

ZDROJE PAU VE VODNÍM PROSTŘEDÍ

Příloha I k souhrnné výzkumné zprávě Identifikace zdrojů původu a množství znečištění (především PAU, těžkých kovů a dusíku) ve vodě, Projekt SS02030027 Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda), Praha, listopad 2024

Mgr. Vít Kodeš, Ph.D., Ing. Hedvika Roztočilová

Polyaromatické uhlovodíky (PAU) patří mezi závažné znečišťující látky, které se do životního prostředí dostávají z pyrogenních a petrogenních procesů. Pyrogenní PAU vznikají nedokonalým spalováním organické hmoty a distribuují se především atmosférickým spadem. Petrogenní uhlovodíky pochází přímo z ropných produktů. Spalováním vznikají převážně vysokomolekulární PAU, zatímco v surových ropných produktech dominují nízkomolekulární PAU. Při konkrétním procesu (spalování určitého paliva, spalování biomasy, únik ropy, únik nafty,..) je generováno i konkrétní množství určitého uhlovodíku. Definované poměry PAU lze pak použít k odhadu zdroje znečištění životního prostředí. (Stogiannidis et al., 2015; Wang et al., 2003)

Na základě diagnostických poměrů uhlovodíků vybraných po literární rešerši byla zpracována analýza zastoupení a distribuce jednotlivých zdrojů těchto uhlovodíků ve vodních maticích na území ČR. Hodnoceny byly matrice biotické (bentické organismy, rybí plůdek, nárost), abiotické (sedimenty, sedimentovatelné plaveniny a plaveniny), pasivní vzorkovače typu SPMD a povrchová a podzemní voda. Zahrnuta jsou data za období 2012 – 2023 na profilech významných řek na území ČR. V rámci matic povrchových vod se jedná o přibližně 50 lokalit, které se u jednotlivých matic mírně liší. Například vzorky sedimentovatelných plavenin nejsou odebírány na všech profilech. Pro podzemní vody bylo pro účely porovnání s ostatními maticemi vybráno 20 vrtů, ve kterých se dlouhodobě vyskytuje nejvyšší počet polyaromatických uhlovodíků (PAU) nad mezí stanovitelnosti (MS) a pravidelně se odebírají vzorky. Pro všechny výpočty poměrů byly použity pouze hodnoty nad MS.

Zdroje PAU byly rozděleny do hlavních kategorií – pyrogenní (PYRO) a petrogenní (PETRO), které se ještě dále dělí na konkrétnější podkategorie. Vybrané poměry a rozdělení zdrojů jsou uvedeny v Tabulce 2. Přesnější specifikace jednotlivých poměrů jsou uvedeny pak v Tabulce 3 v příloze. Původně byly brány v úvahu i další poměry, které shrnuje Tabulka 1.

Pro jednotlivé vzorky každé matrice byly vypočítány diagnostické poměry definované v Tabulce 2. Na základě rozmezí, ve kterém se poměry nacházely jim byla přiřazena určitá kategorie (pyrogenní/petrogenní a podkategorie). Následně bylo určeno kolik poměrů ukazuje na konkrétní zdroj a hodnoty byly převedeny na procentuální zastoupení. Z takto získaných dat byl vypočítán průměr pro každý profil a matici. Nakonec byl vytvořen celkový průměr pro všechny profily, který reprezentuje situaci v celé ČR. Vzorky, u kterých poměry neukazovaly jednoznačně na žádný specifický zdroj, byly zařazeny do kategorie MIX.

Pro podrobnější hodnocení zastoupení zdrojů PAU na území ČR byly vybrány povrchové a podzemní vody. V rámci těchto matic byly zahrnuty všechny profily, na kterých probíhal odběr vzorků za období

2018 – 2023. U podzemních vod se jedná o 716 profilů a u povrchových vod jsou zahrnuta data z 834 profilů.

Tabulka 1: Poměry nezahrnuté do výpočtů, zdůvodnění (Katsoyiannis et al., 2014; Stogiannidis et al., 2015)

Poměr	Vysoká míra degradace v ŽP	Změny intervalu pyro/petro s rostoucí vzdáleností od zdroje znečištění	Výrazně rozdílná molární hmotnost (rozdílné vlastnosti)	Malý počet hodnot
benzo(a)anthracen/chrysen	x	x		
benzo(a)pyren/benzo(g,h,i)perylene		x	x	
fluoren/pyren			x	
naftalen/fenantren			x	Naftalen se analyzuje jen v části vzorků vod
fenantren /(fenantren + antracen)	x	x		

Tabulka 2: Vybrané diagnostické poměry a jejich použití k identifikaci zdrojů PAU, zkratky

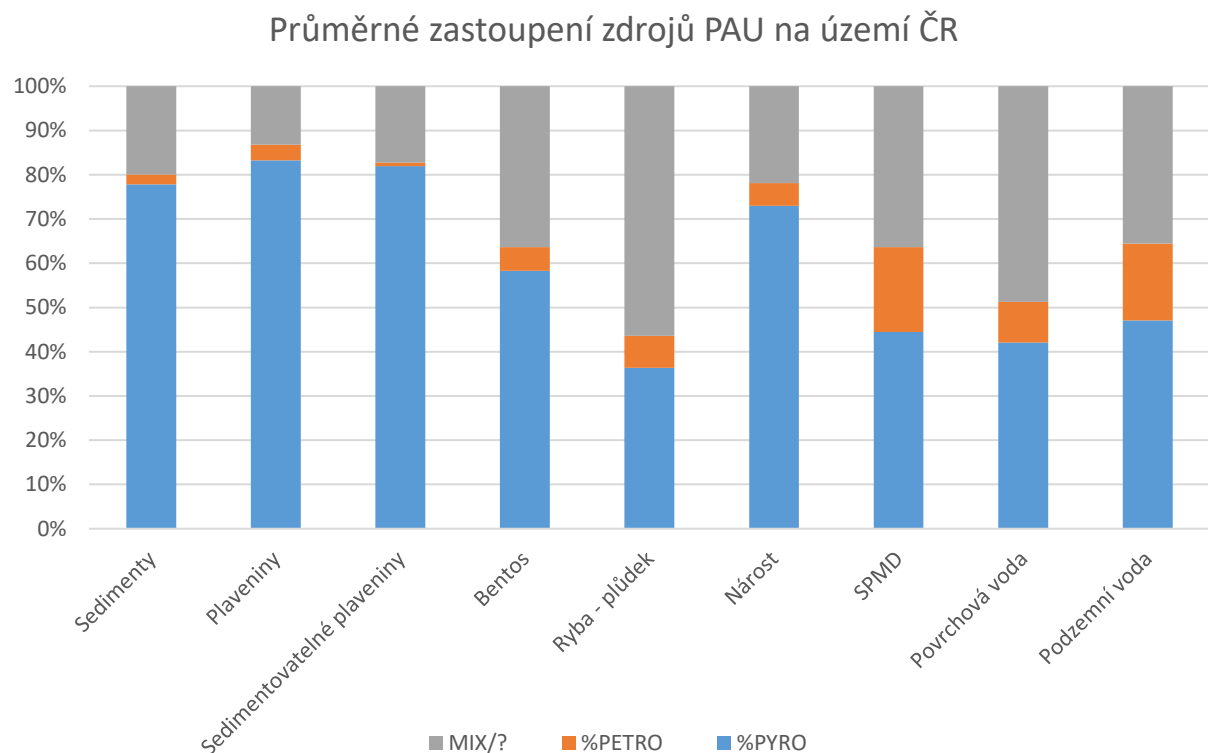
Poměr	PYRO	PETRO	Spalování fos. paliv				Spalování biomasy		Petro	
			Benzín	Nafta	Uhlí	Ropa	Traviny	Dřevo	Ropa	Nafta
antracen/(antracen + fenantren) ANT/(ANT+FEN)	x	x	x		x	x	x	x	x	x
benzo(a)antracen/ (benzo(a)antracen + chrysen) B[a]A/(B[a]A+CHR)	x	x	x	x	x	x	x		x	x
benzo(a)antracen/benzo(a)pyren B[a]A/B[a]P								x		
benzo(a)pyren/chrysen B[a]P/CHR			x	x						
benzo(a)pyren/ (benzo(a)pyren + chrysen) B[a]P/(B[a]P+CHR)	x	x					x			
benzo(b)fluoranten/benzo(k)fluoranten B[b]F/B[k]F				x				x		
fluoren/(fluoren + pyren) FLU/(FLU+PYR)			x	x		x				
fluoranten/benzo[b]fluoranten FLT/B[b]F			x	x						
fluoranten/(fluoranten + pyren) FLT/(FLT+PYR)	x	x	x	x	x	x	x	x		x
fluoranten/pyren FLT/PYR	x	x							x	
indeno(1,2,3-c,d)pyren /benzo(g,h,i)perylene I[123cd]P/B[ghi]P	x	x		x	x					
indeno(1,2,3-c,d)pyren/ (indeno(1,2,3-c,d)pyren + benzo(g,h,i)perylene) I[123cd]P/(I[123cd]P+B[ghi]P)	x	x	x	x	x	x		x	x	x
fenantren/antracen FEN/ANT	x	x							x	
pyren/benzo(a)pyren PYR/B[a]P		x	x	x				x		
pyren/benzo[b]fluoranten PYR/B[b]F			x	x						
Σpyrogenních PAU/ Σvšech PAU ΣCOMB/ΣPAHs*	x	x			x				x	
Σnízkomolek. PAU/ Σvysokomolek. PAU ΣLMW/ΣHMW*	x	x							x	

*definováno v Tabulce 2 v příloze

1 Průměrné zastoupení zdrojů PAU v jednotlivých maticích na území ČR

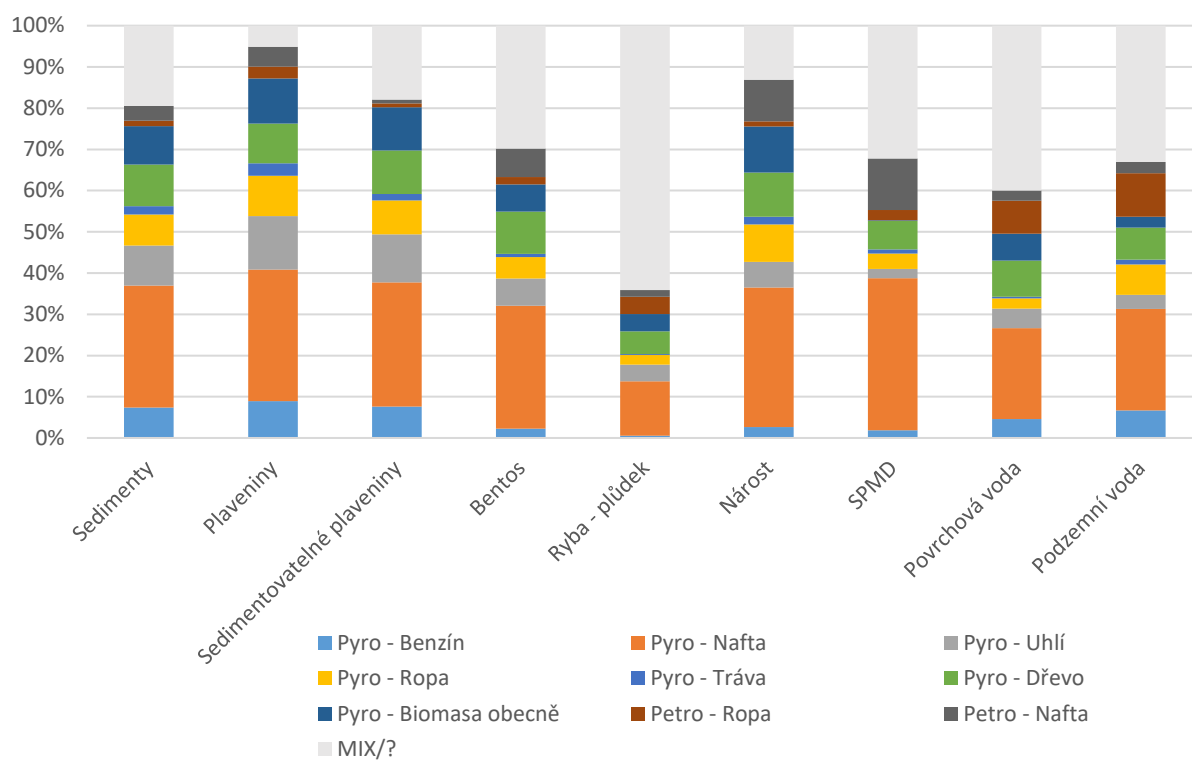
Hlavní kategorie (pyrogenní, petrogenní) jsou znázorněny na Obrázku 1, který ukazuje procentuální zastoupení pyrogenních a petrogenních zdrojů na všech hodnocených profilech. V abiotických pevných maticích jsou zdroje zastoupeny ve velmi podobných intervalech s převahou pyrogenního znečištění. Z biotických matic vykazuje nejnižší podíl pyrogenních zdrojů rybí plůdek, zároveň je zde i největší zastoupení MIXu, což může být ovlivněno nízkým počtem vzorků nad MS. Z hlediska zastoupení pyrogenních zdrojů jsou srovnatelné SPMD, podzemní a povrchová voda. SPMD a podzemní voda se shodují i v podílu petrogenního znečištění, který je nejvyšší ze všech matic. Podobnost může být vysvětlena tím, že SPMD sorbují pouze rozpuštěné PAU a v podzemní vodě, na rozdíl od povrchové se vyskytuje minimální množství nerozpuštěných látek.

Detailnější rozdělení popisuje Obrázek 2. Ve všech maticích převažuje spalování nafty nad spalováním benzínu, přičemž poměr mezi těmito dvěma zdroji je přibližně 3:1, což odpovídá spotřebě pohonných hmot v ČR (ČAPPO, 2023). Z petrogenních zdrojů se ve vodních maticích (povrchová a podzemní voda) vyskytuje vyšší zastoupení ropného znečištění, které dosahuje přibližně 10% celkového znečištění PAU. Naopak v případě nárostů a SPMD převažuje z petrogenního znečištění nafta. Ostatní zdroje jsou zastoupeny v přibližně podobných rozmezích.



Obrázek 1: Procentuální zastoupení pyrogenních (%PYRO) a petrogenních (%PETRO) zdrojů PAH

Průměrné zastoupení zdrojů PAU na území ČR



Obrázek 2: Procentuální zastoupení zdrojů PAH

2 Průměrné zastoupení zdrojů PAU na měřených profilech

Z hlediska rozložení zdrojů znečištění na jednotlivých profilech se od průměru (Obr. 1,2) téměř neliší matrice plaveniny, sedimentovatelné plaveniny, SPMD a nárosty (biofilm). Vyjímkou jsou profily Cidlina - Sány a Labe – Vestřev, kde podíl petrogenního znečištění dosahoval 12 %, zatímco u ostatních profilů se pohyboval kolem 6 %. V sedimentovatelných plaveninách byl profil s nejvyšším petrogenním znečištěním Bílina - Ústí nad Labem (10 %). V nárostech vykazovaly nejvyšší míru petrogenního znečištění profily Ostrava - Ostravice a Bílina - Ústí nad Labem, a to 15 %. U SPMD byl na profilu Bílina - Ústí nad Labem podíl benzínu výrazně vyšší než na ostatních profilech (15 %). V ostatních matricích bylo toto podrobnější zastoupení zdrojů PAU téměř totožné na každém profilu. V rybím plůdku dosahovalo zastoupení kategorie MIX na řadě profilů až kolem 80 %.

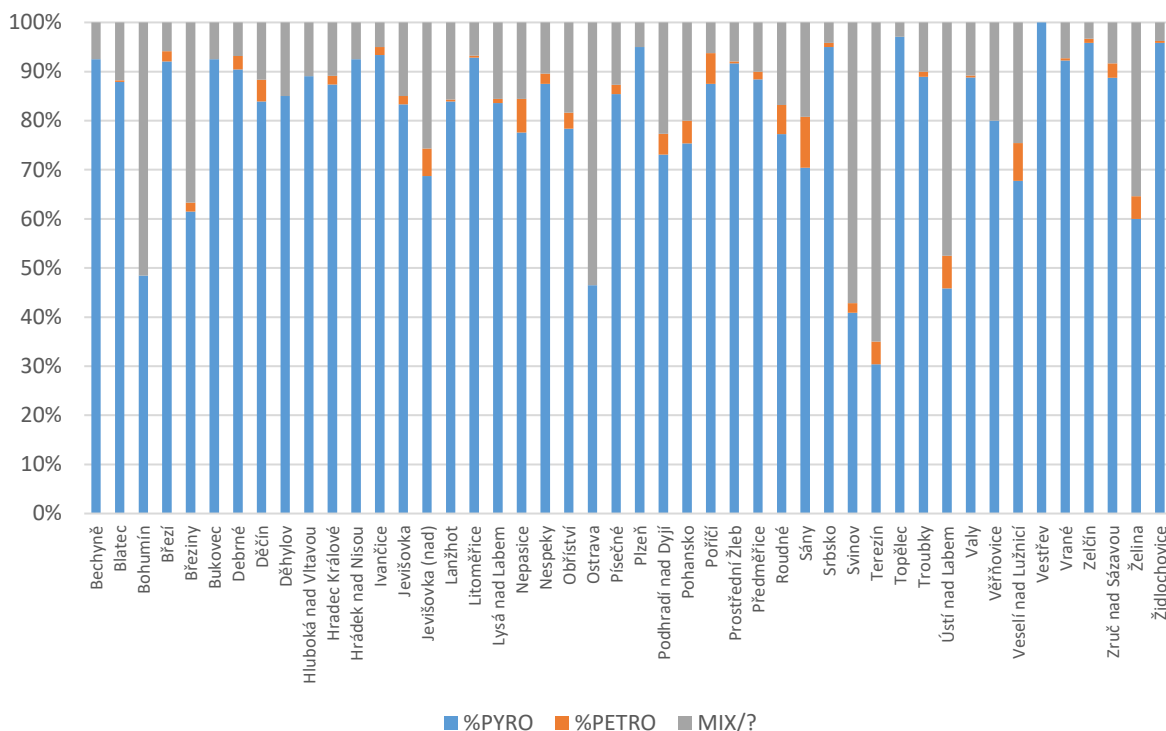
Zastoupení zdrojů PAU v sedimentech, bentosu a povrchových a podzemních vodách je shrnuto na obrázcích 3 až 10. V sedimentech (Obrázek 3) převažují pyrogenní zdroje PAU, s výjimkou profilů Odra - Bohumín, Ostrava - Ostravice a Odra - Svinov, kde je jejich podíl pod 50%. Tyto tři profily se nachází v Ostravsko-karvinské uhelné pánvi, což má pravděpodobně jistý vliv. Zajímavé je, že zde nejsou téměř vůbec zastoupeny petrogenní uhlovodíky a zbytek je tvořen kategorií MIX. Naopak nejvyšší podíl petrogenních PAU byl zaznamenán na profilu Cidlina - Sány, kde ale může mít vliv nižší počet dostupných dat ve srovnání s ostatními profily. Dalším profilem, kde je v sedimentech podíl pyrogenních PAU do 50%, je Ohře - Terežín. Tyto profily se od ostatních liší i z hlediska podkategorií zdrojů PAU (Obrázek 4).

V bentických organismech je podíl petrogenního znečištění vyšší než v sedimentech a na řadě profilů dosahuje 15% s maximální hodnotou na profilu Ostrava – Ostravice (Obrázek 5). Pyrogenní PAU se pohybují v rozsahu od 40 do 70%. Z hlediska spalování konkrétního typu paliva se od ostatních profilů odlišuje Vltava - Hluboká n. V., kde podíl benzínu dosahuje 17%, stejně jako podíl nafty (Obrázek 6).

V povrchových vodách se rozsah pyrogenních PAU pohybuje od 3 do 60% a petrogenní zdroje dosahují 25% (Obrázek 7). Nejvyšší podíl petrogenních PAU byl zaznamenán na profilu Bílina - Ústí nad Labem, kde převažuje znečištění ropou (Obrázek 8). V podzemních vodách byl nejvyšší podíl petrogenního znečištění zaznamenán ve vrtech Lanžhot, Drholec a Hartoušov, kde dosahoval 30% (Obrázek 9, 10). Mapa profilů pro pevné matrice povrchových vod je uvedena v příloze (Obrázek 47).

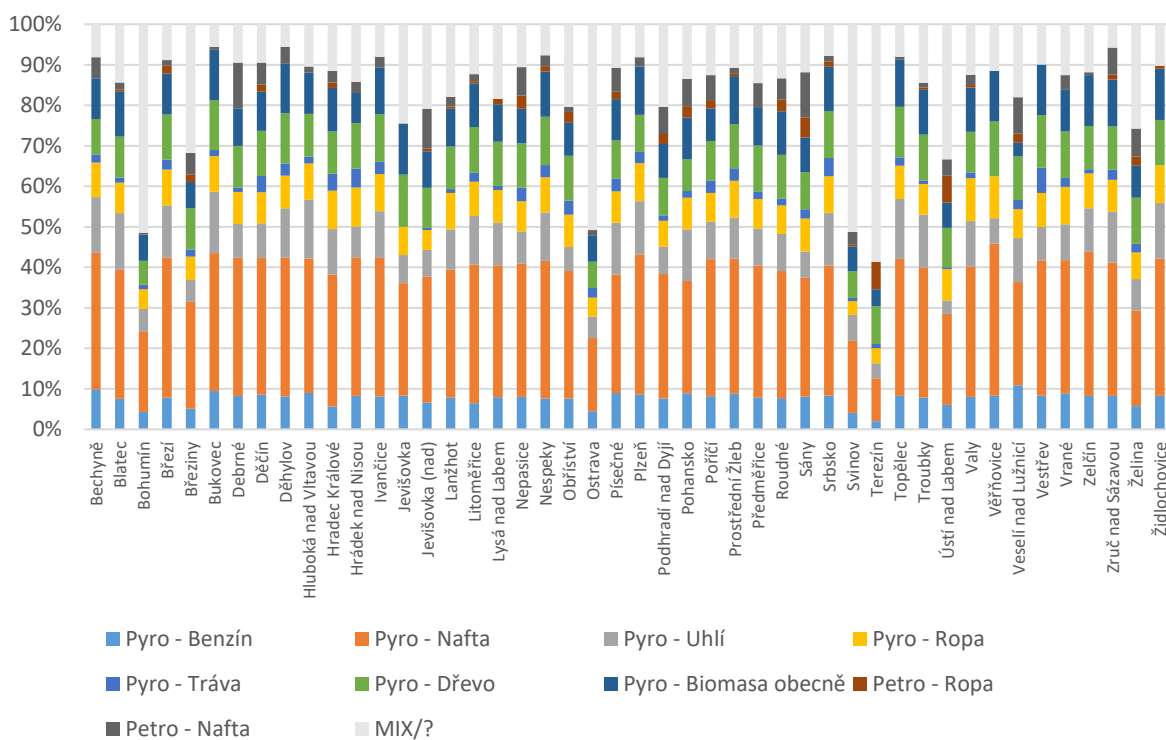
Pro podrobnější hodnocení vlivu matrice byl vybrán profil Bílina - Ústí nad Labem, kde bylo ve všech matricích naměřeno nejvíce hodnot nad MS. Distribuce pyrogenních a petrogenních PAU v jednotlivých matricích je shrnuta na Obrázku 11. Pyrogenní PAU se v největší míře vyskytují v plaveninách a sedimentovatelných plaveninách. Naproti tomu petrogenní PAU dominují ve vodě, rybím plůdku a bentosu. Rozložení jednotlivých odběrů do hlavních kategorií zdrojů PAU na základě konkrétních diagnostických poměrů je zobrazeno na Obrázku 12.

Průměrné zastoupení zdrojů PAH za období 2012 - 2023 v sedimentech



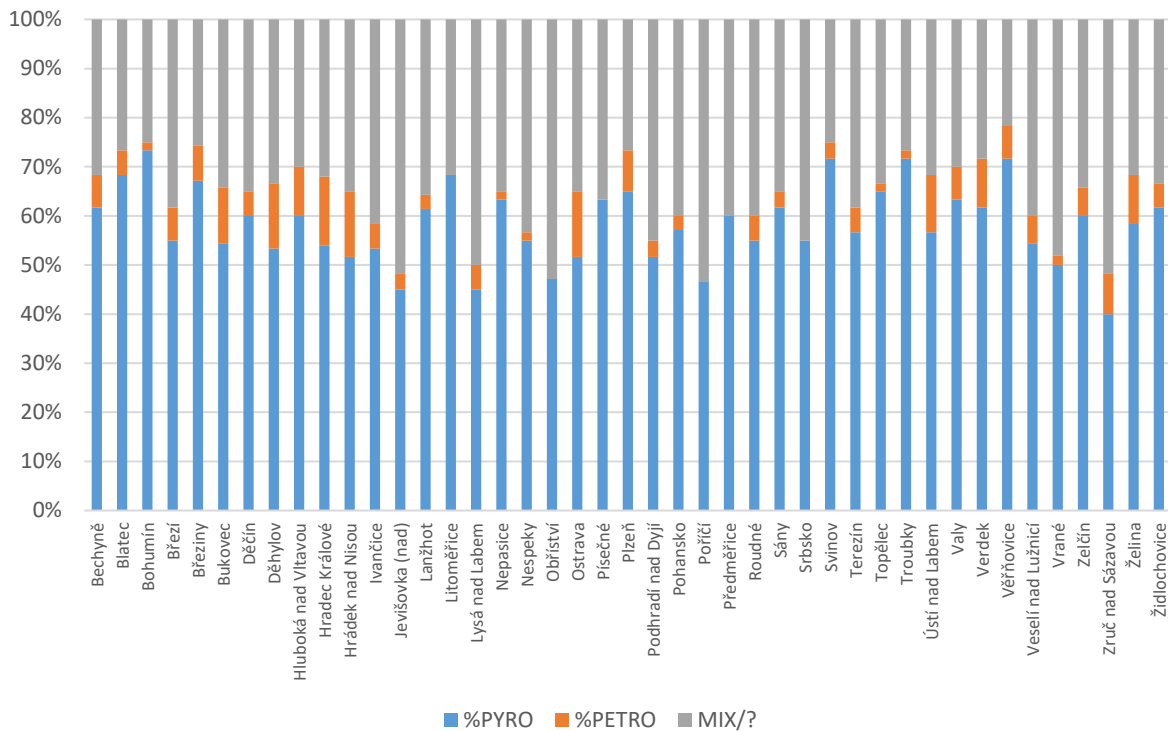
Obrázek 3: Zdroje PAH – sediment

Průměrné zastoupení zdrojů PAH za období 2012 - 2023 v sedimentech



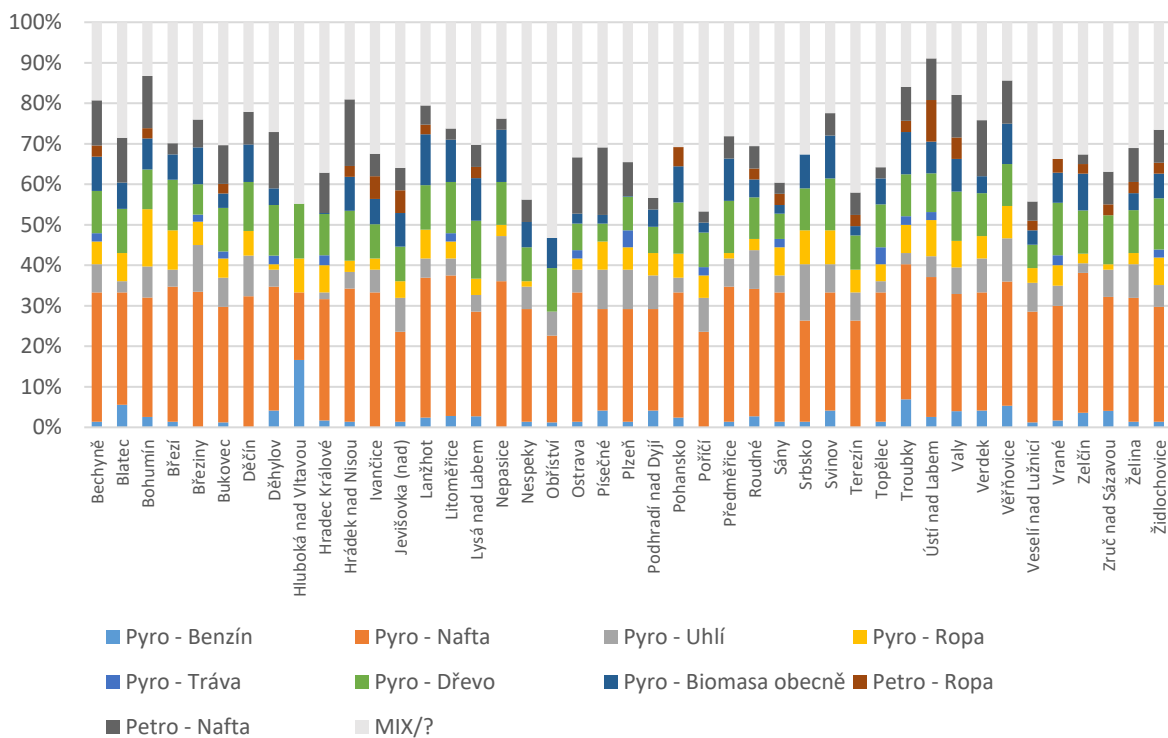
Obrázek 4: Zdroje PAH - sediment

Průměrné zastoupení zdrojů PAH za období 2012 - 2023 v bentosu



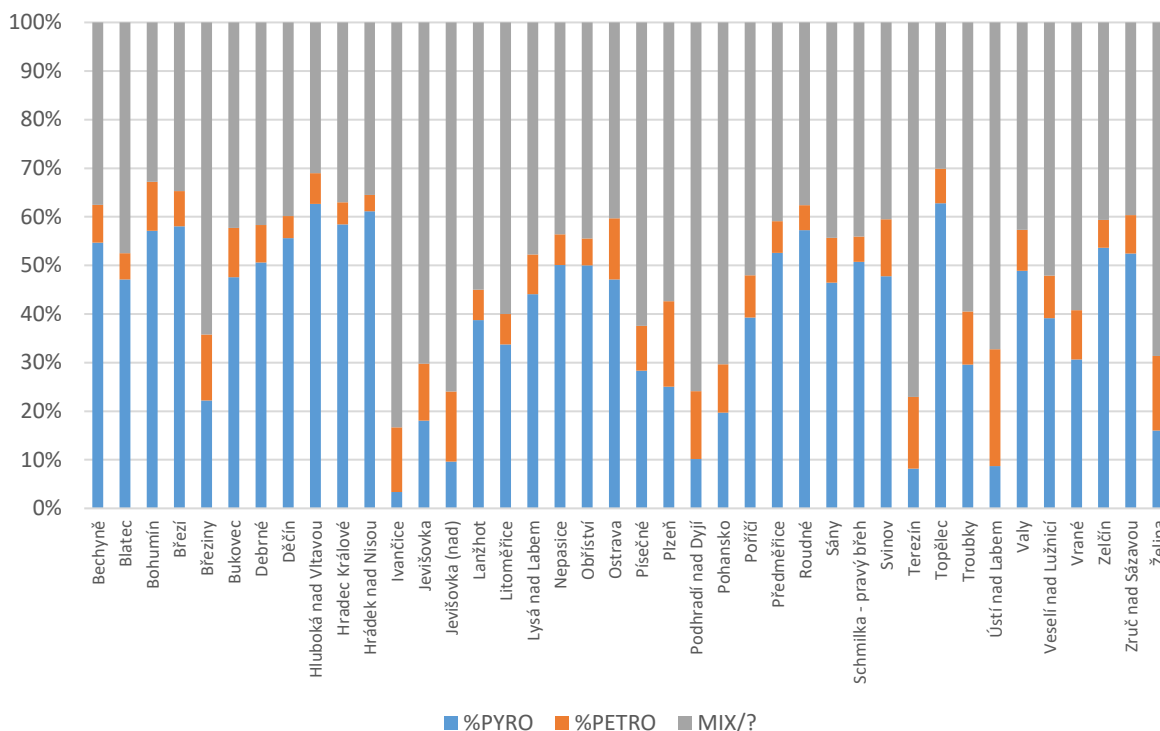
Obrázek 5: Zdroje PAH – bentos

Průměrné zastoupení zdrojů PAH za období 2012 - 2023 v bentosu



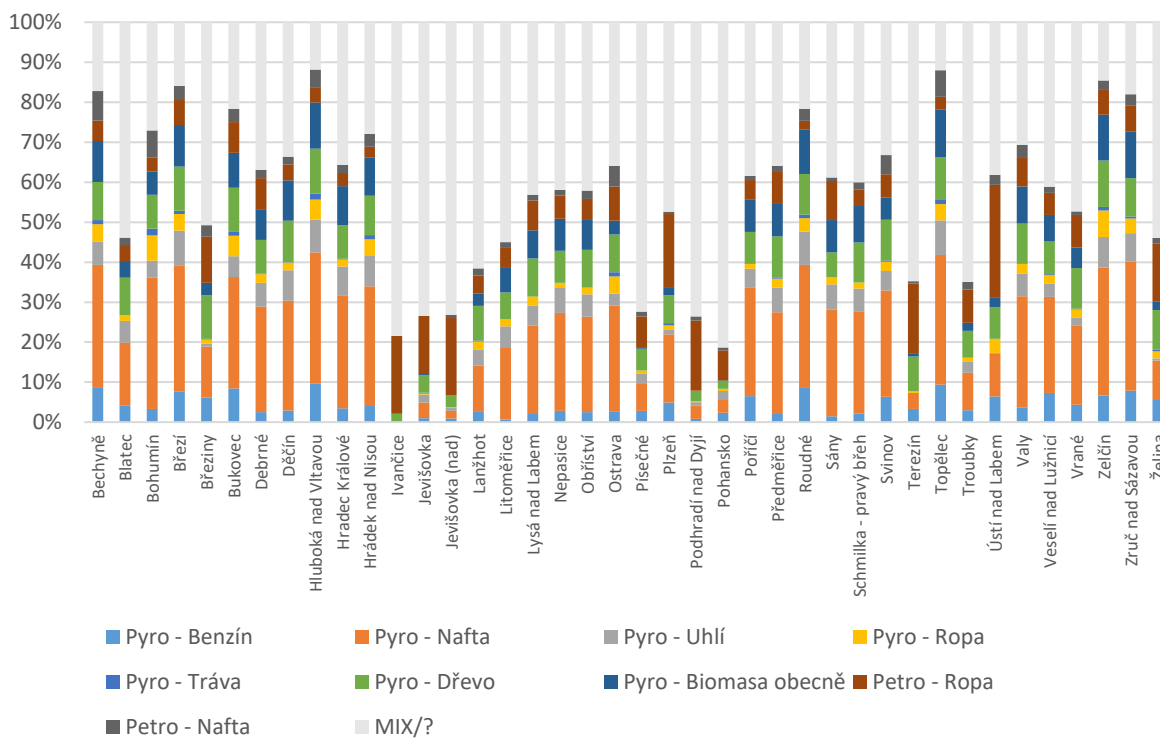
Obrázek 6: Zdroje PAH - bentos

Průměrné zastoupení zdrojů PAH za období 2012 - 2023 v povrchních vodách



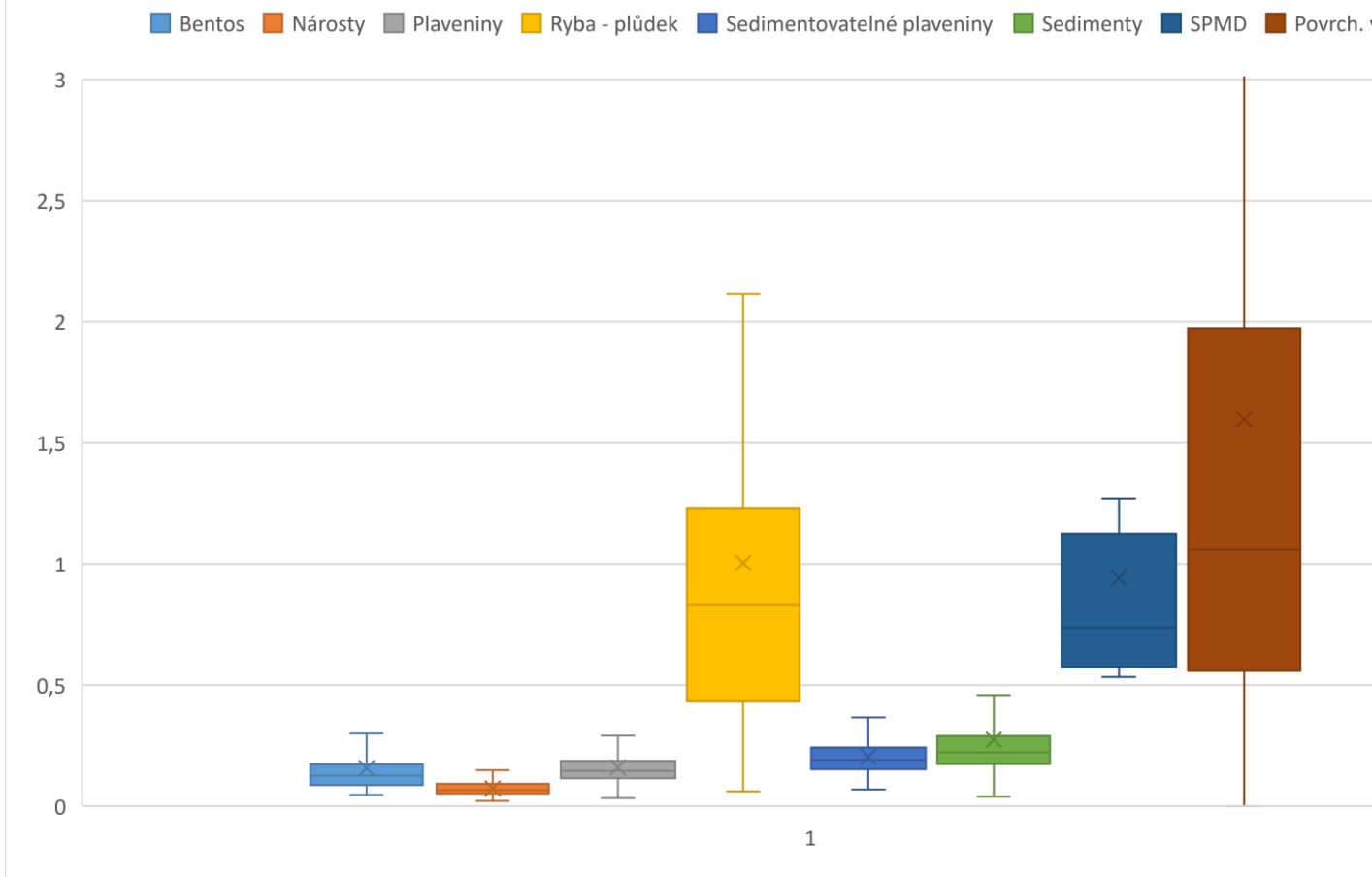
Obrázek 7: Zdroje PAH - povrchová voda

Průměrné zastoupení zdrojů PAH za období 2012 - 2023 v povrchních vodách



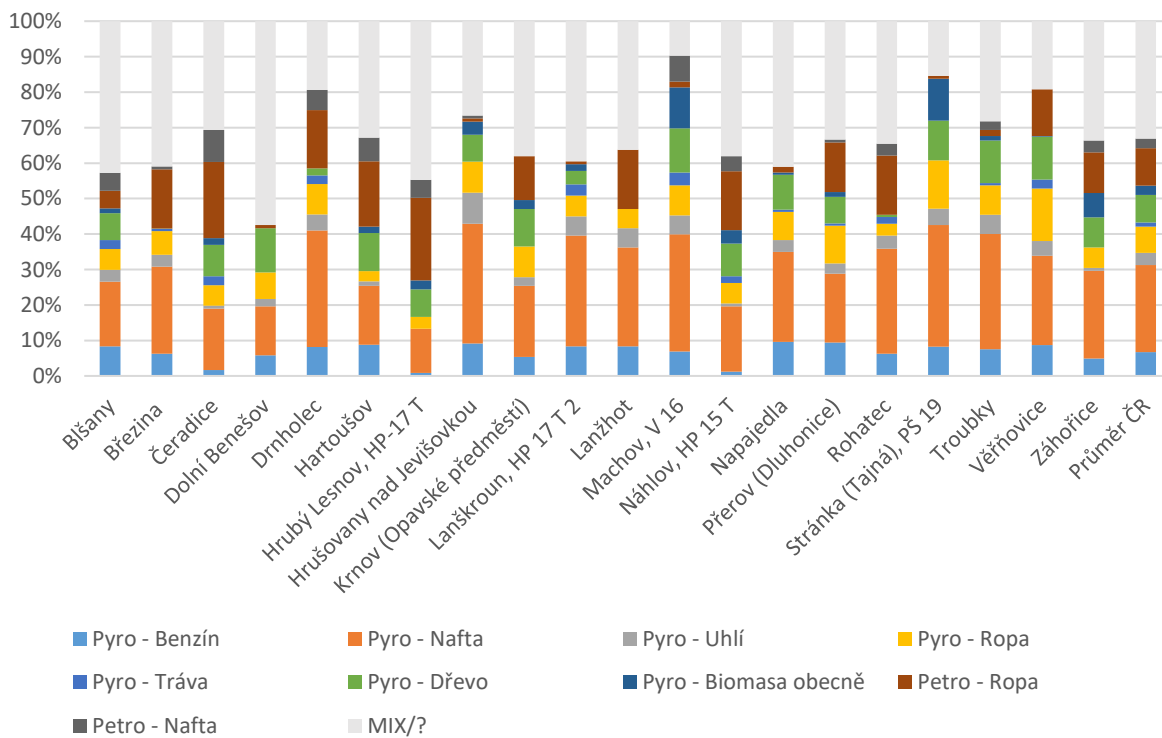
Obrázek 8: Zdroje PAH - povrchová voda

ΣLMW/ΣHMW



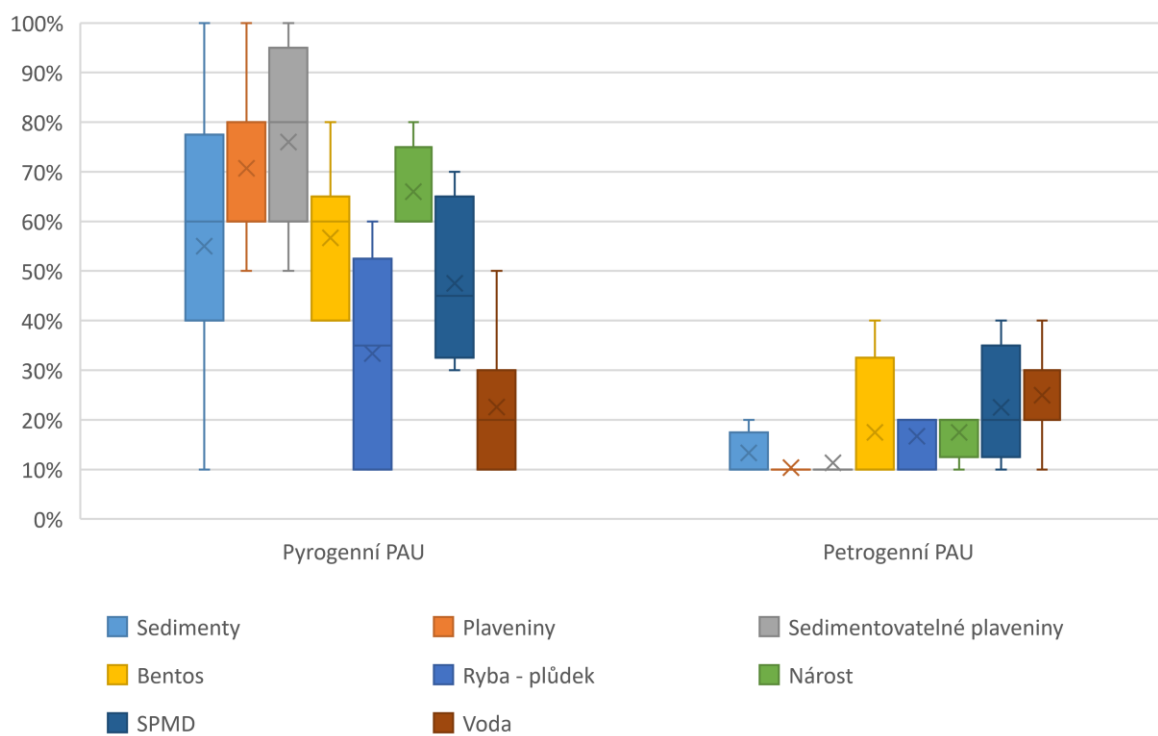
Obrázek 9: Zdroje PAH - podzemní voda

Průměrné zastoupení zdrojů PAH za období 2012 - 2023 v podzemních vodách

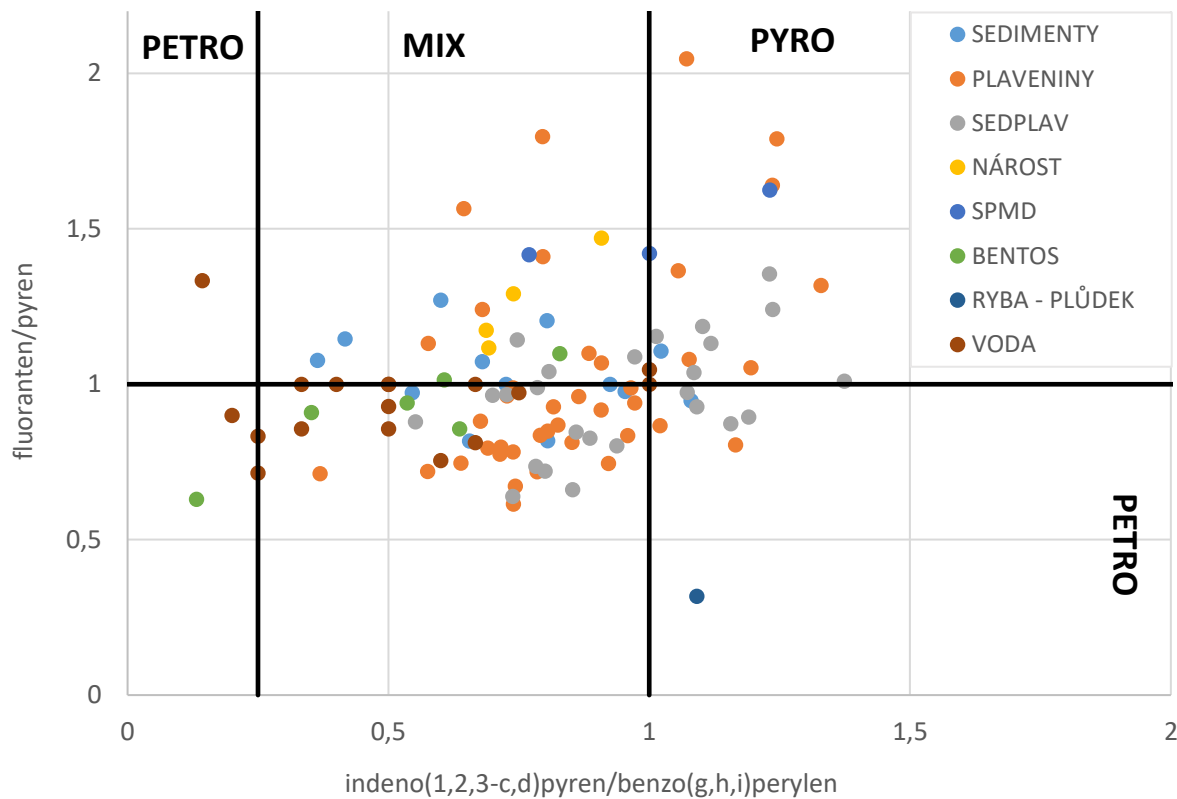


Obrázek 10: : Zdroje PAH - podzemní voda

Bílina - Ústí nad Labem



Obrázek 11: Distribuce pyrogeních a petrogeních PAU v jednotlivých matricích na profilu Bílina - Ústí n. L., 2012 - 2023



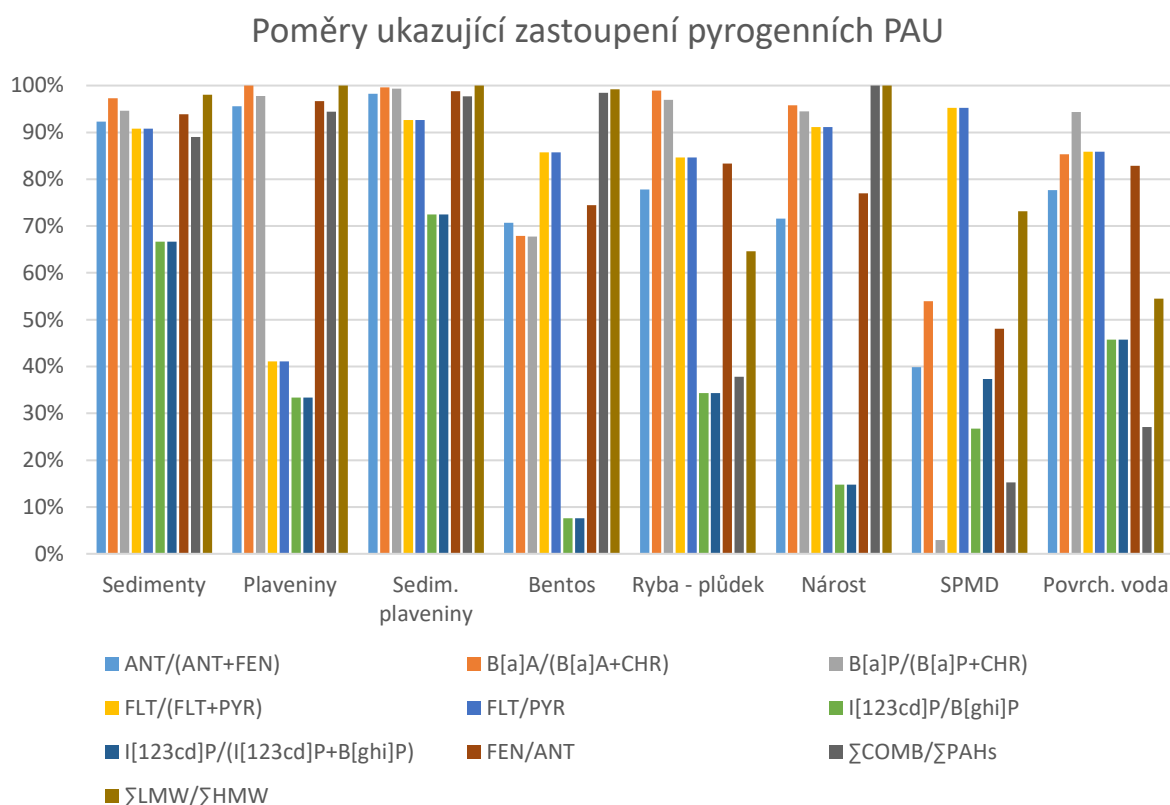
Obrázek 12: Rozdělení vzorků do kategorií dle vhodných diagnostických poměrů

3 Vliv poměru

Chování jednotlivých diagnostických poměrů se může lišit v závislosti na zkoumané matrici. Příkladem jsou poměry ukazující na pyrogenní původ PAH - Obrázek 13. V abiotických matricích, konkrétně v sedimentech a sedimentovatelných plaveninách, vykazují všechny poměry téměř shodné výsledky, převážně ukazující na pyrogenní původ PAU. Naproti tomu v plaveninách, poměry zahrnující fluoranthen, pyren, indeno[1,2,3-cd]pyren a benzo[ghi]perylen ukazují na pyrogenní zdroje pouze v méně než 50 % vzorků. Tento trend je patrný i v ostatních matricích, kde poměry s těmito PAU ukazují na pyrogenní znečištění v nejmenším počtu vzorků.

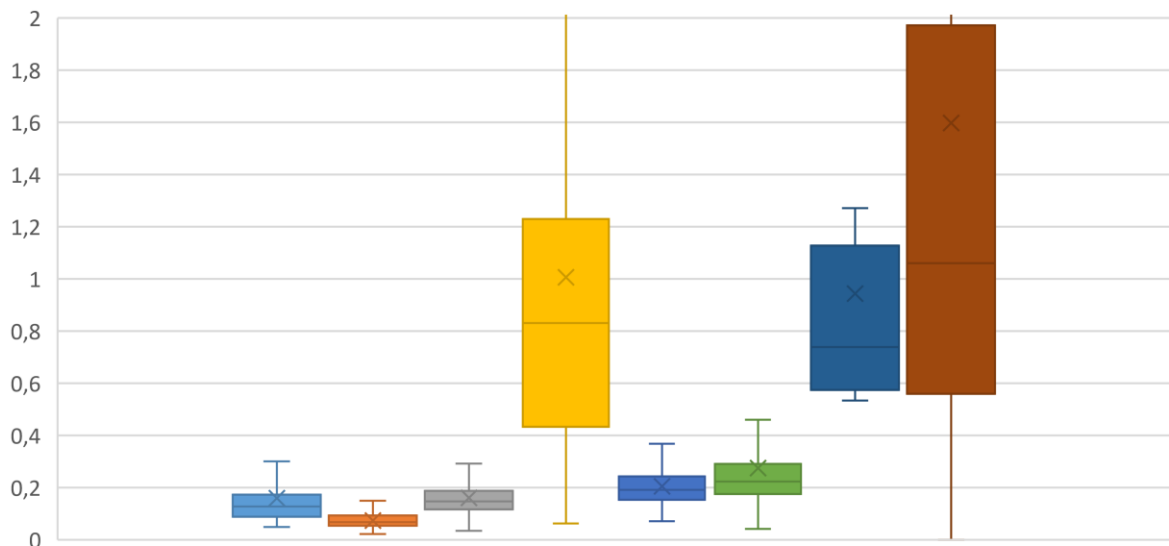
Rozdíly lze vidět i při porovnání vybraných poměrů. Poměr $ANT/(ANT+FEN)$ ve všech matricích kromě SPMD ukazuje na pyrogenní zdroje (Obrázek 14). Naproti tomu poměr $\Sigma LMW/\Sigma HMW$ indikuje petrogenní znečištění ve více matricích (rybí plůdek, povrchová voda a SPMD) - Obrázek 15.

Podrobněji byl hodnocen poměr $\Sigma LMW/\Sigma HMW$, který ukazuje na rozdílný původ PAU na jednotlivých profilech povrchových a podzemních vod a sedimentů. V povrchové vodě tento poměr ukazuje na většinu profilů spíše na petrogenní než na pyrogenní zdroje PAU (Obrázek 16). V podzemní vodě výsledky závisí na konkrétním profilu (Obrázek 17). V sedimentech tento poměr ukazuje výhradně na pyrogenní zdroje PAU (Obrázek 18).



Obrázek 13: Zastoupení diagnostických poměrů ukazujících na PAU pyrogenního původu ve vzorcích jednotlivých matric

$\Sigma\text{LMW}/\Sigma\text{HMW}$



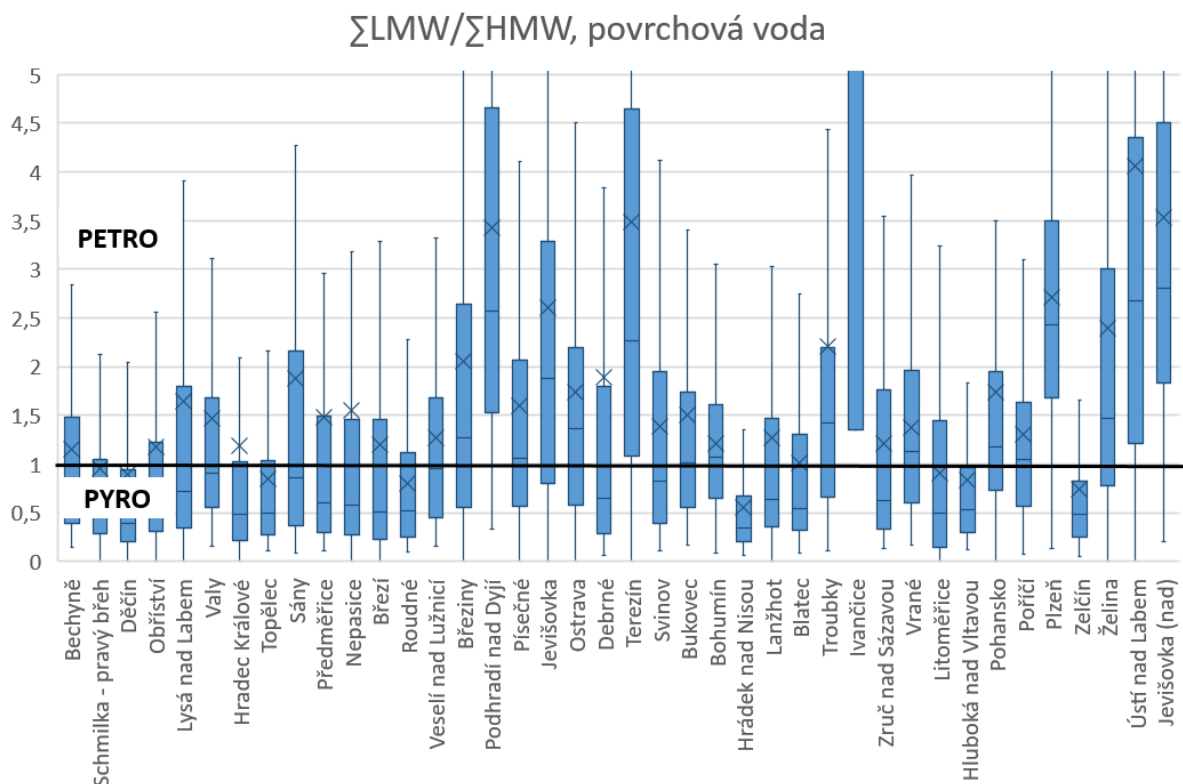
- Bentos
- Nárasty
- Plaveniny
- Ryba - plůdek
- Sedimentovatelné plaveniny
- Sedimenty
- SPMD
- Povrch. voda

Obrázek 14: Vliv jednotlivých matic na zastoupení typu PAU (petrogenní/pyrogenní) pro poměr $\text{ANT}/(\text{ANT} + \text{FEN})$

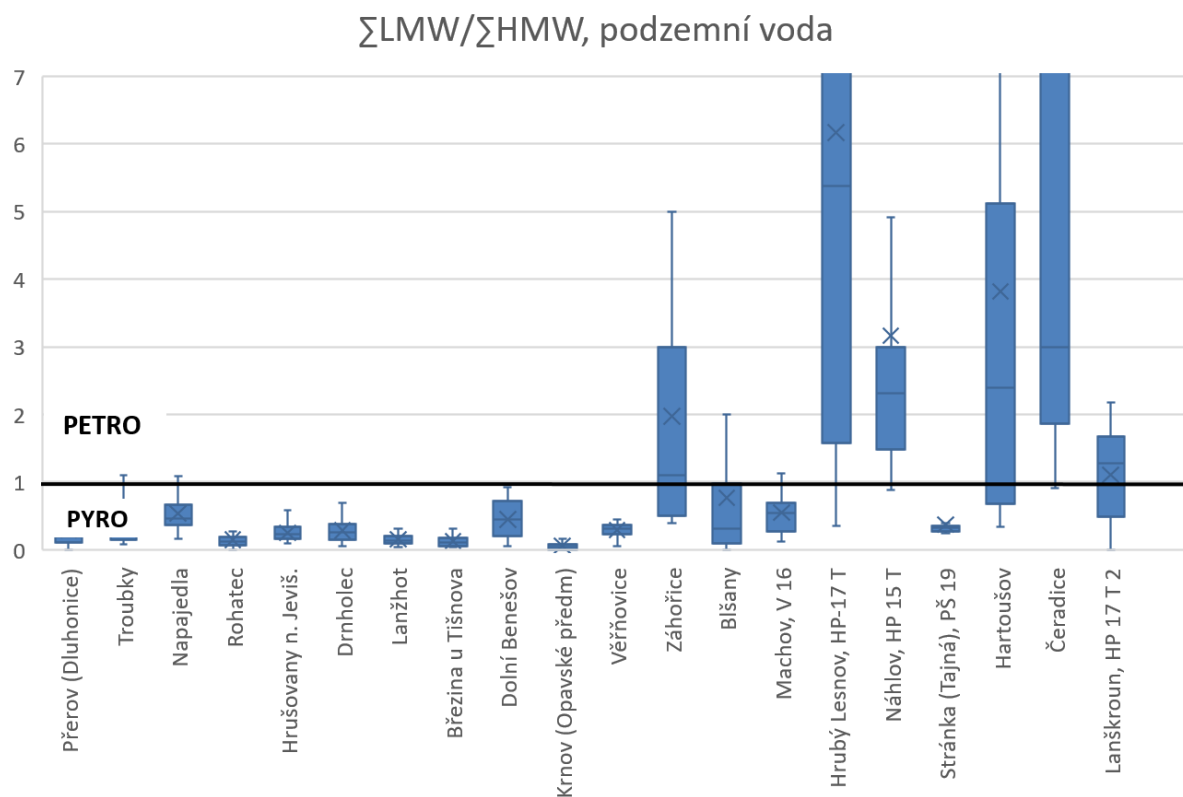
PETRO

PYRO

Obrázek 15: Vliv jednotlivých matic na zastoupení typu PAU (petrogenní/pyrogenní) pro poměr $\Sigma\text{LMW}/\Sigma\text{HMW}$

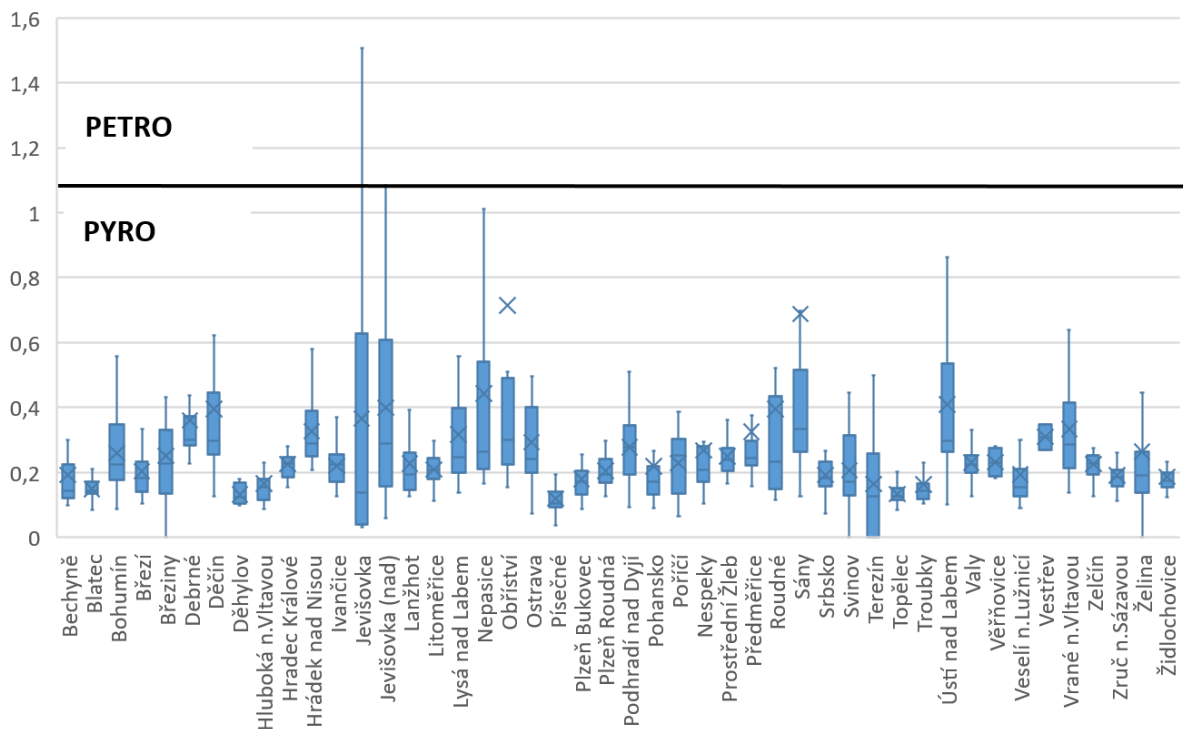


Obrázek 16: Zdroje PAU na jednotlivých profilech povrchových vod určeny poměrem $\Sigma LMW / \Sigma HMW$



Obrázek 17: Zdroje PAU na jednotlivých profilech podzemních vod určeny poměrem $\Sigma LMW / \Sigma HMW$

Σ LMW/ Σ HMW, sediment



Obrázek 18: Zdroje PAU na jednotlivých profilech sedimentů určeny poměrem Σ LMW/ Σ HMW

4 Podrobnější hodnocení povrchových a podzemních vod

4.1 Rozložení pyrogenního a petrogenního znečištění v povrchových vodách

Základní rozložení zdrojů znečištění PAU na profilech povrchových vod shrnuje Obrázek 19. Zastoupení se liší v závislosti na povodí a to převážně pro kategorie PYRO a MIX, ale v rámci jednotlivých řek je ve většině případů shodné. V povodí Ohře převažuje kategorie MIX z 80 % a pyrogenní a petrogenní zdroje jsou zastoupeny rovnoměrně přibližně 10 %. V povodí Labe také celkově převládá kategorie MIX, ale například u všech profilů Jizery tvoří zbytek pouze petrogenní znečištění (5 – 10 %). Na profilech povodí Vltavy naopak převažuje pyrogenní znečištění. Ze všech profilů ČR se největší podíl petrogenních PAU vyskytuje právě v povodí dolní Vltavy a jejích hlavních přítoků - Berounky a Sázavy, kde je zastoupen až z 25 %. Na východní části území, zahrnující povodí Odry a Moravy, tvoří vždy přibližně 50 % pyrogenní znečištění.

Detailnější pohled na distribuci pyrogenních a petrogenních PAU z hlediska jednotlivých poměrů je uveden na Obrázcích 20 - 26. Poměry $I[123cd]P/B[ghi]P$ a $I[123cd]P/(I[123cd]P+B[ghi]P)$, $FLT/(FLT+PYR)$ a FLT/PYR , ANT/FEN a $ANT/(ANT+FEN)$ ukazují v rámci těchto kategorií totožně a proto je uveden vždy pouze jeden z dvojice. Poměr $\Sigma COMB/\Sigma PAHs$ v povrchových vodách ukazuje až na 3 výjimky pouze pyrogenní zdroje PAU (Obrázek 20). I poměr $B[a]A/(B[a]A+CHR)$ ukazuje na většině území téměř 100 % zastoupení pyrogenních PAU (Obrázek 21). Výjimky jsou zde profily povodí Odry, kde jsou petrogenní PAU zastoupeny do 15 %, profily horní Vltavy, kde petrogenní PAU tvoří přibližně 5 % a profily povodí Ohře, kde je výskyt petrogenních PAU z hlediska tohoto poměru nejvyšší a pohybuje se v rozsahu 15 – 100 %.

Z dalších poměrů ukazují celkově nejvyšší podíl pyrogenního znečištění $ANT/(ANT+FEN)$ – Obrázek 22 a $B[a]P/(B[a]P+CHR)$ – Obrázek 23. Tyto poměry ukazují podobné rozložení PAU na profilech Odry a Olše. V povodí řeky Moravy vychází z poměru $ANT/(ANT+FEN)$ na řadě profilů 100 % zastoupení petrogenních PAU. Větší podíl petrogenního znečištění ukazuje tento poměr i v povodí Ohře a ve srovnání s $B[a]P/(B[a]P+CHR)$ i na profilech povodí Vltavy.

Zastoupení PAU vycházející z poměru FLU/PYR (Obrázek 24) se od ostatních profilů výrazně liší v oblasti povodí Ohře, kde petrogenní PAU tvořily téměř 100 % vzorků. Naopak pro oblast povodí Moravy a Dyje nevychází petrogenní PAU téměř na žádném profilu.

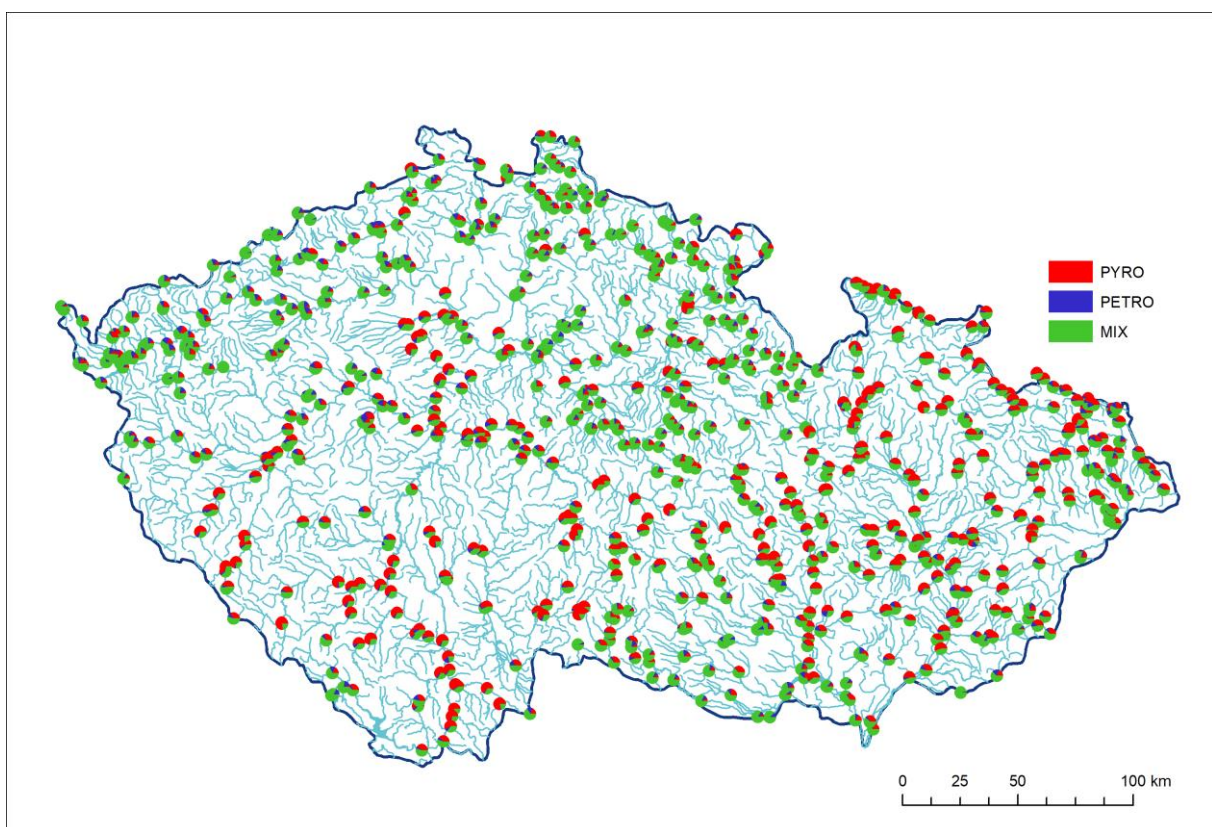
Převažující zastoupení petrogenních zdrojů PAU nad pyrogenními vychází na většině řek ČR z poměrů $I[123cd]P/B[ghi]P$ – Obrázek 25 a $\Sigma LMW/\Sigma HMW$ – Obrázek 26. Poměr $I[123cd]P/B[ghi]P$ ukazuje 100 % petrogenní znečištění na téměř všech profilech povodí Ohře a na většině profilů dolní části Vltavy. Naopak v povodí Labe a částečně i povodí Moravy převažují pyrogenní PAU. V povodí Odry a Horní Vltavy jsou pyrogenní a petrogenní zdroje zastoupeny v přibližně stejném rozsahu. Podobný vzorec vychází i z poměru $\Sigma LMW/\Sigma HMW$, kde ale v povodí Labe převažují petrogenní PAU a v povodí Ohře jsou částečně zastoupeny i pyrogenní PAU.

Z hlediska pyrogenních PAU byly dále zpracovány mapy zobrazující rozložení spalování fosilních paliv a to konkrétně pro kategorie benzín, naftu a uhlí. U poměru $FLT/(FLT+PYR)$ je zahrnut i interval, kde nelze rozlišit mezi spalováním nafty a benzínu, tudíž byla zahrnuta ještě souhrnná kategorie pro spalování nafty a benzínu.

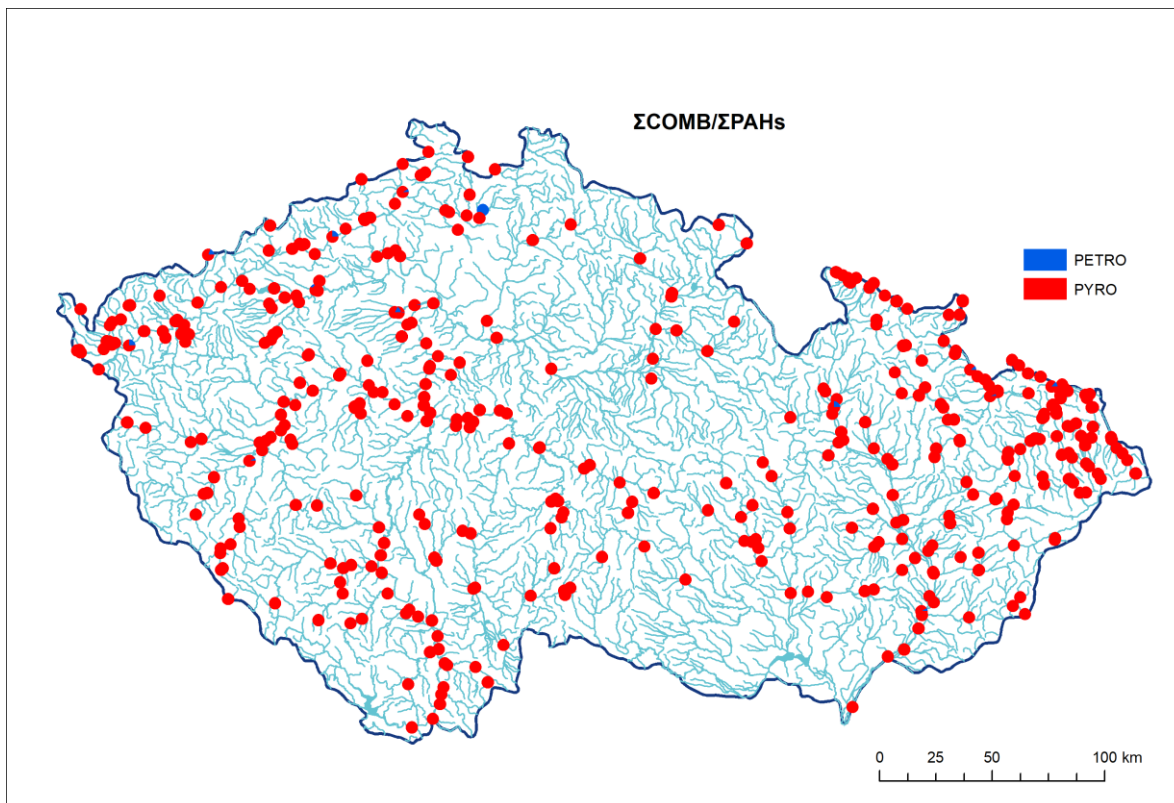
Celkový souhrn rozložení spalování fosilních paliv vycházející z průměru všech poměrů použitých na obrázcích 28 – 31 se, stejně jako u kategorií pyro/petro, liší v rámci povodí (Obrázek 27). V povodí Ohře je nejvíce zastoupena kategorie spalování benzínu a nafty, v povodí Moravy a Dyje převažuje spalování nafty a v ostatních oblastech většinou také převažuje spalování nafty, ale významně jsou zastoupeny i další kategorie.

Rozložení kategorií pro konkrétní poměry je zobrazeno na Obrázcích 28 – 31. Poměr $FLT/(FLT+PYR)$ ukazuje převážně na spalování uhlí na východní části území a na spalování benzínu a nafty na západní části území ČR. Nejvíce je kategorie benzín + nafta zastoupena v povodí Ohře, což má pravděpodobně vliv i na celkové rozložení na Obrázku 27. Poměr $B[a]A/(B[a]A+CHR)$ ukazuje na spalování uhlí v podobném zastoupení na profilech povodí Vltavy jako $FLT/(FLT+PYR)$, ovšem v ostatních kategoriích se významně liší – například v povodí Dyje a Moravy je zastoupeno jen spalování nafty.

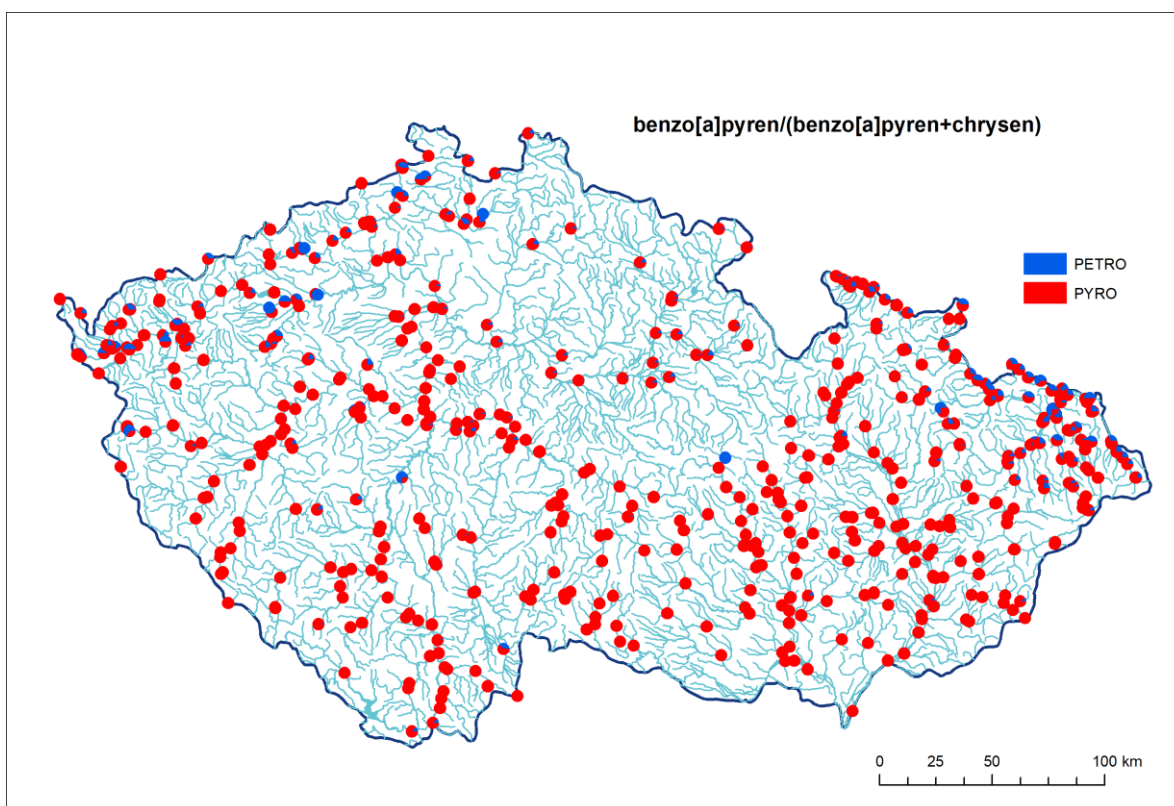
Fluoren je měřen pouze na profilech povodí Vltavy, kde z poměru $FLU/(FLU+PYR)$ vychází převážně spalování benzínu. Naopak poměr $I[123cd]P/B[ghi]P$ ukazuje převážně spalování nafty, až na profily Dolní Vltavy, kde je zastoupeno i spalování uhlí.



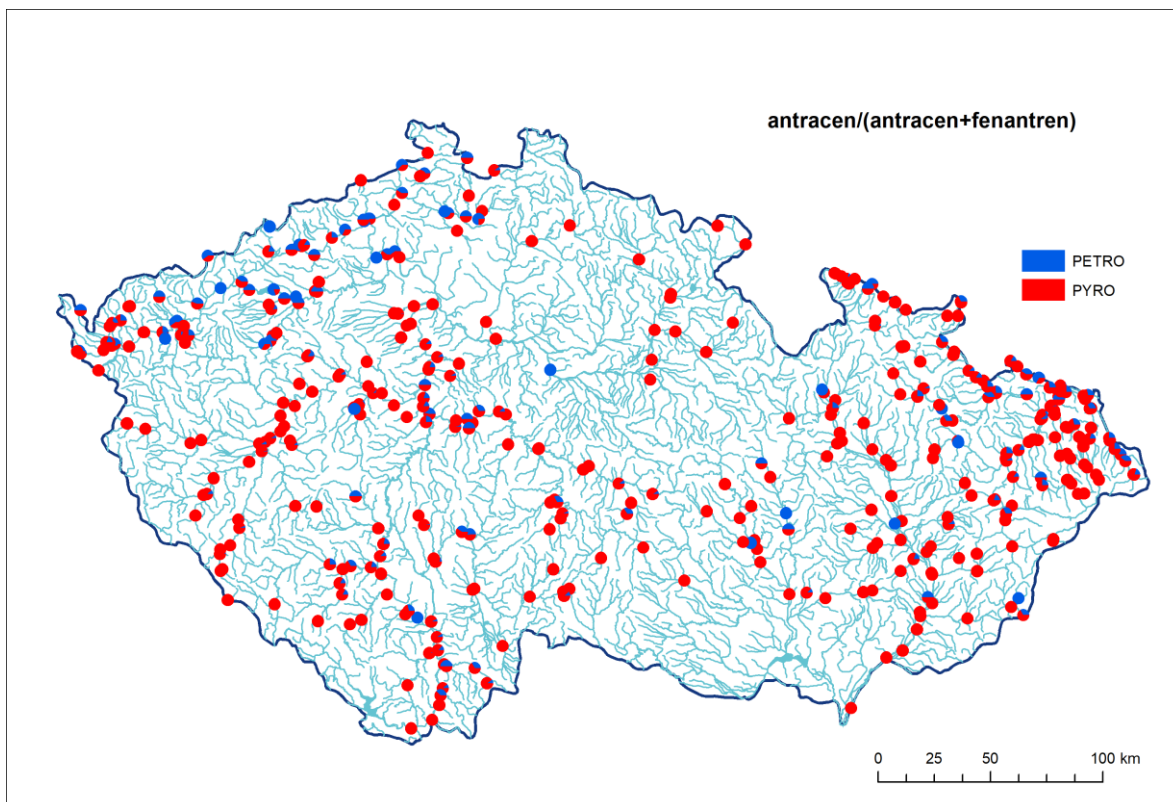
Obrázek 19: Rozložení zdrojů PAU na všech profilech povrchových vod pro kategorie PYRO (pyrogenní), PETRO (petrogenní) a MIX (nelze přesně určit) za období 2018 – 2023



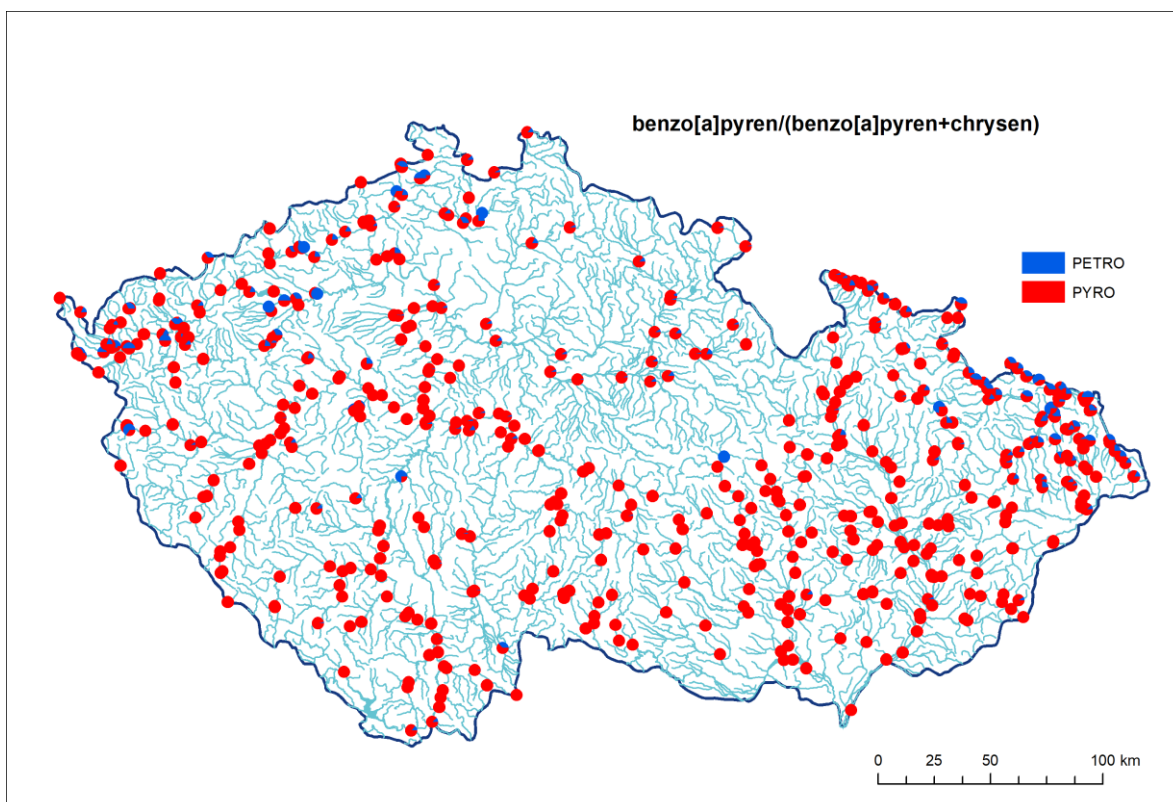
Obrázek 20: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v povrchových vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru Σ pyrogenních PAU/ Σ všech PAU



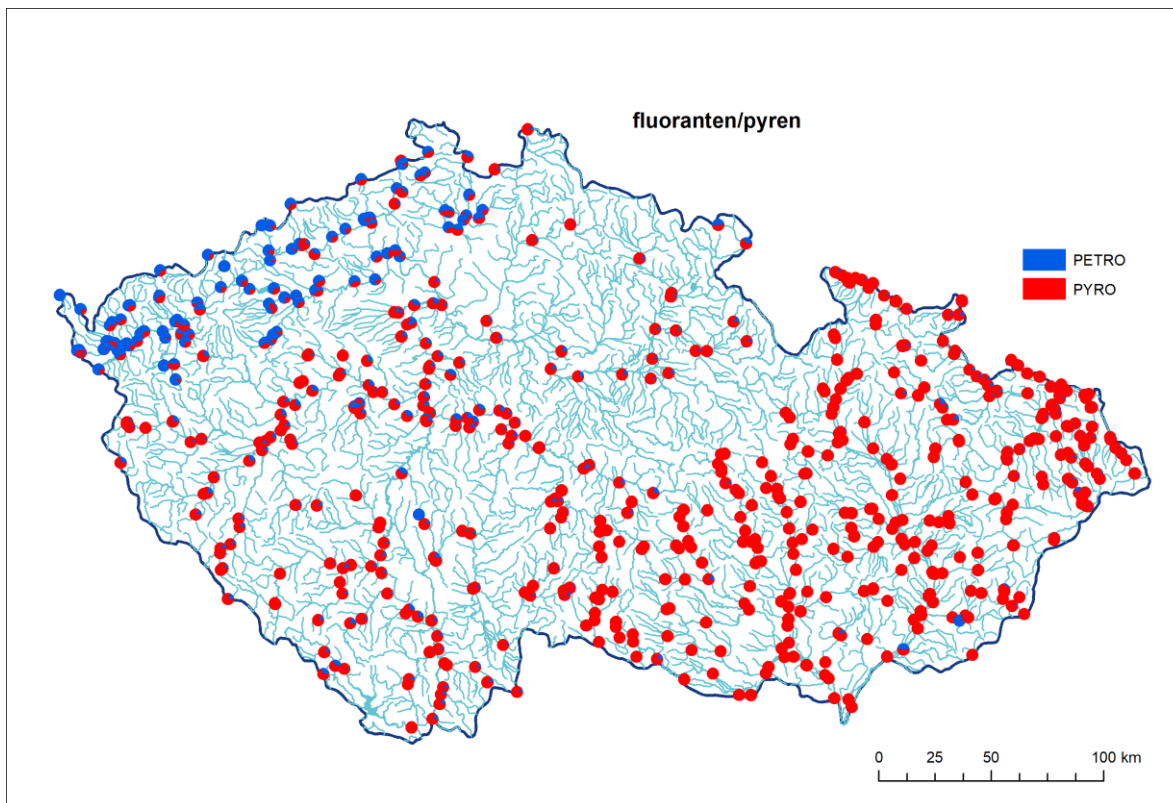
Obrázek 21: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v povrchových vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru $\text{benzo(a)pyren}/(\text{benzo(a)pyren} + \text{chrysen})$



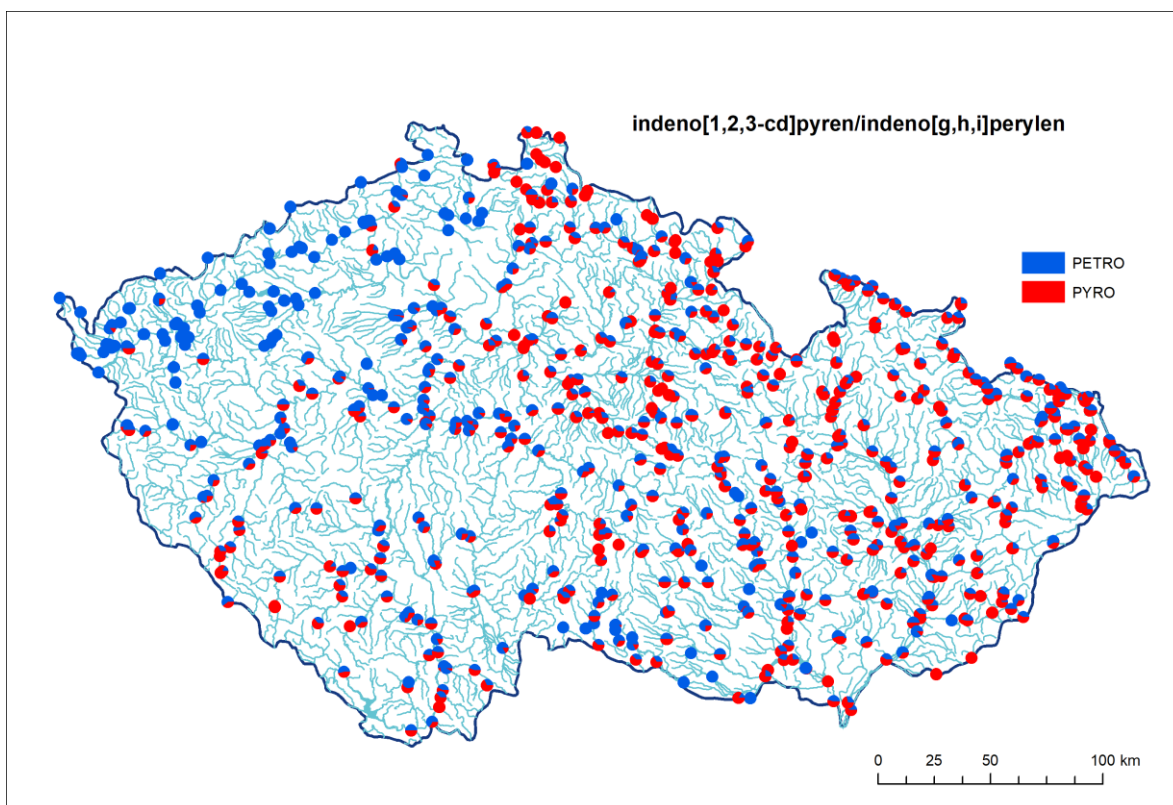
Obrázek 22: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v povrchových vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru antracen/(antracen + fenantren)



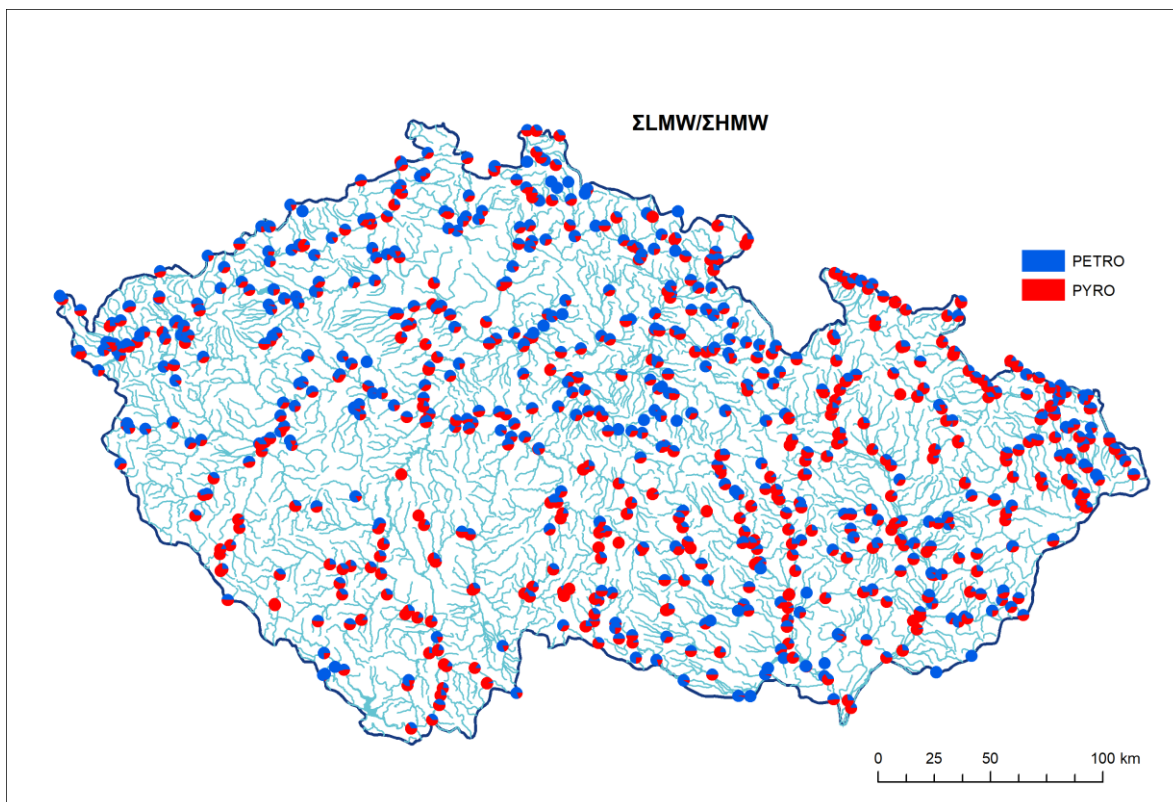
Obrázek 23: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v povrchových vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru benzo(a)pyren/(benzo(a)pyren + chrysen)



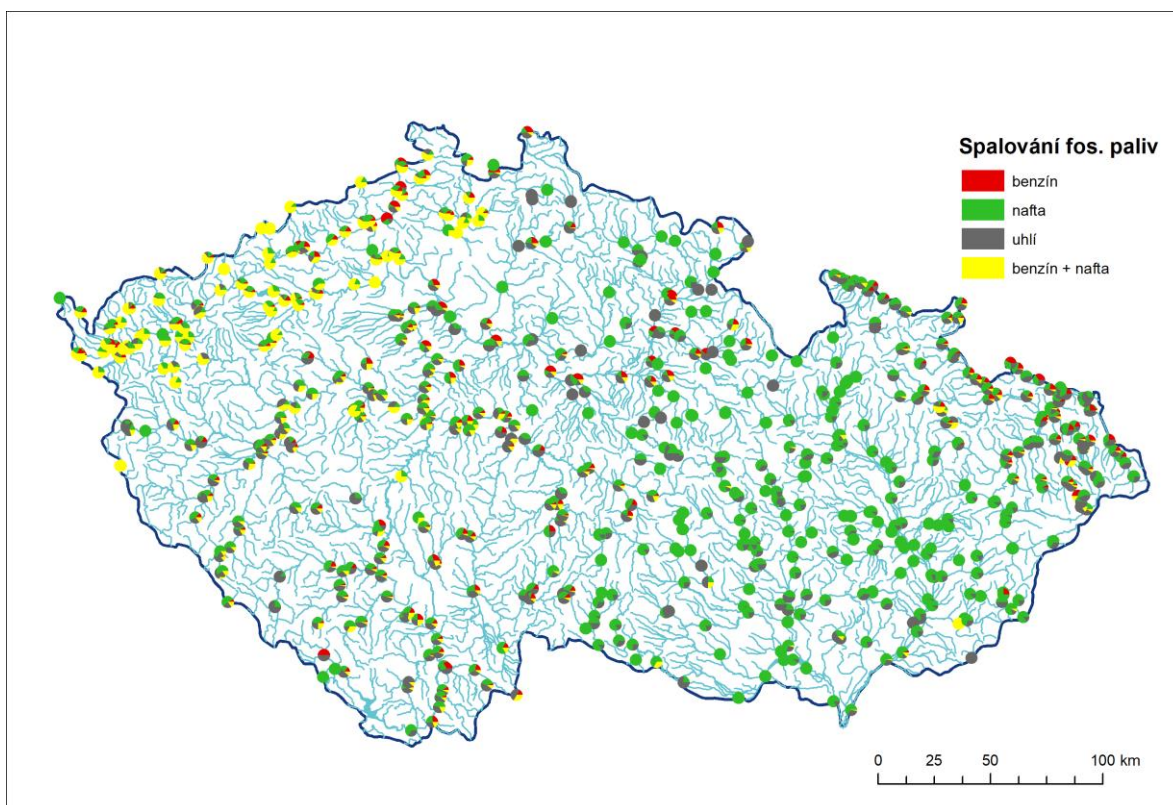
Obrázek 24: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v povrchových vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru fluoranten/pyren



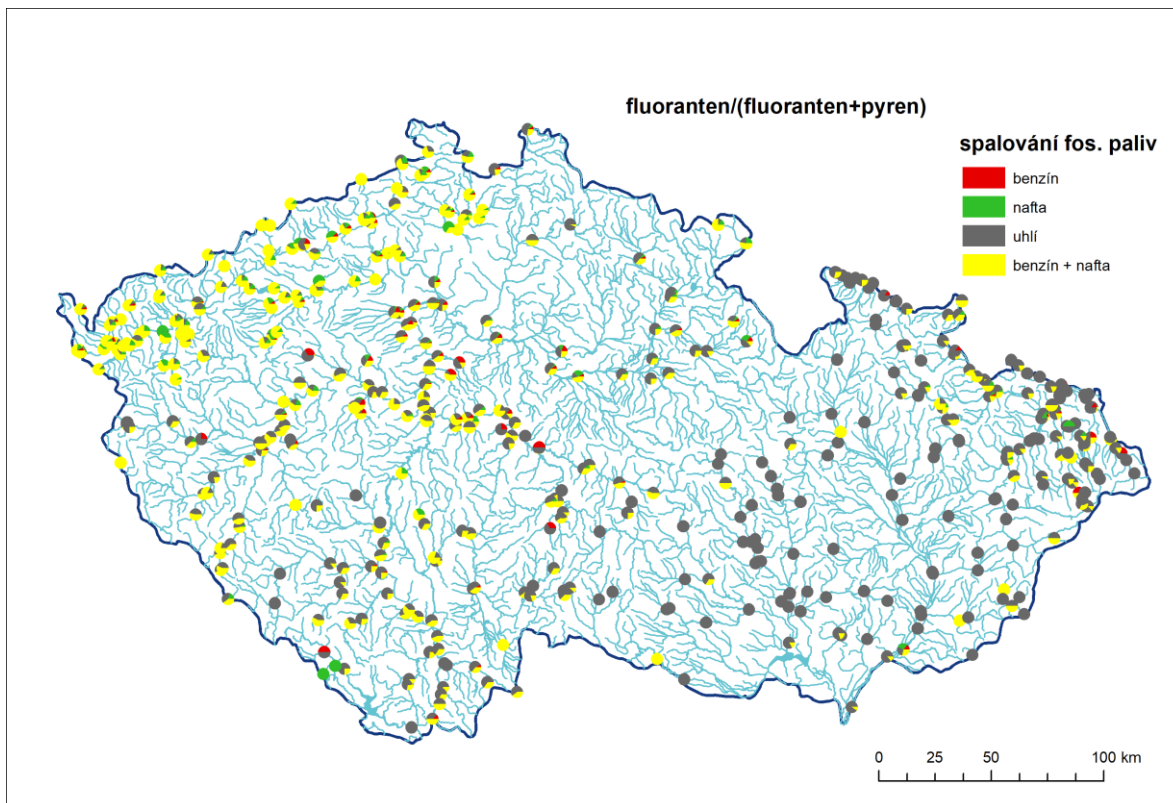
Obrázek 25: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v povrchových vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru indeno(1,2,3-c,d)pyren /benzo(g,h,i)perylene



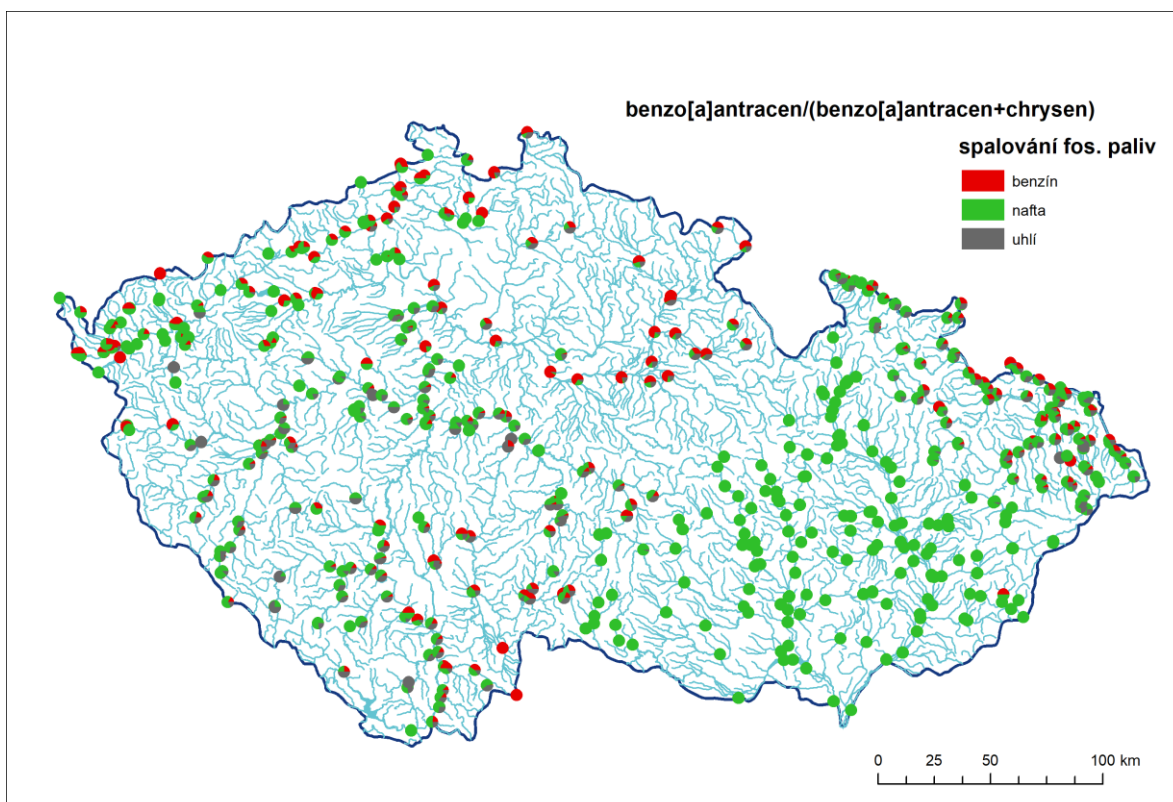
Obrázek 26: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v povrchových vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru Σ nízkomolek. PAU/ Σ vysokomolek. PAU



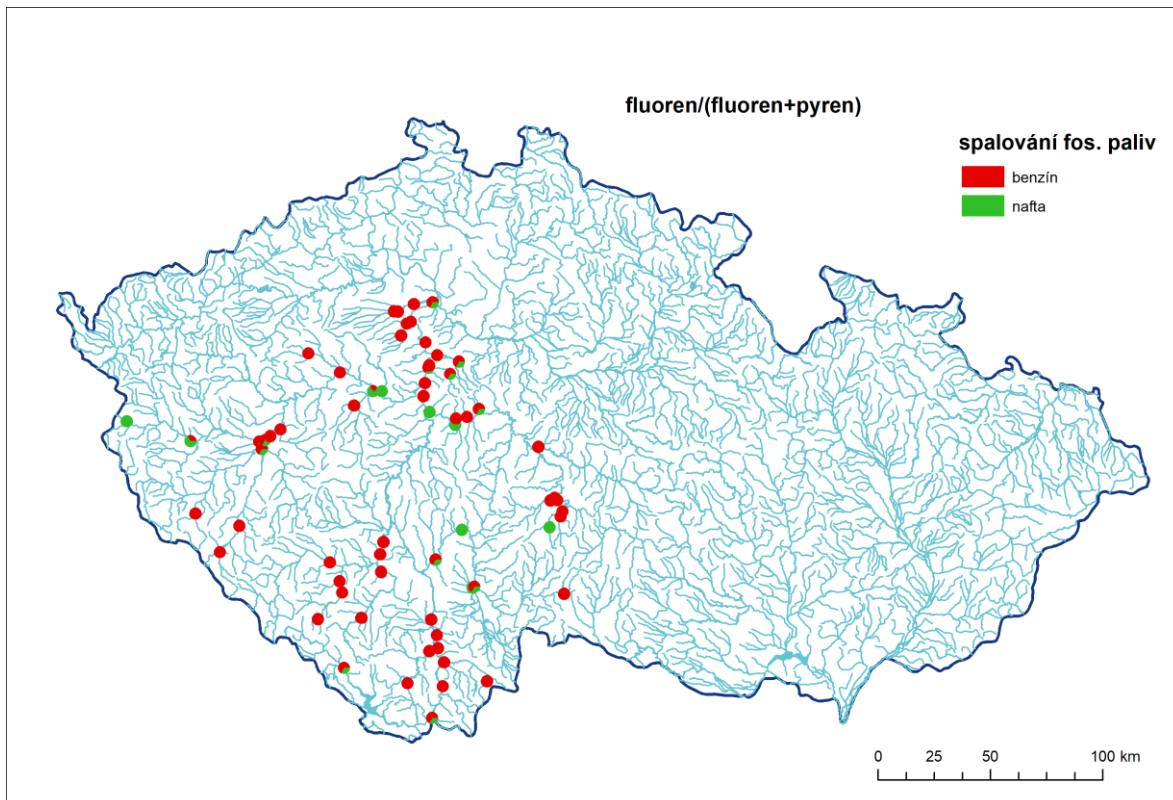
Obrázek 27: Rozložení zdrojů pyrogenních PAU na všech profilech povrchových vod pro kategorie: spalování benzínu, nafty a uhlí za období 2018 – 2023 vycházející z dostupných diagnostických poměrů použitých na obrázcích 28 -31.



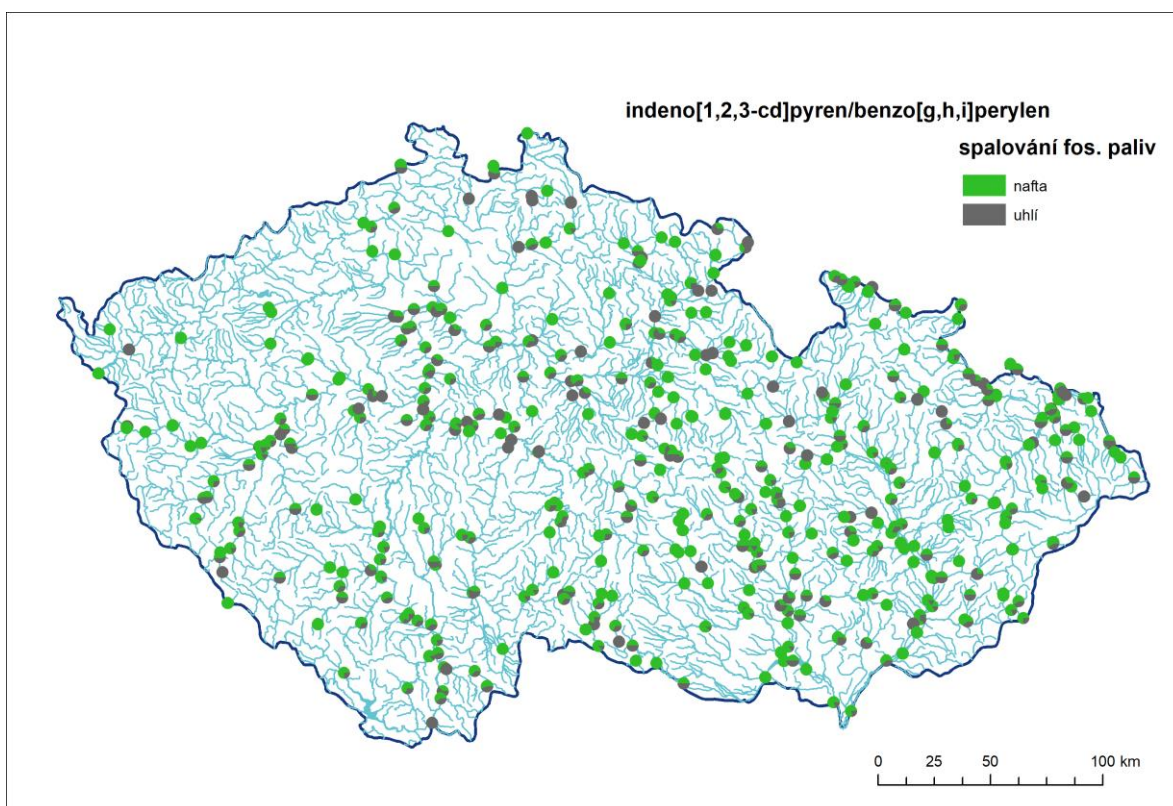
Obrázek 28: Rozložení zdrojů pyrogenních PAU na profilech povrchových vod pro kategorie: spalování benzínu, nafty a uhlí za období 2018 – 2023 vycházející z poměru fluoranten/(fluoranten + pyren)



Obrázek 29: Rozložení zdrojů pyrogenních PAU na profilech povrchových vod pro kategorie: spalování benzínu, nafty a uhlí za období 2018 – 2023 vycházející z poměru benzo(a)antracen/(benzo(a)antracen + chrysen)



Obrázek 30: Rozložení zdrojů pyrogenních PAU na profilech povrchových vod pro kategorie: spalování benzínu a nafty za období 2018 – 2023 vycházející z poměru fluoren/(fluoren + pyren)

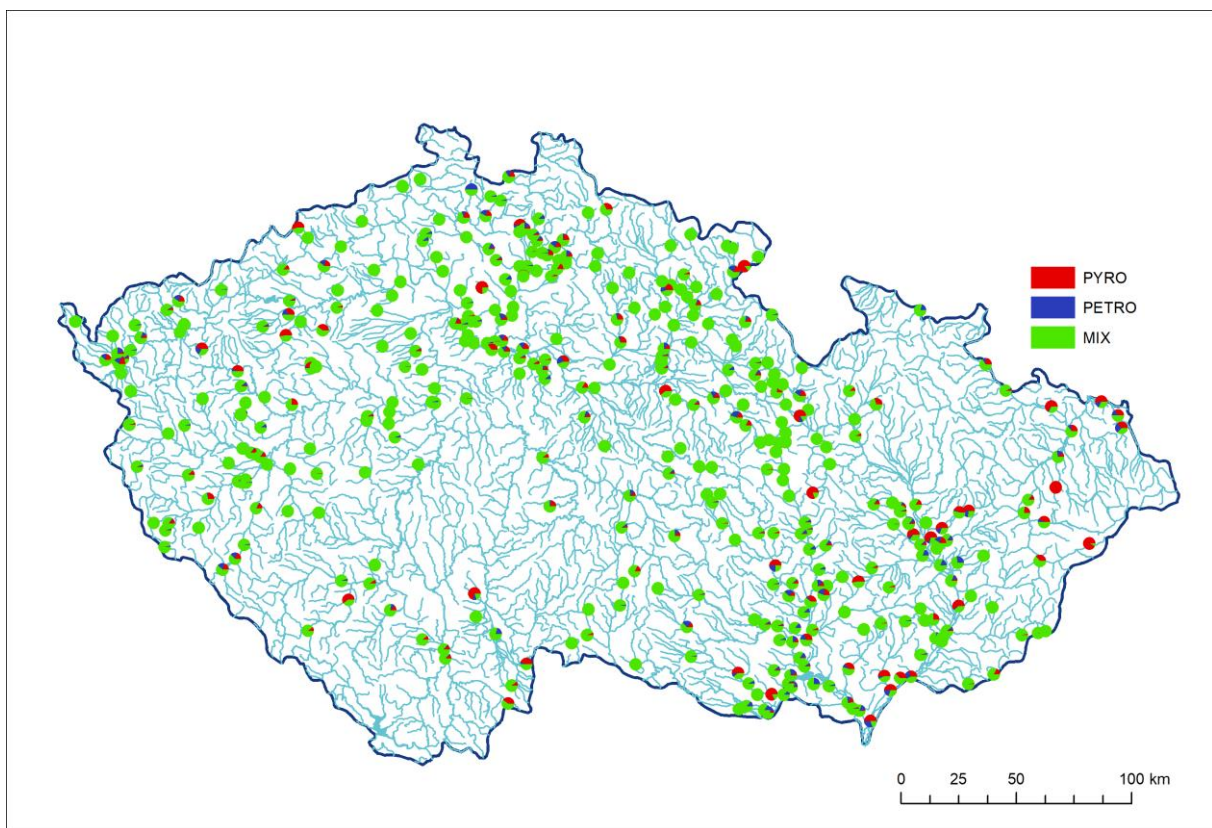


Obrázek 31: Rozložení zdrojů pyrogenních PAU na profilech povrchových vod pro kategorie: spalování nafty a uhlí za období 2018 – 2023 vycházející z poměru indeno(1,2,3-c,d)pyren /benzo(g,h,i)perylene

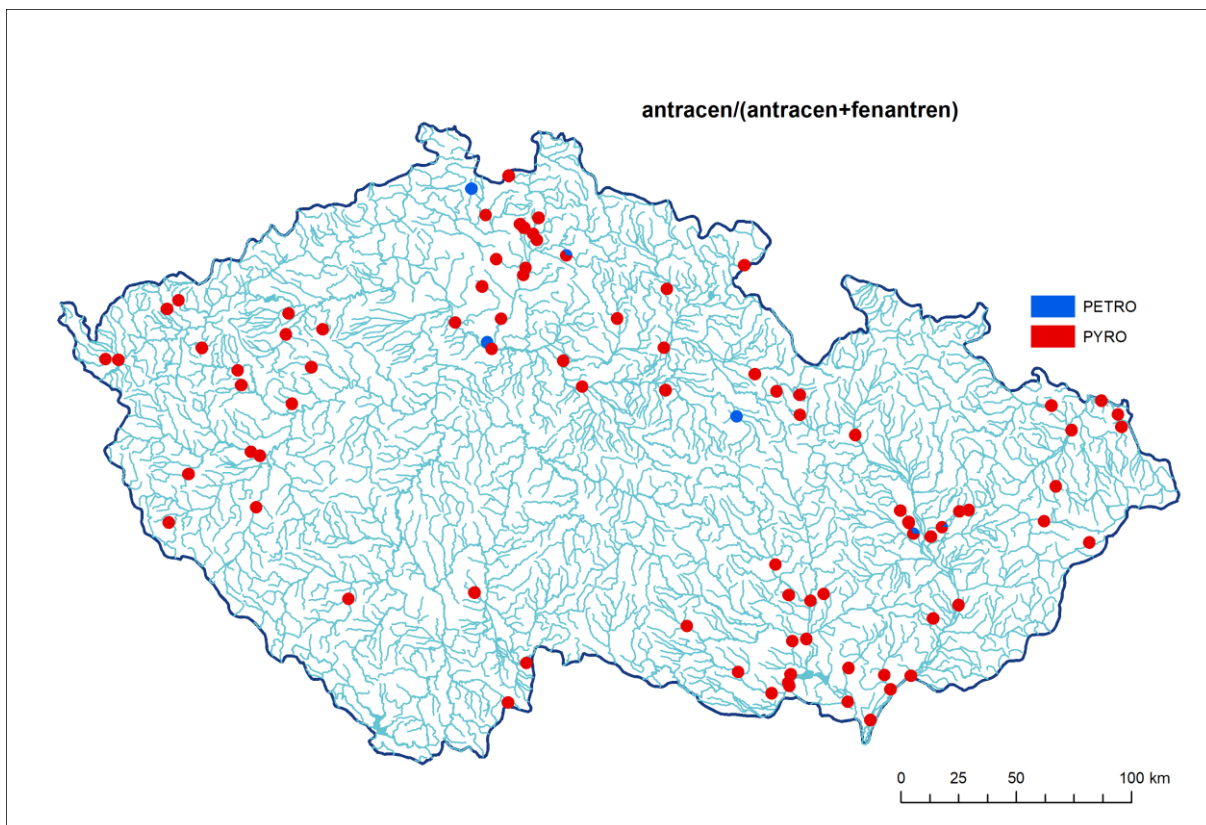
4.2 Rozložení pyrogenního a petrogenního znečištění v podzemních vodách

Shrnutí celkového zatížení podzemních vod zobrazuje Obrázek 32. Dominuje kategorie MIX a dále pak pyrogenní znečištění. Podrobnější hodnocení zatížení petrogenními a pyrogenními PAU dle jednotlivých poměrů shrnují obrázky 33 – 39. Z Poměrů $\text{ANT}/(\text{ANT}+\text{FEN})$, $\Sigma\text{COMB}/\Sigma\text{PAHs}$, $\text{B[a]A}/(\text{B[a]A}+\text{CHR})$ a $\text{B[a]P}/(\text{B[a]P}+\text{CHR})$ vychází převážně zatížení pyrogenními PAU. Petrogenní PAU ukazují tyto poměry vždy na menším množství objektů. Převažující zatížení petrogenními zdroji PAU naopak ukazují poměry FLT/PYR , $\text{I}[123\text{cd}]\text{P}/\text{B[ghi]P}$ a $\Sigma\text{LMW}/\Sigma\text{HMW}$. Nejvíce hodnot je k dispozici pro poměry FLT/PYR a $\Sigma\text{LMW}/\Sigma\text{HMW}$, kde se zdroje PAU shodují u části objektů.

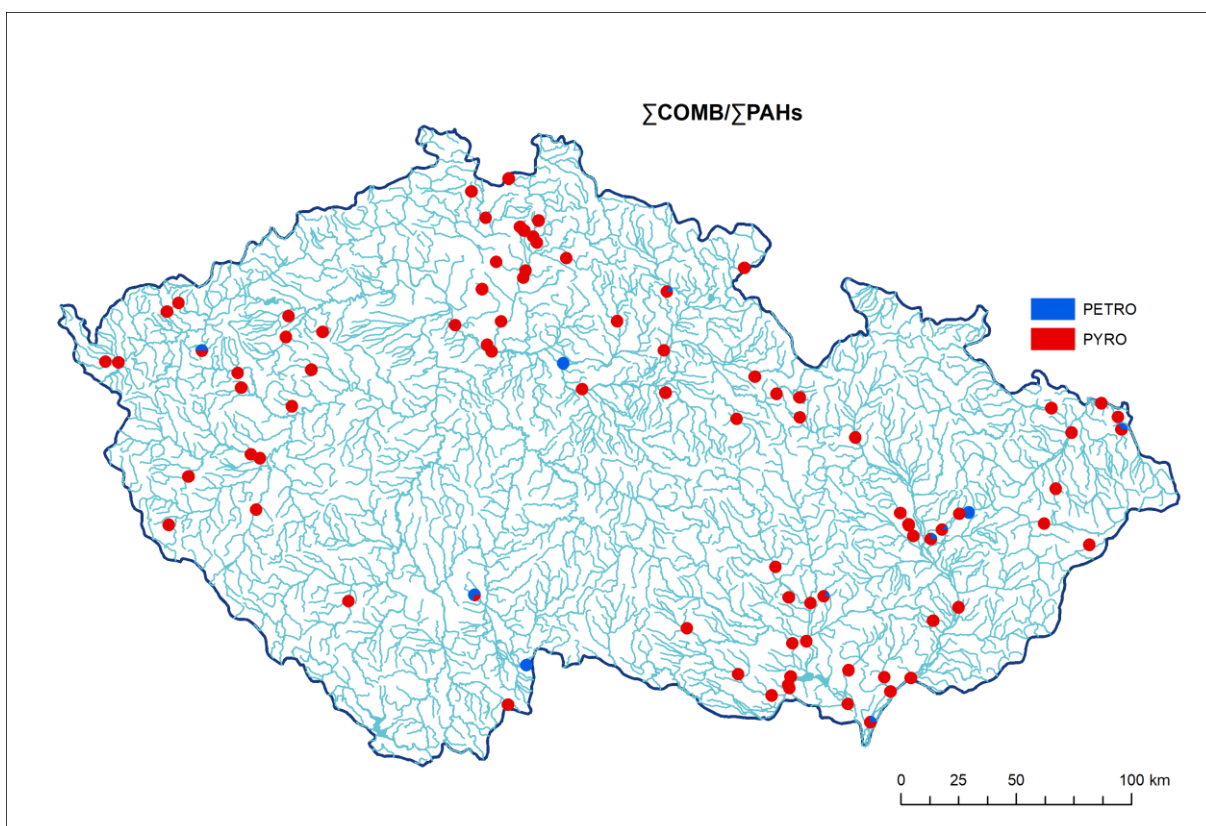
Rozložení zdrojů PAU z hlediska konkrétního zdroje pyrogenních PAU – spalování fosilních paliv shrnuje Obrázek 40 a pro jednotlivé poměry je zastoupení konkrétního paliva na Obrázcích 41 – 44. Na rozdíl od povrchových vod je zde více zastoupeno spalování benzínu a téměř vůbec spalování uhlí. Poměr $\text{FLU}/(\text{FLU}+\text{PYR})$ ukazuje převážně spalování benzínu, stejně jako je tomu v povrchových vodách.



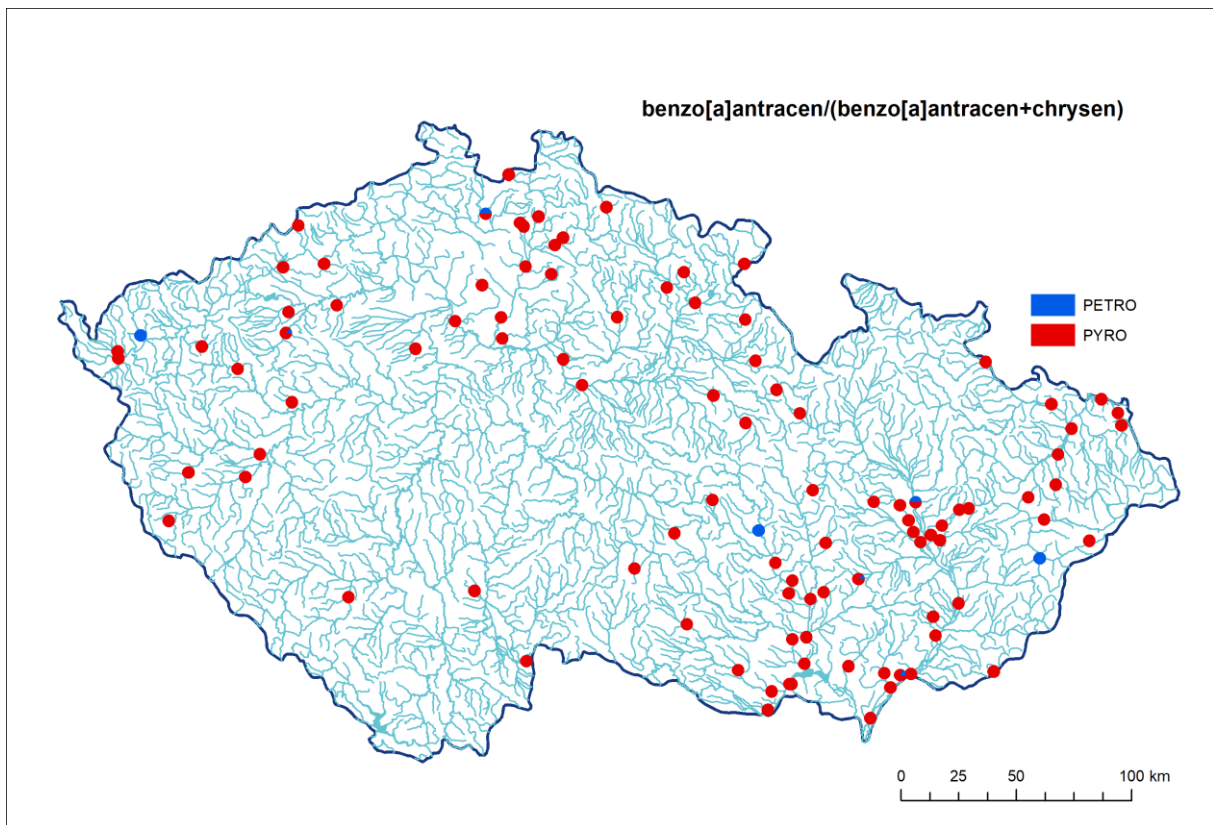
Obrázek 32: Rozložení zdrojů PAU na všech profilech podzemních vod pro kategorie PYRO (pyrogenní), PETRO (petrogenní) a MIX (nelze přesně určit) za období 2018 - 2023



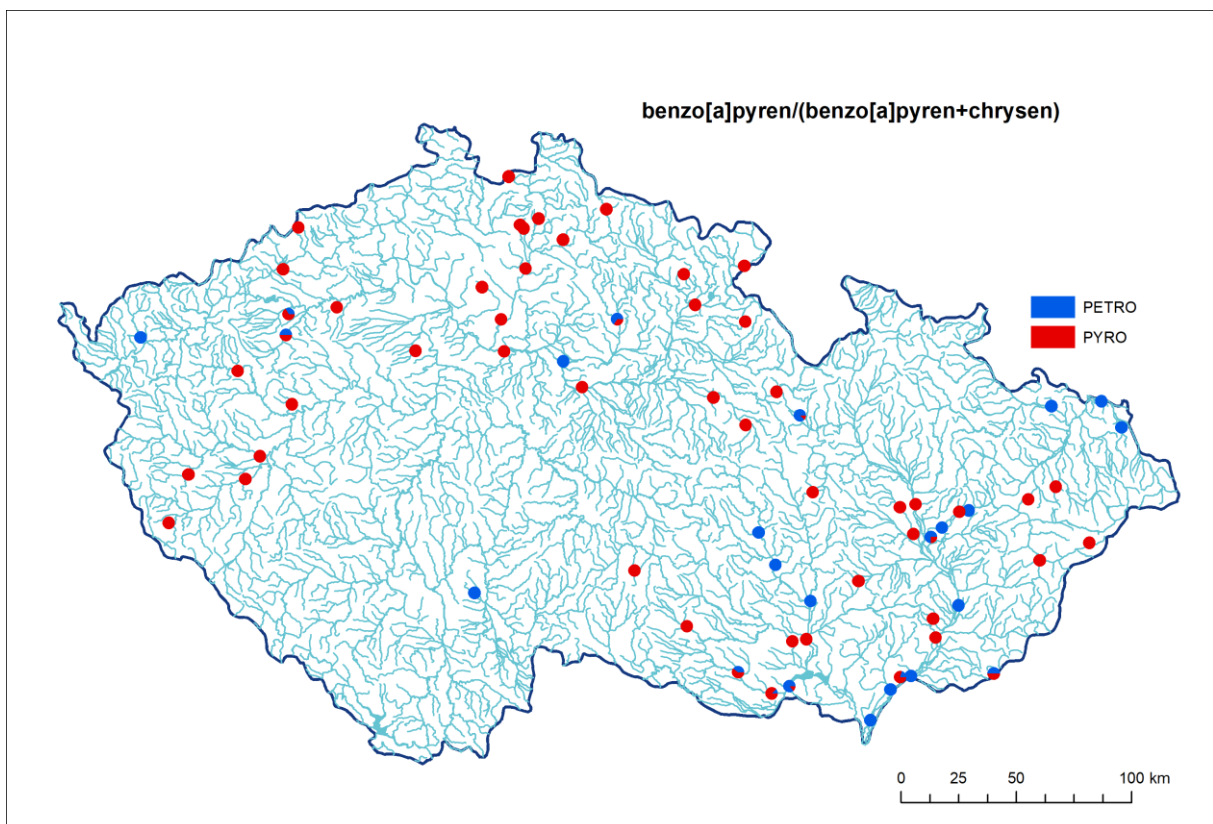
Obrázek 33: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v podzemních vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru antracen/(antracen + fenantren)



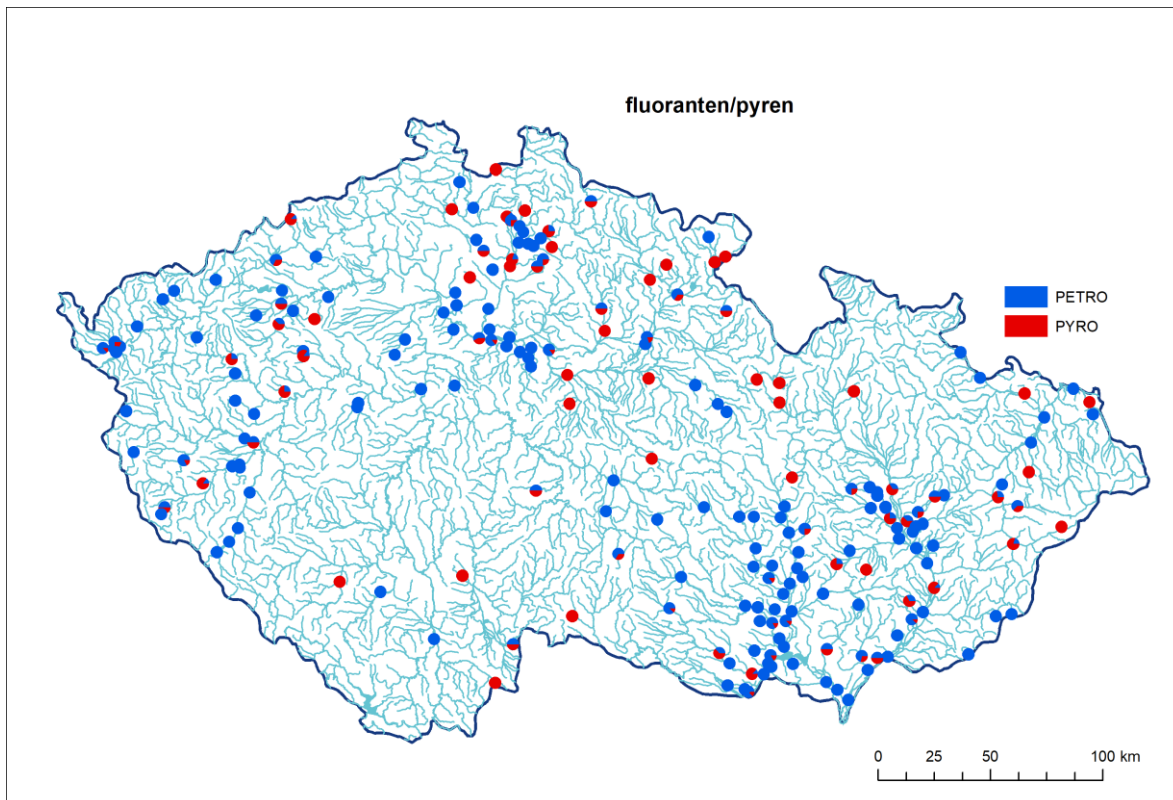
Obrázek 34: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v podzemních vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru Σ pyrogenních PAU/ Σ všech PAU



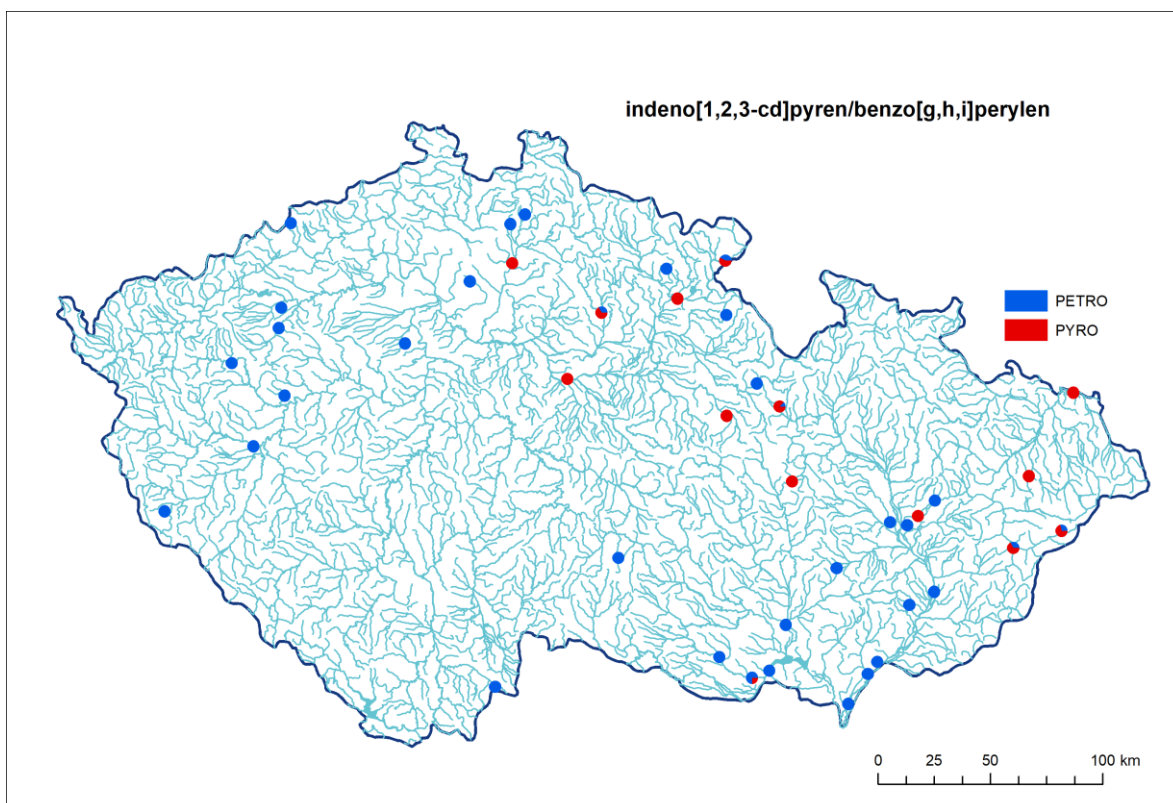
Obrázek 35: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v podzemních vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru benzo(a)antracén/(benzo(a)antracén + chrysen)



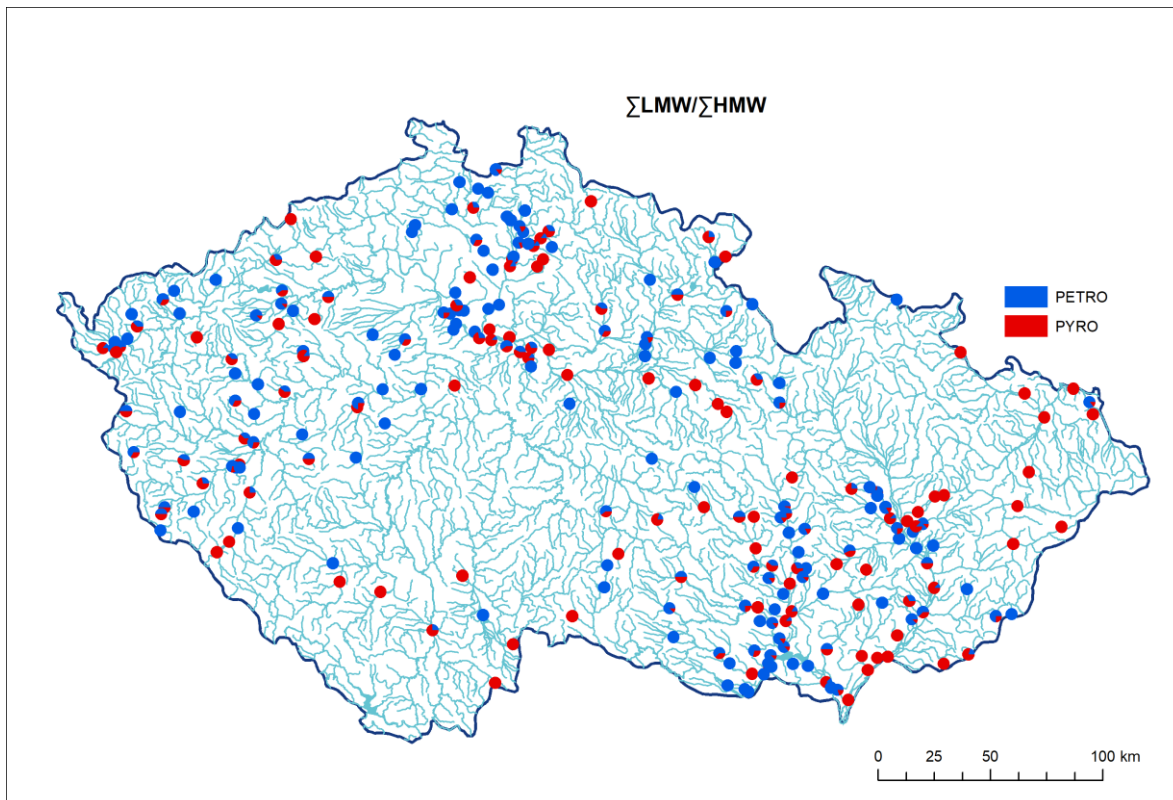
Obrázek 36: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v podzemních vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru benzo(a)pyren/(benzo(a)pyren + chrysen)



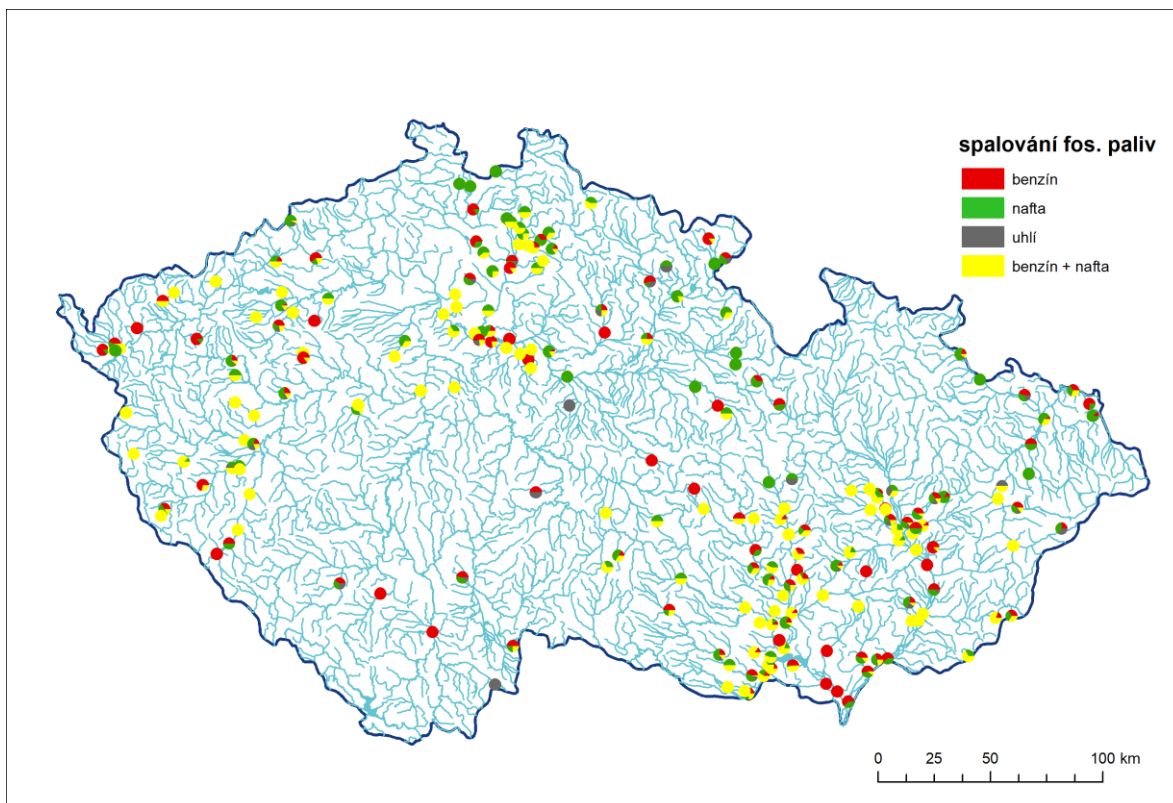
Obrázek 37: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v podzemních vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru fluoranten/pyren



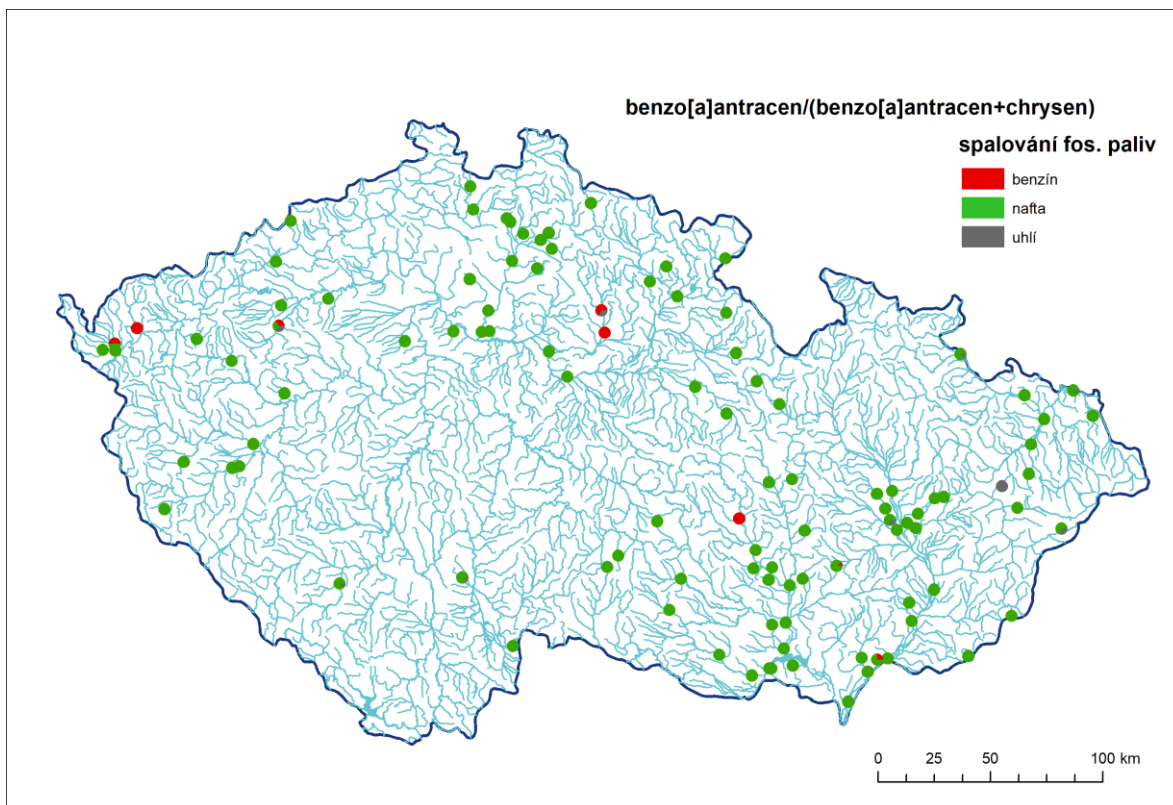
Obrázek 38: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v podzemních vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru indeno(1,2,3-c,d)pyren /benzo(g,h,i)perylene



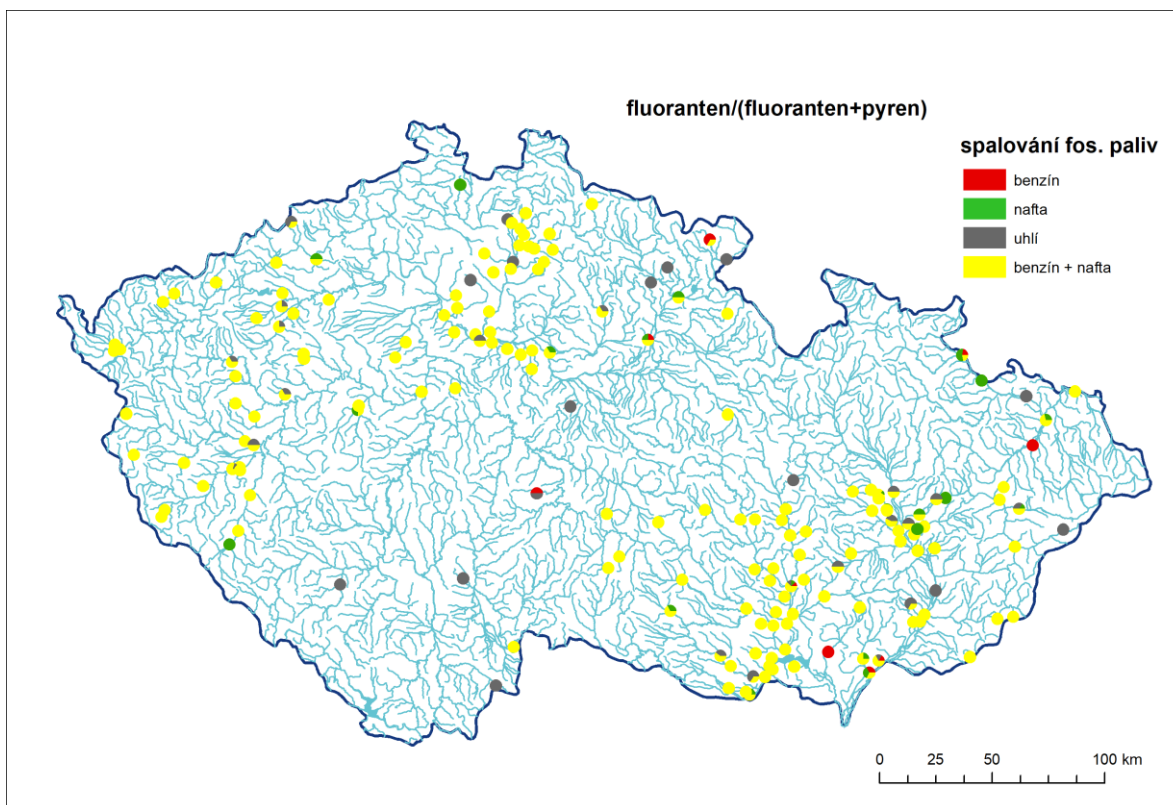
Obrázek 39: Rozložení PYRO (pyrogenních) a PETRO (petrogenních) zdrojů PAU v podzemních vodách za období 2018 - 2023 vycházející z poměru $\Sigma\text{nízkomolek. PAU} / \Sigma\text{vysokomolek. PAU}$



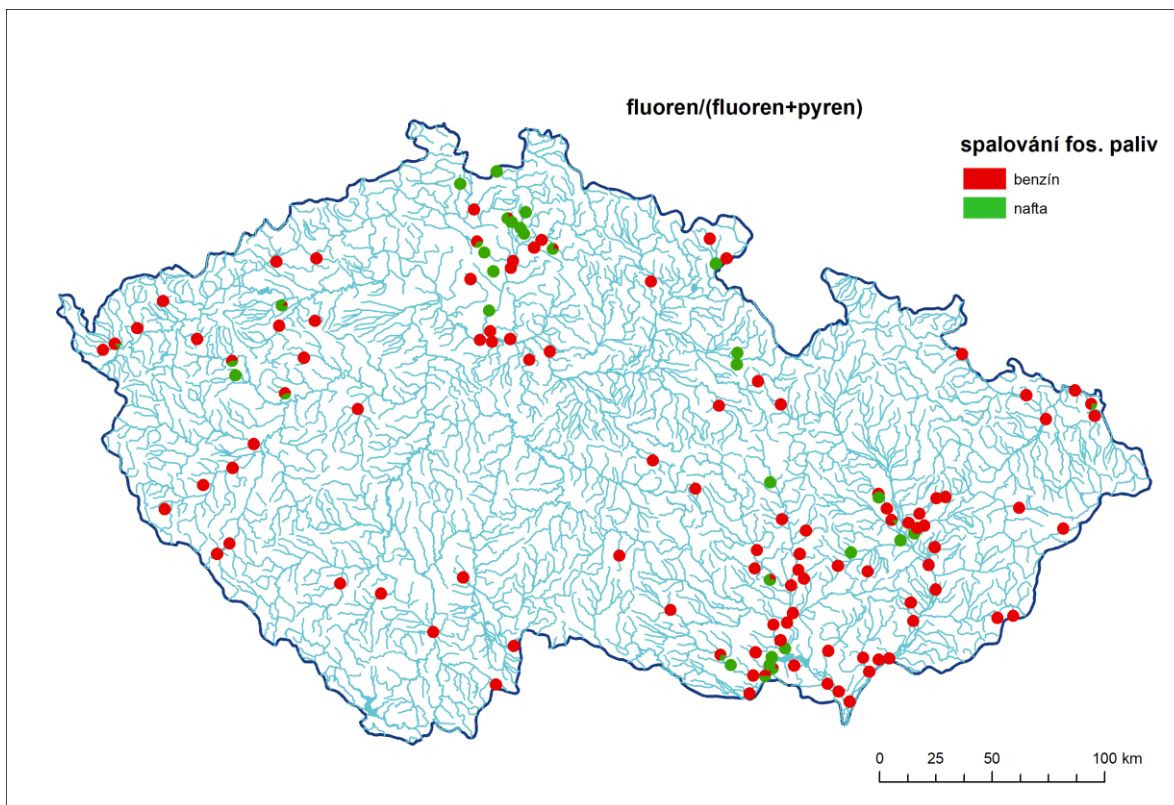
Obrázek 40: Rozložení zdrojů pyrogenních PAU na všech profilech podzemních vod pro kategorie: spalování benzínu, nafty a uhlí za období 2018 – 2023 vycházející z dostupných diagnostických poměrů použitých na obrázcích 41 – 44.



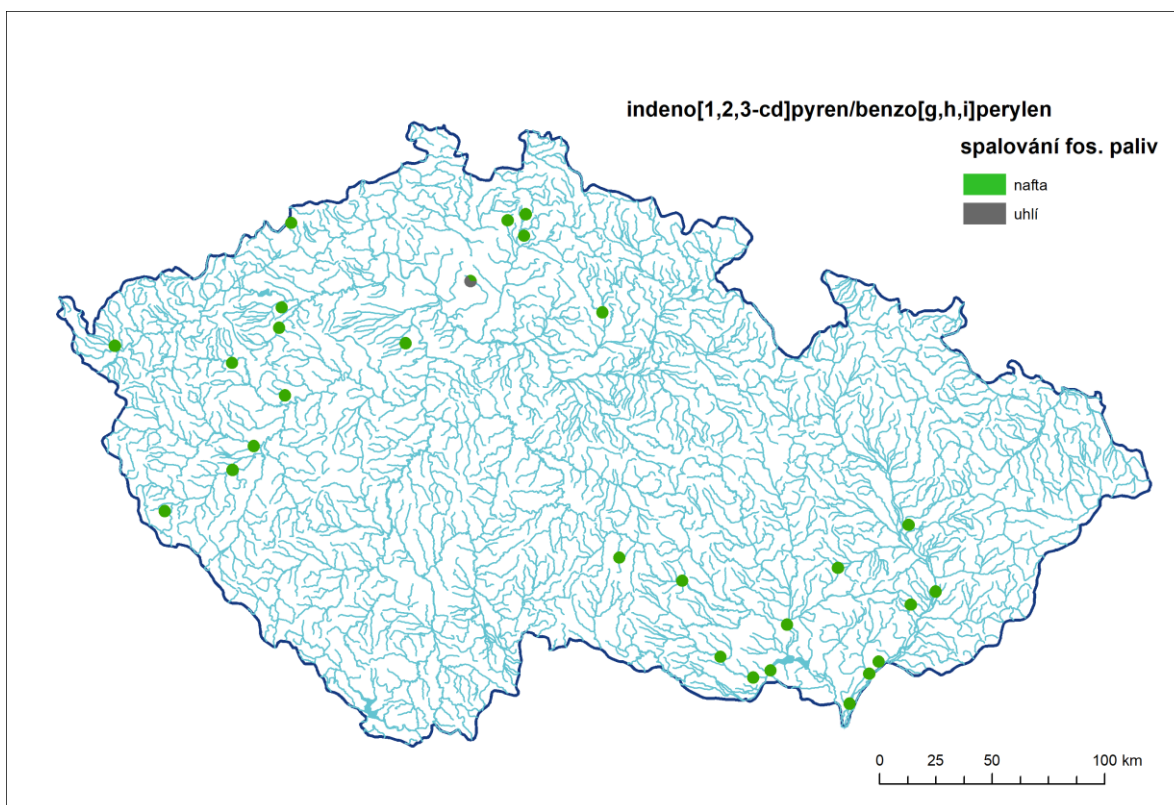
Obrázek 41: Rozložení zdrojů pyrogenních PAU na profilech povrchových vod pro kategorie: spalování benzínu, nafty a uhlí za období 2018 – 2023 vycházející z poměru benzo(a)antracen/(benzo(a)antracen + chrysen)



Obrázek 42: Rozložení zdrojů pyrogenních PAU na profilech povrchových vod pro kategorie: spalování benzínu, nafty a uhlí za období 2018 – 2023 vycházející z poměru fluoranten/(fluoranten + pyren)



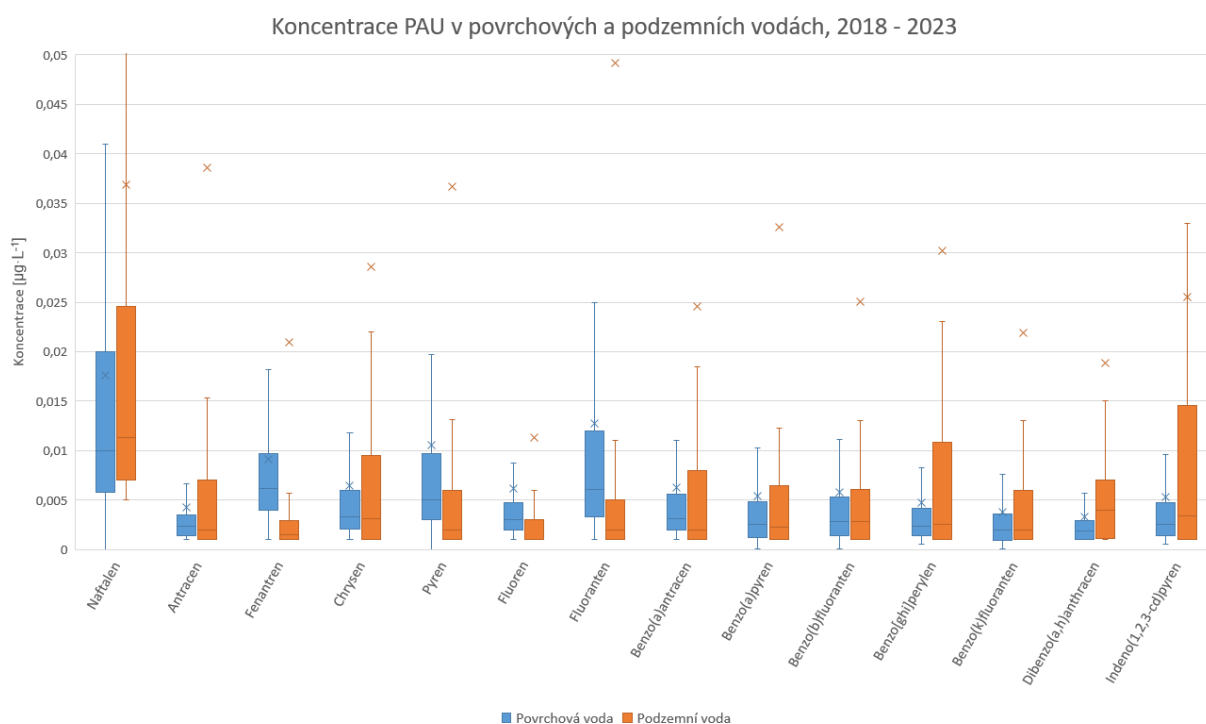
Obrázek 43: Rozložení zdrojů pyrogenních PAU na profilech povrchových vod pro kategorie: spalování benzínu, nafty a uhlí za období 2018 – 2023 vycházející z poměru fluoren/(fluoren + pyren)



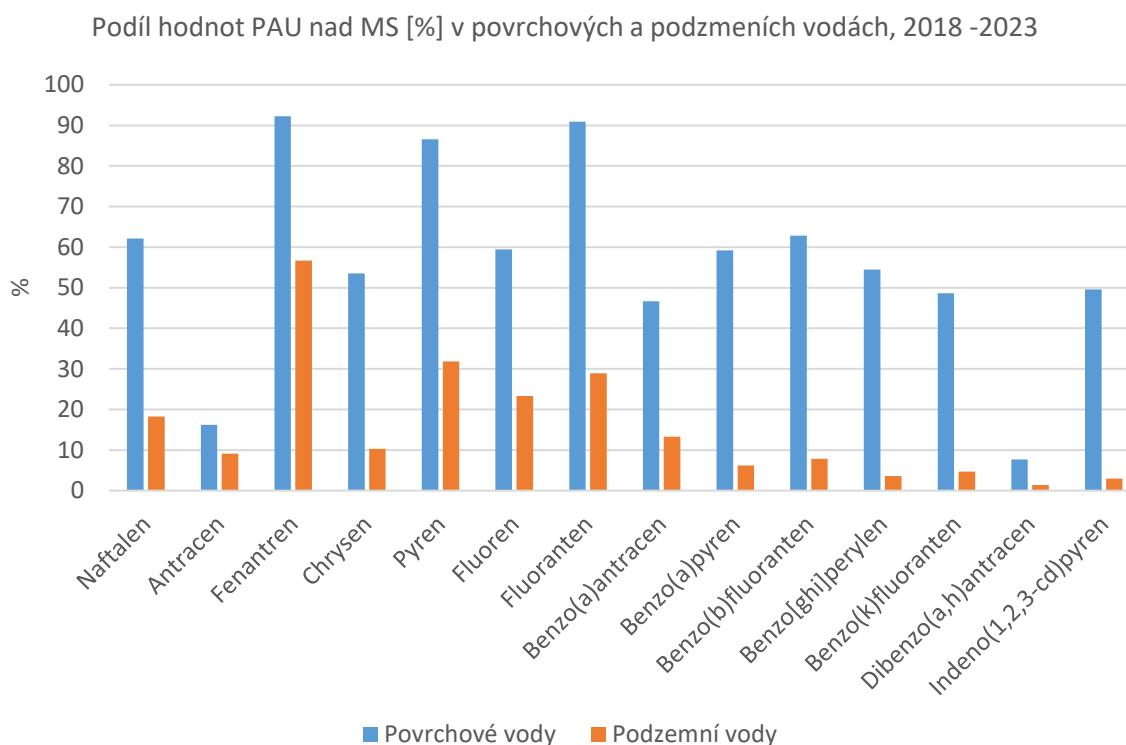
Obrázek 44: Rozložení zdrojů pyrogenních PAU na profilech povrchových vod pro kategorie: spalování benzínu, nafty a uhlí za období 2018 – 2023 vycházející z poměru indeno(1,2,3-c,d)pyren /benzo(g,h,i)perylene

4.3 Rozdíly mezi povrchovými a podzemními vodami

Zatížení podzemních vod se od povrchových z části liší. Vliv na různou identifikaci zdrojů PAU v rámci povrchových a podzemních vod pravděpodobně může mít fakt, že PAU se v povrchových vodách stanovují v nefiltrovaném vzorku (stanovují se i PAU nasorbované na nerozpuštěných látkách) a naopak v podzemních vodách mohou být koncentrace PAU ovlivněny tím, že při infiltraci přes nenasaturovanou zónu dochází k sorpci PAU na půdní a horninové částice a ty pak v podzemních vodách nejsou přítomny v takové míře. Porovnání koncentrací jednotlivých PAU v povrchových a podzemních vodách je shrnuto na Obrázku 45 a jejich zastoupení nad mezí stanovitelnosti na Obrázku 46.



Obrázek 45: Koncentrace jednotlivých PAU v podzemních a povrchových vodách za období 2018 – 2023. V grafu nejsou zobrazeny odlehle hodnoty



Obrázek 46: Procentuální podíl jednotlivých PAU vyskytujících se nad MS ve vzorcích odebraných za období 2018 - 2023

5 Závěr

Celkové výsledky ukazují, že v rámci ČR převažuje znečištění pyrogenními PAU ve všech matricích vodního prostředí. Nejvyšší podíl PAU pyrogenního původu se vyskytuje v abiotických matricích. Petrogenní PAU jsou v nejvyšší míře zastoupeny v podzemní vodě a SPMD a dosahují v průměru 20 % z celkového množství PAU. Jako nejméně vhodná matrice se jeví rybí plůdek, kde se za sledované období vyskytoval nejnižší počet hodnot nad MS, což může být způsobeno částečnou metabolizací PAU v rybím organismu.

Při podrobnějším zaměření na profily povrchových vod ukazují největší podíl pyrogenního znečištění poměry $ANT/(ANT+FEN)$, $B[a]P/(B[a]P+CHR)$ a FLT/PYR . Naopak větší zastoupení petrogenního znečištění vychází z poměrů $I[123cd]P/B[ghi]P$ a $\sum LMW/\sum HMW$. Petrogenní znečištění převažuje na profilech povodí Ohře. V rámci konkrétních zdrojů pyrogenního znečištění – spalování fosilních paliv je rozložení na území ČR závislé spíše na použitém poměru než na konkrétní oblasti. Zastoupení zdrojů PAU v podzemních vodách se v některých případech liší, což může být způsobeno více faktory (počet vzorků nad MS, rozpustnost ve vodě, geologické podloží).

Pro co nejpřesnější odhad zdroje znečištění je důležité použití více diagnostických poměrů, jelikož různé poměry se mohou chovat odlišně v závislosti na typu matrice. Pro pevné matrice se jeví jako nejvhodnější poměry ty, kde jsou pro výpočet použity PAU vyšší molekulové hmotnosti a naopak pro povrchovou a podzemní vodu jsou vhodnější ty s nízkomolekulárními PAU. Univerzálně použitelným poměrem pro všechny matrice z hlediska rozlišení mezi pyrogenními a petrogenními zdroji PAU je poměr $\sum LMW/\sum HMW$.

Příloha č. 1



Obrázek 477: Mapa profilů pro matrice povrchových vod

Příloha č. 2

Tabulka 3: Přehled použitých diagnostických poměrů

Diagnostic Ratios	Ratio Value Range	Emission Source	Reference
anthracene/anthracene + phenanthrene	0,04	Petrogenic - Kerosene	Yunker et al. 2002
	0,07	Petrogenic - Crude oil	
	0,08	Pyrogenic - Brown Coal, Lignite	
	0,09 ± 0,05	Petrogenic - Diesel oil	
	<0,1	Petrogenic	Tobiszewski and Namiesnik, 2012; Sulej et al. 2011; Ray et al., 2008; Ahmed et al. 2017; Yunker et al.,2002
	>0,1	Pyrogenic (Coal, Diesel combustion)	Liu et al.,2017; (Yunker et al., 2002)
	0,1-0,5	Pyrogenic - Petroleum (0,22)	
	0,11	Pyrogenic - Gasoline	Yunker et al. 2002
	0,11 ± 0,05	Pyrogenic - Diesel	
	0,17 ± 0,04	Pyrogenic - Grass	
	0,19 ± 0,04	Pyrogenic - Wood	
	0,2 ± 0,13	Petrogenic - Coal	
	0,26	Pyrogenic - Wood soot	
	0,33	Pyrogenic - Bituminous coal	
>0,5	Pyrogenic - Grass, wood, and charcoal combustion	Liu et al.,2017; Yunker et al., 2002	
benzo(a)anthracene/ (benzo(a)anthracene + chrysene)*	0,12 ± 0,06	Petrogenic - Crude oil	Yunker et al. 2002
	<0,2	Petrogenic (Petroleum)	Tobiszewski and Namiesnik, 2012; Sanli et al.,2023; Yunker et al. 2002
	0,2-0,35	Pyrogenic - Coal or Petroleum Combustion	Tobiszewski and Namiesnik, 2012
	0,2-0,35	Mixed sources (liquid fossil fuel combustion, vehicle and crude oil spillage)	Baran et al. 2021 (Jiao et al. 2015; Klimkowicz-Pawlas et al. 2017)
	0,2 - 0,45	Coal pyrolysis	Sushkova et al, 2020
	0,3-0,6	Cement Production	Tobiszewski and Namiesnik, 2012
	0,33 - 0,38	Pyrogenic - Gasoline	Yunker et al. 2002
	~0,35	Petrogenic - Kerosene, Diesel oil	
	>0,35	Pyrogenic	Udolfia et al, 2021
	>0,35	Pyrogenic - Solid fuel (grass, wood, coal) combustion, Vehicular Emissions	Tobiszewski and Namiesnik, 2012; Zeng and Vista, 1997; Eleren et al, 2022
	0,43 - 0,46	Pyrogenic - Wood, Wood soot, Grass	Yunker et al. 2002
	0,44	Pyrogenic - Brown Coal, Lignite	Sushkova et al, 2020
	>0,45	Car emissions	
	0,36 - 0,53	PM emission sources from biomass and peat burning	Nim et al., 2023
0,38 - 0 65	Diesel (PM, pyrogenic)	Oliveira et al. 2011	
0,5	Petrogenic - Asphalt	Yunker et al. 2002	
benzo(a)anthracene/benzo(a)pyrene	~1	Pyrogenic - Wood combustion	Stogiannidis et al., 2015
benzo(a)pyrene/chrysene	0,4	Gasoline exhausts	Uribe et al., 2023
	~1	Diesel exhausts	
benzo(a)pyrene/ benzo(a)pyrene + chrysene)	<0,2	Petrogenic	Zhang et al. 2005, 2007
	>0,35	Pyrogenic	Nim et al., 2023
0,39 -0,75	PM emission sources from biomass and peat burning		

Diagnostic Ratios	Ratio Value Range	Emission Source	Reference
benzo(b)fluoranthene/benzo(k)fluoranthene	>0,5	Pyrogenic - Diesel Combustion	Uribe et al., 2023
	0,9	Pyrogenic - Wood soot	Stogiannidis et al., 2015
	1,2	Pyrogenic - Creosote	
	1,3	Pyrogenic - Motor vehicles	
	2,5-2,9	Aluminum Smelter Emissions	Tobiszewski and Namiesnik, 2012
fluorene/(fluorene + pyrene)	<0,5	Pyrogenic - Petroleum Combustion (Gasoline)	Tobiszewski and Namiesnik, 2012, Ravindra et al., 2008
	>0,5	Pyrogenic - Diesel Combustion	
fluoranthene/benzo[b]fluoranthene	<1	Gasoline (PM, pyrogenic)	Pereira et al., 2023
	>>1	Diesel (PM, pyrogenic)	
fluoranthene/(fluoranthene + pyrene)*	0,1-0,5	Pyrogenic - Grass, wood, and charcoal combustion	Liu et al., 2017; Yunker et al., 2002
	0,2 - 0,4	Petrogenic - Oil (Diesel, Crude, Shale, Lubricating oil etc.)	
	~0,4	Pyrogenic - Diesel	Yunker et al. 2002
	0,44	Pyrogenic - Gasoline, Crude oil	
	0,46	Petrogenic - Kerosene	
	<0,4	Petrogenic	Tobiszewski and Namiesnik, 2012; Sulej et al., 2011
	0,4-0,5	Mixed sources (liquid fossil fuel combustion, vehicle and crude oil spillage)	Baran et al. 2021 (Jiao et al. 2015; Klimkowicz-Pawlas et al. 2017)
	0,4-0,5	Cement Production, Metal Manufacturing, Fertilizer Production, Diesel Combustion, Road Dusts	Tobiszewski and Namiesnik, 2012
		Pyrogenic - Petroleum Combustion (Diesel)	Ray et al., 2008
		Pyrogenic - Fossil Fuel Combustion (Liquid)	Tobiszewski and Namiesnik, 2012; Yunker et al. 2002
	<0,5	Pyrogenic	Sulej et al., 2011
	<0,5	Petroleum Combustion	Yunker et al. 2002
	~0,5	Pyrogenic - Wood, Wood soot, Kerosene	
	~0,55	Pyrogenic - Bituminous coal, Hard coal briquettes, Coal tar, Grasses	Tobiszewski and Namiesnik, 2012; Yunker et al. 2002
	>0,5	Pyrogenic - Grass, Wood, (biomass) Coal Combustion	
>0,5	Pyrogenic ; Diesel Combustion	Sulej et al., 2011	
0,6	Biogenic - Savanna and bush fire particulate	Yunker et al. 2002	
~0,7	Pyrogenic - Lignite and brown coal		
fluoranthene/pyrene	<0,5	Petrogenic	Fernandes et al. 2023 (Stogiannidis et al. 2015)
	0,5 - 1	Mixed sources	
	<1	Petrogenic ; Crude Oil	Sulej et al., 2011
	>1	Pyrogenic (Automobile Traffic and Residential Heating)	Sulej et al., 2011; Zeng and Vista, 1997
indeno(1,2,3-c,d)pyrene/benzo(g,h,i)perylene	<0,25	Petrogenic	Stogiannidis et al., 2015
	>0,25	Pyrogenic (exceptions: used lubricants, combustion of gasoline/jet fuel, and occasionally of diesel)	
	0,25 - 1	Mixed sources	
	~0,9	Pyrogenic - Coal Combustion	Kozáková (DP), 2008 (Bucheli et al, 2004)
	~1	Pyrogenic - Diesel	Ravindra et al., 2008
	>1	Pyrogenic	Stogiannidis et al., 2015

Diagnostic Ratios	Ratio Value Range	Emission Source	Reference
indeno(1,2,3-c,d)pyrene/ (indeno(1,2,3-c,d)pyrene + benzo(g,h,i)perylene)*	0,18	Petroleum Combustion	Sulej et al., 2011
	<0,2	Petrogenic	Tobiszewski and Namiesnik, 2012; Yunker et al. 2002
	<0,2	Petrogenic - Asphalt, tire particles, motor oils, uncombusted fuels	Eleren et al, 2022
	>0,2	Pyrogenic	Katsoyiannis et al. 2014
	0,2-0,5	Petroleum Combustion (liquid fossil fuel combustion)	Tobiszewski and Namiesnik, 2012
	0,2-0,5	Mixed sources (liquid fossil fuel combustion, vehicle and crude oil spillage)	Baran et al. 2021 (Jiao et al. 2015; Klimkowicz-Pawlas et al. 2017)
	0,32	Pyrogenic - Natural gas combustion	Eleren et al, 2022
	~0,35	Pyrogenic - Diesel, Kerosene	Yunker et al. 2002
	0,35 - 0,7	Diesel emissions	Ravindra et al., 2008
	~0,4	Petrogenic - Diesel oil, shale oil	Yunker et al. 2002
	0,4 - 0,5	Pyrogenic - Fuel combustion	Rocha et al. 2021
	0,42	Pyrogenic - Wood combustion	Eleren et al, 2022
	~ 0,47	Pyrogenic - Crude oil	Yunker et al. 2002
	0,48	Petrogenic - Kerosene, Pyrogenic - Bituminous coal	
	0,48-0,57	Pyrogenic - Coal Combustion	Sulej et al., 2011
	>0,5	Pyrogenic - Grass, Wood, Coal Combustion (solid fossil fuel combustion)	Tobiszewski and Namiesnik, 2012
	0,52 - 0,54	Petrogenic - Asphalt	Yunker et al. 2002
	0,55	Pyrogenic - Wood soot	
	0,56	Pyrogenic - Coal Soot	Sulej et al., 2011
	0,57	Pyrogenic - Lignite and brown coal, Grasses	Yunker et al. 2002
0,62	Pyrogenic - Wood burning	Ravindra et al., 2008; Yunker et al. 2002	
phenanthrene/anthracene	<5	Pyrogenic (not gasoline fuels)	Stogiannidis et al., 2015
	>5	Petrogenic	Zeng and Vista, 1997
	5 - 10	Mixed source profile	Stogiannidis et al., 2015
	<10	Pyrogenic	Sulej et al., 2011; Eleren et al, 2022; Mali et al., 2017
	>10	Petrogenic	Sulej et al., 2011; Mali et al., 2017
	>15	Petrogenic (Crude Oil)	Eleren et al, 2022; Sulej et al., 2011
	>25	Petrogenic	Sulej et al., 2011
	10 - 30	Mixed source profile or petrogenic source if creosote, diesel and coal combustion are ruled out	Stogiannidis et al., 2015
	>30	Petrogenic - Crude Oil contamination	Stogiannidis et al., 2015
	50	Petrogenic - Fuel Oil (old contamination)	Sulej et al., 2011; Stogiannidis et al., 2015
pyrene/benzo(a)pyrene	~0,7	Pyrogenic - Wood combustion	Stogiannidis et al., 2015
	~1	Pyrogenic - Gasoline emissions	
	~10	Pyrogenic - Diesel emissions	
	>10	Petrogenic	
pyrene/benzo[b]fluoranthene	<1	Gasoline (PM, pyrogenic)	Pereira et al., 2023
	>>1	Diesel (PM, pyrogenic)	

Diagnostic Ratios	Ratio Value Range	Emission Source	Reference
$\Sigma\text{COMB}/\Sigma\text{PAHs}$ =(fluoranthene + pyrene + benzo[a]anthracene + chrysene + benzo[k]fluoranthene + benzo[b]fluoranthene + benzo[a]pyrene + indeno[1,2,3-c,d]pyrene + benzo[g,h,i]perylene)/(ΣPAHs)	0,19 - 0,39	Petrogenic	Eleren et al, 2022
	< 0,3	Petrogenic - Petroleum	Stogiannidis et al., 2015
	0,8 - 0,9	Pyrogenic - Coal burning	Eleren et al, 2022
	> 0,7	Pyrogenic	Stogiannidis et al., 2015
	~1	Combustion	Tobiszewski and Namiesnik, 2012
$\Sigma\text{LMW}/\Sigma\text{HMW (16EPA)}$ =(naftalen + fluoren + fenantren + antracen + acenaftilen + acenaften)/ (fluoranthen + pyren + chrysen + benzo(a)antracen +benzo(a)pyren + benzo(b)fluoranthen + benzo(g,h,i)perylen + benzo(k)fluoranthen + dibenzo(a,h)antracen + indeno(1,2,3-c,d)pyren)	0,2 - 0,4	Degradation or pyrogenic sources	Stogiannidis et al., 2015
	< 1	Pyrogenic	Tobiszewski and Namiesnik, 2012
	> 1	Petrogenic	
	> 2,3	Recent input of petrogenic products, petroleum	Stogiannidis et al., 2015

Reference

- Aigberua, A. O., & Seiyaboh, E. I. (2021). Distribution Trends and Source Diagnosis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Sediments of Imiringi River. *Current World Environment*, 16(2), 607–621. <https://doi.org/10.12944/cwe.16.2.25>
- Al-Saad, H., Farid, W., & Abdul-Ameer, W. (2019). Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils along the Shatt Al-Arab River delta in southern Iraq. *Soil and Water Research*, 14(2), 84–93. <https://doi.org/10.17221/38/2018-SWR>
- Anders, L., Schade, J., Rosewig, E. I., Kröger-Badge, T., Irsig, R., Jeong, S., Bendl, J., Saraji-Bozorgzad, M. R., Huang, J. H., Zhang, F. Y., Wang, C. C., Adam, T., Sklorz, M., Etzien, U., Buchholz, B., Czech, H., Streibel, T., Passig, J., & Zimmermann, R. (2023). Detection of ship emissions from distillate fuel operation via single-particle profiling of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Science: Atmospheres*, 3(8), 1134–1144. <https://doi.org/10.1039/d3ea00056g>
- Arnesen, K., Vachaparambil, K. J., Andersen, V., Panjwani, B., Jakovljevic, K., Enge, E. K., Gaertner, H., Aarhaug, T. A., Einarsrud, K. E., & Tranell, G. (2023). Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Emissions from a Pilot Scale Silicon Process with Flue Gas Recirculation. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 62(19), 7525–7538. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.2c04578>
- Baran, A., Klimkowicz-Pawlas, A., Ukalska-Jaruga, A., Mierzwa-Hersztek, M., Gondek, K., Szara-Bąk, M., Tarnawski, M., Spałek, I., & Schwarzbauer, J. (n.d.). *SEDIMENTS, SEC 1 • SEDIMENT QUALITY AND IMPACT ASSESSMENT • Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the bottom sediments of a dam reservoir, their interaction with organic matter and risk to benthic fauna*. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-02968-1/Published>
- Bateni, F., Mehdiinia, A., Lundin, L., & Hashtroudi, M. S. (2022). Distribution, source and ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of northern part of the Persian Gulf. *Chemosphere*, 295. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133859>
- Baumard, P., Budzinski, H., Garrigues, P., Sorbe, J. C., & Bellocq, J. (1998). Concentrations of PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) in Various Marine Organisms in Relation to those in Sediments and to Trophic Level. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 36, Issue 12).
- Baumard, P., Budzinski, H., Michon, Q., Garrigues, P., Burgeot, T., & Bellocq, J. (1998). Origin and Bioavailability of PAHs in the Mediterranean Sea from Mussel and Sediment Records. In *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (Vol. 47).
- Benito, D., Guls, H. D., Halldórsson, H. P., Ciesielski, T. M., Izagirre, U., Lekube, X., Etxebarria, N., Marigómez, I., Zaldibar, B., & Soto, M. (2023). Integrated assessment of biological responses to pollution in wild mussels (*Mytilus edulis*) from subarctic and arctic areas in the Norwegian sea. *Environmental Pollution*, 336. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122454>
- Benlahcen, K. T., Chaoui, A., Budzinski, H., Bellocq, J., & Garrigues, P. H. (1997). Distribution and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in some Mediterranean Coastal Sediments. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 34, Issue 5).
- Bertolotto, R. M., Ghioni, F., Frignani, M., Alvarado-Aguilar, D., Bellucci, L. G., Cuneo, C., Picca, M. R., & Gollo, E. (n.d.). *Polycyclic aromatic hydrocarbons in surficial coastal sediments of the Ligurian Sea*.
- Boente, C., Baragaño, D., & Gallego, J. R. (2020). Benzo[a]pyrene sourcing and abundance in a coal region in transition reveals historical pollution, rendering soil screening levels impractical. *Environmental Pollution*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115341>
- Borgulat, J., & Borgulat, A. (2023). Biomonitoring of atmospheric PAHs using fir and spruce needles in forests in the vicinity of mountain villages. *Environmental Pollution*, 330. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121814>
- Budzinski, H., Jones, I., Bellocq, J., Picard, C., & Garrigues, P. (1997). Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. In *Marine Chemistry* (Vol. 58).
- Caliskan Eleren, S., & Tasdemir, Y. (2022). Usage of Needle and Branches in the Applications of Bioindicator, Source Apportionment and Risk Assessment of PAHs. *Atmosphere*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/atmos13111938>
- Canle, M., & Antão-Geraldes, A. M. (2023). A Snapshot on the Occurrence and Risk Assessment of Organic Pollutants in an Urban River. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/app13010146>

- Capozzi, F., Adamo, P., Spagnuolo, V., & Giordano, S. (2021). Field comparison between moss and lichen PAHs uptake abilities based on deposition fluxes and diagnostic ratios. *Ecological Indicators*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106954>
- Cecinato, A., Bacaloni, A., Romagnoli, P., Perilli, M., & Balducci, C. (n.d.). *Indexes of tobacco smoke contribution to environmental particulates based on molecular fingerprints of alkanes*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16617-0/Published>
- Cecinato, A., Bacaloni, A., Romagnoli, P., Perilli, M., & Balducci, C. (2022). Molecular signatures of organic particulates as tracers of emission sources. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 29, Issue 44, pp. 65904–65923). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21531-0>
- Chen, S., Chen, J., Zhang, Y., Lin, J., Bi, H., Song, H., Chen, Y., Lian, L., Liu, C., & Zhang, R. (2023). Anthropogenic dust: sources, characteristics and emissions. In *Environmental Research Letters* (Vol. 18, Issue 10). Institute of Physics. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acf479>
- de Luca, G., Furesi, A., Micera, G., Panzanelli, A., Piu, P. C., Pilo, M. I., Spano, N., & Sanna, G. (2005). Nature, distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the sediments of Olbia harbor (Northern Sardinia, Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 50(11), 1223–1232. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.04.021>
- Deelman, W., Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Suttinun, O., Choochuay, C., Iadtem, N., Charoenkalunyuta, T., & Promdee, K. (2020). Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the terrestrial soils of King George Island, Antarctica. *Journal of South American Earth Sciences*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102832>
- dos Santos, M. M., Brehm, F. de A., Filipe, T. C., Reichert, G., & de Azevedo, J. C. R. (2017). Relações diagnósticas de HPAs para distinção de fontes petrogênicas e pirogênicas: Aplicabilidade na Bacia do Alto Rio Iguaçú - Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 22. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011716084>
- dos Santos Rodrigues, C. C., Santos, L. G. G. V., Santos, E., Damasceno, F. C., & Corrêa, J. A. M. (2018). Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Amazon River Estuary (Amapá, Northern Brazil): Distribution, sources and potential ecological risk. *Marine Pollution Bulletin*, 135, 769–775. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.053>
- Edward, Yogaswara, D., Khozanah, Wulandari, I., & Falahudin, D. (2020). Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Brackish Water and Sediments of Citarum Irrigation System, Pakis Jaya, Karawang, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 147. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014702002>
- Famiyeh, Lord, Chen, K., Xu, J., Sun, Y., Guo, Q., Wang, C., Lv, J., Tang, Y. T., Yu, H., Snape, C., & He, J. (2021). A review on analysis methods, source identification, and cancer risk evaluation of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons. In *Science of the Total Environment* (Vol. 789). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147741>
- Fernandes, G. M., Martins, D. de A., de Oliveira, A. H. B., de Lima, M. F. B., Reddy, C. M., Nelson, R. K., & Cavalcante, R. M. (2023). Hydrocarbon markers for assessing the influence of human activities in the tropical semi-arid region (Acará River, state of Ceará, Brazil). *Chemosphere*, 344. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140227>
- Finizio, A., Grenni, P., Petrangeli, A. B., Barra Caracciolo, A., Santoro, S., & di Guardo, A. (2022). Use of large datasets of measured environmental concentrations for the ecological risk assessment of chemical mixtures in Italian streams: A case study. *Science of the Total Environment*, 806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150614>
- Froger, C., Saby, N. P. A., Jolivet, C. C., Boulonne, L., Caria, G., Freulon, X., de Fouquet, C., Roussel, H., Marot, F., & Bispo, A. (2021). Spatial variations, origins, and risk assessments of polycyclic aromatic hydrocarbons in French soils. *SOIL*, 7(1), 161–178. <https://doi.org/10.5194/soil-7-161-2021>
- Galbán-Malagón, C. J., Zapata, J., Perez-Venegas, D. J., Vargas, R., Latorre-Padilla, N., Luarte, T., Ahrendt, C., Hirmas-Olivares, A., Gómez-Aburto, V., Tapia, P., Isamit, V., Arce, P., Sánchez, C., & Pozo, K. (2023). Occurrence, source estimation, and risk assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in coastal seawaters from the Quintero Industrial Complex (Valparaíso, Chile). *Science of the Total Environment*, 878. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162957>
- Garagnon, J., Perrette, Y., Naffrechoux, E., & Pons-Branchu, E. (2023). Polycyclic aromatic hydrocarbon record in an urban secondary carbonate deposit over the last three centuries (Paris, France). *Science of the Total Environment*, 905. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167429>
- Gardes, T., Portet-Koltalo, F., Debret, M., Humbert, K., Levailant, R., Simon, M., & Copard, Y. (2020). Temporal trends, sources, and relationships between sediment characteristics and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and

- polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediment cores from the major Seine estuary tributary, France. *Applied Geochemistry*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104749>
- Ghetu, C. C., Scott, R. P., Wilson, G., Liu-May, R., & Anderson, K. A. (n.d.). *Improvements in identification and quantitation of alkylated PAHs and forensic ratio sourcing*. <https://doi.org/10.1007/s00216-020-03127-0/Published>
- Gogou, A. I., Apostolaki, M., & Stephanou, E. G. (1998). Determination of organic molecular markers in marine aerosols and sediments: one-step flash chromatography compound class fractionation and capillary gas chromatographic analysis. In *Journal of Chromatography A* (Vol. 799).
- González-Gómez, X., Simal-Gándara, J., Fidalgo Alvarez, L. E., López-Beceiro, A. M., Pérez-López, M., & Martínez-Carballo, E. (2020). Non-invasive biomonitoring of organic pollutants using feather samples in feral pigeons (*Columba livia domestica*). *Environmental Pollution*, 267. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115672>
- Gosline, S. J. C., Kim, D. N., Pande, P., Thomas, D. G., Truong, L., Hoffman, P., Barton, M., Loftus, J., Moran, A., Hampton, S., Dowson, S., Franklin, L., Degnan, D., Anderson, L., Thessen, A., Tanguay, R. L., Anderson, K. A., & Waters, K. M. (2023). The Superfund Research Program Analytics Portal: linking environmental chemical exposure to biological phenotypes. *Scientific Data*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02021-5>
- Han, Y., Bandowe, B. A. M., Schneider, T., Pongpiachan, S., Ho, S. S. H., Wei, C., Wang, Q., Xing, L., & Wilcke, W. (2021). A 150-year record of black carbon (soot and char) and polycyclic aromatic compounds deposition in Lake Phayao, north Thailand. *Environmental Pollution*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116148>
- Hayakawa, K., Sakai, S., & Akutagawa, T. (2023). Sources Causing Long-Term and Seasonal Changes in Combustion-Derived Particulate Matter in the Urban Air of Sapporo, Japan, from 1990 to 2002. *Atmosphere*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/atmos14040646>
- He, Y., Song, K., Yang, C., He, W., Li, Y., & Xu, F. (2021). Geographical location and water depth are important driving factors for the differences of suspended particulate organic matter (SPOM) in lake environment across nationwide scale: Evidences from n-alkane fingerprints. *Science of the Total Environment*, 752. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142948>
- He, Y., Wang, X., & Zhang, Z. (2023). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a sediment core from Lake Taihu and their associations with sedimentary organic matter. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 129, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.09.013>
- Hellawell, E. E., O'Reilly, T., Hajjalizadeh, D., & Hughes, S. J. (2022). An analysis of PAH soil contamination in south east England: A case study leading to an evidence-based portfolio and process route map. *Geoderma Regional*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00533>
- Hughes, C. B., Brown, D. M., Camenzuli, L., Redman, A. D., Arey, J. S., Vione, D., Wang, N., & Vaiopoulou, E. (2020). Can a chemical be both readily biodegradable AND very persistent (vP)? Weight-of-evidence determination demonstrates that phenanthrene is not persistent in the environment. In *Environmental Sciences Europe* (Vol. 32, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00427-1>
- Iakovides, M., Apostolaki, M., & Stephanou, E. G. (2021). PAHs, PCBs and organochlorine pesticides in the atmosphere of Eastern Mediterranean: Investigation of their occurrence, sources and gas-particle partitioning in relation to air mass transport pathways. *Atmospheric Environment*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117931>
- Ilić, P., Ilić, S., Markić, D. N., Bjelić, L. S., Farooqi, Z. U. R., Sole, B., & Adimalla, N. (2021). Source Identification and Ecological Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils and Groundwater. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 28(3), 355–363. <https://doi.org/10.2478/eces-2021-0024>
- James, B. D., Reddy, C. M., Hahn, M. E., Nelson, R. K., de Vos, A., Aluwihare, L. I., Wade, T. L., Knap, A. H., & Bera, G. (2023). Fire and Oil Led to Complex Mixtures of PAHs on Burnt and Unburnt Plastic during the M/V X-Press Pearl Disaster. *ACS Environmental Au*, 3(5), 319–335. <https://doi.org/10.1021/acsenvironau.3c00011>
- Jia, C., Xue, Z., Fu, X., Sultana, F., Smith, L. J., Zhang, Y., Li, Y., & Liu, B. (2020). Impacts of Independence Day fireworks on pollution levels of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the U.S. *Science of the Total Environment*, 743. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140774>
- Jianrong, C., Yanjun, L., & Sujie, Y. (2022). The concentrations and sources of PAHs and PCBs in soil from an oil field and estuary in the Yellow River Delta, China. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1028299>

Jolly, Y. (2020). Contamination Status of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH s) In Atmospheric Particulate Matter PM2.5 Samples of a Semi-Residential Area of Dhaka, Bangladesh. *Global Journal of Nutrition & Food Science*, 3(2). <https://doi.org/10.33552/gjnf.2020.03.000560>

Kaislerová, E. (n.d.). MASARYKOVA UNIVERZITA V BRNĚ PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA CENTRUM PRO VÝZKUM TOXICKÝCH LÁTEK V PROSTŘEDÍ VLASTNOSTI, VÝSKYT A STANOVENÍ DERIVÁTŮ POLYCYKLICKÝCH AROMATICKÝCH UHLOVODÍKŮ V OVZDUŠÍ.

Karp, A. T., Holman, A. I., Hopper, P., Grice, K., & Freeman, K. H. (2020). Fire distinguishers: Refined interpretations of polycyclic aromatic hydrocarbons for paleo-applications. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 289, 93–113. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2020.08.024>

Katsoyiannis, A., & Breivik, K. (2014). Model-based evaluation of the use of polycyclic aromatic hydrocarbons molecular diagnostic ratios as a source identification tool. *Environmental Pollution*, 184, 488–494. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.09.028>

Kieta, K. A., Owens, P. N., Petticrew, E. L., French, T. D., Koiter, A. J., & Rutherford, P. M. (2023). Polycyclic aromatic hydrocarbons in terrestrial and aquatic environments following wildfire: a review. In *Environmental Reviews* (Vol. 31, Issue 1, pp. 141–167). Canadian Science Publishing. <https://doi.org/10.1139/er-2022-0055>

Kim, L., Jeon, H. J., Kim, Y. C., Yang, S. H., Choi, H., Kim, T. O., & Lee, S. E. (2019). Monitoring polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations and distributions in rice paddy soils from Gyeonggi-do, Ulsan, and Pohang. *Applied Biological Chemistry*, 62(1). <https://doi.org/10.1186/s13765-019-0423-7>

Kim, Y., Hong, S., Jun, L., Lee, Y., Kim, M., Yim, U. H., Khim, J. S., & Shin, K. H. (2023). Use of molecular composition and compound-specific isotope analysis for source appointment of PAHs in sediments of a highly industrialized area. *Environmental Pollution*, 337. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122546>

Kirchsteiger, B., Kubik, F., Sturmlechner, R., Stressler, H., Schwabl, M., Kistler, M., & Kasper-Giebl, A. (2021). Real-life emissions from residential wood combustion in Austria: From TSP emissions to PAH emission profiles, diagnostic ratios and toxic risk assessment. *Atmospheric Pollution Research*, 12(8). <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101127>

Kılıç, S., Kılıç, Belivermiş, M., & Ergül, H. A. (2023). Chronology of PAH and PCB pollution using sediment core in the Golden Horn estuary (Sea of Marmara). *Marine Pollution Bulletin*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114570>

Klingberg, J., Strandberg, B., Grundström, M., Sjöman, H., Wallin, G., & Pleijel, H. (2023). Variation in Polycyclic Aromatic Compound (PAC) Concentrations in a Norway Spruce Stand Close to a Major Traffic Route—Influence of Distance and Season. *Water, Air, and Soil Pollution*, 234(9). <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06520-4>

Kozáková Diplomová práce Vedoucí, K., Jana Klánová, D., & Republika, Č. (2008). MASARYKOVA UNIVERZITA PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA RECETOX VÝZKUMNÉ CENTRUM PRO CHEMII ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ A EKOTOXIKOLOGII Indikátory pro odhad zdrojů kontaminace prostředí polykondenzovanými aromatickými uhlovodíky.

Lakhani, A. (2012). Source apportionment of particle bound polycyclic aromatic hydrocarbons at an industrial location in Agra, India. *The Scientific World Journal*, 2012. <https://doi.org/10.1100/2012/781291>

Lang, X., He, X., Wang, Y., Chen, X., Zhang, M., Zhao, Z., & Sun, T. (2022). Spatial occurrence and sources of PAHs in sediments drive the ecological and health risk of Taihu Lake in China. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07507-7>

Lee, C. C., Chen, C. S., Wang, Z. X., & Tien, C. J. (2021). Polycyclic aromatic hydrocarbons in 30 river ecosystems, Taiwan: Sources, and ecological and human health risks. *Science of the Total Environment*, 795. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148867>

Lee, G., Jang, Y. C., Choi, K., Kim, H., Ji, S., Kim, B., Kwon, Y., & Shin, H. S. (2023). Occurrence, Distribution and Risk Assessment of PAHs in Road Dust Sediment in Daejeon Metropolitan City, South Korea. *Environmental Engineering Research*, 28(2). <https://doi.org/10.4491/eer.2022.043>

Li, R., Hua, P., Zhang, J., & Krebs, P. (2020). Characterizing and predicting the impact of vehicular emissions on the transport and fate of polycyclic aromatic hydrocarbons in environmental multimedia. *Journal of Cleaner Production*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122591>

- Li, S., Gao, X., Zhu, S., & Liang, H. (2024). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coal preparation plant products: A contributor to environmental pollution. *Science of the Total Environment*, 906. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167887>
- Li, Y., Bai, X., Ren, Y., Gao, R., Ji, Y., Wang, Y., & Li, H. (2022). PAHs and nitro-PAHs in urban Beijing from 2017 to 2018: Characteristics, sources, transformation mechanism and risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 436. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129143>
- Liang, M., Liang, H., Rao, Z., & Xu, D. (2020). Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in groundwater from rural areas in eastern China: Spatial distribution, source apportionment and health cancer risk assessment. *Chemosphere*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127534>
- Liao, K., & Yu, J. Z. (2020). Abundance and sources of benzo[a]pyrene and other PAHs in ambient air in Hong Kong: A review of 20-year measurements (1997–2016). *Chemosphere*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127518>
- Lin, X., Lin, L., Liao, Z., Wu, P., & Yang, C. (2023). Occurrence and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in marine organisms from Shenzhen coastal waters and human health risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115498>
- Liu, H., Li, B., Qi, H., Ma, L., Xu, J., Wang, M., Ma, W., Tian, C., & Yim, L. (2021). *Source Apportionment and Toxic Potency of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Air of Harbin, a Cold City in Northern China*. <https://doi.org/10.3390/atmos>
- Liu, M., Cheng, S. B., Ou, D. N., Hou, L. J., Gao, L., Wang, L. L., Xie, Y. S., Yang, Y., & Xu, S. Y. (2007). Characterization, identification of road dust PAHs in central Shanghai areas, China. *Atmospheric Environment*, 41(38), 8785–8795. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.07.059>
- Liu, X., Chen, Z., Xia, C., Wu, J., & Ding, Y. (2020). Characteristics, distribution, source and ecological risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments along the Yangtze River Estuary Deepwater Channel. *Marine Pollution Bulletin*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110765>
- Liu, Y., Chen, L., Jianfu, Z., Qinghui, H., Zhiliang, Z., & Hongwen, G. (2008). Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of rivers and an estuary in Shanghai, China. *Environmental Pollution*, 154(2), 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.10.020>
- Ma, T., Kong, J., Li, W., Cheng, X., Zhang, Y., Kong, D., Yang, S., Li, S., Zhang, L., & He, H. (2023). Inventory, source and health risk assessment of nitrated and parent PAHs in agricultural soils over a rural river in Southeast China. *Chemosphere*, 329. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138688>
- Magi, E., Bianco, R., Ianni, C., & Carro, M. di. (n.d.). *Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Adriatic Sea*. www.elsevier.com/locate/envpol
- Mahdi Ahmed, M., Doumenq, P., Awaleh, M. O., Syakti, A. D., Asia, L., & Chiron, S. (2017). Levels and sources of heavy metals and PAHs in sediment of Djibouti-city (Republic of Djibouti). *Marine Pollution Bulletin*, 120(1–2), 340–346. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.055>
- Mali, M., Dell'Anna, M. M., Mastrorilli, P., Damiani, L., & Piccinni, A. F. (2017). Assessment and source identification of pollution risk for touristic ports: Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of 4 marinas of the Apulia region (Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 114(2), 768–777. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.063>
- Mali, M., Malcangio, D., Dell'Anna, M. M., Damiani, L., Mastrorilli, P., & Mali, M. (2018). Influence of hydrodynamic features in the transport and fate of hazard contaminants within touristic ports. Case study: Torre a Mare (Italy). *Heliyon*, 4, 494. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017>
- Mali, M., Ragone, R., Dell'Anna, M. M., Romanazzi, G., Damiani, L., & Mastrorilli, P. (2022). Improved identification of pollution source attribution by using PAH ratios combined with multivariate statistics. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23966-4>
- Manciulea, I., & Dumitrescu, L. (n.d.). *LEARNING TOXICOLOGY THROUGH OPEN EDUCATIONAL POLYCYCLICKÉ AROMATICKÉ UHLOVODÍKY (PAU)*. <https://toxoeer.com>
- Mandić, J., & Pavela Vrančić, M. (2017). *Concentrations and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Middle Adriatic Sea*. 58(1), 3–24.

Mandić, J., Veža, J., & Kušpilić, G. (2023). Application of Positive Matrix Factorization for Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in the Adriatic Sea, and the Evaluation of PAH-Related Carcinogenic Risks. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/app13126992>

Manoli, E., & Samara, C. (n.d.). *Polycyclic aromatic hydrocarbons in natural waters: sources, occurrence and analysis*.

Matos, J., Silveira, C., & Cerqueira, M. (2021). Particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in a rural background atmosphere of southwestern Europe. *Science of the Total Environment*, 787. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147666>

Mcadam, K., Kimpton, H., Porter, A., & Rodu, B. (n.d.). *INTRODUCTION: Sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in US and Swedish smokeless tobacco products*. www.bat-science.com

Montuori, P., de Rosa, E., di Duca, F., de Simone, B., Scippa, S., Russo, I., Sarnacchiaro, P., & Triassi, M. (2022). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Dissolved Phase, Particulate Matter, and Sediment of the Sele River, Southern Italy: A Focus on Distribution, Risk Assessment, and Sources. *Toxics*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/toxics10070401>

Moyo, S., McCrindle, R., Mokgalaka, N., Myburgh, J., & Mujuru, M. (2013). Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from polluted rivers. *Pure and Applied Chemistry*, 85(12), 2175–2196. <https://doi.org/10.1351/PAC-CON-12-10-08>

Nasher, E., Heng, L. Y., Zakaria, Z., & Surif, S. (2013). Concentrations and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the seawater around Langkawi Island, Malaysia. *Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2013/975781>

Nawrot, N., Pouch, A., Matej-Lukowicz, K., Pazdro, K., Mohsin, M., Rezania, S., & Wojciechowska, E. (2023). A multi-criteria approach to investigate spatial distribution, sources, and the potential toxicological effect of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of urban retention tanks. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10), 27895–27911. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24168-1>

Nim, N., Morris, J., Tekasakul, P., & Dejchanchaiwong, R. (2023). Fine and ultrafine particle emission factors and new diagnostic ratios of PAHs for peat swamp forest fires. *Environmental Pollution*, 335. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122237>

Oliveira, C., Martins, N., Tavares, J., Pio, C., Cerqueira, M., Matos, M., Silva, H., Oliveira, C., & Camões, F. (2011). Size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in a roadway tunnel in Lisbon, Portugal. *Chemosphere*, 83(11), 1588–1596. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.01.011>

Onojake, M. C., Eromosele, G. O., & Osuji, L. C. (2021). Profiling of polycyclic aromatic hydrocarbons and diagnostic ratios of kpite oil spill impacted site in Rivers State, Nigeria. *Pollution*, 7(1), 17–24. <https://doi.org/10.22059/poll.2020.303392.827>

Onyirioha, B., & Daniel, U. (n.d.). *DETERMINATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SURFACEWATER AND SEDIMENTS OF ARUNTON CREEK AND RIVER ESCRAVOS, NIGER DELTA, NIGERIA*.

O'sullivan, G., Martin, E., & Sandau, C. D. (2008). *Environmental Forensic Principals for Sources Allocation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*.

Pereira, G. M., Nogueira, T., Kamigauti, L. Y., Monteiro dos Santos, D., Nascimento, E. Q. M., Martins, J. V., Vicente, A., Artaxo, P., Alves, C., de Castro Vasconcellos, P., & de Fatima Andrade, M. (2023). Particulate matter fingerprints in biofuel impacted tunnels in South America's largest metropolitan area. *Science of the Total Environment*, 856. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159006>

Pereira, W. E., Hostettler, F. D., Luoma, S. N., van Geen, A., Fuller, C. C., & Anima, R. J. (1999). Sedimentary record of anthropogenic and biogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in San Francisco Bay, California. In *Marine Chemistry* (Vol. 64).

Perra, G., Renzi, M., Guerranti, C., & Focardi, S. E. (2009). Polycyclic aromatic hydrocarbons pollution in sediments: Distribution and sources in a lagoon system (Orbetello, Central Italy). *Transitional Waters Bulletin*, 3(1), 45–58. <https://doi.org/10.1285/i1825229Xv3n1p45>

Pizzini, S., Morabito, E., Gregoris, E., Vecchiato, M., Corami, F., Piazza, R., & Gambaro, A. (2021). Occurrence and source apportionment of organic pollutants in deep sediment cores of the Venice Lagoon. *Marine Pollution Bulletin*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112053>

- Pohl, A., & Kostecki, M. (2021). Characteristics, distribution, sources, and ecological risk of persistent organic pollutants (Pahs, pcbs) in the bottom sediments of a potamic ecosystem, in conditions of urban-industrial anthropopressure. *Desalination and Water Treatment*, 215, 80–89. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.26756>
- Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Transport Study-Project Summary Report*. (n.d.).
- Ramírez, D. G., Narváez Valderrama, J. F., Palacio Tobón, C. A., García, J. J., Echeverri, J. D., Sobotka, J., & Vrana, B. (2023). Occurrence, sources, and spatial variation of POPs in a mountainous tropical drinking water supply basin by passive sampling. *Environmental Pollution*, 318. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120904>
- Ravindra, K., Sokhi, R., & van Grieken, R. (2008). Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. In *Atmospheric Environment* (Vol. 42, Issue 13, pp. 2895–2921). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.12.010>
- Ray, S., Khillare, P. S., Agarwal, T., & Shridhar, V. (2008). Assessment of PAHs in soil around the International Airport in Delhi, India. *Journal of Hazardous Materials*, 156(1–3), 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.099>
- Renee Takesue, B. K., Campbell, P. L., & Conn, K. E. (2019). *OFR 2019–1087: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Polychlorinated Biphenyls, and Metals in Ambient Sediment at Mussel Biomonitoring Sites, Puget Sound, Washington*.
- Ribeiro, J., Silva, T., Filho, J. G. M., & Flores, D. (2012). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in burning and non-burning coal waste piles. *Journal of Hazardous Materials*, 199–200, 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.10.076>
- Rinawati, Koike, T., Koike, H., Kurumisawa, R., Ito, M., Sakurai, S., Togo, A., Saha, M., Arifin, Z., & Takada, H. (2012). Distribution, source identification, and historical trends of organic micropollutants in coastal sediment in Jakarta Bay, Indonesia. *Journal of Hazardous Materials*, 217–218, 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.03.023>
- Rizzi, C., Villa, S., Waichman, A. v., de Souza Nunes, G. S., de Oliveira, R., Vighi, M., & Rico, A. (2023). Occurrence, sources, and ecological risks of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Amazon river. *Chemosphere*, 336. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139285>
- Rocha, M. J., & Rocha, E. (2021). Concentrations, sources and risks of PAHs in dissolved and suspended material particulate fractions from the Northwest Atlantic Coast of the Iberian Peninsula. *Marine Pollution Bulletin*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112143>
- Sanli, G., Celik, S., Joubi, V., & Tasdemir, Y. (2023). Concentrations, phase exchanges and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) In Bursa-Turkey. *Environmental Research*, 232. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116344>
- Santos Bay, T., mac Ōas-Zamora, M. J. v, Mendoza-Vega, E., & Villaescusa-Celaya, J. A. (n.d.). *PAHs composition of surface marine sediments: a comparison to potential local sources in*. www.elsevier.com/locate/chemosphere
- Santos, E., Souza, M. R. R., Junior, A. R. V., da Silva Soares, L., Frena, M., & Alexandre, M. R. (2023). Polycyclic aromatic hydrocarbons in suspended particulate matter of a region influenced by agricultural activities in northeast Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, 57. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102683>
- Schwanen, C. A., Müller, J., Schulte, P., & Schwarzbauer, J. (2023). Distribution, remobilization and accumulation of organic contaminants by flood events in a meso-scaled catchment system. *Environmental Sciences Europe*, 35(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00717-4>
- Sedláček, J., Tolaszová, J., Židek, M., & Tomanová Petrová, P. (2021). *GeoloGické výzkumy na moravě a ve Slezsku*. <https://doi.org/10.5817/GVMS2021>
- Semenov, M. Y., Marinaite, I. I., Silaev, A. v., & Begunova, L. A. (2023). Composition, Concentration and Origin of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Waters and Bottom Sediments of Lake Baikal and Its Tributaries. *Water (Switzerland)*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/w15132324>
- Sethi, S. S., Ambade, B., Mohammad, F., Al-Lohedan, H. A., & Soleiman, A. A. (2023). Accumulation and Toxicity of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Long-Term Soil Irrigated with Treated Wastewater. *Sustainability (Switzerland)*, 15(18). <https://doi.org/10.3390/su151813581>
- Skic, K., Boguta, P., Klimkowicz-Pawlas, A., Ukalska-Jaruga, A., & Baran, A. (2023). Effect of sorption properties on the content, ecotoxicity, and bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bottom sediments. *Journal of Hazardous Materials*, 442. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130073>

- Smythe, K. K., Cooke, C. A., Drevnick, P. E., Cornett, R. J., & Blais, J. M. (2022). Tracking historical sources of polycyclic aromatic compounds (PACs) in dated lake sediment cores near in-situ bitumen operations of Cold Lake, Alberta. *Environmental Pollution*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118567>
- Soclo, H. H., Garriguesà, P. H., & Ewaldà, M. (n.d.). *Origin of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Coastal Marine Sediments: Case Studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) Areas*.
- Spreadbury, C. J., Clavier, K. A., Lin, A. M., & Townsend, T. G. (2021). A critical analysis of leaching and environmental risk assessment for reclaimed asphalt pavement management. In *Science of the Total Environment* (Vol. 775). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145741>
- Stogiannidis, E., & Laane, R. (2015). Source characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons by using their molecular indices: An overview of possibilities. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 234, 49–133. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10638-0_2
- Sulej, A. M., Polkowska, Z., & Namieśnik, J. (2011). Contamination of runoff water at gdańsk airport (Poland) by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs). *Sensors*, 11(12), 11901–11920. <https://doi.org/10.3390/s111211901>
- Sun, H., Jia, X., Wu, Z., Yu, P., Zhang, L., Wang, S., & Xia, T. (2024). Contamination and source-specific health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil from a mega iron and steel site in China. *Environmental Pollution*, 340. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122851>
- Sushkova, S., Minkina, T., Batukaev, A. A., Dudnikova, T., Batukaev, A. A., Shavanov, M. v., Adymkhanov, L. K., & Barakhov, A. (2020). Diagnostic ratios of individual polycyclic aromatic hydrocarbons for their identification in soils of power station. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 905(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/905/1/012065>
- Świt, P., Orzeł, J., & Maślanka, S. (2023). Investigation of the origin and concentration of polycyclic aromatic hydrocarbon with improved accuracy by the use of a multi-component integrated calibration method in the Katowice region, Poland. *Journal of Hazardous Materials*, 448. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130871>
- Teodora CIUCURE, C., GEANA, E. I., Lidia CHITESCU, C., Laurentiu BADEA, S., & Elena IONETE, R. (2023). Distribution, sources and ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in waters and sediments from Olt River dam reservoirs in Romania. *Chemosphere*, 311. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137024>
- Thienpont, J. R., Yang, Z., Hall, R. I., Wolfe, B. B., Hollebone, B. P., & Blais, J. M. (2021). Tracking petrogenic hydrocarbons in lakes of the Peace-Athabasca Delta in Alberta, Canada using petroleum biomarkers. *Environmental Pollution*, 286. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117286>
- Tobiszewski, M., & Namieśnik, J. (2012). PAH diagnostic ratios for the identification of pollution emission sources. In *Environmental Pollution* (Vol. 162, pp. 110–119). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.10.025>
- Udofia, U. S., Ameh, C., Miller, E., & Ekpenyong, M. S. (2021). Investigating the origin and tissue concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in seafood and health risk in Niger Delta, Nigeria. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 23(11), 1803–1814. <https://doi.org/10.1039/d1em00249j>
- UK Soil and Herbage Pollutant Survey Environmental concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in UK soil and herbage*. (2007). www.liv.ac.uk/biolsci/
- Uribe, D. M., Ortega, L. M., Grassi, M. T., Dolatto, R. G., & Sánchez, N. E. (2023). Lichens as bio-monitors of polycyclic aromatic hydrocarbons: Measuring the impact of features and traffic patterns. *Heliyon*, 9(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20087>
- Vane, C. H., Kim, A. W., Emmings, J. F., Turner, G. H., Moss-Hayes, V., Lort, J. A., & Williams, P. J. (2020). Grain size and organic carbon controls polyaromatic hydrocarbons (PAH), mercury (Hg) and toxicity of surface sediments in the River Conwy Estuary, Wales, UK. *Marine Pollution Bulletin*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111412>
- Vecchiato, M., Barbante, C., Barbaro, E., Burgay, F., Cairns, W. R., Callegaro, A., Cappelletti, D., Dallo, F., D'Amico, M., Feltracco, M., Gallet, J. C., Gambaro, A., Larose, C., Maffezzoli, N., Mazzola, M., Sartorato, I., Scoto, F., Turetta, C., Vardè, M., ... Spolaor, A. (2024). The seasonal change of PAHs in Svalbard surface snow. *Environmental Pollution*, 340. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122864>

- Vecchiato, M., Bonato, T., Barbante, C., Gambaro, A., & Piazza, R. (2021). Organic pollutants in protected plain areas: The occurrence of PAHs, musks, UV-filters, flame retardants and hydrocarbons in woodland soils. *Science of the Total Environment*, 796. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149003>
- Viganò, L., Guzzella, L., Marziali, L., Mascolo, G., Bagnuolo, G., Ciannarella, R., & Roscioli, C. (2023). The last 50 years of organic contamination of a highly anthropized tributary of the Po River (Italy). *Journal of Environmental Management*, 326. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116665>
- Wang, J., Bi, Y., Pfister, G., Henkelmann, B., Zhu, K., & Schramm, K. W. (2009). Determination of PAH, PCB, and OCP in water from the Three Gorges Reservoir accumulated by semipermeable membrane devices (SPMD). *Chemosphere*, 75(8), 1119–1127. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.01.016>
- Wang, P., Mi, W., Xie, Z., Tang, J., Apel, C., Joerss, H., Ebinghaus, R., & Zhang, Q. (2020). Overall comparison and source identification of PAHs in the sediments of European Baltic and North Seas, Chinese Bohai and Yellow Seas. *Science of the Total Environment*, 737. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139535>
- Wang, Z., & Fingas, M. F. (2003). Development of oil hydrocarbon fingerprinting and identification techniques. *Marine Pollution Bulletin*, 47(9–12), 423–452. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(03\)00215-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(03)00215-7)
- Wang, Z., Yang, C., Brown, C., Hollebone, B., & Landriault, M. (n.d.). *A CASE STUDY: DISTINGUISHING PYROGENIC HYDROCARBONS FROM PETROGENIC HYDROCARBONS*.
- Wang, Z., Yang, C., Parrott, J. L., Frank, R. A., Yang, Z., Brown, C. E., Hollebone, B. P., Landriault, M., Fieldhouse, B., Liu, Y., Zhang, G., & Hewitt, L. M. (2014). Forensic source differentiation of petrogenic, pyrogenic, and biogenic hydrocarbons in Canadian oil sands environmental samples. *Journal of Hazardous Materials*, 271, 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.02.021>
- Wu, X., Cao, F., Haque, M. M., Fan, M. Y., Zhang, S. C., & Zhang, Y. L. (2020). Molecular composition and source apportionment of fine organic aerosols in Northeast China. *Atmospheric Environment*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117722>
- Wu, Y., Salamova, A., & Venier, M. (2021). Using diagnostic ratios to characterize sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Great Lakes atmosphere. *Science of the Total Environment*, 761. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143240>
- Xia, Y., Zhang, Y., Ji, Q., Cheng, X., Wang, X., Sabel, C. E., & He, H. (2023). Sediment core records and impact factors of polycyclic aromatic hydrocarbons in Chinese lakes. *Environmental Research*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116690>
- Yaghmour, F., Samara, F., & Alam, I. (2020). Analysis of polychlorinated biphenyls, polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in the tissues of green sea turtles, *Chelonia mydas*, (Linnaeus, 1758) from the eastern coast of the United Arab Emirates. *Marine Pollution Bulletin*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111574>
- Yang, J., Sun, P., Zhang, X., Wei, X. Y., Huang, Y. P., Du, W. N., Qadeer, A., Liu, M., & Huang, Y. (2021). Source apportionment of PAHs in roadside agricultural soils of a megacity using positive matrix factorization receptor model and compound-specific carbon isotope analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 403. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123592>
- Yang, Z., Shah, K., Laforest, S., Courtemanche, C., Durand, W., Lambert, P., Hollebone, B. P., Brown, C. E., Goldthorp, M., Watson, K., Yang, C., Dey, D., & Beaulac, V. (2021). Occurrence, characterization, source, and risk assessment of petroleum-related hydrocarbons in sediments along St. Clair River, Ontario, Canada. *Marine Pollution Bulletin*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113037>
- Yavar Ashayeri, N., Keshavarzi, B., Moore, F., Kersten, M., Yazdi, M., & Lahijanzadeh, A. R. (2018). Presence of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and surface water from Shadegan wetland – Iran: A focus on source apportionment, human and ecological risk assessment and Sediment-Water Exchange. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 1054–1066. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.055>
- Yin, F., Gao, C., Song, Z., Han, Y., He, Z., Zhang, L., Su, P., Feng, D., Yang, T., & Fu, J. (2022). Chemical signatures of polycyclic aromatic hydrocarbons in the emissions from in situ oil burns. *Marine Pollution Bulletin*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114194>

Yu, H., Liu, Y., Han, C., Fang, H., Weng, J., Shu, X., Pan, Y., & Ma, L. (2021). Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface waters from the seven main river basins of China: Spatial distribution, source apportionment, and potential risk assessment. In *Science of the Total Environment* (Vol. 752). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141764>

Yuan, C., Davis, A. P., Kaya, D., & Kjellerup, B. v. (2023). Distribution and biodegradation potential of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) accumulated in media of a stormwater bioretention. *Chemosphere*, 336. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139188>

Yuan, L., Wu, Y., Fan, Q., Li, P., Liang, J., Wang, Z., Li, R., & Shi, L. P. (2022). Spatial distribution, composition, and source analysis of petroleum pollutants in soil from the Changqing Oilfield, Northwest China. *Marine Pollution Bulletin*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114338>

Yunker, M. B., Macdonald, R. W., Vingarzan, R., Mitchell, R. H., Goyette, D., & Sylvestre, S. (n.d.). PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. www.elsevier.com/locate/orggeochem

Zhang, L., Ma, Y., Vojta, S., Morales-McDevitt, M., Hoppmann, M., Soltwedel, T., Kirk, J., de Silva, A., Muir, D., & Lohmann, R. (2023). Presence, Sources and Transport of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 50(1). <https://doi.org/10.1029/2022GL101496>

Zhang, W., Zhang, S., Wan, C., Yue, D., Ye, Y., & Wang, X. (2008). Source diagnostics of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban road runoff, dust, rain and canopy throughfall. *Environmental Pollution*, 153(3), 594–601. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.09.004>

Zhang, X., Leng, S., Qiu, M., Ding, Y., Zhao, L., Ma, N., Sun, Y., Zheng, Z., Wang, S., Li, Y., & Guo, X. (2023). Chemical fingerprints and implicated cancer risks of Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from fine particulate matter deposited in human lungs. *Environment International*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107845>

Zhao, L., Zhao, Z., Zhang, J., & Zhang, P. (2023). Seasonal variation, spatial distribution, and sources of PAHs in surface seawater from Zhanjiang bay influenced by land-based inputs. *Marine Environmental Research*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.106028>