězd.[3] Přibližně 20 % veškerého uhlíku ve vesmíru je obsaženo právě v polyaromatických uhlovodících, které jsou v mezihvězdném prostoru.[2] Podle některých teorií [28][29] stojí PAU za vznikem života na Zemi.

Na Zemi se PAU vyskytují v ropě a uhlí, kde vznikly přeměnou za vysokých teplot a tlaků. Tyto uhlovodíky jsou pak obsaženy ve fosilních palivech a výrobcích z nich (jako jsou např. silniční asfalty a bitumenové izolační pásy)[4]

Největším nebezpečím pro životní prostředí jsou pak novotvorbové PAU, které vznikají při spalovaní fosilních paliv a biomasy.

Spalováním uhlovodíkových materiálů vznikají různé druhy PAU v různých koncentracích. Složení takto produkovaných uhlovodíků je závislé na typu a složení spalovaného materiálu. Obecně je možné říci, že čím má původní materiál delší uhlovodíkové řetězce, tím je produkce PAU vyšší.[5] Průměrná produkce PAU je uvedena v tabulce č. 18.

Tabulka č. 18 Závislost produkce PAU na spalovaném materiálu [30][31]

Palivo	***Zdroj***	***Produkce PAU vztažená na hmotnost paliva***
Zemní plyn	*Průmyslový*	*1 - 1000 pg/kg*
	Domácnost	*1 - 2000 pg/kg*
Směs propan butan	*Domácnost*	*0,03 mg/kg*
Dřevo	*Průmyslový*	*0,35 - 8,20 mg/kg*
	Domácnost	*2 - 114 mg/kg*
Uhlí	*Průmyslový*	*0,07 -0,09 mg/kg*
	Domácnost	*0,16 - 79,40 mg/kg*
Brikety	*Domácnost*	*2,80 - 3,00 mg/kg*
Vosk - parafíny	*Domácnost*	*4,79 - 156 µg/kg*
Motorová nafta	*Doprava*	*0,78 mg/kg*
Automobilový benzín	*Doprava*	*3,01 mg/kg*

Ze získaných dat vyplývá, že největším zdrojem kontaminace životního prostředí je vytápění obytných domů lokálními topeništi. Jako největší zdroj je v literatuře [30][31] uváděno zplynování dřeva v kotlích na tuhá paliva. Druhým největším zdrojem je pak spalování uhlí ve stejných kotlích. PAU vznikající při procesu spalování jsou transportovány do životního prostředí, kde dochází k jejich ukládání do zeminy. Ze zeminy se pak dostávají do potravního řetězce.[32]

4. Stav řešené problematiky

4.1. Obsah PAU v zeminách

Obsah polyaromatických uhlovodíků v zeminách se značně liší dle velikosti ekologické zátěže. V oblastech, které nejsou poznamenány činností člověka, by se obsah PAU měl blížit nulovým hodnotám (nepočítáme půdu po lesních požárech). Obsah PAU v zeminách nám tudíž může dát informaci o lidské činnosti v dané oblasti.[32][33]

V minulosti bylo provedeno několik měření, která se zabývala obsahem PAU v zeminách. Na základě dat uvedených v tabulce č. 19 si můžeme udělat představu o průměrném znečištění PAU na Zemi.

Tabulka č. 19 Koncentrace PAU v zeminách [34][35][36]

Místo	***Koncentrace PAU [mg/kg]***	***Komentář***
Celosvětově	*0,01 - 0,1*	*venkov*
	0,05 - 0,1	*les*
	0,1	*nejvyšší hodnoty les a venkov*
	0,6 - 3,0	*město*
	1,0 - 3,0	*průmyslová oblast, těžce zatíženo dopravou*
Evropa- UK	*14,6 - 99,6*	*UK - těžce zatíženo dopravou*
	2,02	*UK - město*
USA	*8 - 336*	*průmyslová oblast, těžce zatíženo dopravou*
Asie - Pákistán	*0,20 - 1,15*	*Lahore*

Další hodnoty literatura uvádí pro samotný benzo[a]pyren, v tomto případě byl nalezen větší počet měření.[34][35][36]. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 20.

Tabulka č. 20 Koncentrace benzo[a]pyrenu v zeminách [34][35][36]

Místo	***Koncentrace benzo[a]pyrenu [µg/kg]***	***Komentář***
Celosvětově	*18 - 19*	*ornice a zatravněné oblasti*
	39	*lesy*
	350	*města*
	0,3 - 2,0	*tropické lesy a velmi staré lesy*
	5,2 - 5,5	*města v tropických oblastech*
Evropa	*43 - 236*	*města Baltické země*
	79 - 229	*města jižní země*
	971 - 1600	*velká města UK*
	7 - 379	*venkov a města UK*
	18 - 100	*průmyslové oblasti Španělsko*
	22 - 56	*obytné oblasti Španělsko*
	360	*průmyslové oblasti Polsko*
	22	*města Polsko*
USA	*1600*	*Chicago*
Asie	*5,5*	*Bangkok - město*
	55	*předměstí Pekingu*
	154 - 317	*průmyslové oblasti Čína*

Z dat uvedených v tabulkách vyplývá, že obsah PAU v zeminách je značný v průmyslových oblastech a ve městech. Pokud budeme porovnávat města a obytné oblasti, je možné z dat vyvozovat, že v severnějších oblastech, kde jsou obytné domy vytápěny lokálně, je situace s kontaminací PAU výrazně horší oproti jižním státům. Z dat rovněž vyplývá, že domácí vytápění se na znečištění podílí značnou měrou.

4.2. Zatížení životního prostředí PAU v ČR

Informace o znečištění ovzduší v jednotlivých malých sídlech, vzhledem k legislativně vymezenému umístění stanic, chybí. Na problém znečištěného ovzduší v malých sídlech upozorňují pouze případové studie a v případě benzo(a)pyrenu výsledky měření manuálních stanic na venkovských lokalitách, jejichž počet není velký. V malých sídlech (s počtem obyvatel do 10 tis.), kde žije v ČR téměř polovina populace (v roce 2014 se jednalo o 48,0 % obyvatelstva), byly v ovzduší naměřeny zvýšené až nadlimitní koncentrace znečišťujících látek. Jedná se zejména o suspendované částice, PAU a těžké kovy.

V nejvíce postižených malých sídlech tak znečištění ovzduší může být srovnatelné se zátěží velkých městských aglomerací. Důvodem zhoršené kvality ovzduší v malých sídlech je morfologie území, meteorologické podmínky a dopravní zátěž spojená s tranzitní dopravou bez existence objízdných tras a také s plynulostí provozu. Zásadní vliv na znečištěné ovzduší na českém venkově mají však emise z vytápění pevnými palivy, především z lokálních topenišť, z nichž v roce 2013 pocházelo celkem 37,9 % veškerých emisí PM.[37]

V případě, že je v lokálních topeništích spalován domovní odpad, dochází, kromě popisovaných PAU, i emitování nebezpečných dioxinů.[37]

4.3. Indikátory znečištění životního prostředí dle metodiky MŽP ČR

Ministerstvo životního prostředí ČR vypracovalo metodický pokyn pro posouzení kontaminace životního prostředí různými polutanty.

Tento metodický pokyn slouží k indikativnímu posuzování úrovně znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu na antropogenně znečištěných lokalitách, a to zejména při posuzování průzkumů a výsledků sanací vážně kontaminovaných lokalit realizovaných převážně z operačního programu Životní prostředí, oblasti podpory 4.2 – Odstraňování starých ekologických zátěží, což vede k rozšíření a zlepšení možností posuzování úrovní kontaminací, resp. úspěšnosti sanačních zákroků realizovaných mimo jiné z OPŽP.[37]

Hodnoty RSL jsou odvozeny jednotným způsobem pomocí expozičních rovnic s využitím obvyklých expozičních parametrů a faktorů reprezentujících maximální odůvodnitelnou chronickou expozici a zahrnutí citlivých skupin osob (dětí). To znamená, že hodnoty RSL jsou odvozeny na základě přímé expozice, resp. přímého kontaktu s danou složkou životního prostředí. Uvažovanými expozičními cestami jsou nahodilé požití zeminy, inhalace prachových částic ze zeminy a dermální kontakt se zeminou, dále inhalace vzduchu, požití vody a inhalace těkavých látek při koupání a sprchování. Hodnoty RSL odpovídají míře přijatelného nekarcinogenního rizika kvocientu nebezpečnosti HQ=1 a zvýšenému celoživotnímu riziku vzniku rakoviny ELCR = $1x10^{-6}$. RSL nezohledňují rizika pro ekosystémy či povrchové vody, nicméně jejich aplikovatelnost pro využívané podzemní vody k pitným či užitkovým účelům je zřejmá.[37]

Indikátory znečištění jsou specifické koncentrace jednotlivých chemických látek v zemině, podzemní vodě a v půdním vzduchu. Překročení hodnot indikátorů se posuzuje jako indikace znečištění, které by mělo být dále zkoumáno a hodnoceno a to především z hlediska rizik pro případné příjemce znečištění a ohrožené ekosystémy.[37]

Je nutno zdůraznit, že indikátory znečištění nejsou sanační limity a neměly by být jako sanační limity používány pro rozhodnutí správních orgánů v situacích, kdy lze jako podklad pro stanovení sanačních limitů použít výsledky analýzy rizik zpracované dle MP MŽP č. 1/2011.[37]

V dnešní době je platný aktuální metodický pokyn z roku 2013, který plně nahrazuje dřívější dokumenty.

Z metodického pokynu rovněž byly získány hodnoty indikátorů znečištění pro PAU. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 21.

Tabulka č. 21 Přehled hodnot indikátorů znečištění zemin PAU [37]

PAU	***Registrační číslo CAS***	***Zemina***	
		Průmyslově využívané území	Ostatní plochy
		[mg/kg suš.]	*[mg/kg suš.]*
acenaften	*83-32-9*	*33 000*	*3 400*
anthracen	*120-12-7*	*170 000*	*17 000*
benz(a)anthracen	*56-55-3*	*2,1*	*0,15*
benzo(b)fluoranthen	*205-99-2*	*2,1*	*0,15*
benzo(k)fluoranthen	*207-08-9*	*21*	*1,15*
benzo(a)pyren	*50-32-8*	*0,21*	*0,015*
dibenzo(a,h)anthracen	*53-70-3*	*0,21*	*0,015*
fluoranthen	*206-44-0*	*22 000*	*2 300*
fluoren	*86-73-7*	*22 000*	*2 300*
chrysen	*218-01-9*	*210*	*15*
indeno(1,2,3-cd)pyren	*193-39-5*	*2,1*	*0,15*
naftalen	*91-20-3*	*18*	*3,6*
pyren	*129-00-0*	*17 000*	*1 700*

5. Charakteristika řešeného území

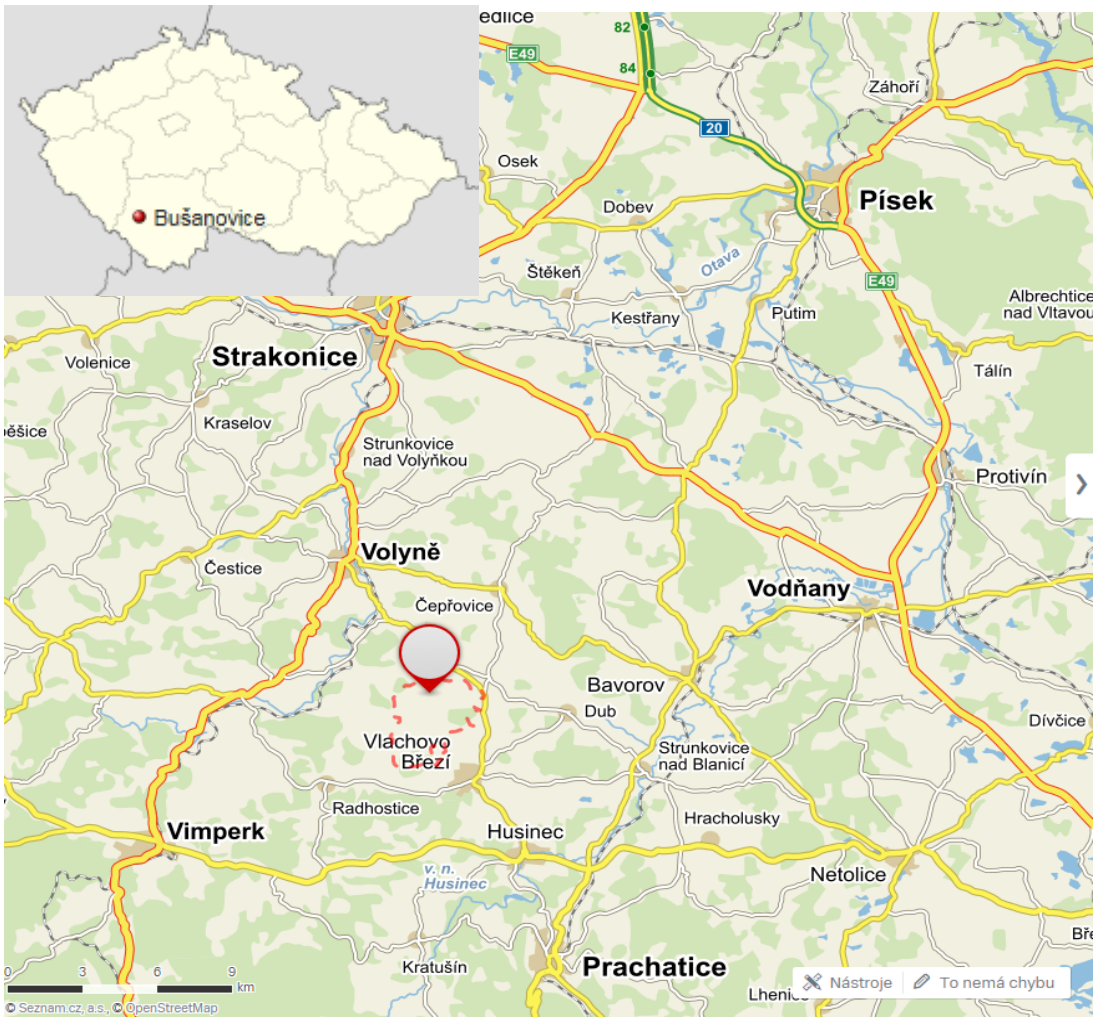
V praktické části práce jsem se zaměřil na odběr vzorků půdy ve vesnici Bušanovice a v jejím nejbližším okolí.

Obec Bušanovice se nachází v okrese Prachatice, kraj Jihočeský a je součástí Mikroregionu Vlachovo Březí. Nachází se zhruba 4 km severoseverozápadně od Vlachova Březí, 6,5 km jihovýchodně od Volyně a 12,5 km severoseverozápadně od Prachatic. Leží v Šumavském podhůří (podcelek Bavorovská vrchovina, okrsek Husinecká vrchovina). Protéká jí Černý potok, který náleží do povodí řeky Blanice. Ke dni 28. 8. 2006 zde žilo 245 obyvatel. V obci je vybudována síť vodovodu a částečně kanalizace.

Většina domů v obci byla v minulosti vytápěna kotli na tuhá paliva. I v dnešní době se z velké části tato paliva dále používají. Jako palivo slouží palivové dřevo, dřevěné pelety, dřevěné brikety a uhlí.

Obcí vede rovněž i komunikace spojující okolní části obce s počtem obyvatel do 50. V obci není tranzitní komunikace.

Poloha studované oblasti je uvedena na obrázku č. 20.



Obrázek č. 20 Mapky – pozice Bušanovic [39]

6. Metodika

6.1. Vzorkování zemin

Postup při odběru vzorků zemin a půd se určuje individuálně zejména s přihlédnutím k účelu a požadovaným analýzám.

Vzorkovací postupy se musí řídit dle platných předpisů a postupů, jinak hrozí ovlivnění výsledků analýz nevhodným způsobem vzorkování.

Pokud je cílem zjištění kontaminace, zpracovává se obvykle individuální plán vzorkování. Pro zkoušky půd a zemin se postupuje podle vyhlášky MZe č. 275/1998 Sb. a jejich pozdějších změn č. 477/2000 Sb. a 400/2004 Sb.

Místo a bod odběru vzorku musí být vždy definovány v plánu odběru vzorků. Z těchto důvodů se nejprve vždy vytvoří plán, kde budou vzorky odebírány. Vzorky se odebírají od nejnižší předpokládané koncentrace stanovovaných látek k nejvyšší, tak aby nedošlo ke kontaminaci vzorků.[37] Při vzorkování zemin se používají dva typy odběru vzorků - povrchové vzorky, které se odebírají z hloubkového intervalu 0 - 15 cm a podpovrchové vzorky, které se odebírají z hloubky větší než 15 cm.[38] Pro potřeby stanovení PAU se používají povrchové vzorky.

Postup vzorkování dle metodického pokynu je následující:
Nejprve se před samotným odběrem veškerý balastní materiál ze vzorkované plochy s výjimkou vzorkované zeminy.
Povrchový vzorek se pak odebere z hloubkové hladiny 0- 15 cm a to vhodným vzorkovacím nástrojem.
Pro odběr vzorků pro stanovení PAU se používá vzorkovací lopatka.
Odebrané vzorky je nutné uchovávat k tomuto účelu vhodné vzorkovnici. Vzorky se uchovávají do samotné analýzy za snížené teploty (0 - 5°C).[38]

6.2. Stanovení obsahu PAU

Obsah PAU v tuhých matricích (odpady, zeminy) se stanovuje metodou vysoce účinné kapalinové chromatografie (HPLC) s fluorescenční detekcí po extrakci vhodným rozpouštědlem. Metodou se stanovuje obsah 12 nejběžnějších PAU mimo fluoranthen, který nevykazuje fluorescenci a tudíž není možné ho touto metodou stanovit. PAU, které jsou analyzovány, uvádí tabulka č. 22

Tabulka č. 22 Vybrané PAU

PAU	***Zkratka***
Anthracen	*An*
Benz (a) anthracen	*BaA*
Benzo (b) fluoranthen	*BbF*
Benzo (k) fluoranthen	*BkF*
Benzo (a) pyren	*BaP*
Benzo (g, h, i) perylen	*BPe*
Fenanthren	*Ph*
Fluoranthen	*Flt*
Chrysen	*Ch*
Indeno(1, 2, 3-cd) pyren	*IPy*
Naftalen	*N*
Pyren	*Py*

6.2.1. Princip metody

Tuhý vzorek se extrahuje organickým rozpouštědlem. Získaný extrakt se separuje na koloně s obrácenou fází gradientem acetonitril/voda a jednotlivé PAU se stanoví pomocí fluorescenčního detektoru po předchozí kalibraci.

6.2.2. Chemikálie a pomocné látky

Dichlormethan (CH_2Cl_2) pro organickou stopovou analýzu, Merck
N-hexan (C_6H_{14}) pro organickou stopovou analýzu, Merck
Voda pro HPLC, Merck
Acetonitril (CH_3CN), HPLC grade, Lach-Ner
Síran sodný (Na_2SO_4) p. a., bezvodý, Lach-Ner
Silikagel 60 (63-200 μm), Merck
Roztok standardů PAU v acetonitrilu (PAH Mix 16), dr. Ehrenstorfer
Chlorid sodný (NaCl), p. a., Lach-Ner
Kyselina chlorovodíková 35% (HCl), p. a., Lach-Ner
Denaturovaný líh, Unipetrol RPA
Dusík 4.8, 300 bar.

6.2.3. Přístroje a pomůcky

Vakuová odparka RV10 control
Sušárna UNP 400
Muflová pec -Laboratorní pec L 09/12 INDUSTRY
Váhy analytické MSE324S-100-DU
Soxhletův extraktor 30 ml
Celulosové extrakční patrony Whatman 19 mm x 90 mm
Zpětný chladič
Topné hnízdo
Křemenná vata
Dělicí baňka 2 l
Destilační baňky - 100 ml
Vzorkovnice
Pipety 5, 10, 25 ml, třída A
Odměrné baňky 10, 25 a 100 ml, třída A
Stříkačka 10 μl, 25 μl, Hamilton
HPLC kolona Zorbax Eclipse PAH, 5 μm, 250 x 4,6 mm s předkolonou Zorbax Eclipse
Odměrné válce – 10, 25 a 1000 ml, třída A
Nálevky
Násypka
Laboratorní lžička
Kádinky 50, 75, 100 ml
Exsikátor
Zábrusové váženky
Porcelánové kelímky
Vialky s víčky, Dionex
Pinzeta
Skleněná tyčinka
Chromatograf kapalinový Agilent 1260 HPLC, systém č. 26 (viz přílohy obr. č. 27) tvořený z:
Autosampler-HPLC, systém č. 26 (viz přílohy obr. č. 23)
Diode array detektor-HPLC, systém č. 26 (viz přílohy obr. č. 24)
Fluorescenční detektor-HPLC, systém č. 26 (viz přílohy obr. č. 25)
Kvarterní čerpadlo-HPLC, systém č. 26 (viz přílohy obr. č. 26)
Termostat kolon-HPLC, systém č. 26
Termostat-HPLC, systém č. 26

6.2.4. Postup stanovení

Příprava pomocných materiálů

Síran sodný

Před použitím se žíhá v peci v porcelánovém kelímku při 400°C po dobu 4 h. Uchovává se v zábrusové vážence v exsikátoru.

Křemenná vata

Vata se vyextrahuje hexanem v kádince. Rozpouštědlo se slije, vata se skleněnou tyčinkou vymačká a nechá se volně vyschnout v digestoři v přikryté kádince. Vysušená vata se uchovává v zábrusové vážence.

Čištění skla

Skleněné nádobí se čistí ihned po použití. Nejprve se vypláchne rozpouštědlem, které v něm bylo naposledy použito. Potom se důkladně vymyje roztokem saponátu v teplé vodě. Následuje důkladné vypláchnutí vodou a destilovanou vodou. Nakonec se sklo vypláchne denaturovaným lihem, acetonem p.a. a vysuší se v sušárně při 100°C. Nádobí se uchovává odděleně od ostatního laboratorního skla tak, aby se zabránilo jeho kontaminaci – uzavřené plastovými zátkami nebo otočené dnem vzhůru.

6.2.5. Parametry analytické metody

Parametry nastavení přístroje jsou uvedeny v tabulkách č. 23 a č. 24.

Tabulka č. 23 Parametry nastavení čerpadla

Parametr	***Hodnota***
Flow (Průtok)	*2 ml/min*
Temperature (Teplota kolony)	*30 ℃*
t= 0 min *B % (Koncentrace vody)* *t=20-25 min* *B %* *A % (Koncentrace acetonitrilu)* *t=27 min* *B %*	 *40 %* *0 %* *100 %* *40 %*

Tabulka č. 24 Parametry nastavení fluorescenčního detektoru

Parametr	*Hodnota*
Excitation (Excitační vlnová délka)	*250 nm*
Emission (Emisní vlnová délka)	*355 nm*
Gain	*13*
t= 6,5 min	
Gain	*12*
t=7,1 min	
Excitation	*260nm*
Emission	*420 nm*
t =8,1 min	
Gain	*13*
t=15 min	
Gain	*12*
Excitation	*300*
Emission	*460*
t=17,1 min	
Gain	*13*

6.2.6. Popis vlastního laboratorního postupu

Příprava vzorku k analýze

K analýze je dodáván odvodněný vzorek v igelitových pytlích nebo plastových vzorkovnicích. Z původního vzorku se kvartací připraví laboratorní vzorek, který se uchovává v plastových nebo skleněných vzorkovnicích. Pokud se vzorek nezpracovává okamžitě, skladuje se v chladničce při 4°C. Jinak musí být extrahován nejpozději do 7 dnů od navzorkování a musí se kompletně analyzovat nejpozději do 40 dnů od extrakce. U vzorku se zároveň stanovuje hmotnostní podíl sušiny. Tento údaj je potřebný pro přepočet výsledného množství PAU.

Na hodinové sklíčko navážíme s přesností na 2 desetinná místa 5,00 g laboratorního vzorku a 10,00 g síranu sodného, převedeme do třecí misky a důkladně promícháme. Směs převedeme do celulózové kapsle a zvážíme. Vzorek překryjeme vatou extrahovanou v acetonu a kapsli umístíme do extraktoru.

Extrakce vzorku

Do varné baňky přidáme 80 ml dichlormetanu a extrahujeme po dobu 24 hodin.

Příprava extraktu k analýze

Z extraktu se odpaří rozpouštědlo na rotační odparce při teplotě lázně 40°C a tlaku 335 milibarů. Zbylá rozpouštědla se odpaří z baňky v digestoři mírným proudem dusíku. Baňky s odparkem se označí číslem vzorku a do doby analýzy uloží v chladničce.

Před vlastní analýzou se k odparku v baňce přidá pipetou 10 ml acetonitrilu a vnitřek baňky se jím opatrně důkladně opláchne, aby se extrakt dokonale rozpustil, a poté se přefiltruje pomocí stříkačky s mikrofiltrem do vialky automatického dávkovače. Roztok se pak použije k vlastní HPLC analýze.

Takto upravené extrakty vzorků se analyzují za stejných podmínek jako kalibrační roztoky.

Výtěžnost analytického postupu

Výtěžnost analytického postupu byla stanovena pomocí certifikovaného referenčního materiálu. Výtěžnosti pro jednotlivé PAU jsou uvedeny v tabulce č. 25.

Tabulka č. 25 Výtěžnosti jednotlivých PAU

Uhlovodík	***Výtěžnost %***
Anthracen	*50*
Benz (a) anthracen	*90*
Benzo (b) fluoranthen	*91*
Benzo (k) fluoranthen	*86*
Benzo (a) pyren	*60*
Benzo (g, h, i) perylen	*90*
Fenanthren	*101*
Fluoranthen	*100*
Chrysen	*98*
Indeno (1, 2, 3 -cd) pyren	*90*
Naftalen	*37*
Pyren	*90*

Vlastní chromatografická analýza

Extrakty vzorků, připravené k analýze se převedou mikropipetou do vialek. Vialky se plní kapalinou do maximálně dvou třetin svého objemu. V softwaru Chemstation se vytvoří sekvence a vialky se vloží do příslušné pozice automatického dávkovače.

V tabulce č. 26 jsou uvedeny obvyklé retenční časy PAU.

Tabulka č. 26 Obvyklé retenční časy PAU

Uhlovodík	***Retenční čas [min.]***	***Uhlovodík***	***Retenční čas [min.]***
Anthracen	*7,9-8,1*	*Fenanthren*	*6,9-7,1*
Benz (a) anthracen	*12,9-13,2*	*Fluoranthen*	*9,0-9,2*
Benzo (b) fluoranthen	*14,6-15,3*	*Chrysen*	*16,4-16,7*
Benzo (k) fluoranthen	*15,4-16,2*	*Indeno(1,2,3-cd) pyren*	*22,2-22,7*
Benzo (a) pyren	*18,7-19,1*	*Naftalen*	*4,0-4,2*
Benzo (g,h,i) perylen	*17,7-18,0*	*Pyren*	*9,9-10,1*

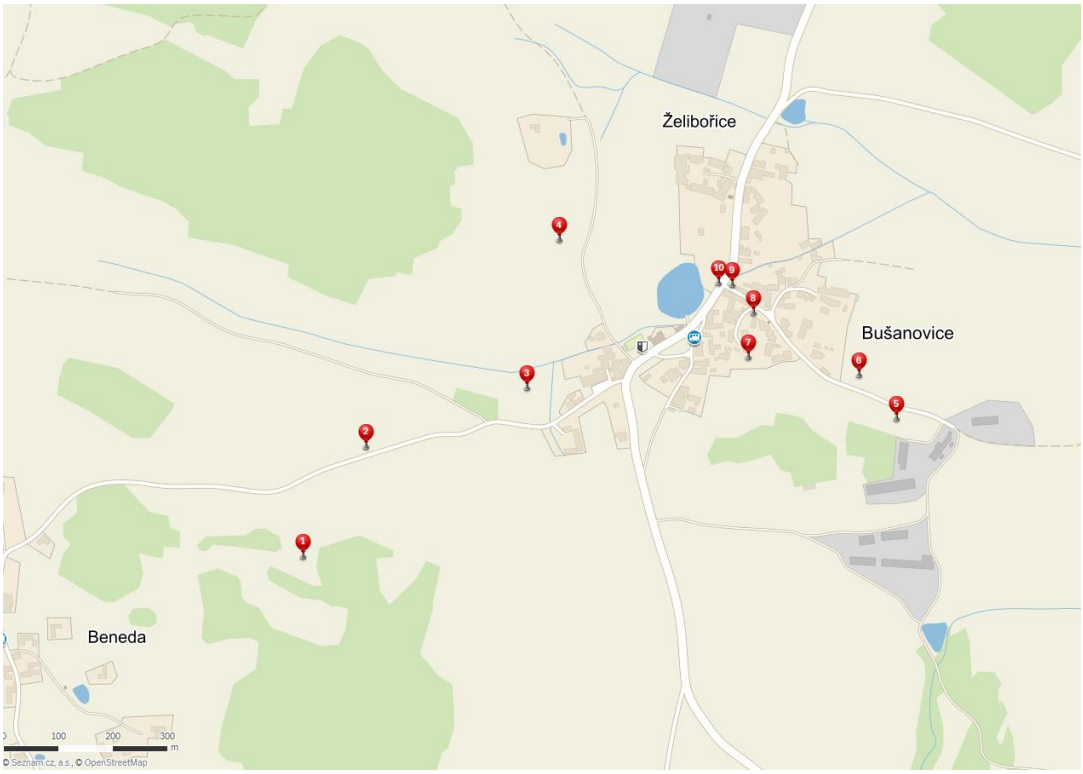
7. Výsledky

7.1. Plán odběru vzorků

Vzorky byly odebrány dle plánu tak, aby pokryly les, louky, sad a centrální oblast obce.

Pro stanovení rozsahu kontaminace byly vybrány vzorkované oblasti s ohledem na vzdálenost od středu obce a ohledem na různý typ prostředí (zemina v centru obce, sad, louka a les)

Vzorky byly odebrány dle vzorkovací mapy uvedené na obrázku č. 21. Označení, popis vzorku a vzdálenosti od středu obce jsou uvedeny v tabulce č. 27.



Obrázek č. 21 Mapa odběru vzorků [39]

Tabulka č. 27 Odebrané vzorky

Číslo vzorku	***Vzdálenost od středu obce (hlavní křižovatky) [m]***	***Komentář***
Vzorek č. 1	*845*	*Louka u bažantnice II (směrem na Benedu)*
Vzorek č. 2	*660*	*Louka u bažantnice I (směrem na Benedu)*
Vzorek č. 3	*405*	*Pastvina u bažantnice*
Vzorek č. 4	*370*	*Blízký lesík*
Vzorek č. 5	*410*	*Louka u kravína*
Vzorek č. 6	*310*	*Louka před kravínem*
Vzorek č. 7	*140*	*Bušanovice sad*
Vzorek č. 8	*80*	*Bušanovice trávník*
Vzorek č. 9	*10*	*Bušanovice záhon*

Vzorky byly odebrány dle závazných pokynů (viz kapitola 3.5). Pro vzorkování byla použita vzorkovací lopatka. Bylo odebráno vždy přibližně 1 kg zeminy. Vzorky byly umístěny do polyethylenových vzorkovacích sáčků. Tyto sáčky byly v transportním boxu při snížené teplotě dovezeny do laboratoře, kde byly stanoveny koncentrace jednotlivých PAU.

U jednotlivých vzorků byla změřena koncentrace PAU. Tyto koncentrace jsou uvedeny v tabulce č. 28.

Tabulka č. 28 Koncentrace PAU v odebraných vzorcích

PAU	***Vzorek č. 1***	***Vzorek č. 2***	***Vzorek č. 3***	***Vzorek č. 4***	***Vzorek č. 5***
	[mg/kg suš.]	*[mg/kg suš.]*	*[mg/kg suš.]*	*[mg/kg suš.]*	*[mg/kg suš.]*
acenaften	*< 0,03*	*< 0,03*	*< 0,03*	*< 0,03*	*< 0,03*
anthracen	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*	*0,01*	*< 0,01*
benz(a)anthracen	*0,02*	*0,02*	*0,05*	*0,05*	*0,08*
benzo(b)fluoranthen	*0,03*	*0,05*	*0,1*	*0,11*	*0,14*
benzo(k)fluoranthen	*0,01*	*0,02*	*0,04*	*0,04*	*0,07*
benzo(a)pyren	*0,02*	*0,04*	*0,08*	*0,08*	*0,07*
benzo(g,h,i)perylen	*0,02*	*0,04*	*0,07*	*0,08*	*0,12*
dibenzo(a,h)anthracen	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*	*0,01*	*0,02*
fenanthren	*0,02*	*0,03*	*0,06*	*0,07*	*0,03*
fluoranthen	*0,05*	*0,1*	*0,2*	*0,22*	*0,24*
fluoren	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*
chrysen	*0,02*	*0,03*	*0,06*	*0,08*	*0,1*
indeno(1,2,3-cd)pyren	*< 0,01*	*0,12*	*0,22*	*0,27*	*0,39*
naftalen	*< 0,03*	*< 0,03*	*0,12*	*0,1*	*0,04*
pyren	*0,05*	*0,03*	*0,13*	*0,14*	*0,18*
∑	***0,24***	***0,48***	***1,13***	***1,25***	***1,46***
PAU	**Vzorek č. 6**	**Vzorek č. 7**	**Vzorek č. 8**	**Vzorek č. 9**	
	[mg/kg suš.]	*[mg/kg suš.]*	*[mg/kg suš.]*	*[mg/kg suš.]*	
acenaften	*< 0,03*	*0,09*	*0,05*	*0,34*	
anthracen	*0,01*	*0,03*	*< 0,01*	*0,08*	
benz(a)anthracen	*0,1*	*0,15*	*0,17*	*1,24*	
benzo(b)fluoranthen	*0,12*	*0,2*	*0,27*	*1,42*	
benzo(k)fluoranthen	*0,06*	*0,09*	*0,13*	*0,75*	
benzo(a)pyren	*0,15*	*0,21*	*0,19*	*1,81*	
benzo(g,h,i)perylen	*0,1*	*0,18*	*0,26*	*1,34*	
dibenzo(a,h)anthracen	*0,01*	*0,02*	*0,03*	*0,15*	
fenanthren	*0,06*	*0,1*	*0,09*	*0,81*	
fluoranthen	*0,27*	*0,38*	*0,67*	*3,38*	
fluoren	*< 0,01*	*0,14*	*0,03*	*0,23*	
chrysen	*0,09*	*0,16*	*0,21*	*1,31*	
indeno(1,2,3-cd)pyren	*0,32*	*0,77*	*0,84*	*4,32*	
naftalen	*0,08*	*0,23*	*< 0,03*	*< 0,03*	
pyren	*0,21*	*0,33*	*0,46*	*2,75*	
∑	***1,57***	***2,83***	***3,29***	***19,21***	

Zdroj: vlastní

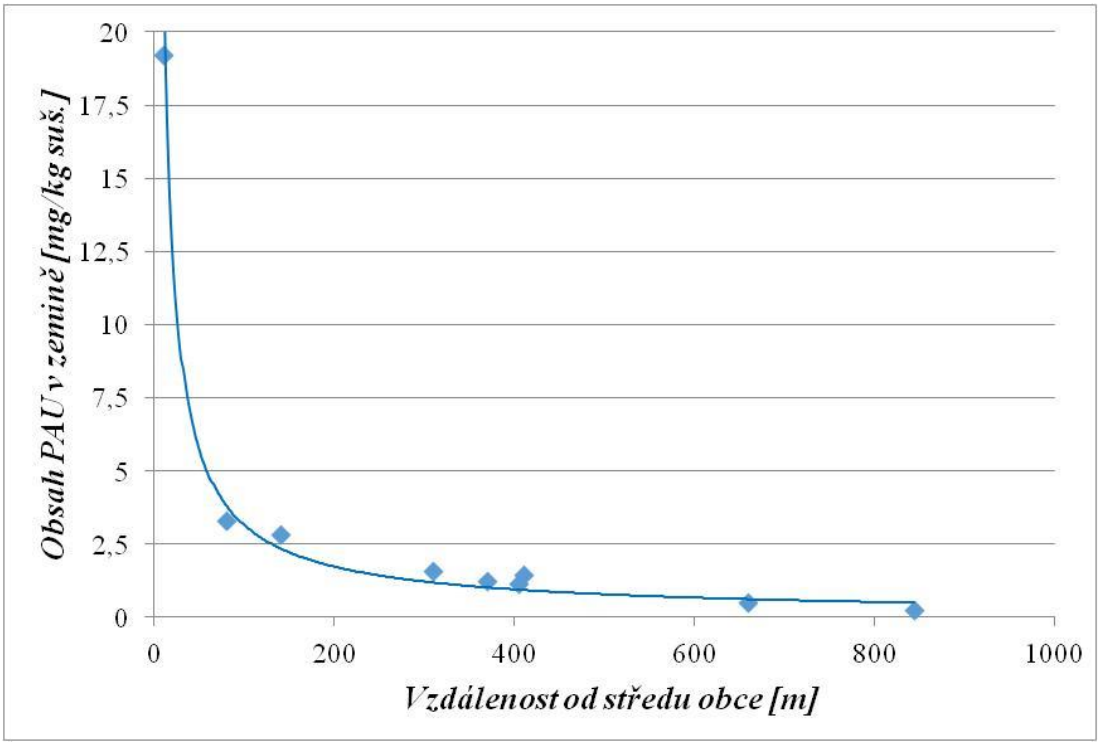
Záznamy jednotlivých analýz jsou uvedeny v příloze.

V následující tabulce jsou uvedeny celkové obsahy všech PAU v závislosti na vzdálenosti od středu obce.(tabulka č. 29)

Tabulka č. 29 Celkové obsahy PAU v jednotlivých vzorcích

Číslo vzorku	*Vzdálenost od středu obce (hlavní křižovatky) [m]*	*Celkový obsah PAU [mg/kg suš.]*
Vzorek č. 1	*845*	*0,24*
Vzorek č. 2	*660*	*0,48*
Vzorek č. 3	*405*	*1,13*
Vzorek č. 4	*370*	*1,25*
Vzorek č. 5	*410*	*1,46*
Vzorek č. 6	*310*	*1,57*
Vzorek č. 7	*140*	*2,83*
Vzorek č. 8	*80*	*3,29*
Vzorek č. 9	*10*	*19,21*

Z naměřených dat je vidět jasná závislost obsahu PAU v zemině na vzdálenosti od středu obce. S rostoucí vzdáleností se koncentrace PAU v zemině exponenciálně snižuje. Graficky je tato závislost vynesena v grafu na obrázku č. 22.



Obrázek č. 22 Závislost obsahu PAU v zemině na vzdálenosti od středu obce
Zdroj: vlastní

8. Diskuse

Získané hodnoty obsahu jednotlivých PAU ve vzorcích zemin byly nejprve porovnány s indikátory znečištění dle metodiky MŽP ČR. Pro porovnání byla použita pouze kategorie pro ostatní plochy, jelikož dle pokynu tam námi měřená oblast patří.

Při porovnání koncentrací jednotlivých PAU můžeme konstatovat, že pro relativně málo toxické PAU, jejichž koncentrace jsou v tabulce č. 20 pro indikátory znečištění uváděny v řádu tisíců mg/kg suš. nebyly indikátory překročeny. A však pro značně toxické PAU je tento indikátor značně překročen. Je možné konstatovat, že co se týče nejvíce toxických PAU, byly indikátory znečištění překročeny u všech odebraných vzorků. Například pro benzo(a)pyren v centru obce je indikátor znečištění překročen více než 100 x.

Z výsledků porovnání indikátorů jasně vyplývá, že znečištění půdy v obci a jejím okolí způsobené PAU je alarmující.

Při porovnání údajů průměrného obsahu PAU v zeminách s literaturou (kapitola 4.1) jsou koncentrace značně vysoké. Tyto koncentrace odpovídají spíše městu nebo oblasti s lehkým průmyslem.

Nejvyšší naměřená hodnota 19,21 mg/kg suš. je ze vzorku záhonu nedaleko středu obce (10 m). Tato hodnota je již značně vysoká a představuje již vysokou kontaminaci.

Vzorky odebrané na loukách a v lese značně převyšují hodnoty uváděné v literatuře. Je možné konstatovat, že znečištění lesů a luk v Bušanovicích je přibližně o řád vyšší, než by dle literárních zdrojů mělo být.

Při porovnání obsahu benzo[a]pyrenu je rovněž situace v Bušanovicích alarmující. Naměřené hodnoty na loukách a v lese rovněž překračují hodnoty, které jsou v Evropě obvyklé. Naměřené koncentrace 20 až 210 µg/kg suš. jsou reportovány z průmyslových oblastí a velkých měst. (kapitoly 4.1 a 4.3)

Koncentrace benzo[a]pyrenu v centru obce ze záhonu pak s koncentrací 1810 µg/kg suš. převyšuje hodnoty obvyklé ve velkých evropských městech.

Příčin takto vysokých koncentrací je několik. Jako první je nedostatečná teplota hoření při spalování fosilních paliv (tzv. dehtování). Dále bylo vlastním šetřením zjištěno, že obyvatelé menších vesnic, tedy nejen Bušanovic, ve svých kotlích spalují i TKO, který obsahuje plasty, dřevo, látky, biomasu apod. (kapitola 3.3) a jednou z příčin je i vybavení starými, nevyhovujícími kotli na pevná paliva a pomalá plynofikace menších obcí.

9. Závěr

Polyaromatické uhlovodíky jsou environmentálně značně nebezpečné látky, které vznikají při tepelném namáhání nebo spalování uhlíkatých materiálů. Těmito materiály jsou biomasa a fosilní paliva.

Vznik PAU je značně ovlivněn typem spalovaného materiálu a zařízením, ve kterém ke spalování dochází.

Při porovnání literárních zdrojů jednoznačně vyplynulo, že nejvíce PAU vztažených na 1 kg spalovaného matriálu, vzniká spalováním dřeva, dále pak uhlí a třetím nejnebezpečnějším palivem je automobilový benzín.

Bylo zjištěno, že spalováním uhlíkatých materiálů v domácích kotlích se produkuje o řád větší množství PAU oproti průmyslovým spalovacím zařízením. Z těchto důvodů jednoznačně vyplývá, že domácí zdroje tepla jsou pro životní prostředí více než desetkrát nebezpečnější, nežli průmyslové zdroje a doprava.

Pro ověření nebezpečnosti lokálních zdrojů tepla a zjištění možné kontaminace PAU bylo odebráno 9 vzorků zemin z lokality nezatížené průmyslem a dopravou. Jako relativně málo zasažená oblast byla vybrána obec Bušanovice na podhůří Šumavy. Vzorky byly odebrány dle plánu tak, aby pokryly les, louky, sad a centrální oblast obce.

Z naměřených hodnot obsahu PAU je jasné, že lokální topeniště v minulosti a pravděpodobně i v současnosti značně znečistila Bušanovice a okolí PAU. Hodnoty naměřené v okolních loukách a lese značně převyšují hodnoty, které jsou běžné v Evropě pro takovéto lokality. Vzorek zeminy odebraný v centru obce překračuje obsahem PAU i hodnoty naměřené v Londýně a některých evropských oblastí zasažených těžkým průmyslem.

Z provedených odběrů a měření je patrné, že nejvyšší koncentrace PAU jsou v centru obce, s rostoucí vzdáleností od obce koncentrace PAU v zeminách exponenciálně klesá.

Závěrem je možné konstatovat, že po dlouhodobém vytápění obce lokálními zdroji tepla na tuhá paliva je možné kontaminovat zeminu v obci i jejím okolí nad hodnoty, které se rovnají průmyslovým oblastem. Jak tuto nepříznivou situaci napravit, to by mohl být námět na navazující diplomovou práci.

10. Použitá literatura

[1] FETZER J. C. "The Chemistry and Analysis of the Large Polycyclic Aromatic Hydrocarbons". Polycyclic Aromatic Compounds (New York: Wiley) 27 (2): 143.um 1993, 1207 - 1453, 2000, ISBN 80-85427-38-9

[2] HARVEY R.G. "Environmental Chemistry of PAHs". PAHs and Related Compounds: Chemistry. The Handbook of Environmental Chemistry. Springer. pp. 1–54. 1998, ISBN 9783540496977

[3] CHOI H.; HARRISON R.; KOMULAILEN H.; DELGADO S. J. "Polycyclic aromatic hydrocarbons". WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. Geneva: World Health Organization. Retrieved 2014-12-12.

[4] WHO, Air quality guidelines for Europe. 2nd ed. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons. (WHO Regional Publications, European Series, No. 91)

[5] OHURA T, et al. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in indoor and outdoor environments and factors affecting their concentrations. Environmental Science & Technology. 2004;38:77–83.

[6] KIDD J., "Observations on Naphthalene, a peculiar substance resembling a concrete essential oil, which is produced during the decomposition of coal tar, by exposure to a red heat". Philosophical Transactions 1821

[7] MALLARD P.J; W.G. (eds.) Naphthalene in Linstrom, NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD

[8] CAREZ F.,GIULIANO R., Organic Chemistry, 9th Edition 9th Edition, ISBN-13: 978-0073402741,ISBN-10: 0073402745

[9] U.S. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information, Compound Naphthalene

[10] IARC, Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Some Traditional Herbal Medicines, Some Mycotoxins, Naphthalene and Styrene, Vol. 82 (2002) (p. 367). Retrieved December 25, 2008.

[11] LINDSEY J., and coworkers. "Anthracene". PhotochemCAD. Retrieved 20 February 2014.

[12] U.S. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information, Compound Anthracene

[13] U.S. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information, Compound Fenanthrene

[14] GRIESBAUM K., BEHR A., BIEDENKAPP D., VOGES H. W., GRABE D., PAETZ Ch., COLLIN G., MAYER D., HÖKE H., “Hydrocarbons” in Ullmann's .Encyclopedia of Industrial Chemistry 2002

[15] U.S. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information, Compound Acenaphthene

[16] ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. 1995

[17] U.S. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information, Compound Chrysene

[18] U.S. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information, Compound Fluorene

[19] U.S. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information, Compound Fluoranthene

[20] U.S. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information, Compound Pyrene

[21] U.S. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information, Compound Benzo(a)pyrene

[22] U.S. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information, Compound Benzo(ghi)perylene

[23] U.S. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information, Compound Indeno[1,2,3-cd]pyrene

[24] STRANGE K.H. (1982). Climbing Boys: A Study of Sweeps' Apprentices 1772-1875 (PDF). London/Busby: Allison & Busby. ISBN 0-85031-431-3. Retrieved 2011-05-06

[25] SCHVARTZ, R. A. Skin Cancer: Recognition and Management (3 ed.). Wiley. p. 55. Retrieved 2 May 2011.

[26] GORDON R.; (1994). The Alarming History of Medicine. New York: St Martin's Press. ISBN 0-312-10411-1.

[27] Minnesota Department of Health: Guidance for Evaluating the Cancer Potency of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Mixtures in Environmental Samples, October 31, 2014

[28] ALLAMANDONA, L; et al. (April 13, 2011). "Cosmic Distribution of Chemical Complexity". NASA. Retrieved March 3, 2014

[29] HOOVER, R. (21 February 2014). "Need to Track Organic Nano-Particles Across the Universe? NASA's Got an App for That". NASA. Retrieved 22 February 2014.

[30] SKUPINSKA K., MISIEWICZ I., KASPRZYCKA T.; Polycyclic aromatic hydrocarbons: Physichemical properties , environmental apperance and impact on living organism, Confocal Microscopy laboratory National Instituce of Public Health 30/34 Chelmska,Warsaw, Poland 2004

[31] WHO, Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. Geneva: World Health Organization; 2010.

[32] HOLOUBEK I.; Polycyklické aromatické uhlovodíky v prostředí, Český ekologický ústav, Praha, ISBN 80-85087-44-8, 1996.

[33] MIKULOVÁ V. [ED.]; Staré ekologické zátěže. PLANETA. XII, 10/2005.

[34] MENZIE C.A., POTOCKI B.B., SANTODONATO J.; Exposure to carcinogenic PAHs in the environment. Environmental Science and Technology, 26:1278–1284. 1992.

[35] HARRISON R.M., et AL.; Comparative receptor modelling study of airborne particulate pollutants in Birmingham (United Kingdom), Coimbra (Portugal) and Lahore (Pakistan) Atmospheric Environment.;31:3309–3321.1997.

[36] MALISZEWSKA-KORDYBACH B. Polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in Poland: preliminary proposals for criteria to evaluate the level of soil contamination. Applied Geochemistry.11:121–127.1996.

[37] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ; Metodický pokyn MŽP Indikátory znečištění 2013. http://www.mzp.cz/cz/metodiky ekologicke zateze

[38] JANKU J., ČERMÁK J.; Vzorkování odpadů, Vysoká škola chemicko technologická , Praha 2006.

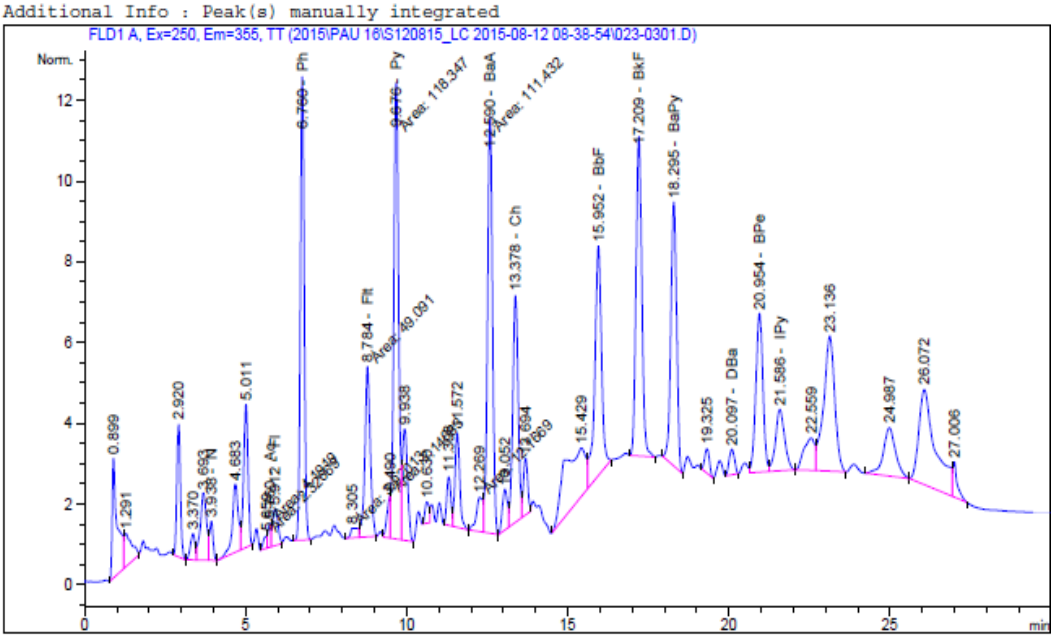
[39] www.mapy.cz

11. Přílohy

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\023-0301.D
Sample Name: 1.Busanovice 31.3.2015

Acq. Operator	: Trampotova	Seq. Line	: 3
Acq. Instrument	: Instrument 1	Location	: Vial 23
Injection Date	: 8/12/2015 10:13:23 AM	Inj	: 1
		Inj Volume	: 20.000 µl
Acq. Method	: C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\PAU16_290715.M		
Last changed	: 7/29/2015 12:26:42 PM by Trampotova		
Analysis Method	: C:\CHEM32\1\METHODS\PAU16_290715.M		
Last changed	: 9/15/2015 10:45:31 AM by Trampotova (modified after loading)		
Method Info	: Stanoveni PAU v odpadech a zeminach		
Sample Info	: pastvina u bazantnice smerem na Benedu (4,96g/10ml, su s.89,0%)		

Additional Info : Peak(s) manually integrated



External Standard Report

Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : 9/15/2015 10:46:40 AM
Multiplier: : 1.0000
Dilution: : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: FLD1 A, Ex=250, Em=355, TT

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
3.938	VB	7.47527	2.64160	19.74665		N
5.760	FM	4.19190	1.36741	5.73207		Ac
5.912	VV	10.63798	7.84607e-1	8.34664		Fl
6.760	BB	96.10693	2.88790e-1	27.75476		Ph
7.765		-	-	-		An

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\023-0301.D
Sample Name: 1.Busanovice 31.3.2015

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
8.784	FM	49.09095	1.83224	89.94621		Flt
9.676	FM	118.34658	4.22850e-1	50.04284		Py
12.590	FM	111.43200	1.83371e-1	20.43337		BaA
13.378	VV	65.25607	4.06606e-1	26.53350		Ch
15.952	VB	83.35400	4.70447e-1	39.21364		BbF
17.209	BB	99.28339	1.47502e-1	14.64452		BkF
18.295	BB	81.31061	2.45578e-1	19.96807		BaPy
20.097	VB	7.38732	5.35098e-1	3.95294		DBa
20.954	VV	60.46631	4.33580e-1	26.21701		BPe
21.586	VB	29.80852	2.90348	86.54830		IPy
Totals :				439.08051		

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)
Warning : Calibrated compound(s) not found

==========

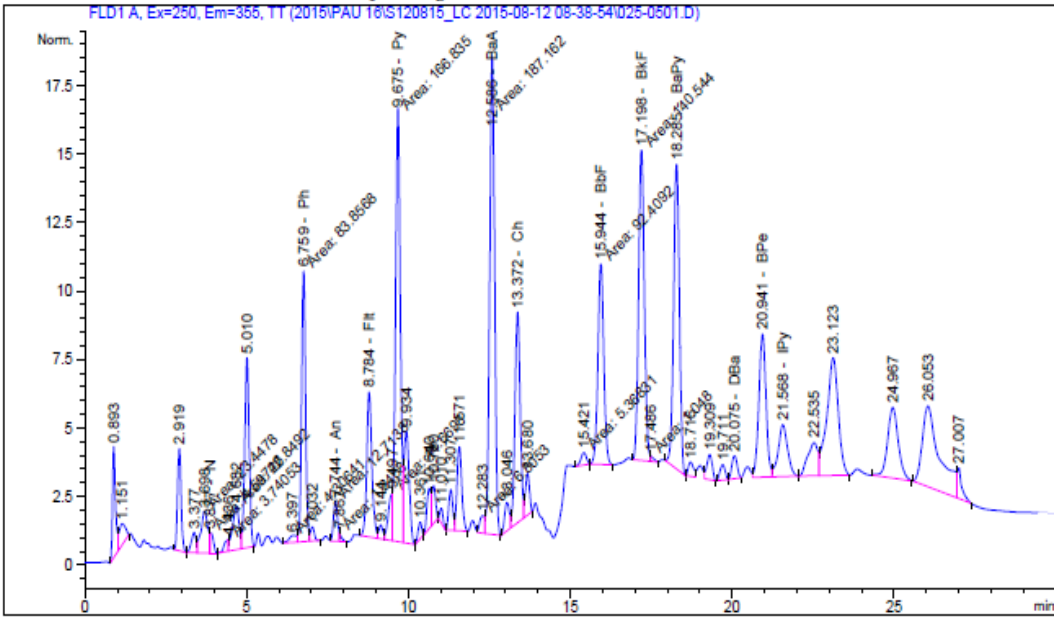
*** End of Report ***

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\025-0501.D
Sample Name: 1.Busanovice-okoli 29.3.2015

```
=====================================================================
Acq. Operator   : Trampotova                    Seq. Line :   5
Acq. Instrument : Instrument 1                   Location : Vial 25
Injection Date  : 8/12/2015 11:15:42 AM               Inj :   1
                                                Inj Volume : 20.000 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\PAU16_290715.M
Last changed    : 7/29/2015 12:26:42 PM by Trampotova
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\PAU16_290715.M
Last changed    : 9/15/2015 10:45:31 AM by Trampotova
                  (modified after loading)
Method Info     : Stanoveni PAU v odpadech a zeminach

Sample Info     : louka pred kravinem  (4,93g/10ml, sus.       %)

Additional Info : Peak(s) manually integrated
```




```
=====================================================================
                      External Standard Report
=====================================================================

Sorted By             :      Signal
Calib. Data Modified  :      9/15/2015 10:46:40 AM
Multiplier:                   :      1.0000
Dilution:                     :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: FLD1 A, Ex=250, Em=355, TT
```

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
3.877	FM	4.59746	2.64160	12.14465		N
5.741		-	-	-		Ac
5.928		-	-	-		Fl
6.759	FM	83.85684	2.88790e-1	24.21705		Ph
7.744	MF	12.71381	1.90998e-1	2.42832		An
8.784	BV	58.22685	1.83224	106.68534		Flt

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\025-0501.D
Sample Name: 1.Busanovice-okoli 29.3.2015

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
9.675	FM	166.83485	4.22850e-1	70.54610		Py
12.586	FM	187.16249	1.83371e-1	34.32013		BaA
13.372	VV	87.04104	4.06606e-1	35.39139		Ch
15.944	MM	92.40920	4.70447e-1	43.47363		BbF
17.198	MF	140.54382	1.47502e-1	20.73053		BkF
18.285	BB	138.25229	2.45578e-1	33.95167		BaPy
20.075	BB	9.47052	5.35098e-1	5.06766		DBa
20.941	VV	80.63145	4.33580e-1	34.96022		BPe
21.568	VB	38.09457	2.90348	110.60665		IPy

Totals : 534.52332

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)
Warning : Calibrated compound(s) not found

==========

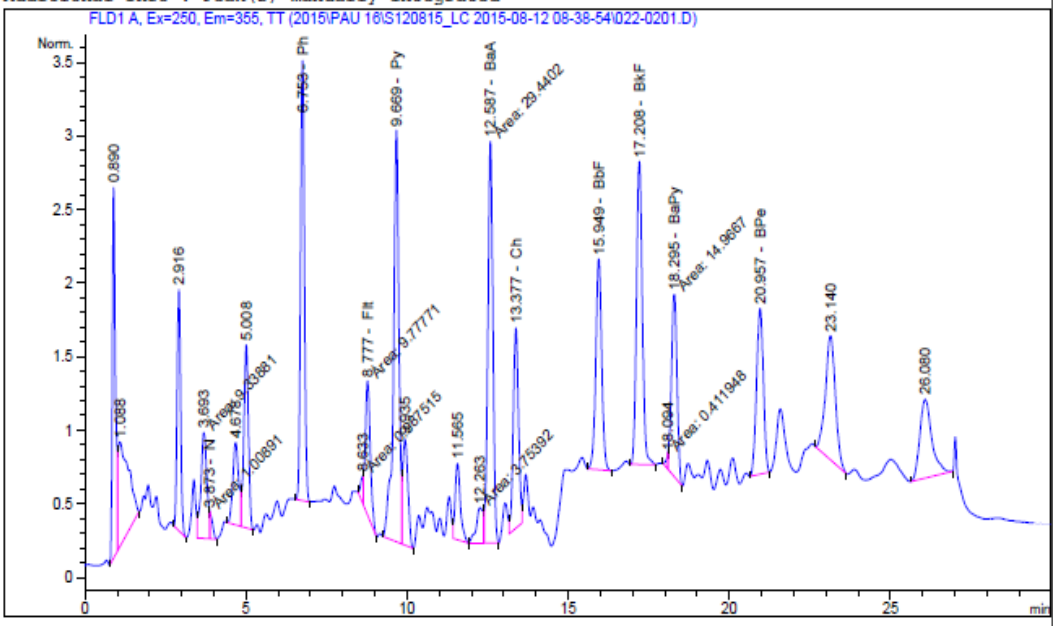
*** End of Report ***

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\022-0201.D
Sample Name: 2.Busanovice 31.3.2015

```
==================================================================
Acq. Operator   : Trampotova                    Seq. Line :   2
Acq. Instrument : Instrument 1                   Location : Vial 22
Injection Date  : 8/12/2015 9:42:12 AM              Inj :   1
                                                 Inj Volume : 20.000 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\PAU16_290715.M
Last changed    : 7/29/2015 12:26:42 PM by Trampotova
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\PAU16_290715.M
Last changed    : 9/15/2015 10:45:31 AM by Trampotova
                  (modified after loading)
Method Info     : Stanoveni PAU v odpadech a zeminach

Sample Info     : louka u bazantnice, ktera je u silnice na Benedu  (4,84
                  g/10ml, sus.72,8%)


Additional Info : Peak(s) manually integrated
```




```
==================================================================
                    External Standard Report
==================================================================

Sorted By             :      Signal
Calib. Data Modified  :      9/15/2015 10:46:40 AM
Multiplier:                   :      1.0000
Dilution:                     :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: FLD1 A, Ex=250, Em=355, TT
```

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
3.873	FM	1.00891	2.64160	2.66515	N	
5.741		-	-	-	Ac	
5.928		-	-	-	Fl	
6.753	BB	24.93871	2.88790e-1	7.20206	Ph	
7.765		-	-	-	An	

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\022-0201.D
Sample Name: 2.Busanovice 31.3.2015

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
8.777	FM	9.77771	1.83224	17.91508		Flt
9.669	BV	32.89936	4.22850e-1	13.91149		Py
12.587	FM	29.44018	1.83371e-1	5.39847		BaA
13.377	VV	15.34966	4.06606e-1	6.24126		Ch
15.949	BB	18.26922	4.70447e-1	8.59470		BbF
17.208	BB	25.86339	1.47502e-1	3.81491		BkF
18.295	FM	14.96671	2.45578e-1	3.67549		BaPy
20.076		-	-	-		DBa
20.957	BB	16.58741	4.33580e-1	7.19198		BPe
21.749		-	-	-		IPy
Totals :				76.61058		

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)
Warning : Calibrated compound(s) not found

==========

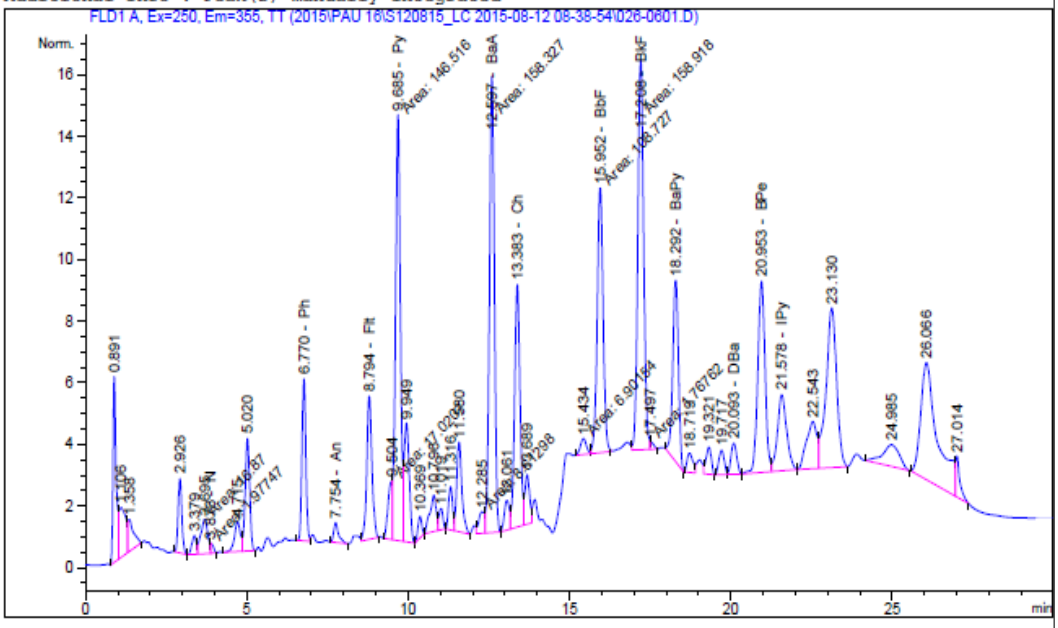
*** End of Report ***

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\026-0601.D
Sample Name: 2.Busanovice-okoli 29.3.2015

```
==================================================================
Acq. Operator   : Trampotova                    Seq. Line :   6
Acq. Instrument : Instrument 1                   Location : Vial 26
Injection Date  : 8/12/2015 11:46:52 AM               Inj :   1
                                                Inj Volume : 20.000 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\PAU16_290715.M
Last changed    : 7/29/2015 12:26:42 PM by Trampotova
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\PAU16_290715.M
Last changed    : 9/15/2015 10:45:31 AM by Trampotova
                  (modified after loading)
Method Info     : Stanoveni PAU v odpadech a zeminach

Sample Info     : louka u kravina  (4,90g/10ml, sus.       %)

Additional Info : Peak(s) manually integrated
```




```
==================================================================
                    External Standard Report
==================================================================

Sorted By             :      Signal
Calib. Data Modified  :      9/15/2015 10:46:40 AM
Multiplier:                   :      1.0000
Dilution:                     :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: FLD1 A, Ex=250, Em=355, TT
```

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
3.873	FM	1.97747	2.64160	5.22367		N
5.741		-	-	-		Ac
5.928		-	-	-		Fl
6.770	BV	43.73800	2.88790e-1	12.63111		Ph
7.754	BB	6.60271	1.90998e-1	1.26111		An
8.794	VB	52.09685	1.83224	95.45373		Flt

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\026-0601.D
Sample Name: 2.Busanovice-okoli 29.3.2015

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
9.685	FM	146.51639	4.22850e-1	61.95444		Py
12.597	FM	158.32671	1.83371e-1	29.03249		BaA
13.383	VV	92.56016	4.06606e-1	37.63550		Ch
15.952	FM	108.72680	4.70447e-1	51.15020		BbF
17.208	MF	158.91756	1.47502e-1	23.44069		BkF
18.292	BB	72.31570	2.45578e-1	17.75912		BaPy
20.093	VB	12.47311	5.35098e-1	6.67434		DBa
20.953	BV	97.41304	4.33580e-1	42.23639		BPe
21.578	VB	48.68109	2.90348	141.34434		IPy
Totals :				525.79712		

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)
Warning : Calibrated compound(s) not found

==========

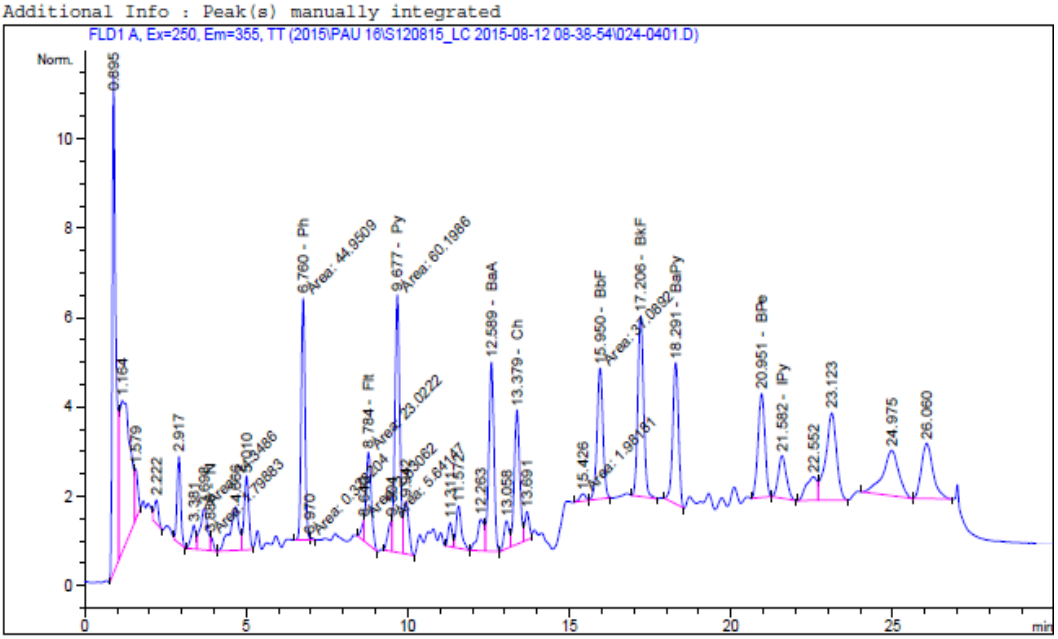
*** End of Report ***

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\024-0401.D
Sample Name: 3.Busanovice 31.3.2015

```
======================================================================
Acq. Operator   : Trampotova                     Seq. Line :   4
Acq. Instrument : Instrument 1                    Location : Vial 24
Injection Date  : 8/12/2015 10:44:32 AM               Inj :   1
                                                 Inj Volume : 20.000 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\PAU16_290715.M
Last changed    : 7/29/2015 12:26:42 PM by Trampotova
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\PAU16_290715.M
Last changed    : 9/15/2015 10:45:31 AM by Trampotova
                  (modified after loading)
Method Info     : Stanoveni PAU v odpadech a zeminach

Sample Info     : lesni pist v bazantnici, ktera je u silnice na Benedu
                  (4,89g/10ml, sus.87,6%)

Additional Info : Peak(s) manually integrated
```




```
======================================================================
                    External Standard Report
======================================================================

Sorted By             :      Signal
Calib. Data Modified  :      9/15/2015 10:46:40 AM
Multiplier:                   :      1.0000
Dilution:                     :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: FLD1 A, Ex=250, Em=355, TT
```

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
3.886	FM	1.79883	2.64160	4.75179	N	
5.741		-	-	-	Ac	
5.928		-	-	-	Fl	
6.760	MF	44.95089	2.88790e-1	12.98138	Ph	
7.765		-	-	-	An	

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\024-0401.D
Sample Name: 3.Busanovice 31.3.2015

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
8.784	FM	23.02216	1.83224	42.18204		Flt
9.677	FM	60.19859	4.22850e-1	25.45496		Py
12.589	VB	46.78793	1.83371e-1	8.57954		BaA
13.379	VV	35.11415	4.06606e-1	14.27762		Ch
15.950	FM	37.08917	4.70447e-1	17.44849		BbF
17.206	BB	50.65103	1.47502e-1	7.47114		BkF
18.291	BB	39.27502	2.45578e-1	9.64507		BaPy
20.076		-	-	-		DBa
20.951	BB	34.60885	4.33580e-1	15.00572		BPe
21.582	BB	16.49188	2.90348	47.88376		IPy

Totals : 205.68151

2 Warnings or Errors :

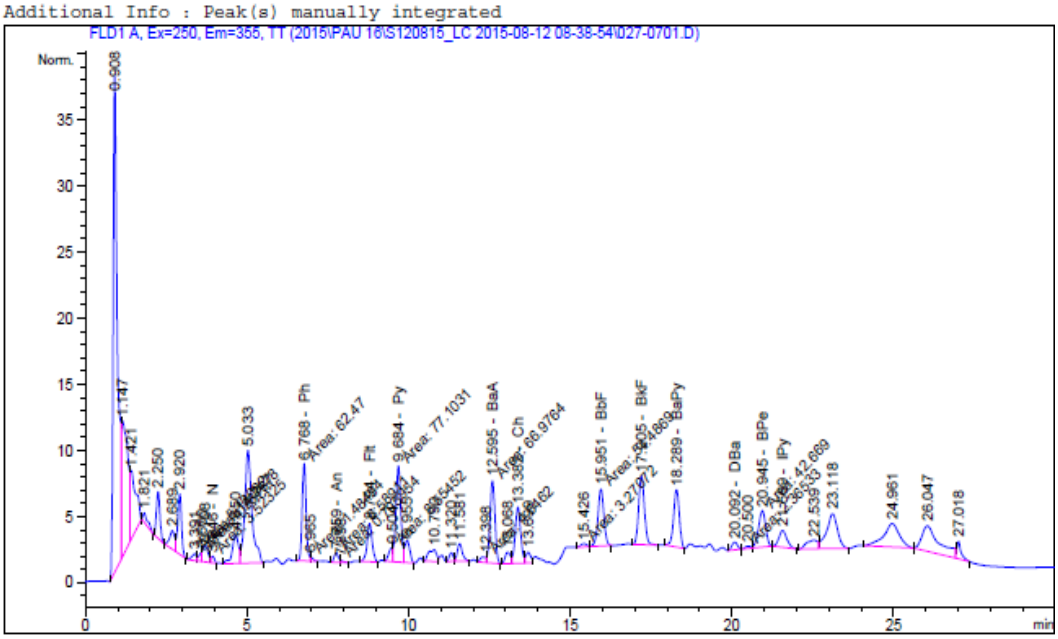
Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)
Warning : Calibrated compound(s) not found

*** End of Report ***

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\027-0701.D
Sample Name: 3.Busanovice-okoli 29.3.2015

Acq. Operator	: Trampotova	Seq. Line	: 7
Acq. Instrument	: Instrument 1	Location	: Vial 27
Injection Date	: 8/12/2015 12:18:02 PM	Inj	: 1
		Inj Volume	: 20.000 µl
Acq. Method	: C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\PAU16_290715.M		
Last changed	: 7/29/2015 12:26:42 PM by Trampotova		
Analysis Method	: C:\CHEM32\1\METHODS\PAU16_290715.M		
Last changed	: 9/15/2015 10:45:31 AM by Trampotova (modified after loading)		
Method Info	: Stanoveni PAU v odpadech a zeminach		
Sample Info	: nas les (4,79g/10ml, sus. %)		

Additional Info : Peak(s) manually integrated



External Standard Report

Sorted By	:	Signal	
Calib. Data Modified	:	9/15/2015 10:46:40 AM	
Multiplier:	:	1.0000	
Dilution:	:	1.0000	

Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: FLD1 A, Ex=250, Em=355, TT

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
3.946	FM	3.52325	2.64160	9.30702		N
5.741		-	-	-		Ac
5.928		-	-	-		Fl
6.768	MF	62.47002	2.88790e-1	18.04074		Ph
7.759	MF	6.58911	1.90998e-1	1.25851		An
8.794	BB	31.69403	1.83224	58.07095		Flt

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S120815_LC 2015-08-12 08-38-54\027-0701.D
Sample Name: 3.Busanovice-okoli 29.3.2015

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
9.684	FM	77.10310	4.22850e-1	32.60304		Py
12.595	FM	66.97642	1.83371e-1	12.28152		BaA
13.382	VV	50.53449	4.06606e-1	20.54762		Ch
15.951	FM	54.48694	4.70447e-1	25.63322		BbF
17.205	BB	64.68491	1.47502e-1	9.54117		BkF
18.289	BB	53.50064	2.45578e-1	13.13856		BaPy
20.092	BV	6.97058	5.35098e-1	3.72995		DBa
20.945	FM	42.66896	4.33580e-1	18.50042		BPe
21.569	BB	21.66736	2.90348	62.91064		IPy
Totals :				285.56333		

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)
Warning : Calibrated compound(s) not found

==========

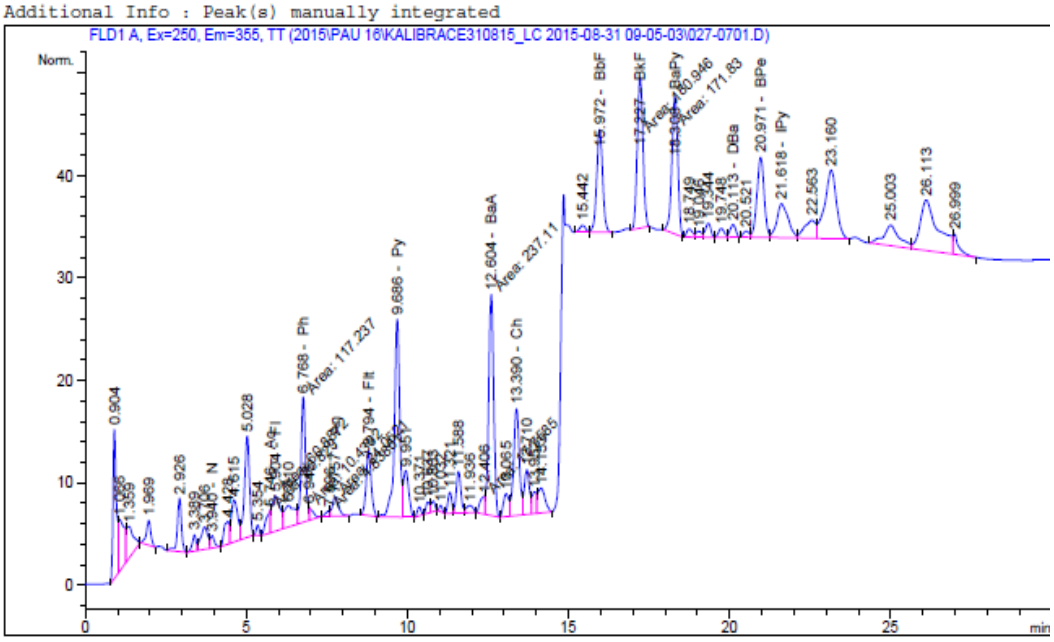
*** End of Report ***

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\KALIBRACE310815_LC 2015-08-31 09-05-03\027-0701.D
Sample Name: 1. Busanovice-sad 28.3.2015

```
==================================================================
Acq. Operator   : Trampotova                    Seq. Line :   7
Acq. Instrument : Instrument 1                   Location : Vial 27
Injection Date  : 8/31/2015 12:44:12 PM              Inj :   1
                                                Inj Volume : 20.000 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\KALIBRACE310815_LC 2015-08-31 09-05-03\PAU16_
                  290715.M
Last changed    : 8/31/2015 12:43:10 PM by Trampotova
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\PAU16_290715.M
Last changed    : 9/15/2015 11:24:54 AM by Trampotova
                  (modified after loading)
Method Info     : Stanoveni PAU v odpadech a zeminach

Sample Info     : 4,80g/10ml, sus.69,3%

Additional Info : Peak(s) manually integrated
```




```
==================================================================
                    External Standard Report
==================================================================

Sorted By             :      Signal
Calib. Data Modified  :      9/15/2015 11:48:02 AM
Multiplier:                   :      1.0000
Dilution:                     :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: FLD1 A, Ex=250, Em=355, TT
```

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
3.940	VB	10.92474	2.63722	28.81097		N
5.746	MF	20.82903	1.37319	28.60215		Ac
5.904	FM	60.88715	7.70568e-1	46.91771		Fl
6.768	MF	117.23653	2.95189e-1	34.60688		Ph
7.757	FM	24.05211	1.92557e-1	4.63140		An

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\KALIBRACE310815_LC 2015-08-31 09-05-03\027-0701.D
Sample Name: 1. Busanovice-sad 28.3.2015

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
8.794	BB	69.05036	1.83332	126.59115		Flt
9.686	BV	223.06306	4.27521e-1	95.36420		Py
12.604	FM	237.11020	1.83121e-1	43.41986		BaA
13.390	VV	128.85895	4.05964e-1	52.31208		Ch
15.972	VB	129.03854	4.70321e-1	60.68959		BbF
17.227	MM	180.94556	1.46834e-1	26.56891		BkF
18.308	MM	171.83011	2.48163e-1	42.64194		BaPy
20.113	VB	14.95241	5.36836e-1	8.02699		DBa
20.971	VV	121.06895	4.39599e-1	53.22179		BPe
21.618	VV	80.97748	2.83106	229.25178		IPy
Totals :				881.65740		

1 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)

==========

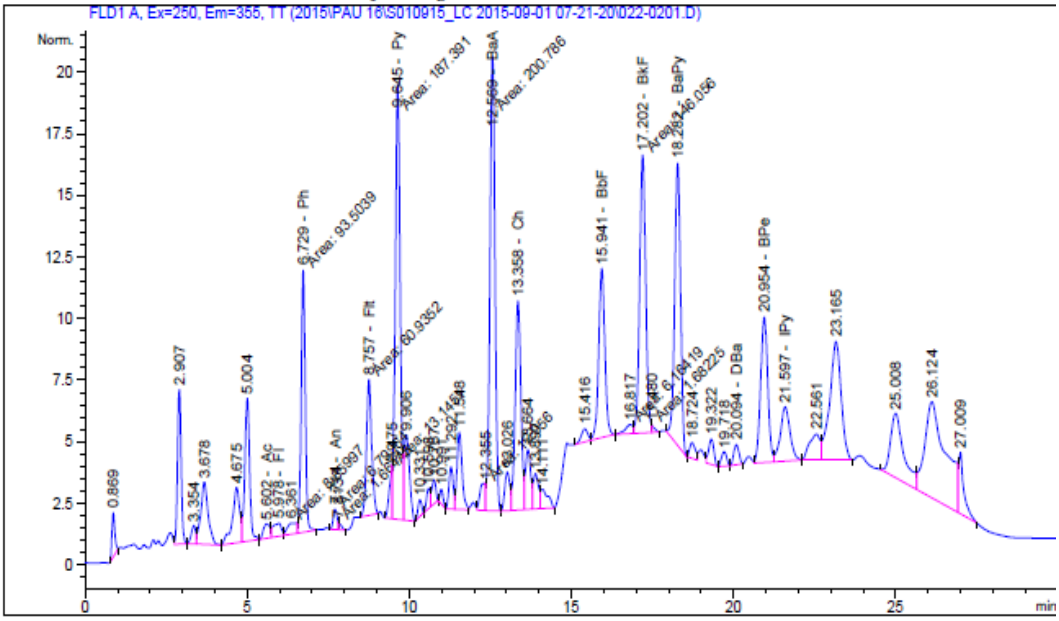
*** End of Report ***

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S010915_LC 2015-09-01 07-21-20\022-0201.D
Sample Name: 2.Busanovice-zahon 28.3.2015

```
=====================================================================
Acq. Operator   : Trampotova                    Seq. Line :   2
Acq. Instrument : Instrument 1                   Location : Vial 22
Injection Date  : 9/1/2015 8:24:34 AM                 Inj :   1
                                               Inj Volume : 20.000 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S010915_LC 2015-09-01 07-21-20\PAU16_290715.M
Last changed    : 7/29/2015 12:26:42 PM by Trampotova
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\PAU16_290715.M
Last changed    : 9/15/2015 11:24:54 AM by Trampotova
                  (modified after loading)
Method Info     : Stanoveni PAU v odpadech a zeminach

Sample Info     : (4,84g/100ml, sus.68,3%)


Additional Info : Peak(s) manually integrated
```




```
=====================================================================
                        External Standard Report
=====================================================================

Sorted By              :      Signal
Calib. Data Modified   :      9/15/2015 11:48:02 AM
Multiplier:                    :      1.0000
Dilution:                      :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: FLD1 A, Ex=250, Em=355, TT

RetTime  Type     Area     Amt/Area    Amount   Grp   Name
 [min]          [LU*s]                [ng/ml]
-------|------|----------|----------|----------|--|------------------
  3.953            -          -          -        N
  5.602 BV       8.21807    1.37319   11.28494    Ac
  5.978 VV       9.79385 7.70568e-1    7.54683    Fl
  6.729 FM      93.50385 2.95189e-1   27.60126    Ph
  7.714 MF       6.79964 1.92557e-1    1.30932    An
  8.757 MM      60.93524    1.83332  111.71356    Flt
```

Instrument 1 9/15/2015 12:58:49 PM Trampotova Page 1 of 2

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S010915_LC 2015-09-01 07-21-20\022-0201.D
Sample Name: 2.Busanovice-zahon 28.3.2015

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
9.645	FM	187.39116	4.27521e-1	80.11370		Py
12.569	FM	200.78604	1.83121e-1	36.76814		BaA
13.358	VV	104.69234	4.05964e-1	42.50131		Ch
15.941	VB	90.58483	4.70321e-1	42.60398		BbF
17.202	MF	146.05551	1.46834e-1	21.44587		BkF
18.282	BB	144.90767	2.48163e-1	35.96078		BaPy
20.094	BB	9.12729	5.36836e-1	4.89986		DBa
20.954	VV	90.75220	4.39599e-1	39.89458		BPe
21.597	VB	45.41561	2.83106	128.57414		IPy
Totals :				592.21829		

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)
Warning : Calibrated compound(s) not found

==========

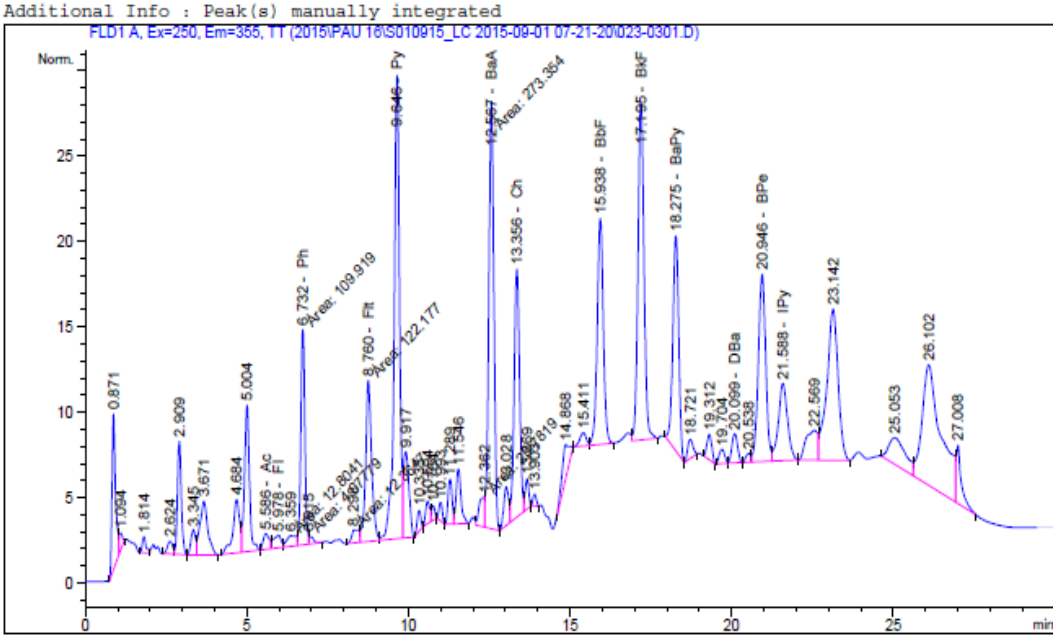
*** End of Report ***

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S010915_LC 2015-09-01 07-21-20\023-0301.D
Sample Name: 3.Busanovice-travnik 28.3.2015

```
    ==================================================================
    Acq. Operator   : Trampotova                    Seq. Line :   3
    Acq. Instrument : Instrument 1                   Location : Vial 23
    Injection Date  : 9/1/2015 8:55:45 AM                Inj :   1
                                                   Inj Volume : 20.000 µl
    Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S010915_LC 2015-09-01 07-21-20\PAU16_290715.M
    Last changed    : 7/29/2015 12:26:42 PM by Trampotova
    Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\PAU16_290715.M
    Last changed    : 9/15/2015 11:24:54 AM by Trampotova
                      (modified after loading)
    Method Info     : Stanoveni PAU v odpadech a zeminach

    Sample Info     : (4,83g/100ml, sus.69,5%)

    Additional Info : Peak(s) manually integrated
```




```
    ==================================================================
                        External Standard Report
    ==================================================================

    Sorted By             :      Signal
    Calib. Data Modified  :      9/15/2015 11:48:02 AM
    Multiplier:                   :      1.0000
    Dilution:                     :      1.0000
    Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

    Signal 1: FLD1 A, Ex=250, Em=355, TT
```

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
3.953		-	-	-		N
5.586	BV	11.69444	1.37319	16.05865		Ac
5.978	VV	12.81651	7.70568e-1	9.87600		Fl
6.732	MF	109.91867	2.95189e-1	32.44673		Ph
7.752		-	-	-		An
8.760	FM	122.17652	1.83332	223.98821		Flt

Data File C:\CHEM32\1\DATA\2015\PAU 16\S010915_LC 2015-09-01 07-21-20\023-0301.D
Sample Name: 3.Busanovice-travnik 28.3.2015

RetTime [min]	Type	Area [LU*s]	Amt/Area	Amount [ng/ml]	Grp	Name
9.646	VV	316.14200	4.27521e-1	135.15742		Py
12.567	FM	273.35428	1.83121e-1	50.05691		BaA
13.356	VV	169.14801	4.05964e-1	68.66799		Ch
15.938	VB	172.82448	4.70321e-1	81.28305		BbF
17.195	VB	256.24365	1.46834e-1	37.62520		BkF
18.275	BB	157.70981	2.48163e-1	39.13780		BaPy
20.099	VB	21.00445	5.36836e-1	11.27594		DBa
20.946	VV	175.47440	4.39599e-1	77.13837		BPe
21.588	VB	89.16820	2.83106	252.44017		IPy

Totals : 1035.15244

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)
Warning : Calibrated compound(s) not found

==========

*** End of Report ***

Obrázek č. 23 Autosampler HPLC Agilent 1260
Zdroj: www.agilent.com

Obrázek č. 24 Diode array detektor-HPLC Agilent 1260
Zdroj: www.agilent.com

Obrázek č. 25 Fluorescenční detektor-HPLC Agilent 1260
Zdroj: www.agilent.com

Obrázek č. 26 Kvarterní čerpadlo-HPLC Agilent 1260
Zdroj: www.agilent.com

Obrázek č. 27 Sestava kapalinového chromatografu Agilent 1260 HPLC
Zdroj: www.agilent.com