

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ



ZDROJE VYBRANÝCH UKAZATELŮ  
ZNEČIŠTĚNÍ OHROŽUJÍCÍCH DOBRÝ STAV  
POVRCHOVÝCH VOD V PEČKÁCH

DIPLOMOVÁ PRÁCE

IVANA NOVOTNÁ

Vedoucí diplomové práce: doc. Mgr. Jana Nábělková, Ph.D.

Leden 2022

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. Novotná Jméno: Ivana Osobní číslo: 468474  
Zadávací katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství (K144)  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zdroje vybraných ukazatelů znečištění ohrožujících dobrý stav povrchových vod v Pečkách

Název diplomové práce anglicky: Sources of selected indicators of pollution threatening the good status of surface waters in Pečky

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je nalezení souvislostí vybraných ukazatelů znečištění (především těžkých kovů Cd, Ni, Pb, As, Zn a Hg, PAU a živin N a P) s nedosažením dobrého stavu povrchových vod. V rámci literární rešerše budou pojednány zdroje/původ sledovaných látek v urbanizovaném povodí, jejich vlastnosti a chování a předpokládané koncentrace v jednotlivých složkách prostředí. V praktické části budou vyhodnoceny výsledky odběrových kampaní a budou porovnány s hodnotami/informacemi z literatury.

Seznam doporučené literatury:

Dittmer et al. (2020) Impact of Combined Sewer Systems on the Quality of Urban Streams: Frequency and Duration of Elevated Micropollutant Concentrations. *Water* 2020, 12, 850  
Sakson et al. (2018) Emission of heavy metals from an urban catchment into receiving water and possibility of its limitation on the example of Lodz city. *Environ Monit Assess* (2018) 190: 281  
Huber et al. (2016) Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurrence, influencing factors, and partitioning. *Science of the Total Environment* 541 (2016) 895–919  
Gasperi et al. (2010) Contributions of wastewater, runoff and sewer deposit erosion to water weather pollutant loads in combined sewer systems. *Water Res.* 11 (2010) 5875-5886

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Mgr. Jana Nábělková, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 24.9.2021

Termín odevzdání diplomové práce: 2.1.2022

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Třeběšicích, 2. 1. 2022

Ivana Novotná

## Poděkování

Touto cestou bych chtěla poděkovat především vedoucí mé práce, paní doc. Mgr. Janě Nábělkové, Ph.D., za odborné vedení práce, ochotu, věcné připomínky a rady. Dále bych chtěla poděkovat i ostatním, kteří se na celém projektu podílí za poskytnuté podklady.

## Abstrakt

Předmětem diplomové práce je vyhodnocení výskytu a množství vybraných polutantů v zájmovém povodí čistírny odpadních vod (ČOV) v obci Pečky ve Středočeském kraji. Mezi hlavní vybrané polutanty patří těžké kovy, polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) a nutrienty. V zájmovém povodí byly provedeny dvě odběrové kampaně: 1. bezdeštná kampaň na dvou lokalitách ve stokové síti, na přítoku do ČOV a odtoku z ČOV; 2. kampaň za deště – odběr povrchového odtoku na dvou lokalitách v povodí a odběr v dešťové kanalizaci. Byly analyzovány jak kapalné vzorky (odpadní voda, povrchový odtok), tak pevná matrice. Výsledky kampaní jsou dále porovnány s údaji nalezenými v literatuře nebo s limity stanovenými v legislativě. Ukázalo se, že zatížení zájmového povodí vybranými polutanty není velké ve srovnání s jinými studii. Čistírna odpadních vod vykazuje, až na výjimky, vysoké účinnosti odstraňování vybraných škodlivin. Největším zdrojem nutrientů je odpadní voda. Jako největší zdroj těžkých kovů a PAU v povodí se jeví povrchový odtok z frekventovaných komunikací při srážkové události.

## Klíčová slova

prioritní polutanty, těžké kovy, polycyklické aromatické uhlovodíky, nutrienty, odpadní voda, povrchový odtok, pevná matrice, čistírna odpadních vod

## Abstract

The subject of the diploma thesis is the evaluation of the presence and amount of selected pollutants in the catchment area of the wastewater treatment plant (WWTP) in the town of Pečky in the Central Bohemian Region. The main selected pollutants include heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and nutrients. Two sampling campaigns were carried out in the catchment area of interest: 1. a rainless campaign at two localities in the sewerage network, at the inflow to the WWTP and the outflow from the WWTP; 2nd campaign in the rain - abstraction of surface runoff at two localities in the river basin and abstraction in the rain sewer. Both liquid samples (wastewater, surface runoff) and solid matrix were analysed. The results of the campaigns are further compared with data found in the literature or with the limits set in the legislation. It turned out that the load of the catchment area of interest by selected pollutants is not large in comparison with other studies. The wastewater treatment plant shows, with few exceptions, high efficiencies in the removal of selected pollutants. The largest source of nutrients is wastewater. The largest source of heavy metals and PAHs in the river basin appears to be surface runoff from busy roads during a precipitation event.

## Keywords

priority pollutants, heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons, nutrients, wastewater, surface runoff, solid matrix, wastewater treatment plant

# Obsah

Úvod.....	11
Cíle práce .....	12
1 Teoretická část .....	13
1.1 Způsoby kontaminace povrchových vod .....	13
1.2 Základní chemické ukazatele kvality odpadních vod .....	14
1.2.1 CHSK <sub>Cr</sub> .....	14
1.2.2 Nerozpuštěné látky .....	14
1.2.3 Fosfor .....	15
1.2.3.1 Původ a zdroje .....	15
1.2.3.2 Vlastnosti .....	15
1.2.4 Sloučeniny dusíku.....	15
1.2.4.1 Původ a zdroje .....	15
1.2.4.2 Vlastnosti .....	15
1.3 Těžké kovy.....	16
1.3.1 Rtuť .....	17
1.3.1.1 Zdroje a původ .....	17
1.3.1.2 Vlastnosti .....	17
1.3.2 Kadmium .....	18
1.3.2.1 Zdroje a původ.....	18
1.3.2.2 Vlastnosti .....	18
1.3.3 Olovo .....	19
1.3.3.1 Zdroje a původ .....	19
1.3.3.2 Vlastnosti .....	19
1.3.4 Zinek .....	20
1.3.4.1 Zdroje a původ .....	20
1.3.4.2 Vlastnosti .....	20
1.3.5 Měď.....	21
1.3.5.1 Zdroje a původ .....	21
1.3.5.2 Vlastnosti .....	21
1.3.6 Nikl .....	21
1.3.6.1 Zdroje a původ.....	21

1.3.6.2 Vlastnosti .....	22
1.3.7 Arsen .....	22
1.3.7.1 Zdroje a původ .....	22
1.3.7.2 Vlastnosti .....	22
1.3.8 Zdroje těžkých kovů – shrnutí .....	23
1.3.9 Odstranitelnost těžkých kovů na ČOV .....	26
1.4 Polycyklické aromatické uhlovodíky.....	26
1.4.1 Vlastnosti PAU .....	27
1.4.2 Zdroje a původ PAU .....	30
1.4.3 Odstranitelnost PAU na ČOV .....	31
2 Praktická část .....	32
2.1 Charakteristika zájmového povodí .....	32
2.1.1 ČOV Pečky .....	33
2.1.2 Povodí ČOV Pečky .....	34
2.1.3 Producenti odpadních vod v povodí ČOV Pečky .....	36
2.1.4 Popis sledovaných lokalit .....	38
2.1.4.1 Lokality sledované při bezdeštné kampani a trvalého monitoringu .....	38
2.1.4.2 Lokality sledované během srážkové události .....	38
2.2 Metodika .....	40
2.2.1 Metodika monitoringu .....	40
2.2.1.1 Metodika kontinuálního monitoringu průtoků a srážek.....	40
2.2.1.2 Metodika bezdeštné kampaně na stokové síti a ČOV.....	41
2.2.1.3 Metodika monitoringu povrchového odtoku a odtoku dešťovou kanalizací během srážkové události.....	41
2.2.1.4 Analýza pevné matrice.....	42
2.2.2 Metodika zpracování výsledků .....	43
2.2.2.1 Zpracování výsledků bezdeštné kampaně.....	43
2.2.2.2 Zpracování výsledků monitoringu povrchového odtoku a odtoku dešťovou kanalizací během srážkové události.....	45
2.2.2.3 Zpracování výsledků analýz pevné matrice.....	45
2.3 Výsledky a jejich diskuse .....	45
2.3.1 Výsledky bezdeštné kampaně.....	45
2.3.1.1 Základní chemické ukazatele a nutrienty.....	45

2.3.1.2 Těžké kovy.....	49
2.3.2.2 Polycyklické aromatické uhlovodíky.....	54
2.3.2 Výsledky monitoringu povrchového odtoku a odtoku dešťovou kanalizací během srážkové události.....	59
2.3.3 Výsledky analýz pevné matrice .....	66
2.3.3.1 Sediment z kanalizace.....	66
2.3.3.2 Prach z ulic.....	68
2.3.3.3 Kaly z čistírny odpadních vod .....	70
Závěr .....	72
Seznam použité literatury .....	74
Seznam obrázků.....	77
Seznam tabulek .....	78
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	80
Seznam příloh .....	81



## Úvod

Již řadu let si lidstvo uvědomuje potřebu zamezit dalšímu zhoršování stavu povrchových i podzemních vod. Mezi nejvýznamnější zdroje znečištění povrchových vod se v urbanizovaném povodí řadí odtok z čistírny odpadních vod, dále jsou problematické přepady odpadní vody z odlehčovacích komor do recipientu v případě, že obec disponuje jednotným kanalizačním systémem a v neposlední řadě je třeba zmínit odtok dešťových vod odváděných oddílnou dešťovou kanalizací, které jsou zaústěny přímo do recipientu. V průmyslově a dopravně zatížených oblastech je nezanedbatelným zdrojem škodlivin také atmosférický spad.

Postupem času byly do praxe uváděny nejrůznější legislativní normy, jejichž účelem je zajistit ochranu všech vod, snížit jejich znečištění, obnovit ekosystémy a zachovat ty stávající. Cílem je najít udržitelný způsob užívání vody ze strany občanů a podniků. Jedním z důležitých dokumentů pro země EU je Směrnice 2000/60/ES – rámec pro činnost Společenství v oblasti vody. Jedná se o dokument, který musely členské země zanést do svého práva. Směrnice stanovuje pojem dobrý stav (chemický a ekologický) vod, jehož dosažení je hlavním cílem směrnice. Prostředkem pro dosažení má být zavádění preventivních opatření, náprava už vzniklých škod a zavedení principu, kdy znečišťovatel má povinnost platit za vypouštěné znečištění. Mimo to směrnice stanovuje seznam prioritních polutantů, kterým je třeba věnovat speciální pozornost. Společným znakem těchto látek je jejich chronická nebo akutní toxicita, která ohrožuje vodní ekosystémy a obecně všechny, kteří přijdou s takto kontaminovanou vodou do kontaktu, člověka nevyjímaje. V rámci dobrého chemického stavu vod směrnice stanovuje normy environmentální kvality, které jsou vyjádřeny jako limity obsahu jednotlivých látek v prostředí. [1]

Na Směrnici 2000/60/ES navázaly další předpisy včetně Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2013/39/EU, která je platná dodnes a je zanesena v právu členských zemí včetně České republiky a to ve formě Nařízení vlády č. 401/2015, Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Byla rozšířena skupina prioritních polutantů, která v současné době zahrnuje seznam 45 látek (33 původních ve Směrnici 2000/60/ES, 12 nových), viz příloha č. 1., strana 81. [2]

## Cíle práce

Cílem této diplomové práce je v teoretické části nastudovat zdroje a vlastnosti vybraných polutantů, kterými jsou těžké kovy, polycyklické aromatické uhlovodíky a nutrienty. Součástí literární rešerše je také vyhledání konkrétních koncentrací látek v odpadní vodě a povrchovém odtoku. Cílem praktické části je na základě měrných a odběrných kampaní vyhodnotit přítomnost vybraných polutantů v zájmovém povodí čistírny odpadních vod v obci Pečky ve Středočeském kraji. V rámci práce mají být vyhodnoceny analýzy vzorků odpadní vody z bezdeštné kampaně a analýzy vzorků povrchového odtoku a odtoku dešťovou kanalizací během srážkové události. Vyhodnoceny mají být vzorky vody i vzorky sedimentu odebraného na ulici a ve stoce a vzorky kalů z čistírny odpadních vod. Cílem je také vyhodnotit úroveň zatížení studovaného povodí sledovanými škodlivinami porovnáním s existujícími limity a výsledky jiných studií.

# 1 Teoretická část

Mezi látky, kterými se zabývá předložená práce, patří dvě významné skupiny prioritních polutantů, a to jsou vybrané prvky skupiny těžkých kovů a polycyklických aromatických uhlovodíků. Ke zmíněným dvěma prioritním skupinám je v této práci navíc pojednáváno o živinách – dusíku a fosforu. Přítomnost vybraných látek může být příčinou nedosažení dobrého stavu povrchových vod.

## 1.1 Způsoby kontaminace povrchových vod

Zdroje znečištění můžeme rozdělit na základní tři skupiny a to: bodové, plošné a difúzní. Pod bodovými zdroji znečištění si můžeme představit například výusti čistíren odpadních vod do toků a nádrží nebo úniky při haváriích (úniky provozních nebo přepravovaných látek v případě nehody dopravních prostředků, nehody na ropných plošinách). Difúzními zdroji se rozumí rozptýlené bodové zdroje znečištění jako mohou být jednotlivá vyústění dešťové kanalizace do recipientu. Plošné zdroje zahrnují v extravilánu splachy z polí a obecně to mohou být znečištěné atmosférické srážky nebo částice v atmosféře.

Cesta polutantů z čistírny odpadních vod do vodního toku nebo nádrže je spojena s nedokonalostí procesu odstraňování škodlivin na ČOV. Ovšem v případě, že se odpadní voda dostane beze zbytku na ČOV, se jedná o stav relativně příznivý. Horší situace nastává v případě, kdy se surová odpadní voda dostává přímo do recipientu. K takovým jevům dochází například u nelegálního vypouštění odpadních vod z domácností nebo průmyslových závodů přímo do recipientu nebo dešťové kanalizace. Surová voda se ale může dostat do recipientu zcela v souladu s legislativou, a to v případě přepadů vody z odlehčovací komory jednotné kanalizace. Odlehčovací komory slouží k ochraně kanalizačního systému, a hlavně čistírny odpadních vod tak, aby během srážek nedocházelo k narušení technologie ČOV nebo jiným nežádoucím jevům, jako by mohl být vývěr odpadní vody ze stokového systému na povrch. Kanalizační řady by měly být dimenzované tak, aby k přepadům na odlehčovacích komorách docházelo co nejméně (maximální četnost přepadů v roce bývá předepsána podobně jako poměr ředění s dešťovou vodou) a pouze v odůvodněných případech. Někdy se stává, že kapacita kanalizace je tak špatně dimenzována, že přepadají do recipientu i maximální denní průtoky v bezdeštném období.

Oddílná kanalizační soustava bývá vesměs považována za pokrokovou technologii a do určité míry je to jistě pravda. Problém nastává ve chvíli, kdy se ukáže, jak velké znečištění se do recipientu dostává přímým zaústěním oddílné dešťové kanalizace. Pokud se zaměříme na kvalitu dešťové vody, zjistíme, že i ona obsahuje škodlivé látky v nezanedbatelných koncentracích. Komplikace je objevuje už u samotných atmosférických srážek. Už při vzniku jednotlivých dešťových kapek nebo vloček sněhu dochází k procesu zvanému „rainout“ neboli česky „vypršení“, kdy nečistoty v atmosféře slouží jako kondenzační jádra pro vznik srážkových částic. Podobným

procesem je „washout/vymývání“, kdy jsou nečistoty zachytávány kapkami nebo vločkami při samotném pádu k povrchu země. A takto se nečistoty dostanou na zemský povrch, odkud v urbanizovaném povodí pokračují do vpustí dešťové kanalizace. Cestou ještě posbírají polutanty nahromaděné na površích a koktejl dešťového odtoku je kompletní. Zde je třeba zmínit „fenomén prvního splachu“ nebo anglicky „first flush phenomena“. Jedná se o nejvíce znečištěný dešťový odtok, kdy přijde déšť po delším období sucha a jako takový může být až extrémně znečištěný. Cílem moderní oddílné dešťové kanalizace je tento první splach, v co možná největší míře, zachytit a před vypuštěním do recipientu částečně vyčistit alespoň prostou sedimentací. [3, 4]

Samostatnou kapitolou jsou látky usazené v kanalizační síti. Zejména těžké kovy a polycyklické aromatické uhlovodíky ochotně adsorbují na nerozpuštěných i jiných látkách usazených v různých částech kanalizace. Takovýto sediment může být bohatým zdrojem zmíněných látek. [3]

## 1.2 Základní chemické ukazatele kvality odpadních vod

Při vyhodnocování kvality odpadních vod se sledují hodnoty tzv. skupinových ukazatelů, kam se řadí biochemická a chemická spotřeba kyslíku nebo celkový obsah organického uhlíku, dále také celkový obsah jednotlivých prvků jako je dusík nebo fosfor, celkové množství rozpuštěných i nerozpuštěných látek. Významným ukazatelem může být samozřejmě také hodnota pH nebo konduktivita odpadní vody. Blíže jsou zde představeny ukazatele, které byly vyhodnoceny ve vzorcích z praktické části práce.

### 1.2.1 CHSK<sub>Cr</sub>

Chemická spotřeba kyslíku je ukazatelem množství organických látek ve vodě a je definována jako hmotnostní koncentrace kyslíku, která je ekvivalentní hmotnosti silného oxidačního činidla, spotřebovaného za přesně vymezených podmínek na oxidaci oxidovatelných (především organických) látek obsažených v jednom litru vody. Pro CHSK<sub>Cr</sub> také existuje emisní limit pro vypouštění vod do vod povrchových a stanovuje ho Nařízení vlády č. 401/2015, Sb. [2, 5]

### 1.2.2 Nerozpuštěné látky

Nerozpuštěnými látkami rozumíme množství tuhých látek, které se zachytí na filtru za určených podmínek. Filtr se zachycenými částicemi je následně vysušen při teplotě 105 °C a laboratorními váhami je posléze vyhodnocen obsah nerozpuštěných látek ve vzorku. Takto stanovíme ukazatel pod zkratkou NL<sub>105</sub>. Druhým způsobem je zjištění tzv. zbytku po žihání neboli NL<sub>550</sub>, což dává představu o podílu organické hmoty v suspendované hmotě. Po vychladnutí je vzorek vážen a stanoví se hodnota NL<sub>550</sub>. Pro nerozpuštěné látky podobně jako pro CHSK<sub>Cr</sub> existuje emisní limit pro vypouštění vod do vod povrchových a stanovuje ho také Nařízení vlády č. 401/2015, Sb. Množství nerozpuštěných látek je sledováno zejména proto, že jsou velmi často matricí, na které adsorbují těžké kovy a PAU. [2, 5]

### 1.2.3 Fosfor

Jak známo, v podmínkách ČR hraje fosfor hlavní roli v eutrofizaci vod, proto se v posledních letech usilovalo o snížení obsahu fosforu v mycích a pracích prostředcích. Ostatně i legislativa EU výrazně omezuje množství fosforu v detergentech. Nařízení ES č. 648/2004 stanovilo zákaz používání fosfátových pracích prostředků nejpozději do roku 2013 (v ČR tento zákaz platí od roku 2006) a zákaz používání fosfátových prostředků do myček nádobí od roku 2017. Novela nařízení Evropského parlamentu a rady (EU) č. 259/2012 následně stanovila maximální obsah fosforu v množství pracího/mycího prostředku odpovídajícímu jednomu standardnímu mycímu cyklu. [6]

#### 1.2.3.1 Původ a zdroje

Fosfor se ve vodě vyskytuje přirozeně ve formě výluhů z půd, minerálů a zvětralých hornin. Dalšími, antropogenními, zdroji fosforu jsou antikoroziní prostředky, fosforečná hnojiva a živočišné odpady. Významným bodovým zdrojem fosforu mohou být právě velkochovy hospodářských zvířat. Fosforečnany se také používají pro dopravu pitné vody zejména ocelovým nebo litinovým potrubím, protože zabráňují korozi a tvorbě inkrustací uhličitanu vápenatého. Dle ČSN 75 6401 činí specifická produkce celkového fosforu 2,5 g/obyvatele/den. [7, 8]

#### 1.2.3.2 Vlastnosti

Celkový fosfor se ve vodách dělí na rozpuštěný a nerozpuštěný a na anorganický nebo organický. V přírodních vodách se fosfor vyskytuje ve velmi nízkých koncentracích, protože fosforečnany tvoří málo rozpustné sloučeniny s většinou kovů (Al, Fe, Mg) a snadno sorbují na dnových sedimentech. Podstatně vyšší koncentrace nalezneme ve splaškových odpadních vodách. Ve sladkých povrchových vodách se koncentrace celkového fosforu pohybuje v řádu setin až desetin mg/l. U splaškových odpadních vod jsou to jednotky mg/l. [8]

Pro odstranění rozpuštěného fosforu z odpadních vod se používá jeho srážení na málo rozpustné fosforečnany kovů za pomoci solí železa a hliníku a následná sedimentace. Dle NV 401/2015, Sb. je minimální účinnost odstranění fosforu na ČOV pro kategorii 2001-10 000 EO stanovena na 70 %. [8, 2]

### 1.2.4 Sloučeniny dusíku

#### 1.2.4.1 Původ a zdroje

Přirozeně dusík vzniká rozkladem organických látek rostlinného i živočišného původu. Významným zdrojem sloučenin dusíku jsou splaškové odpadní vody. Dle ČSN 75 6401 činí specifická produkce celkového dusíku 11 g/obyvatele/den. Dalším zdrojem jsou odpadní vody ze zemědělství, z živočišné výroby, z potravinářského průmyslu a tepelného zpracování uhlí. Ve velkém se dusík do vody dostává splachem z polí obdělávaných dusíkatými hnojivy. [7, 8]

#### 1.2.4.2 Vlastnosti

Dusík se ve vodách vyskytuje v různých formách. Nejdůležitějšími formami anorganicky vázaného dusíku jsou amoniakální, dusičnanový a dusitanový dusík. Organicky vázaný dusík se vyskytuje ve formě bílkovin, močoviny, aminů a dalších dusíkatých látek. [8]

Kromě toho, že se dusík podobně jako fosfor významně podílí na eutrofizaci vod, je třeba zmínit speciální postavení amoniakálního dusíku. Amoniakální dusík má významné toxické účinky na ryby a zooplankton. Toxicita obsaženého amoniaku se odvíjí od teploty a pH vody, obsahu kyslíku nebo doby expozice. Mimo jiné je zvýšený obsah amoniakálního dusíku indikátorem fekálního znečištění vody. [8]

Z hlediska odstraňování amoniakálního dusíku na ČOV jsou zásadní dva na sebe navazující procesy, kdy je nejprve amoniakální dusík oxidován na dusitany a dusičnany (nitrifikace), které jsou následně redukovány za anoxických podmínek na molekulový dusík. Tyto procesy by neprobíhaly bez pomoci specifických nitrifikačních a denitrifikačních mikroorganismů. Dle NV 401/2015, Sb. je minimální účinnost odstranění celkového dusíku na ČOV stanovena na 70 % [2]. [8]

Pro představu možných koncentrací přináší tabulka č. 1 hodnoty limitů z kanalizačního řádu pro ČOV Pečky a emisní standardy vypouštěné vody z komunálních čistíren odpadních vod dle NV č. 401/2015, Sb.

Tabulka 1 Příklady přípustných koncentrací  $NL_{105}$  a  $CHSK_{Cr}$  z kanalizačního řádu a emisní standardy pro ČOV

Ukazatel	Limit KŘ [9] [mg/l]	Emisní standardy ČOV <sup>1</sup> [2] [mg/l]
$CHSK_{Cr}$	1000	120
$NL_{105}$	500	30
$P_{celk}$	10	3
$N_{celk}$	60	15 <sup>2</sup>
$N-NH^{4+}$	35	15

### 1.3 Těžké kovy

Vymezit pojem těžké kovy by se mohlo zdát snadné, avšak z hlediska škodlivosti kovů se nám objevují i další pojmy jako jsou kovy toxické nebo esenciální. Všeobecně mezi kovy řadíme asi 80 prvků periodické soustavy. Jako těžké označujeme kovy s objemovou hmotností vyšší než 5 000 kg/m<sup>3</sup>, ale existuje i kritérium, které jako těžké kovy označuje ty, jejichž soli se srážejí sulfidem sodným za vzniku málo rozpustných sulfidů. [8]

Přibližně 30 kovových prvků označujeme jako kovy toxické, avšak ne všechny toxické kovy můžeme podle zmíněného kritéria řadit mezi kovy těžké a naopak. Speciálním pojmem jsou pak kovy esenciální. Tyto kovy jsou v určitých koncentracích nezbytné pro správné fungování organismů. Na druhou stranu nadměrné koncentrace těchto prvků mohou být toxické. Mezi tyto prvky řadíme například měď a zinek. Pro účely předložené práce se o kovech, které jsou pro nás z hlediska ekotoxikologického podstatné, vyjadřujeme jako o kovech těžkých. [8, 10]

<sup>1</sup> Platné pro ČOV kategorie 2 001-10 000 EO, kam spadá ČOV Pečky

<sup>2</sup> Pro kategorii ČOV Pečky není standard pevně daný. Použit je standard ČOV pro 10 001- 100 000 EO.

Pro tuto diplomovou práci bylo vybráno šest těžkých kovů, kterým bude náležet hlavní pozornost. Jsou to: rtuť, kadmium, olovo, zinek, měď, nikl a arsen. Mezi prioritní látky jsou zařazeny rtuť, kadmium, olovo a nikl. [11]

### 1.3.1 Rtuť

#### 1.3.1.1 Zdroje a původ

Hlavní rudou obsahující rtuť je cinabarit známý také jako rumělka s chemickým vzorcem HgS. Rtuť se obecně velmi často objevuje ve sloučeninách se sírou. Právě při pražení těchto sulfidických rud se rtuť dostává do atmosféry. Nezanedbatelným zdrojem rtuti jsou atmosférické vody kontaminované spalováním fosilních paliv a odpadní vody z některých typů průmyslové výroby a jejich technologií jako je například elektrolýza NaCl amalgámovým způsobem, úprava rud, syntéza za použití sloučenin rtuti jako katalyzátorů. Rtuť obsahuje i některé pesticidy. [8]

#### 1.3.1.2 Vlastnosti

Velkým problémem je rtuť nahromaděná v sedimentech, které byly v kontaktu s kontaminovanou vodou. V těchto sedimentech se vyskytují methanogenní bakterie, které v anaerobním prostředí z méně toxických anorganických sloučenin vytvářejí velmi nebezpečnou sloučeninu s názvem methylртуť. Methylртуť je rozpustná ve vodě i v tucích velmi snadno se tak dostává například do rybiho masa. Odtud je zase velmi snadná cesta k dalším konzumentům, mezi které patří i člověk. Obecně se dá říct, že sloučeniny rtuti mají mimořádnou schopnost akumulovat se v organismech, což je zapříčiněno právě vysokou lipofilitou molekul těch to látek. [8, 10]

Například nemoc způsobená otravou rtutí známá pod názvem minimata se poprvé objevila u rybářů v zálivu Minamata v Japonsku v roce 1953. Na objevení příčiny však místní obyvatelé čekali celých šest let. Teprve tehdy bylo zjištěno, že rtuť pochází z masa ryb žijících ve vodě, kterou methylртуť kontaminovala továrna na výrobu acetaldehydu a vinylových sloučenin. „Horečka tančících koček“, jak byla tato nemoc pojmenována kvůli projevům právě u koček, se u člověka projevuje neurologickými problémy jako je v první fázi třes rukou a nohou, zúžení zorného pole, poškození sluchu a řeči. V další fázi přichází postupné šílenství, ochrnutí, a nakonec koma a smrt. Pokud už nemoc propukne, její mortalita přesahuje 50 %. [12]

Toxicita rtuti se odvíjí také od formy, ve které se vyskytuje. Rozdílné je působení kovové rtuti, páry, a právě anorganických nebo organických sloučenin. Záleží také na době expozice. Rtuť se pevně váže na některé enzymy a tím ovlivňuje jejich funkčnost. Váže se na albumin a hemoglobin, čímž poškozuje krevní buňky. Rtuť navázaná na buněčné membrány znemožňuje aktivní transport živin do buněk, a naopak zvyšuje propustnost pro draslík. Například pokud dojde k nedostatečnému zásobování mozkových buněk cukry, dochází k jejich postupnému odumírání a přemíra draslíku způsobuje poruchy přenosů nervových signálů. Z tohoto hlediska jsou velmi nebezpečné páry rtuti, které se dostanou přes plíce do krevního řečiště velmi snadno.

Akutní inhalační otrava rtuť se projeví kovovou pachutí v ústech, sliněním, průjmem a v některých případech i pneumonií. Velmi nebezpečná je rtuť pro děti, u kterých způsobuje tzv. růžovou nemoc. Již zmiňovaná methylrtuť je extrémně nebezpečná z toho důvodu, že dokáže projít přes plodovou placentu a poškodit plod a také právě projde přes hemoencefalickou bariéru mezi krví a mozem. [10, 13]

Ve vodním ekosystému jsou to hlavně ryby, které mají schopnost kumulovat rtuť ve svých tkáních a od určitého množství je pro ně i toxická. Dále rtuť poškozují řasy i bezobratlé organismy. [10]

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. stanovuje normy environmentální kvality rozpuštěné rtuti na maximální průměrnou koncentraci v povrchových vodách 0,07 µg/l. [2]

### 1.3.2 Kadmium

Kadmium je měkký kov, který je využíván kvůli vysoké odolnosti vůči korozi podobně jako zinek. Na rozdíl od zinku se však nejedná o esenciální prvek a na organismy působí vysoce toxicky. [10]

#### 1.3.2.1 Zdroje a původ

Kadmium se vyskytuje přirozeně v prostředí a většinou doprovází zinek v jeho rudách nebo v půdě. Největším zdrojem kadmia ve vodě a atmosféře jsou právě procesy zpracování těchto rud. Nezanedbatelným zdrojem byly dříve kaly z čistíren odpadních vod, které se používaly jako hnojiva. Mezi další zdroje můžeme zařadit odpadní vody z galvanického pokovování a výroby baterií. Kadmium se dostává také do atmosféry až už při zpracování samotných rud nebo při spalování nafty, topných olejů nebo některých plastů, k jejichž výrobě se kadmium používá jako stabilizátor. Kadmium patří mezi zpoplatněné ukazatele vypouštěných průmyslových odpadních vod. [8, 14]

Zatímco v mořské vodě se ho průměrně vyskytuje 0,1 µg/l a v labské vodě v profilu Děčín byla průměrná hodnota koncentrace v roce 1999 0,13 µg/l, vody v okolí rudných nalezišť mohou obsahovat kadmium v koncentracích až desítek mg/l. Nařízení vlády č. 401/2015, Sb. stanovuje limit maximální průměrné roční koncentrace kadmia pro povrchové vody v rozmezí od 0,45 (nejměkčí voda) do 1,5 µg/l (nejtvrdší voda). [2, 8]

#### 1.3.2.2 Vlastnosti

Koncentrace kadmia ve vodách může být významně zkreslena jeho adsorpcí v sedimentech, kde je jeho schopnost adsorbovat vázaná na množství huminových látek. Některé rostliny fungují dokonce jako hyperakumulátory kadmia podobně jako vyšší houby. Ve svých organismech také velmi dobře kumulují kadmium mořští živočichové jako jsou mušle, ústřice nebo krabi. [10]

Kadmium patří mezi velmi nebezpečné jedy. V žebříčku toxicity těžkých kovů zaujímá druhé místo hned za rtuť. Toxicita se odvíjí od formy výskytu kadmia a jako nejvíce nebezpečný se jeví jednoduchý iont. Kadmium je nebezpečné pro vodní organismy i pro člověka. Dále se kadmium podílí na hypertenzi a patří mezi prokázané karcinogeny.



Onemocnění z otravy kadmíem se nazývá itai-itai a bylo poprvé popsáno v roce 1969 v Japonsku. [8]

### 1.3.3 Olovo

Olovo patří k nejdéle využívaným těžkým kovům. Pro člověka nemá žádný esenciální význam, naopak jeho hromadění v organismu má prokazatelně toxické účinky. Nejrozšířenějšími olověnými rudami jsou galenit (PbS), anglesit (PbSO<sub>4</sub>), cerusit (PbCO<sub>3</sub>) a hydrocerusit [Pb<sub>3</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>]. [8, 10]

Olovo je těžkým kovem, jehož emise do prostředí prošly v průběhu posledních 100 let turbulentním vývojem. Zásadní podíl na tom má využívání olovnatého paliva v minulém století. Tetraethylplumban byl poprvé použit jako aditivum do benzínu ve dvacátých letech dvacátého století v USA. Do paliva se přidával jako antidetonační přísada zabraňující samovznícení paliva, které bylo do té doby obrovským problémem. K prvním komplikacím došlo nedlouho po zahájení výroby olovnatého benzínu přímo v továrně v New Jersey, kde na otravu olovem zemřelo pět pracovníků a řada dalších vykazovala známky neuropsychiatrického onemocnění z důvodu intoxikace olovem. K daleko rozsáhlejšímu problému docházelo při samotném spalování těchto paliv, kdy se olovo dostávalo do ovzduší spolu s výfukovými plyny. Důsledkem toho se začalo olovo hromadit ve vegetaci v okolí silnic a ze znečištěné atmosféry se srážkami začalo dostávat i do vod povrchových a podzemních. [8, 15]

Přestože katastrofální účinky olova na lidské zdraví byla avizována řadu let, k zásadnímu zlomu došlo v sedmdesátých letech, kdy byla postupně zaváděna povinnost použití katalyzátorů ve výfukových sestavách automobilů. Tyto katalyzátory byly olovem poškozovány, a proto se od jeho použití začalo upouštět. Následně začalo docházet k úplnému zákazu olovnatých paliv. V České republice byl prodej olovnatého benzínu (známého pod označením Super nebo Special) ukončen k 1. 1. 2001. Optimistická představa tedy je, že by se už v žádné zemi na světě neměl olovnatý benzin na silnicích používat. Posledním takovým státem bylo Alžírsko. [16, 17]

#### 1.3.3.1 Zdroje a původ

Dalším zdrojem olova ve vodě může být koroze olověných částí vodovodního potrubí, odpadní vody ze zpracování olověných rud, ze slévárenství, z výroby akumulátorů nebo sklářského průmyslu. K poznámce o olověných částech vodovodního potrubí se hodí dodat, že tyto případy se vyskytují již pouze výjimečně. Z důvodu závadnosti olova bylo přistoupeno k nahrazení olova ocelí, mědí či plasty [8]. Olovo se velmi dobře akumuluje v plaveninách, sedimentech, kalech, ale také v biomase mikroorganismů a rostlin. [10]

#### 1.3.3.2 Vlastnosti

Olovo se velmi dobře akumuluje v plaveninách, sedimentech, kalech, ale také v biomase mikroorganismů a rostlin. Jeho toxicita je spojená se schopností tvořit stabilní sloučeniny se skupinou -SH v thiolech. Tyto látky jsou součástí některých

enzymů a zabraňují v organismu například syntéze hemoglobinu, čím způsobují anemické stavy. U člověka se nejnáze akumuluje v kostech, a navíc působí jako antagonist vápníku. V době, kdy je v těle nedostatek vápníku, nahromaděné olovo se dá do pohybu a dostane se krevním řečištěm i do dalších orgánů. Často dochází k poškození jater, ledvin, reprodukčního systému a samozřejmě také nervového systému. Podobně jako rtuť, tak i olovo je schopné překonat ochrannou bariéru placenty a poškodit nervovou soustavu plodu nebo dokonce vyvolat potrat. Olovo je také zařazeno mezi potenciální karcinogeny. Podobně škodlivě jako na člověka, působí olovo i na vodní organismy. [8, 10]

Nařízení vlády č. 401/2015, Sb. stanovuje normy environmentální kvality rozpuštěného olova na maximální průměrnou koncentraci v povrchových vodách 14 µg/l. [2]

### 1.3.4 Zinek

Zinek je relativně měkký kov, který se využívá zejména ve formě slitin s jinými kovy jako je mosaz (zinek a měď) nebo bronzy (zinek a měď a cín). [10] V přírodě se vyskytuje přirozeně ve formě zinkových rud jako je sfalerit (ZnS) a smithsonit (ZnCO<sub>3</sub>).

#### 1.3.4.1 Zdroje a původ

Mezi antropogenní zdroje zinku patří spad zinku z atmosféry, kam se dostane spalováním fosilních paliv nebo při zpracování neželezných rud. Do odpadní vody se dostává v závodech zpracovávajících zinkové rudy, v mořárnách mosazi, elektrotechnických výrobních nebo v povrchových úpravách kovů. Do kanalizace a potažmo do vodotečí se zinek může dostat spolu s vodou, která se pouze setkala s pozinkovaným materiálem, jako jsou okapy, různé nádoby nebo zábradlí a svodidla na komunikacích. Dalším zdrojem zinku mohou být některá hnojiva nebo deponované kaly z čistíren odpadních vod. [8]

#### 1.3.4.2 Vlastnosti

Zinek patří k esenciálním prvkům a to znamená, že jeho určitá koncentrace je nezbytná pro fungování lidských, zvířecích ale i rostlinných organismů. Nedostatek zinku může vést ke špatnému vývoji lidského organismu zejména v době dospívání, ale obecně může způsobit neuropsychické abnormality, dermatitidy nebo může poškodit imunitní systém. V organismu je součástí celé řady důležitých enzymů a jako takový se podílí na metabolismu bílkovin a nukleových kyselin. Zajímavostí je, že dithiokarbamáty zinku byly používány pro léčbu alkoholové závislosti (lék antabus). Později se ale ukázalo, že tato látka má pravděpodobně karcinogenní účinky, a tak bylo od jejího použití postupně upuštěno. [10]

Přebytek zinku v lidském organismu může způsobit tzv. horečku z kovů, jejíž hlavními příznaky jsou únava, bolesti hlavy, kašel, vysoké teploty, dehydratace nebo obsah bílkovin v moči. Tyto projevy má za následek alergická reakce na oxidem zinečnatým denaturované bílkoviny. [10] Zinek je ale hlavně velmi toxický pro vodní organismy. Nejvíce citlivé jsou lososovité ryby, které odolají koncentracím přibližně 0,1 mg/l.

Kaprovité ryby snášejí zinek o něco lépe, avšak mezní koncentrace se v měkkých vodách pohybuje kolem 0,3 mg/l. Toxicita zinku velmi závisí na složení vody. Obecně se dá říct, že v málo mineralizovaných (měkkých) vodách mají tytéž koncentrace daleko výraznější účinky než ve vodě více mineralizovaných. [8]

Narizení vlády č. 401/2015, Sb. stanovuje normu environmentální kvality pro zinek na maximální průměrnou koncentraci zinku v povrchových vodách 92 µg/l. [2]

### 1.3.5 Měď

#### 1.3.5.1 Zdroje a původ

Přírodním zdrojem mědi může být rozklad sulfidů (zejména chalkopyritu a chalkosinu), čímž se měď dostává do podzemních vod. Měď antropogenního původu se vyskytuje v odpadních vodách z povrchové úpravy jiných kovových materiálů. Dále jsou sloučeniny mědi používány jako prostředek pro zamezení rozvoji řas a sinic nebo jsou přísadami do fungicidních přípravků. Pro tyto účely se používá zejména modrá skalice neboli pentahydrát síranu měďnatého. Nemalou měrou také přispívá rozpouštění měděného vodovodního potrubí v důsledku agresivního působení vody. Dalším zdrojem mohou být atmosférické depozice v okolí hutních závodů a vody, kterými jsou oplachovány měděné střechy a okapy.

#### 1.3.5.2 Vlastnosti

Měď velmi ochotně tvoří komplexy s organickými látkami. U mědi je zajímavé, že imisní limit pro povrchové vody je přísnější než limit pro jakost pitné vody. Toto je dáno vysokou toxicitou mědi pro ryby a ostatní vodní organismy, proto je třeba dbát zvýšené opatrnosti při používání algicidních preparátů pro odstraňování řas a sinic. Toxicita závisí hlavně na formě výskytu mědi, přičemž nejvíce toxickou je jednoduchý iont  $\text{Cu}^{2+}$  a dále například hydroxid měďnatý. Měď dále ve vodě snadno přechází z rozpuštěné na nerozpuštěnou formu a ochotně se akumuluje v sedimentech. [8]

Měď patří mezi esenciální prvky a je nezbytná pro správné fungování metabolismu železa v lidském organismu. Její nedostatek může zapříčinit nedostatečnou syntézu hemoglobinu a následné anemické stavy. Naopak přebytek mědi v organismu způsobuje tzv. Wilsonovu nemoc, kdy se přebytečná měď hromadí v játrech, ledvinách, mozku nebo také oční rohovce. Následkem je nedostatečná funkce zmíněných orgánů a jejich celkové poškození. [10]

### 1.3.6 Nikl

#### 1.3.6.1 Zdroje a původ

Nikl se nejčastěji v přírodě vyskytuje v rudách společně se sírou, arsenem nebo antimonem. Nejvýznamnějším antropogenním zdrojem niklu jsou odpadní vody z povrchové úpravy kovů. Zde se nikl uplatňuje jako antikorozi ochrana jiných kovových materiálů. Dále je hojně využíván v ocelářském průmyslu jako součást různých slitin, v keramickém a sklářském průmyslu a v chemickém průmyslu jako

katalyzátor. Do vody se také často dostane kontaktem vody s poniklovanými součástkami například rozvodných soustav. [8]

#### *1.3.6.2 Vlastnosti*

Pro člověka nikl představuje riziko z důvodu jeho potenciální karcinogenity. Vdechovaný prach vznikající při opracovávání poniklovaných součástek může způsobit rakovinu plic nebo sliznic dýchacího ústrojí. Kontakt poniklovaných předmětů v dlouhodobějším horizontu způsobuje různé dermatitidy až chronické ekzémy a jako potenciální zdroj niklu v lidském organismu se jeví poniklované hlavice náhradních kloubů. [10]

Ve vodním prostředí dochází ke kumulaci niklu zejména prostřednictvím řas a bezobratlých organismů, v menší míře se poté hromadí také v organismech ryb. [10]

Nařízení vlády č. 401/2015, Sb. stanovuje normy environmentální kvality rozpuštěného niklu na maximální průměrnou koncentraci niklu v povrchových vodách 34 µg/l. [2]

### 1.3.7 Arsen

#### *1.3.7.1 Zdroje a původ*

Arsen doprovází zejména sulfidické rudy, proto bývá součástí různých hornin a půd, odkud se může dostávat do podzemní či povrchové vody. S podzemní vodou se může také samozřejmě dostávat i do kanalizace ve formě balastních vod. Jako nekontaminované půdy se označují ty, jejichž obsah arsenu se pohybuje v rozmezí 2 – 10 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny. Ve velmi kontaminovaných půdách se může vyskytovat obsah arsenu v řádech jednotek gramů na kg sušiny.

Mezi zásadní antropogenní zdroje arsenu patří spalování fosilních paliv, hutní a rudný průmysl, koželužny nebo sklárny a také je součástí nejrůznějších pesticidů. Může být obsažen ve velké míře ve výluzích z elektrárenských popílků, proto je potřeba důsledně kontrolovat drenážní odtok odkališť elektráren. [8]

#### *1.3.7.2 Vlastnosti*

Arsen velmi dobře sorbuje na plaveninách a sedimentech, a speciálně těch, které obsahují oxid železitý, oxid hlinitý či jílové částice. Ostatně sorpce arsenu na oxidech hliníku a železa je využívána pro jeho odstranění z vod. V sedimentech bývá arsen stabilní, dokud se nedostane do redukčního prostředí, kde se snadno mobilizuje do kapalné fáze. Podobně jako v případě rtuti dochází za přispění bakterií i fytoplanktonu biochemickou cestou k vytváření methylderivátů, které jsou podstatně více nestabilní a pohánějí distribuci arsenu mezi kapalnou fází a sedimenty. [8]

Arsen je velmi jedovatý. I v malých koncentracích dlouhodobě způsobuje chronická onemocnění. U člověka se chronická otrava arsenem projevuje kožními problémy, trávicími potížemi, aplastickou anémií, poruchami nervové soustavy a vyústit může až v rakovinu kůže nebo plic. Při vystavení se vysokým koncentracím arsenu dochází k akutní otravě, která je provázena bolestmi hlavy, akutními trávicími potížemi

a skončit může selháním krevního oběhu a smrtí. Arsen působí toxicky i na rostliny a živočichy. Na živočichy má teratogenní účinky. [10]

Nariadení vlády č. 401/2015, Sb. stanovuje normu environmentální kvality pro arsen na maximální průměrnou koncentraci arsenu v povrchových vodách 11 µg/l. [2]

### 1.3.8 Zdroje těžkých kovů – shrnutí

Tabulka č. 2 přináší přehled nejdůležitějších zdrojů kontaminace životního prostředí těžkými kovy. [10]

*Tabulka 2 Nejdůležitější zdroje kontaminace životního prostředí těžkými kovy [10]*

<b>Těžký kov</b>	<b>Zdroj kontaminace</b>
Olovo	Úpravny rud, hutě, rafinerie, chemický průmysl, akumulátory, pigmenty do barev, olovnaté sklo, přísady do glazur, zemědělství (hnojiva, insekticidy), spalování fosilních paliv
Arsen	Zpracování rud, aditiva do skla, zemědělství (hnojiva, insekticidy), kouření, léčiva pro veterinární medicínu, ochranné prostředky na dřevo
Zinek	Galvanizace, pigmenty do barev a keramických glazur, slitiny (mosaz, bronz), zemědělství, komunální odpad, kouření
Kadmium	Doprovodný kov v zinkových a olověných rudách, zemědělství, pigmenty pro barvy a plasty, baterie, spalování fosilních paliv, baterie, kouření
Rtuť	Zpracování rud, zemědělství (herbicidy, fungicidy), elektrochemie, katalytické procesy, baterie, lékařství (teploměry, zubní amalgamy), spalování fosilních paliv
Nikl	Úpravny rud, hutě, rafinerie, baterie, pokovování, slitiny, kosmetické přípravky (šampony, laky na vlasy), kouření

Tabulka č. 3 pro doplnění uvádí hodnoty limitních ročních průměrných koncentrací dle Nariadení vlády č. 401/2015, Sb. a koncentrace zjištěné v roce 1999 v labské vodě v profilu Děčín. [2, 8]

Tabulka 3 Limity NEK a koncentrace naměřené v Labské vodě

Těžký kov	NEK-RP dle Nařízení vlády č. 401/2015, Sb. [2]	Průměrná roční koncentrace v labské vodě v profilu Děčín v letech 1999-2000 [8]
	[µg/l]	[µg/l]
Olovo	14	2,3 <sup>3</sup>
Arsen	11	5
Zinek	92	50
Kadmium	0,45-1,5	0,13
Rtuť	0,07	0,06
Nikl	34	4,7
Měď	14	4-20,5

Při hledání zdrojů jednotlivých těžkých kovů v urbanizovaném povodí se ukázalo, že u některých kovů je jejich původ zcela zřejmý a odůvodněný. Mezi takové kovy patří třeba měď, zinek nebo rtuť a nikl. Na druhou stranu u kovů jako je kadmium nebo olovo se ne vždy daří objasnit jejich původ. [18]

Kvalita povrchového odtoku může být velmi různorodá. Některé studie uvádějí, že až 80 % celkového množství těžkých kovů v kanalizaci pochází z oplachu povrchů střech a silničních komunikací. Zatímco u olova byl zjištěn významný historický trend s postupným upouštěním od olovnatých paliv, jak už bylo uvedeno výše, například pro zinek žádný časový trend pozorován není. Největším zdrojem zinku je oplach pozinkovaných střech a okapů a jiných pozinkovaných konstrukcí, jako mohou být v případě komunikací různá zábradlí, konstrukce mostu, svodidla a podobně. Nemalou měrou přispívá také oplach a obrus jednotlivých částí automobilů, kde je zinek a jiné kovy také přítomen. Mohou to být jednotlivé části karoserie nebo také brzdy. [3, 19]

Z komunikací mohou být také oplachovány zbytky paliv nebo jiných provozních kapalin. Je jasné, že výfukové plyny obsahují také spoustu těžkých kovů. Ty se mohou dostávat do atmosféry nebo na samotný povrch silnic a parkovacích ploch. Zajímavostí je, že mnohem více znečištěná může být místní komunikace ve městě, po které projedou denně jednotky tisíc automobilů než dálnice, po které projede denně mnohonásobně více aut. Důvodem je zcela logicky jiný styl jízdy ve městě a po dálnici. Ve městě je třeba často brzdit a znovu se rozjíždět, čímž se produkuje daleko více znečištění než plynulá jízda po dálnici. Rozdíly ve znečištění ale mohou být i mezi různými druhy parkovišť. Jiné znečištění je na parkovišti u obchodního centra a jiné například na parkovišti pro zaměstnance firmy. Samostatnou kapitolou jsou pak sedimenty, které se usazují na a v blízkosti komunikací. Na pevných částicích těžké kovy velice ochotně adsorbují. Jako řešení se nabízí časté zametání ulic například před příchodem srážky nebo v pravidelných intervalech. Ukázalo se však, že nejvíce těžkých kovů adsorbuje na nejmenších částicích prachu, které není technicky možné pořádně zamést. [18, 19]

<sup>3</sup> Hodnota je stanovena pro labskou vodu v profilu Hřensko.

Dle studie ze Stockholmu [18] je zinek v odpadní vodě z domácností původem v největší míře z potravy obyvatel a z vodovodního potrubí. Pitná voda je zase významným zdrojem niklu ve splaškové vodě. Zajímavý je původ kadmia a rtuti, jelikož celkový obsah v odpadní vodě bývá velmi malý. Zde se udává, že největší měrou se na objasněném obsahu kadmia, mimo myček aut, podílí malířské potřeby a u rtuti je to amalgam obsažený v plombách zubních pacientů. Však také zubní ordinace mohou být nejzávažnějším producentem rtuti v městské kanalizaci. Nicméně zubní ordinace bývají vybaveny odlučovači rtuti z použité vody a také jsou mnohdy přísně a pravidelně kontrolovány. Pro zajímavost si můžeme prohlédnout tabulku č. 4 ze zmíněné studie, která naznačuje produkované množství těžkých kovů na obyvatele za den a celkový poměr produkce těžkých kovů v odpadní vodě k množství, které se dostane na čistírnu odpadních vod. [18]

Tabulka 4 Specifická produkce těžkých kovů v odpadní vodě [18]

Původ	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Cd	Hg
	μg/osoba/den						
Jídlo	1200	11000	20	30	80	10	2-6
Amalgam	-	-	-	-	-	-	60
Prací prášky	1,8	2,1	2,1	0,55	0,55	1,1	1,4
Malby	-	-	-	-	-	11	-
Potrubí	12500	2100	-	-	-	-	-
Pitná voda	610	406	6	20	610	-	-
Celkem	14300	13600	28	51	690	22	63-67
Zaokrouhlená čísla							
	kg/rok (1999)						
Domácnosti	3300	3100	6,4	12	160	5,1	14-15
Nátok na ČOV	5560	10300	680	480	1000	25,6	31,6
% zatížení pocházející z domácností	59	30	0,9	2,4	16	20	44-47

Tabulka č. 5 shrnuje původ vybraných těžkých kovů v odpadní a dešťové vodě. Vyjádřeno je procenty, na kolik se který zdroj podílí na celkovém obsahu a také celková objasněnost původu nebo podíl z dešťové a z odpadní vody. Důležitými poznatky z této Stockholmské studie je, že odpadní voda se podílí takřka ve všech případech na celkovém obsahu těžkých kovů více než voda dešťová a že u některých těžkých kovů je objasněnost jejich zdrojů velmi malá (olovo, chrom, kadmium) [18].

Tabulka 5 Podíl jednotlivých zdrojů těžkých kovů v kanalizaci [18]<sup>4</sup>

Zdroj		Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Cd	Hg
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Odpadní voda	Domácnosti	59	30	1	2	16	20	44-47
	Průmysl	30	27	38	13	13	32	21
	Balastní voda	2	4	1	2	10	3	1
	Sediment v kanalizaci	-	-	+	-	-	-	+
Srážková voda	Budovy	13-17	24	-	-	-	1	-
	Doprava	5	10-11	9-11	<1	<1	1	-
	Atmosférický spad	<1	2	4	1	1	4	-
	Sediment	-	-	+	-	-	-	+
V rámci ČOV	Chemikálie	-	2	-	5	31	-	-
Celkem ze všech zdrojů <sup>5</sup>		109-113	99-100	53-55	23	71	60	66-69
Podíl z odpadní vody		91	61	40	17	39	55	66-69
Podíl ze srážkové vody		18-22	36-37	13-15	1	1	5	-

### 1.3.9 Odstranitelnost těžkých kovů na ČOV

Odstranitelnost těžkých kovů na ČOV souvisí ve velké míře s jejich ochotou sorbovat se na pevné částice. Pokud jsou částice dostatečně velké, dojde k odstranění velké části těžkých kovů v primární sedimentaci spolu s nerozpuštěnými látkami. Právě účinnost odstranění nerozpuštěných látek hodně koreluje s účinností odstranění těžkých kovů. Například rtuť, olovo, zinek nebo měď se velmi ochotně vážou do organické hmoty. Proto mohou být z části zachyceny v biologické části čistírny v kalu. Konkrétní hodnoty účinnosti zjištěné z literatury jsou uvedeny v praktické části pro porovnání účinností zájmové čistírny odpadních vod. [8, 20]

### 1.4 Polycyklické aromatické uhlovodíky

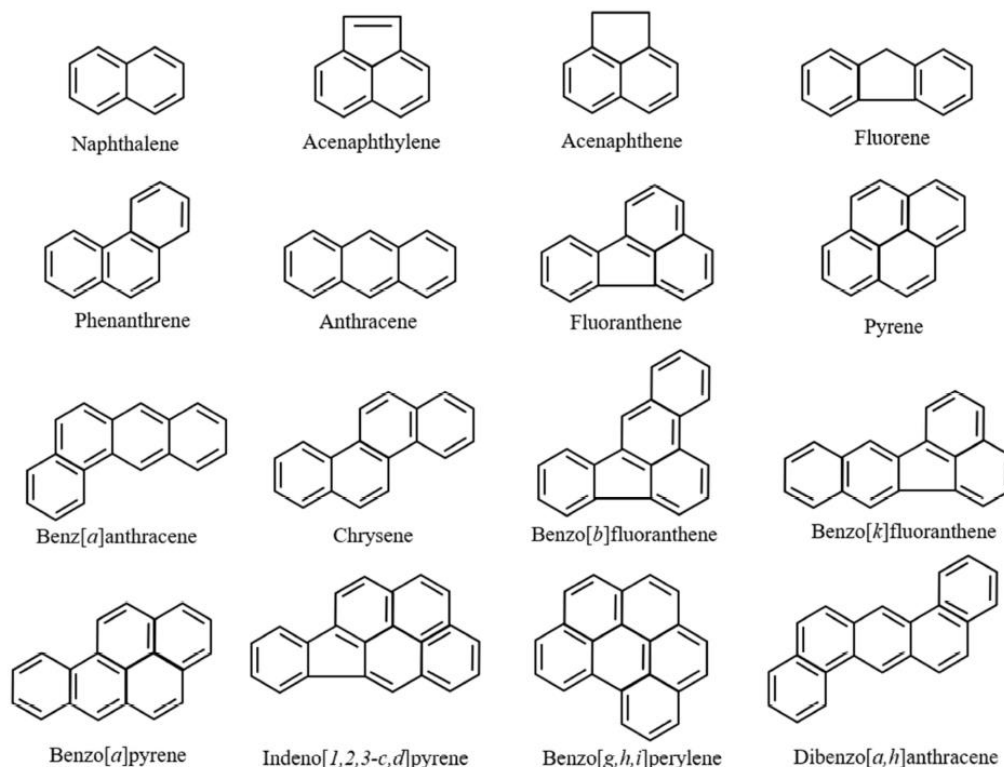
Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU/PAH) tvoří samostatnou skupinu uhlovodíků. Název této skupiny je odvozen od struktury těch to látek, která je tvořena dvěma a více aromatickými jádry, některé PAU mohou obsahovat i nearomatická jádra. Nejznámějšími představiteli jsou naftalen tvořený dvěma benzenovými jádry, anthracen, fenantren, acenaftalen, acenaften, fluoren, pyren, benzo(a)pyren a řada dalších. Následujících 16 PAU bylo určeno americkou Agenturou pro ochranu životního prostředí jako prioritní zástupci polycyklických aromatických uhlovodíků. Jedná se o tyto látky: naftalen, acenaftalen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranthen, pyren, benz(a)antracen, chrysen, benzo(b)fluoranthen, benzo(k)fluoranthen, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-c,d)pyren, benzo(g,h,i)perylene a dibenzo(a,h)antracen. Tato skupina bývá také vyhodnocována jako celkový obsah PAU. Avšak dle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2013/39/EU, a tedy i Nařízení vlády č. 401/2015, Sb.,

<sup>4</sup> Znaménko minus (-) značí, že je zdroj zanedbatelný oproti ostatním a znaménko (+) znamená, že pravděpodobně je zdroj významný, ale množství nebylo stanovitelné

<sup>5</sup> Vyjadřuje také objasněnost původu kovu v systému



jsou jako prioritní látky v oblasti vodní politiky sledovány pod označením PAU benzo(a)pyren, benzo(a)fluoranthen, benzo(g,h,i)perylene, benzo(k)fluoranthen a indeno(1,2,3-c,d)pyren. Samostatně je poté sledován anthracen, fluoranthen a naftalen. Na obrázku č. 1 jsou strukturní vzorce vybraných PAU. [8, 11, 21]



Obrázek 1 Strukturní chemické vzorce vybraných PAU [22]

### 1.4.1 Vlastnosti PAU

PAU jsou představiteli rezistentních organických prioritních polutantů (POP). Zkratka POP z anglického persistent organics pollutants zastřešuje často velmi jedovaté organické látky, které mívají karcinogenní účinky a v životním prostředí jsou velmi stabilní. Kromě PAU do této skupiny řadíme například polychlorované bifenyly (PCB) nebo polychlorované naftaleny, které jsou používány jako součást hasících prostředků nebo jako ochrana dřeva. [23]

Jedná se o největší skupinu karcinogenů vznikajících při spalování, pyrolýze a pyrosyntéze organické hmoty. Mutagenita a případná karcinogenita PAU závisí ve velké míře na jejich struktuře. Obecně je známo, že karcinogenita stoupá s počtem kondenzovaných aromatických jader a nejvíce nebezpečné jsou sloučeniny s pěti kondenzovanými benzenovými jádry. Větší molekuly jsou méně nebezpečné z důvodu samotné velikosti, která může zabránit nitrobuněčnému pohybu molekuly. Tabulka č. 6 uvádí hodnoty popisující chronickou toxicitu vybraných PAU včetně údaje o počtu jader. [24]

Tabulka 6 Chronická toxicita některých PAU (stanovena pro myši a králíky) [24]

PAU	Počet jader	Relativní karcinogenní potenciál <sup>6</sup>	Mutagenita
Antracen	3	$6 \cdot 10^{-7}$	Ne
Benzo(a)antracen	4	$1 \cdot 10^{-3}$	Ano
Chrysen	4	$2 \cdot 10^{-5}$	Ano
Pyren	4	0	Ne
Benzo(b)fluoranthén	5	$5 \cdot 10^{-5}$	Neurčeno
Benzo(k)fluoranthén	5	$3 \cdot 10^{-5}$	Neurčeno
Benzo(a)pyren	5	1	Ano
Dibenzo(a,h)antracen	5	$3 \cdot 10^{-1}$	Ano
Benzo(g,h,i)perylene	6	Neurčeno	Neurčeno

Polycyklické aromatické uhlovodíky mají všeobecně nejhorší rozpustnost ve vodě ze všech uhlovodíků. Zde je ale nutné podotknout, že pokud se bavíme například o odpadních vodách, které obsahují povrchově aktivní látky, jako jsou tenzidy, může se rozpustnost PAU až řádově zvýšit. Jak už ale bylo napsáno, je třeba brát v potaz sorpci uhlovodíků na nerozpuštěných látkách a sedimentech nebo inkorporaci do biomasy. Všechny tyto procesy se významně podílejí na migraci PAU v prostředí. [8]

Fyzikálně-chemické vlastnosti jednotlivých PAU jsou navázány na molekulovou hmotnost. S růstem molekulové hmotnosti roste bod tání, lipofilita – respektive rozdělovací koeficient oktanol-voda  $K_{ow}$ , který charakterizuje tendenci látky upřednostňovat nevodné nebo vodné prostředí. Naopak s rostoucí molekulovou hmotností zpravidla klesá rozpustnost ve vodě. Tabulka č. 7 přináší přehled vybraných fyzikálně-chemických vlastností PAU.

<sup>6</sup> Relativní hodnota karcinogenity byla vztažena k benzo(a)pyrenu, pro který bylo stanoveno, že prokazatelně zvyšuje pravděpodobnost výskytu rakoviny množství dosahující hodnoty  $2 \cdot 10^{-3}$  mg na 1 kg živé hmotnosti.

Tabulka 7 Přehled vybraných vlastností PAU při teplotě 25 °C [24]

Sloučenina	Molekulová hmotnost [g.mol <sup>-1</sup> ]	Rozpustnost [g.m <sup>3</sup> ]	Rozdělovací koeficient oktanol:voda log K <sub>ow</sub>
Naftalen	128,2	31,0	3,4
Acenaften	154,2	3,8	3,9
Acenaftylen	150,2	16,1	4,0
Fluoren	166,2	1,9	4,2
Fenanthren	178,2	1,1	4,6
Antracen	178,2	4,5.10 <sup>-2</sup>	4,5
Pyren	202,3	1,32.10 <sup>-1</sup>	5,2
Fluoranthren	202,3	2,6.10 <sup>-1</sup>	5,2
Chrysen	228,3	1,65	5,9
Benzo(a)antracen	228,3	1,1.10 <sup>-2</sup>	5,9
Benzo(a)pyren	252,3	3,8.10 <sup>-3</sup>	6,0
Benzo(b)fluoranthren	252,3	1,5.10 <sup>-3</sup>	5,8
Benzo(k)fluoranthren	252,3	8,0.10 <sup>-4</sup>	6,0
Benzo(g,h,i)perylene	268,4	2,6.10 <sup>-4</sup>	6,5
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	276,3	6,2.10 <sup>-2</sup>	6,6
Dibenzo(a,h)antracen	278,4	6,0.10 <sup>-4</sup>	6,8

Uhlovodíky včetně PAU obecně velmi dobře adsorbují na nerozpuštěných látkách, a tak je třeba sledovat také jejich koncentrace v sedimentech řek a vodních nádrží, které mohou být zásadním ukazatelem kontaminace vodního prostředí. [8]

Tabulka 8 Koncentrace vybraných polycyklických aromatických uhlovodíků v labské vodě a plaveninách v profilu Valy v roce 2000 [8, 11]

Uhlovodík	Průměrná koncentrace ve vodě [μg.l <sup>-1</sup> ] [8]	Limit NEK-RP <sup>7</sup> dle Nařízení vlády č. 401/2015, Sb.[μg.l <sup>-1</sup> ] [11]	Průměrná koncentrace v plaveninách [mg.kg <sup>-1</sup> ] [8]
Benzo(a)pyren	0,019	0,00017	903
Benzo(b)fluoranthren	0,013	neuveďeno <sup>8</sup>	603
Benzo(k)fluoranthren	7,3	neuveďeno	369
Fluoranthren	0,040	0,0063	1793
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,012	neuveďeno	479

Z tabulky č. 8 je zřejmé, že voda v Labi v profilu Valy nevyhovuje dobrému chemickému stavu dle Směrnice Evropského parlamentu a Rady ve vybraných ukazatelích.

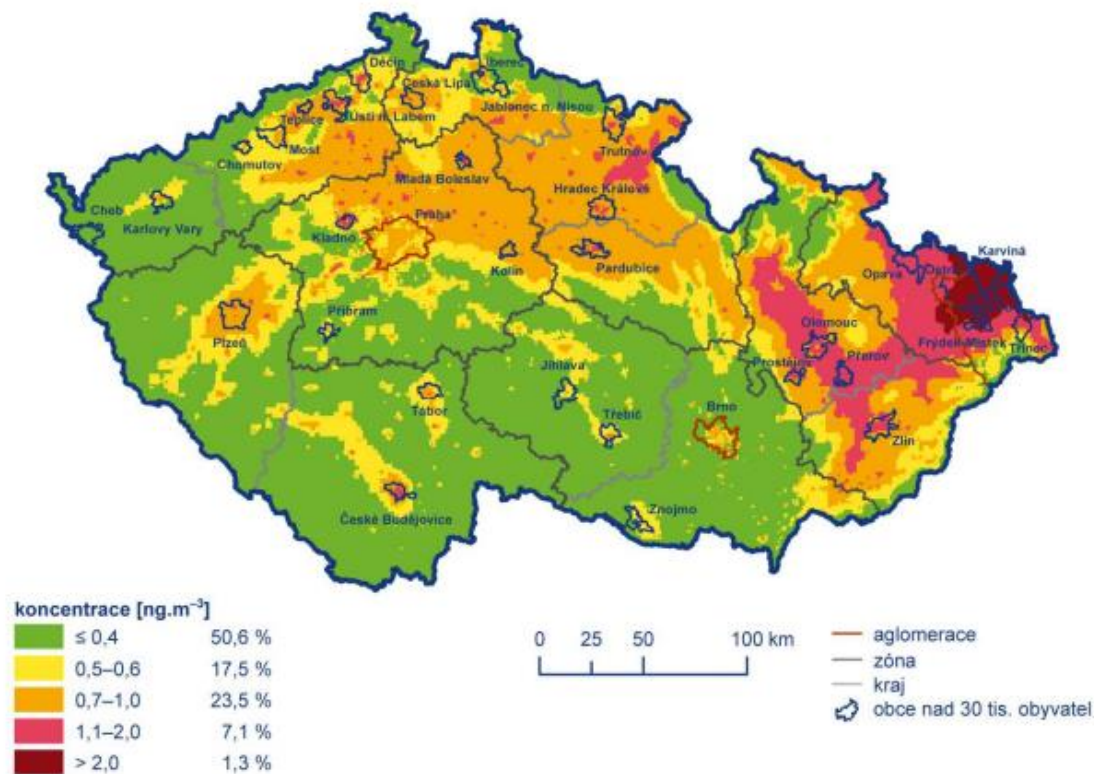
<sup>7</sup> Zkratka NEK-RP označuje normy environmentální kvality, a to v ročním aritmetickém průměru naměřených hodnot.

<sup>8</sup> Pokud není u PAU uvedena hodnota NEK-RP, znamená to, že se vychází pro vyhodnocení z koncentrace benzo[a]pyrenu.

## 1.4.2 Zdroje a původ PAU

Polycyklické aromatické uhlovodíky mohou vznikat přirozeně v přírodě biologickými procesy, zejména při odumírání fytoplanktonu, nejčastějším zdrojem je však spalování organické hmoty. Největší měrou přispívá nedokonalé spalování pevných a kapalných paliv v lokálních topeništích, provoz motorových vozidel, některé průmyslové technologie jako je například karbonizace uhlí nebo krakování ropy, lesní požáry nebo oplachy asfaltových povrchů. PAU jsou také obsaženy v dehtových nátěrech nebo prostředcích na impregnaci dřeva. [8]

Mezi nejčastější způsoby, jak se PAU dostanou do vody, patří cesta mokrou depozicí ze znečištěné atmosféry. PAU se v atmosféře mohou vyskytovat v plynné formě nebo sorbované na prachové částice. V tomto ohledu je nejproblematičtější látkou benzo(a)pyren. Ten vzniká nedokonalým spalování fosilních paliv a při některých technologiích výroby koksu a železa. Neustálé překračování imisního limitu benzo(a)pyrenu je jedním z nejzávažnějších problémů kvality ovzduší v České republice. Imisní limit pro průměrnou koncentraci je stanoven na  $1 \text{ ng.m}^{-3}$  a tento limit je pravidelně překračován na většině monitorovacích stanic. Asi očekávaným jevem je, že pravidelně nejhorší situace je v oblasti aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek, kde bývá limit překračován v průměru až osminásobně. Obecně je neuspokojivá situace v oblastech velkých aglomerací jako je Praha nebo Brno, avšak jako problémová se jeví i města s více než 30 000 obyvatel. Zdánlivě se dá říct, že dobrá situace je v místech malých sídel, ale tento dojem je pravděpodobně způsoben pouze nedostatečnou hustotou monitorovacích stanic. Nejlépe situaci vystihuje obrázek č. 2. [25]



Obrázek 2 Průměrná roční koncentrace benzo(a)pyrenu v ovzduší na území ČR v roce 2019 [25]

Ve vodním prostředí nalezneme z PAU v největších koncentracích fluoranthen, který je součástí motorové nafty nebo asfaltů. Samozřejmě nesmíme zapomenout na přímou kontaminaci vody průmyslovými odpadními vodami při nejrůznějších haváriích, ale především v důsledku závad a chyb obsluhy při dopravě, manipulaci a skladování ropy a ropných produktů. K největším haváriím dochází v souvislosti se samotnou těžbou ropy na ropných plošinách a její námořní přepravou. Ropa, která je tvořena hlavně alkany, cyklohexany a aromáty, obsahuje i řadu dalších látek jako mohou být totiž také polycyklické aromatické uhlovodíky, dusíkaté a sirté složky nebo kovy. [8, 24]

Jedním příkladem za všechny je havárie ropné plošiny Deepwater Horizon, kdy na jaře roku 2010 v důsledku exploze začala z vrtu unikat ropa. Únik se podařilo zastavit až za šest týdnů. Během této doby se do vod Mexického zálivu dostalo 780 milionů litrů ropy, která zamořila pobřeží ropnou skvrnou, jejíž největší rozloha činila odhadem 176 000 km<sup>2</sup>, což je asi dvě a čtvrt rozlohy České republiky. Havárie měla zásadní vliv na vodní organismy v oblasti a dá se říct, že zde ovlivňuje mořský život dodnes. [26]

Některé PAU jsou využívány také jako suroviny. Například acenaften nebo fluoren jsou používány při výrobě pigmentů, barviv, plastů, pesticidů a léčiv. Antracen se využívá jako ředidlo pro přípravky k ošetření dřeva a výrobě barviv. Fenanthren zase poslouží při výrobě pryskyřic a pesticidů. [27]

### 1.4.3 Odstranitelnost PAU na ČOV

Odstranitelnost PAU závisí opět na jejich vlastnostech. Obecně platí, že PAU se dvěma až čtyřmi jádry (naftalen, acenaften, acenaften, fluoren, fenanthren, antracen,

fluoranthen, pyren, benz(a)antracen, chrysen) podléhají mikrobiálním rozkladům a PAU s pěti a šesti jádry adsorbují na pevných částicích nebo inkorporují do biomasy a stávají se součástí kalu nebo sedimentují spolu s nerozpuštěnými látkami (benzo(b)fluoranthen, benzo(k)fluoranthen, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-c,d)pyren, benzo(g,h,i)perylene a dibenzo(a,h)antracen). Konkrétní hodnoty účinnosti odstranění na ČOV z literatury jsou použity v praktické části pro porovnání s účinností ČOV Pečky. [28]

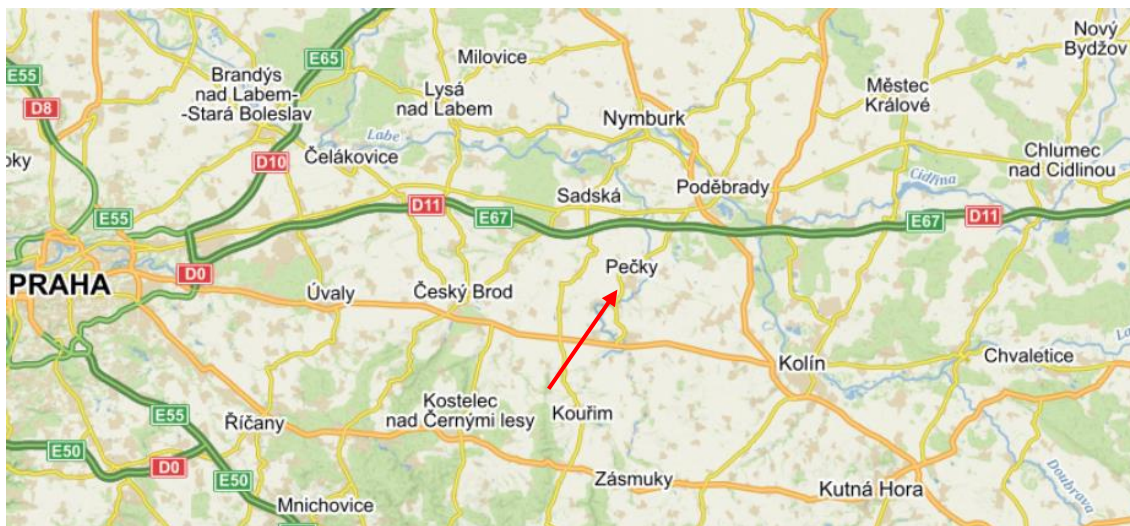
## 2 Praktická část

Praktická část této diplomové práce byla vypracována v rámci projektu, který se mimo jiné zabývá důvody nedosažení dobrého stavu povrchových vod dle Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2013/39/EU. Jde o projekt Technologické agentury České republiky nazvaný CENTRUM VODA s dobou řešení 2020-2026. Tato diplomová práce je součástí aktivit balíčku WP6 Identifikace zdrojů, původu a množství znečištění v odpadní vodě. Na projektu spolupracuje řada subjektů, jako jsou některé katedry Fakulty stavební ČVUT v Praze, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka a Český hydrometeorologický ústav. Cílem praktické části je zpracování výsledků analýz nutrientů, těžkých kovů a polycyklických aromatických uhlovodíků v zájmovém povodí čistírny odpadních vod Pečky.

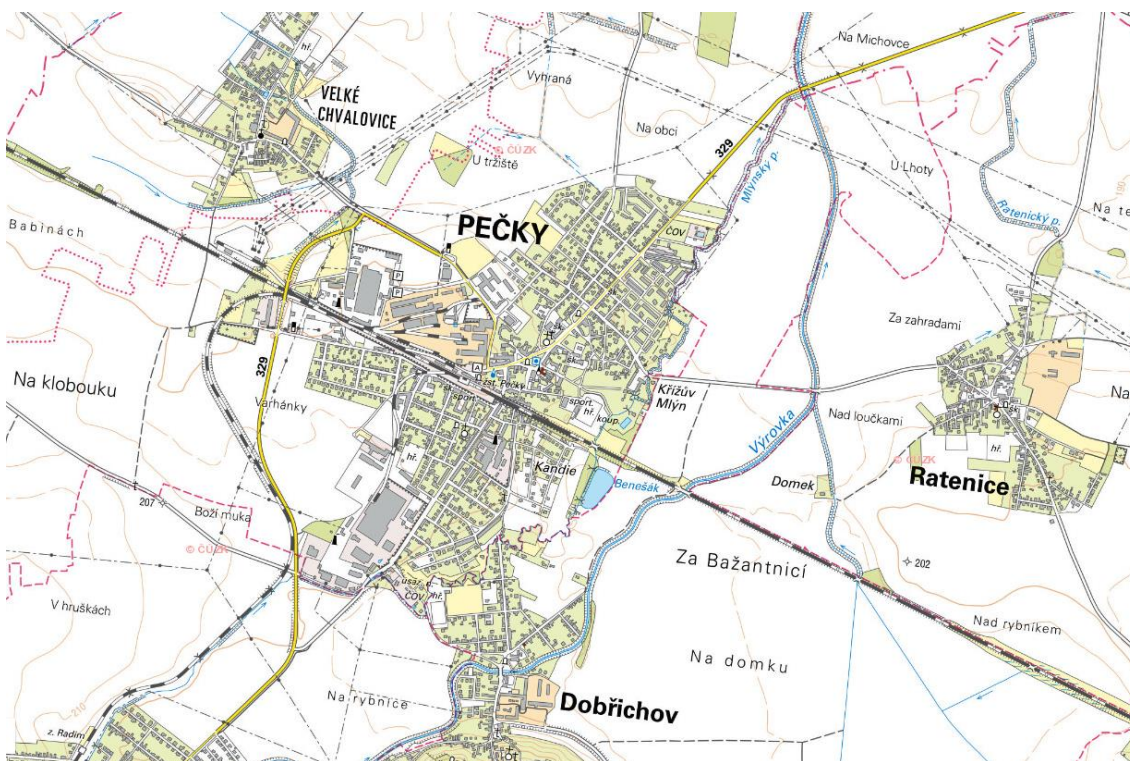
### 2.1 Charakteristika zájmového povodí

Pečky se nacházejí ve Středočeském kraji v Nymburské kotlině asi 15 km severozápadně od okresního města Kolín a 10 km jihozápadně od Poděbrad. K 1. 1. 2021 v Pečkách žilo dle údajů Českého statistického úřadu 4811 obyvatel. [29] Obec Pečky zahrnuje i sídlo Velké Chvalovice. Rozloha obce činí 10,75 km<sup>2</sup>. K masivnímu rozvoji původně zemědělské osady došlo v souvislosti s budováním železniční trati Praha – Kolín – Pardubice – Česká Třebová. Rozvoj přišel hlavně s vybudováním cukrovarů a dalších průmyslových závodů jako byly chemické továrny, slévárna nebo továrna na zemědělské stroje. Ostatně i dnes velkou část rozlohy obce zaujímají průmyslové areály, a to zejména v severozápadní a jihozápadní části Peček. Dominantním prvkem je železniční koridor, který rozděluje obec na severní a jižní část. Pečky jsou mimo železnici také snadno dostupné v rámci silniční dopravy, jelikož se nachází 4 km od dálnice D11. [30, 31]

Mimo Pečky naše zájmové povodí zahrnuje menší obce Dobřichov, Ratenice a Milčice. Milčice jako jediné spadají pod okres Nymburk. Celková katastrální rozloha území činí 28,2 km<sup>2</sup>. [31]



Obrázek 3 Umístění obce v širším území [32]



Obrázek 4 Výřez Základní mapy ČR s územím Peček a přilehlých obcí [33]

### 2.1.1 ČOV Pečky

Začněme nejprve charakteristikou samotné čistírny odpadních vod Pečky. ČOV se nachází na samém jihovýchodním okraji obce. Jedná se o mechanicko-biologickou čistírnu odpadních vod s kapacitou  $1050 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Projektovaná kapacita činí 7 000 ekvivalentních obyvatel. Odpadní vody jsou přiváděny přes hrubé česle, lapák šterku a lapák písku do jímky čerpací stanice se čtyřmi šnekovými čerpadly. Čerpadla stanice slouží jak k čerpání odpadních vod na čistírnu, tak pro přečerpávání zvýšených dešťových průtoků do recipientu. Odpadní voda putuje dále na biologický stupeň, tvořený soustavou čtyř za sebou řazených aktivačních nádrží, z nichž jsou funkční 3 (jedna denitrifikační a dvě nitrifikační, čtvrtá nádrž je využívána jako akumulace

vyčištěné vody, která se dále využívá jako provozní voda pro strojní odvodnění kalu. Pro vzdušňování aktivační směsi je zajištěno jemnobublinným systémem. Součástí linky je i okruh vratného kalu. Přebytečný kal je přiváděn do zahušťovací a akumulární nádrže, odkud je přečerpáván na linku strojního odvodnění kalu. Vyčištěná voda putuje z dosazovací nádrže přes měrný Parshallův žlab do recipientu. [9]

Recipientem ČOV Pečky je Mlýnský potok – Výrovka. Jedná se o tok napájený z řeky Výrovky (povodí Labe) pomocí jezu v obci Radim. Mlýnský potok ústí zpět do Výrovky přibližně 700 m pod čistírnou. Kromě městské čistírny odpadních vod ve vlastnictví obce Pečky a ve správě společnosti Pečecké služby, a.s. je do recipientu zaústěna ještě podniková ČOV společnosti ZPA, a.s. s kapacitním průtokem 115 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>. Obdobně se jedná o mechanicko-biologickou čistírnu s denitrifikací a nitrifikací umístěnou v uzavřeném objektu. [34]

Například v roce 2019 bylo na ČOV Pečky připojeno bezmála 5900 EO a prošlo jí 256 000 m<sup>3</sup> vody. [35] V tomtéž roce vykazovala účinnosti čištění uvedené v tabulce č. 9, podle níž čistírna vyhovuje minimálním požadovaným účinnostem dle Nařízení vlády č. 401/2015, Sb. [2]

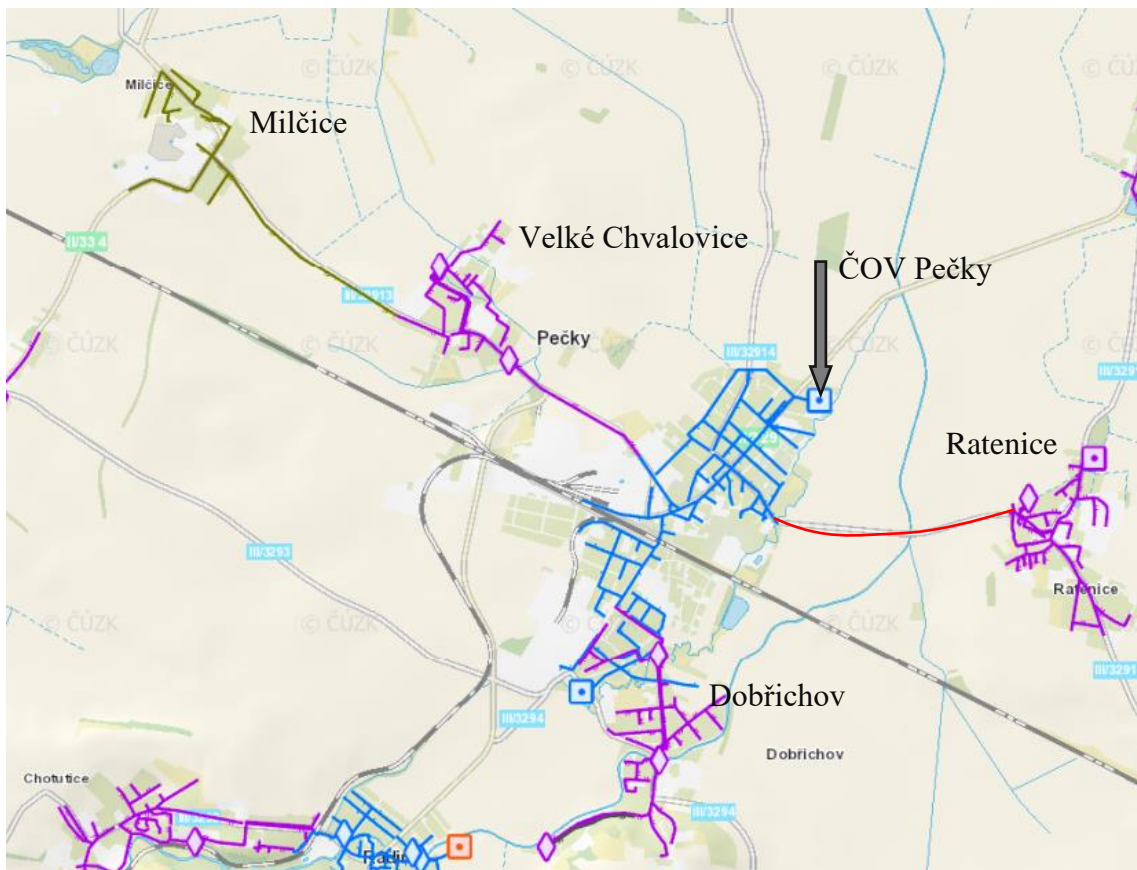
Tabulka 9 Účinnost čištění na ČOV Pečky v roce 2019 [35]

Druh znečištění	BSK <sub>5</sub>	CHSK <sub>Cr</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
Účinnost čištění [%]	98,9	94,2	98,3	72,6	64,4	94,8
Minimální požadovaná účinnost čištění dle Nařízení vlády č. 401/2015, Sb. [2]	85	75	-	60	-	70

### 2.1.2 Povodí ČOV Pečky

Na ČOV Pečky je přiváděna odpadní voda nejen ze samotné obce Pečky, ale její povodí je daleko rozsáhlejší. Pomocí kanalizačních přivaděčů jsou zde likvidovány odpadní vody z přílehlého sídla Velké Chvalovice a dalších samostatných obcí. Jsou jimi Ratenice, Dobřichov a Milčice. V následující mapě (obrázek č. 5) jsou vyznačeny kanalizační sítě jednotlivých obcí z portálu Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací Středočeského kraje. V portálu není zaznamenán přivaděč z obce Ratenice. Jeho přibližná poloha je v mapě vyznačena červenou křivkou dle dostupné dokumentace. [34]





Obrázek 5 Kanalizační síť v povodí ČOV Pečky [34]

Kanalizační systém v katastrálním území Pečky je tvořen jednotnou gravitační stokou. Použitý materiál je především beton a PVC. Plastová část byla vybudována v roce 2010 v rámci rozšíření kanalizační sítě. Na síti se nachází dvě přečerpávací stanice a dva dešťové oddělovače zaústěné do Mlýnského potoka a přímo do Výrovky. [35]

Kanalizace v obci Milčice byla vybudována teprve nedávno – v posledních deseti letech. Jedná se o oddílnou splaškovou tlakovou kanalizaci. Z nemovitostí jsou odpadní vody odvedeny gravitačně do čerpacích šachet, odkud jsou čerpány podružnými tlakovými stokami do hlavních tlakových stok a následně pokračují společným výtlakem do obce Velké Chvalovice. [37]

Kanalizace v katastrálním území Velké Chvalovice byla vybudována v rámci rozšíření kanalizace v Pečkách. Jedná se o jednotnou kanalizaci z materiálu PVC, která je vedena gravitačně, avšak kvůli nepříznivým spádovým poměrům je na síti osazeno 5 čerpacích stanic. Výtlakem řadem jsou pak vody vedeny do gravitační stoky v Pečkách. [9]

Jižně od Peček se nachází obec Dobřichov. Ta navazuje na pečekou kanalizaci 384 m dlouhým výtlakem z oddílné splaškové stoky. Jedná se o částečně podtlakový systém. Podtlakově je odpadní voda čerpána do části gravitační se dvěma čerpacími stanicemi. [9]

Poslední obcí, jejíž odpadní vody jsou likvidovány na ČOV Pečky, jsou Ratenice. Ratenice se nacházejí východně od Peček a disponují oddílnou splaškovou kanalizací,

kteřá je kombinací podtlakového a tlakového systému. Do Peček je voda přiváděna 1400 metrů dlouhým PE výtlakem se třemi čerpacími stanicemi. [9]

Tabulka č. 10 shrnuje systémy a materiály stok z vybraných údajů majetkové a provozní evidence Ministerstva zemědělství České republiky. [35]

Tabulka 10 Shrnutí systémů, materiálů kanalizace a způsobů odvádění odpadních vod [35]

Obec	Stokový systém	Způsob odvádění	Materiál stoky
Pečky	Jednotná	Gravitační, podtlaková	Beton, plast
Velké Chvalovice	Jednotná	Podtlaková	Plast
Milčice	Oddílná splašková	Tlaková	Plast
Dobřichov	Oddílná splašková	Gravitační, podtlaková, tlaková	Plast
Ratenice	Oddílná splašková	Gravitační	Plast

### 2.1.3 Producenti odpadních vod v povodí ČOV Pečky

První skupinou jsou samozřejmě připojené nemovitosti potažmo jednotliví obyvatelé. Co se týče typu bydlení, v přilehlých obcích Ratenice, Dobřichov, Milčice a Velké Chvalovice se jedná v drtivé míře o rodinné domy. V Pečkách samotných se objevují i bytové domy, nicméně stále převažuje rodinné bydlení. Pro lepší přehlednost je zde opět vytvořena tabulka obyvatel s trvalým pobytem v zájmovém povodí.

Tabulka 11 Počet obyvatel v zájmovém povodí a procento připojených obyvatel

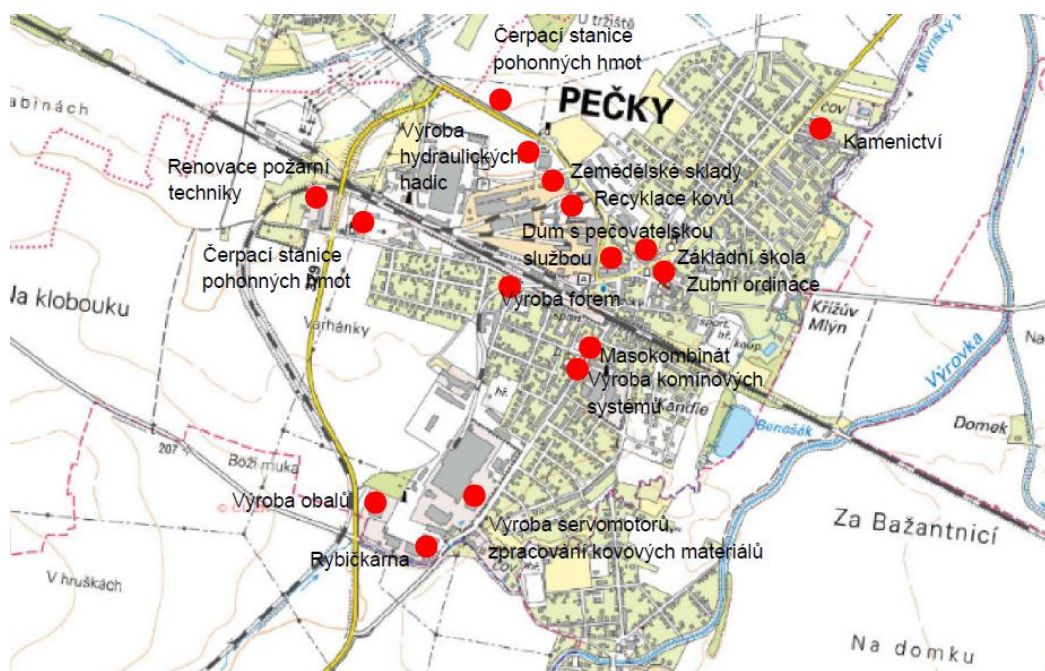
Obec	Počet trvale bydlících obyvatel k 1. 1. 2021 dle ČSÚ [29]	% připojených obyvatel dle VÚPE z roku 2019 [35]
Pečky vč. Velkých Chvalovic	4811	99,9
Milčice	313	100,0
Dobřichov	772	91,3
Ratenice	621	74,2
Celkem	6517	96,8

Dle kanalizačního řádu z roku 2012 bylo v Pečkách ke kanalizaci připojena 77,5 % obyvatel. V databázi VÚPE je zaznamenáno, že k 1. 4. 2020 bylo v celém zájmovém povodí připojeno ke kanalizaci, respektive ČOV, 96,8 % obyvatel. V kombinaci s údaji Českého statistického úřadu by to znamenalo, že v současné době je k ČOV Pečky připojeno přibližně 6300 obyvatel.

Kromě obyvatel je třeba zaměřit se na další potenciální producenty odpadních vod. Jak už jsme mohli zjistit ze stručně popsané historie obce, Pečky byly vždy průmyslově rozvinutou obcí. I dnes zde můžeme nalézt řadu průmyslových podniků, které mohou být taktéž producenty specifického znečištění. Z oblasti strojírenství a elektrotechniky zde můžeme nalézt firmu ZPA a.s., která se zabývá výrobou servomotorů a armatur, mimo to také zpracovává plech na CNC strojích. Tato společnost má svoji vlastní čistírnu odpadních vod s recipientem Mlýnského potoka. Další průmyslové podniky a producenti odpadních vod mají ve svých areálech jímky pro odpadní vodu, která je

následně vyvážena fekálními vozy na ČOV Pečky. Je potřeba zmínit firmu Manver s.r.o., která se okrajově věnuje výrobě armovaných hydraulických hadic. Výrobou nerezových komínových systémů se zabývá firma Bertrams Pečky, s.r.o. Zpracováním a recyklací neželezných kovů se zabývá Saker Pečky, s.r.o. Renovaci požární techniky se věnuje Komet, s.r.o. Vzhledem k zaměření zmíněných firem je možné považovat je za potenciální producenty těžkých kovů. Produkce těžkých kovů v tomto případě plyne zejména ze zpracování a povrchových úprav kovových materiálů. Zajímavostí je dále společnost Yuncheng, plate-making CZ, s.r.o., která je součástí celosvětové skupiny firem s centrálou v Číně. Věnuje se výrobě a potisku flexibilních obalů, vzhledem k charakteru činnosti a pravděpodobnému užívání velkého množství barviv a pigmentů, existuje předpoklad, že zde by mohlo docházet k emisím PAU i těžkých kovů. Dodavatelem forem pro lisy na výrobu zámkových dlažeb, obrubníků a jiných betonových výrobků je firma KOBRA formy CZ, s.r.o. Z potravinářství je potřeba zmínit Prague Fish, s.r.o., kde jsou zpracovávány a prodávány rybí produkty. Hlavním zástupcem produkce masných výrobků jsou Polabské uzeniny Pečky, které disponují mimo jiné výrobnou pařticí. Zemědělství v Pečkách zastupuje pobočka společnosti ZZN Polabí, a.s. Na okraji obce nalezneme také kamenictví pod názvem Kámen Pečky, s.r.o.

Mimo tyto podniky nalezneme v zájmovém území dvě čerpací stanice pohonných hmot, minimálně jednu zubní ordinaci, která by mohla být potenciálním producentem rtuti, přibližně 15 restauračních zařízení, prodejny masných výrobků, jednu základní školu, několik škol mateřských a dva domy s pečovatelskou službou. Z velkých obchodních řetězců zde nalezneme Penny market, Tesco, Jednotu Nymburk, Coop a řadu dalších menších prodejen. Polohu jednotlivých potenciálních znečišťovatelů, reprezentovaných svojí hlavní činností, můžeme vidět na obrázku č. 6.



Obrázek 6 Mapa s vyznačením polohy možných producentů specifického znečištění s jejich hlavní činností

## 2.1.4 Popis sledovaných lokalit

### 2.1.4.1 Lokality sledované při bezdeštné kampani a trvalého monitoringu

Pro dlouhodobý monitoring a bezdeštnou kampaň byly vybrány profily dvou dešťových oddělovačů na kanalizační síti v Pečkách a dva profily na ČOV. Profily stálého monitoringu zůstávají v povodí umístěny i nadále, protože sledování povodí pokračovat i nadále a budou organizovány další odběrné kampaně.

#### Profil A – Tahiti

Odlehčovací komora č. 1 se nachází v části obce s názvem Tahiti, kde byly snímány hladiny na odtoku z OK i v odlehčení. Tento profil získal pro bezdeštnou kampaň označení Profil A a měl by podle dostupných materiálů odvodňovat povodí o ploše asi 40 ha. Na této ploše se nachází zástavba rodinných domů, na kterou přiléhá průmyslový areál, kde hlavní podnik ZPA disponuje vlastní čistírnou odpadních vod. Nachází se zde i další podniky, se kterými je třeba počítat jako s potenciálním zdrojem těžkých kovů a PAU, které mohou být součástí nejrůznějších barviv, pigmentů apod. V profilu probíhá kontinuální sledování průtoku vody na odtoku z OK a v odlehčení.

#### Profil B – Garáže

Druhým sledovaným profilem byla odlehčovací komora na Třídě Jana Švermy byly kontinuálně měřeny průtoky odtoku na ČOV i v odlehčení. Mezi profilem A a B se do stoky přečerpávají odpadní vody z obcí Dobřichov (55 ha) a Ratenice (53 ha). Právě přečerpávané vody z okolních obcí mohou způsobovat zvýšené průtoky monitorované v profilu. V Pečkách toto mezipovodí zaujímá plochu odhadem 140 ha. V profilu B byly taktéž odebrány vzorky pro bezdeštnou kampaň.

#### Profily na ČOV Pečky – C a D

Další sledovanou lokalitou v rámci stálého monitoringu je čerpací jímka na nátoku na ČOV. Pro bezdeštnou kampaň bylo nátoku na ČOV přiřazeno označení C a odtoku z ČOV D. Mezi profilem B a C se do sítě natékají přečerpávané vody z povodí Milčic (45 ha) a Velkých Chvalovic (50 ha), dále tato část stoky odvodňuje víceméně obytnou zástavbu v severní a severozápadní části Peček o ploše přibližně 40 ha.

#### Srážkoměry

Dále byly na povodí umístěny tři srážkoměry – jeden v Dobřichově v ulici U Výrovky na zahradě rodinného domu, druhý v Pečkách na garáži v zástavbě ulice Dělnická a třetí přímo na čistírně odpadních vod. Údaje ze srážkoměrů byly použity pro vyhodnocení bezdeštné kampaně i kampaně během srážkové události.

### 2.1.4.2 Lokality sledované během srážkové události

Pro odběry vzorků povrchového odtoku byly vybrány tři profily.

#### Profil E

Prvním z nich byla velmi málo frekventovaná část ulice Jiřího z Poděbrad v zástavbě řadových domů. Zde se dá předpokládat, že provoz tvoří pouze místní obyvatelé.

### Profil F

Druhý profil se nachází naopak na velmi frekventované ulici J. A. Komenského poblíž křižovatky s ulicí Chvalovickou. Jedná se o hlavní průtah obcí a také komunikaci, které spojuje severní a jižní část obce, která je jinak rozdělena železničním koridorem.

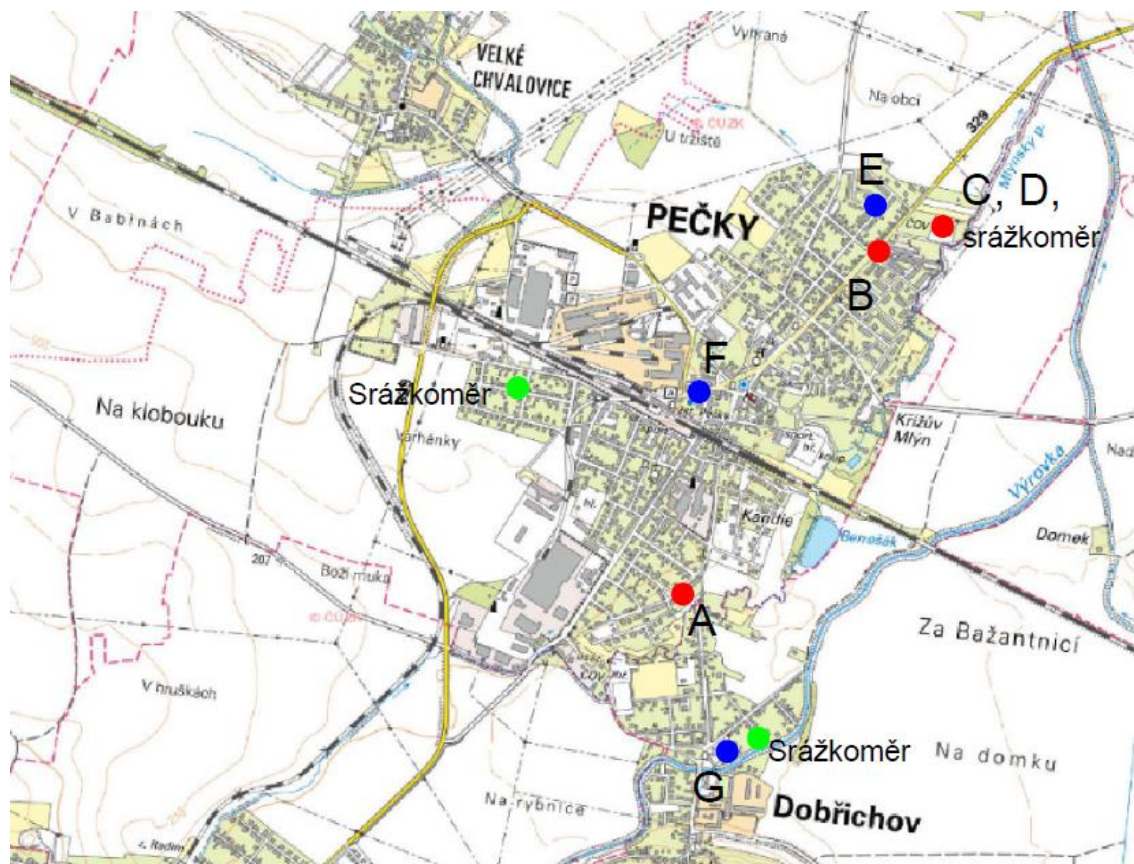
### Profil G

Třetím a posledním profilem bylo vyústění dešťové kanalizace v Dobřichově. Označení profilů přibližuje tabulka č. 12.

Tabulka 12 Označení odběrných profilů

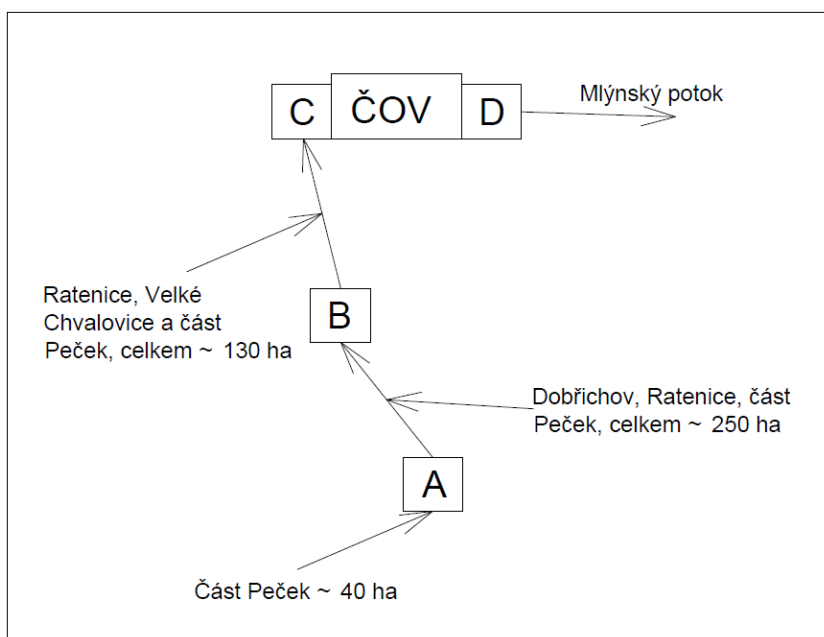
Profil	Označení
Odlehčovací komora OK1 v ulici Tahiti	A
Odlehčovací komora OK2 na Třídě Jana Švermy	B
Nátok na ČOV	C
Odtok z ČOV	D
Jiřího z Poděbrad	E
J. A. Komenského	F
Dobřichov	G

Na obrázku č. 7 jsou zakresleny jednotlivé měrné profily do mapy kanalizační sítě.



Obrázek 7 Vyznačení umístění jednotlivých profilů v mapě Peček [33]

Schéma povodí s vyznačením profilů bezdeštné kampaně nalezneme na obrázku č. 8. Na schématu jsou vyznačena napojení odpadních vod v mezipovodí profilů s orientační plochou podpovodí.



Obrázek 8 Schéma povodí s vyznačením profilů bezdeštné kampaně

## 2.2 Metodika

### 2.2.1 Metodika monitoringu

#### 2.2.1.1 Metodika kontinuálního monitoringu průtoků a srážek

Instalace přístrojů v měrných profilech pro kontinuální monitoring průtoků a srážek proběhla v první polovině května 2021. V profilu A byly umístěny dva ultrazvukové hladinoměry značky Fiedler typu US3200 s registrační jednotkou M4016 pro snímání hladiny na odtoku z odlehčovací komory a v samotném odlehčení s časovým krokem 3 minuty (umístění srážkoměrů viz kapitola Popis sledovaných lokalit, strana 36).

V profilu B byl na odtoku z odlehčovací komory osazen průtokoměr Sigma 950 s intervalem měření 3 minuty. Na odlehčení byl použit rychlostní průtokoměr a ultrazvukový hladinoměr US3200 značky Fiedler s registrační jednotkou M4016.

Na čistírně odpadních vod byl pro záznam odlehčení z čerpací jímky osazen taktéž rychlostní průtokoměr a snímač hladiny US1200.

Všechny použité srážkoměry byly typu SR03 značky Fiedler s registrační jednotkou M4605 zaznamenávající srážkový puls 0,1 mm srážek. Jedná se o člunkový srážkoměr se zachytnou plochou 500 cm<sup>2</sup>.

### *2.2.1.2 Metodika bezdeštné kampaně na stokové síti a ČOV*

Hlavním cílem bezdeštné kampaně byl odběr vzorků odpadní vody z vybraných profilů a jejich následná analýza, kterou provedl Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (dále jen VÚV).

Bezdeštná kampaň probíhala ve dnech 31. 5. – 2. 6. 2021. Vzorky byly odebrány v obou odlehčovacích komorách a dále na přítoku a odtoku z čistírny odpadních vod. Odběry byly realizovány v pravidelných hodinových intervalech v profilech A a B a dvouhodinových v nátoku a odtoku z ČOV (profily C a D) po dobu přibližně 24 hodin. První vzorky byly odebrány mezi sedmou a desátou hodinou ranní. Výjimkou byl odběr z odtoku ČOV, který byl uskutečněn až večer prvního dne kampaně vzhledem k době zdržení odpadní vody na čistírně. Vzorky byly odebrány do skleněných vzorkovnic o objemu 5 l (pro základní analýzu a analýzu PAU) a do malých PE vzorkovnic objemu 100 ml (analýza těžkých kovů).

U každého ze vzorků byly vyhodnoceny základní ukazatele jako je chemická spotřeba kyslíku dichromanem draselným  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$ , celkový fosfor  $\text{P}_{\text{celk}}$ , obsah fosforečnanového fosforu  $\text{P-PO}_4^{3-}$ , celkový dusík  $\text{N}_{\text{celk}}$ , obsah nerozpuštěných látek  $\text{NL}_{105}$  a obsah zbylých nerozpuštěných látek po žihání vzorku  $\text{NL}_{550}$ . Obsah těžkých kovů (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, As) a PAU (naftalen, acenaften, fluoren, fenanthren, antracen, fluoranthen, pyren, benz(a)antracen, chrysen, benzo(b)fluoranthen, benzo(k)fluoranthen, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-c,d)pyren, benzo(g,h,i)perylene a dibenzo(a,h)antracen) byl vyhodnocován ve vzorcích s dvouhodinovým intervalem.

### *2.2.1.3 Metodika monitoringu povrchového odtoku a odtoku dešťovou kanalizací během srážkové události*

Naplánovat kampaň pro povrchový odtok nebylo vůbec snadné. Bylo třeba počkat na intenzivnější srážku, aby bylo možné vůbec nějaký odtok odebrat a zároveň bylo záhodno odebrat odtok po delším bezdeštném období. S nejistotami meteorologické předpovědi, která nastala v posledních dvou letech se jednalo o velmi komplikovanou záležitost. Nakonec se ale podařilo kampaň uskutečnit, a to v noci z 1. na 2. listopadu 2021. Kampani předcházelo období přibližně dvou týdnů bez výrazných úhrnů srážek. Poslední nezanedbatelná srážka byla zaznamenána 12. 10. 2021. Vzorky byly odebrány opět do skleněných vzorkovnic o objemu 5 l pro základní analýzu a analýzu PAU. PE 100 ml vzorkovnice byly použity pro vzorky na stanovení těžkých kovů. V případě profilů E a F byl povrchový odtok zachytáván z okraje uliční vpusti. N profilu G v Dobříchově byl zachytáván odtok na samém okraji vyústění dešťové kanalizace do toku řeky Výrovky. Intervaly odběrů nebyly vždy stejné jako v případě bezdeštné kampaně z důvodu přesnějšího zachycení případného prvního splachu. První vzorek byl odebrán hned, jak to bylo možné, tedy ve chvíli, kdy do uliční vpusti začal téct povrchový odtok nebo v případě profilu G, kdy se dešťový odtok dostal kanalizací až k vyústění. Další vzorky byly odebrány pět minut po ukončení odběru prvního vzorku, dále po 30 minutách a dva další vzorky po hodině. Výjimkou je opět profil G, kdy byl druhý vzorek odebrán po 15 minutách od ukončení odběru prvního vzorku, další dva po

30 minutách a následně dva vzorky po hodině. Výsledkem bylo pět vzorků z profilů E a F a šest vzorků z profilu G.

U každého ze vzorků byly vyhodnoceny základní ukazatele jako je chemická spotřeba kyslíku dichromanem draselným  $CHSK_{Cr}$ , celkový fosfor  $P_{celk}$ , obsah fosforečnanů  $P-PO_4$ , celkový dusík  $N_{celk}$ , obsah nerozpuštěných látek  $NL_{105}$  a obsah zbylých nerozpuštěných látek po žíhání vzorku  $NL_{550}$ . Dále byl zjišťován obsah těžkých kovů (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, As) a PAU (15 z 16 PAU zmíněných v teoretické části, kromě acenaftylenu).

V rámci monitoringu povrchového odtoku byly odebrány vzorky prachu z ulice těsně před zahájením odběrů vzorků vody. Prach byl v profilech E a F smeten v blízkosti odběrného místa. U profilu G byl vzorek prachu odebrán v Dobřichově na přilehlé komunikaci před obecním úřadem. Vzorky byly opět odevzdány k analýze do VÚV TGM.

#### *2.2.1.4 Analýza pevné matrice*

Kromě vzorku prachu z ulice, odebraného před začátkem kampaně pro vyhodnocení povrchového odtoku, byla odebírána pevná matrice i mimo tyto kampaně při běžné údržbě měrných profilů. Takových vzorků bylo hned několik a všechny vzorky jsou shrnuty v tabulce č. 13. Standardně byla u vzorků provedena analýza podílu sušiny, podíl ztráty žíháním sušiny a obsah nutrientů, těžkých kovů a PAU v sušině. Oproti bezdeštné kampani i kampani pro povrchový odtok byl ve vzorcích pevné matrice analyzován také obsah rtuti v sušině. Analýzy vzorků prováděl opět VÚV.



Tabulka 13 Přehled odebraných vzorků pevné matrice

Datum odběru	Označení	Typ vzorku	Popis	Poznámka
21. 6. 2021	AS1	Sediment z kanalizace	Profil A – OK Tahiti	Analýza bez PAU
21. 6. 2021	BS1	Sediment z kanalizace	Profil B – OK Garáže	
21. 6. 2021	BP1	Prach z ulice	Třída Jana Švermy, profil B	
21. 6. 2021	DKD	Kal z ČOV	Denitrifikace	
16. 9. 2021	AS2	Sediment z kanalizace	Profil A – OK Tahiti	
16. 9. 2021	BS2	Sediment z kanalizace	Profil B – OK Garáže	
16. 9. 2021	GP1	Prach z ulice	Místní komunikace Dobřichov	
16. 9. 2021	BP2	Prach z ulice	Třída Jana Švermy, profil B	
14. 10. 2021	DKV	Kal z ČOV	Vratný kal	
1. 11. 2021	EPk	Prach z ulice	Profil E, kampaň pro povrch. odtok	Analýza bez PAU
1. 11. 2021	FPk	Prach z ulice	Profil F, kampaň pro povrch. odtok	
1. 11. 2021	GPk	Prach z ulice	Profil G, kampaň pro povrch. odtok	

## 2.2.2 Metodika zpracování výsledků

### 2.2.2.1 Zpracování výsledků bezdeštné kampaně

Výsledky analýz byly vyhodnoceny statisticky a to tak, že byl vypočítán průměr, medián, směrodatná odchylka, 90 % a 10 % percentil a určena maximální a minimální hodnota koncentrace. V některých případech došlo k situaci, kdy hodnota ukazatele ve vzorku nedosáhla meze stanovitelnosti. Tehdy byla pro statistické vyhodnocení použita hodnota poloviny meze stanovitelnosti. Dále byl sledován poměr nestanovitelných vzorků pro daný ukazatel a profil. V případě, kdy koncentrace nedosáhla meze stanovitelnosti ve více než 50 % vzorků, nebyly některé statistické údaje vůbec vyhodnocovány. Podobný postup byl použit i ve studované literatuře [38].

Součástí vyhodnocení bylo i grafické zpracování výsledků, kdy byly sledovány především průběhy koncentrací v závislosti na průtoku v daném odběrovém profilu, viz přílohy č. 2, 3, 4 od strany 83.

Výsledky byly zpracovány i ve formě korelačních matic (výpočtem korelačních koeficientů) pro možnost případné lepší interpretace průběhů koncentrací sledovaných škodlivin. Matice jsou uvedeny v příloze č. 7, strana 108.

#### Vyhodnocení účinnosti odstraňování sledovaných látek na ČOV

Dalším údajem, který bylo třeba zjistit, byla účinnost odstraňování jednotlivých látek na čistírně odpadních vod. Pro tyto účely byl použit jednoduchý vzorec:

$$RR = \frac{(c_{in} - c_{out})}{c_{in}} \quad [38]$$

Kde RR vyjadřuje účinnost odstranění,  $c_{in}$  koncentraci na nátoku na ČOV a  $c_{out}$  koncentraci na odtoku z ČOV.

Samozřejmě bylo třeba zajistit, aby byly hodnoty koncentrací na nátoku a na odtoku porovnávány pro „stejnou vodu“. Takže bylo třeba stanovit dobu zdržení odpadní vody na čistírně, která byla stanovena na 22 hodin viz tabulka č. 14.

Tabulka 14 Výpočet doby zdržení na ČOV Pečky

Stanovení doby zdržení na ČOV Pečky		
Objemy nádrží	[m <sup>3</sup> ]	
Denitrifikace	410	
Nitrifikace	813	
Dosazovací nádrž	202	
<b>Objem celkem (V)</b>	<b>1425</b>	
Průtoky	[l/s]	[m <sup>3</sup> /h]
Průměrný denní Q24	8.2	29.52
Průtok vratného kalu	10.6	38.16
<b>Průtok celkem (Q)</b>	<b>18.8</b>	<b>67.68</b>
<b>Doba zdržení (t) [h]</b>	<b>21.05</b>	
$t = \frac{V}{Q}$		
<b>Vzhledem ke dvouhodinovým intervalům provedených odběrů je uvažována doba zdržení 22 hodin.</b>		

Pro vyhodnocení tedy byly použity vzorky s odstupem odběru 22 hodin. Například vzorek na nátoku byl odebrán 31. 5. v 9.35 hodin a byl by porovnán se vzorkem z odtoku odebráným 1. 6. v 7.40. Ve skutečnosti byla porovnávána průměrná koncentrace více vzorků s průměrnou koncentrací odpovídajících vzorků na odtoku z ČOV.

### 2.2.2.2 Zpracování výsledků monitoringu povrchového odtoku a odtoku dešťovou kanalizací během srážkové události

Podobně jako v případě bezdeštné kampaně byly pro výstup použity hodnoty maximálních a minimálních koncentrací. Dále nás zajímalo procento vzorků se stanovitelnými koncentracemi a vzájemné korelace jednotlivých škodlivin. Pro pozdější vyhodnocení byla opět v případě nestanovitelných vzorků použita polovina meze stanovitelnosti. Rozdílným způsobem byla ovšem hodnocena průměrná koncentrace znečištění. Pro stanovení střední koncentrace EMC (event mean concentration) byl použit vážený průměr koncentrace přes průtočné množství. Tento postup byl také použit ve studii z Berlína [39]. Každému vzorku byl přiřazen průměrný čas odběru (časový údaj z poloviny intervalu, kdy byl vzorek odebírán) a od tohoto průměrného času se odvíjel časový úsek, který daný vzorek pro výpočet reprezentoval. Za pomoci průtoku byla poté vypočítána střední koncentrace na základě vzorce:

$$EMC = \frac{\sum c_t Q_t dt}{\sum Q_t dt}$$

Kde EMC je střední hodnota koncentrace pro událost,  $c_t$  je koncentrace ukazatele v reprezentativním vzorku,  $Q_t$  je průtok odtoku v čase odběru (průtok byl určen na základě sestavení modelu v softwaru SWMM za použití údajů ze srážkoměrů) a  $t$  je časový úsek, pro který byl vzorek reprezentativní. Podobně jako v případě bezdeštné kampaně byly vytvořeny matice korelačních koeficientů pro zjištění vztahů výskytu jednotlivých škodlivin a základních chemických ukazatelů, viz příloha č. 8, strana 112.

### 2.2.2.3 Zpracování výsledků analýz pevné matrice

Kromě porovnávání obsahu polutantů ve vzorcích pevné matrice z kanalizace, ulice a ČOV bylo pro vyhodnocení kampaně dešťového odtoku počítáno, jaký podíl tvoří koncentrace škodlivin zjištěná v odebraném prachu/sedimentu z příslušné ulice na koncentraci v povrchovém odtoku. K výpočtu byla použita hodnota koncentrace nerozpuštěných látek v povrchovém odtoku a obsah škodliviny v sušině prachu/sedimentu z ulice. Výpočet byl proveden součinem koncentrace nerozpuštěných látek a obsahu sledované látky v sušině s ohledem na použité jednotky. Výsledek byl porovnán se střední koncentrací škodliviny v povrchovém odtoku (EMC). Pro výpočet byly použity hodnoty z profilů E a F, jelikož v profilu G nebyl zachytáván povrchový odtok, ale odtok dešťovou kanalizací.

## 2.3 Výsledky a jejich diskuse

### 2.3.1 Výsledky bezdeštné kampaně

#### 2.3.1.1 Základní chemické ukazatele a nutrienty

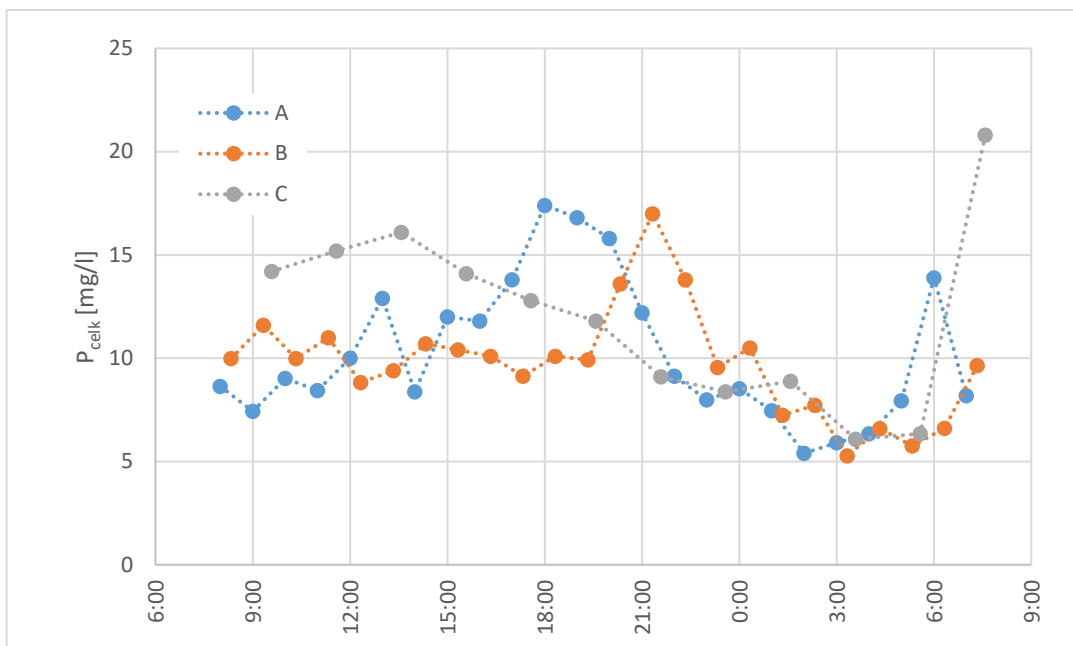
Statistický přehled o hodnotách koncentrací základních chemických ukazatelů z profilů A, B a C obsahuje tabulka č. 15. Jediným ukazatelem, kdy nebylo ve všech vzorcích

možné koncentraci stanovit, byl zbytek po žihání NL<sub>550</sub>, kdy bylo množství pod 2 mg/l. U surové odpadní vody (profily A, B, C) se ale nestalo, že by byla více jak polovina vzorků nestanovitelných.

Tabulka 15 Statistické vyhodnocení základních chemických ukazatelů v bezdeštném odtoku pro profily A, B, C, koncentrace jsou uváděny v mg/l

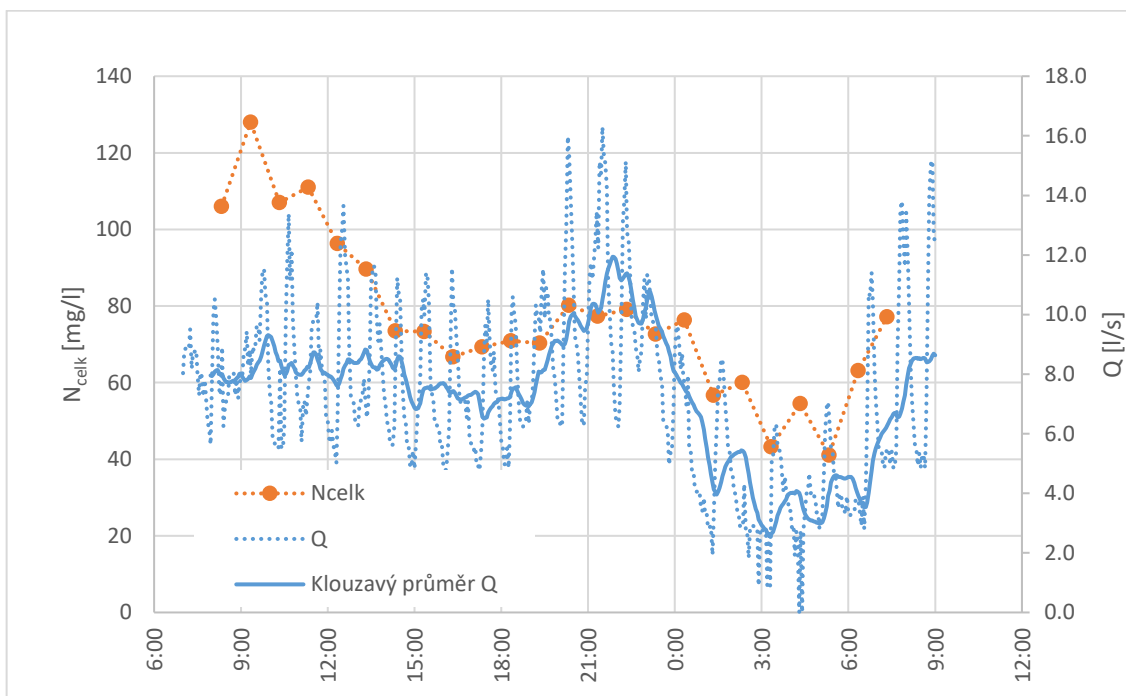
	Profil	CHSK-Cr	P <sub>celk</sub>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	N <sub>celk</sub>	NL <sub>105</sub>	NL <sub>550</sub>
<b>Průměr</b>	A	575.8	10.2	6.8	68.2	172.3	12.8
	B	690.7	9.8	5.5	76.8	240.4	18.4
	C	584.8	12.0	8.5	68.9	241.7	17.0
<b>Medián</b>	A	546.5	8.8	6.0	73.2	150.0	12.5
	B	733.5	10.0	5.6	73.4	230.0	18.0
	C	565.0	12.3	9.4	71.5	210.0	15.0
<b>Maximum</b>	A	1050.0	17.4	12.0	89.0	460.0	48.0
	B	1170.0	17.0	7.2	128.0	440.0	48.0
	C	1020.0	20.8	14.8	81.8	480.0	60.0
<b>Minimum</b>	A	351.0	7.4	4.8	72.1	85.0	<LOQ
	B	622.0	8.8	4.6	66.7	200.0	6.0
	C	345.0	6.1	3.3	37.3	120.0	<LOQ
<b>Percentil 90 %</b>	A	925.5	16.3	11.0	83.6	350.0	30.0
	B	970.0	13.7	6.6	109.0	400.0	40.0
	C	905.1	19.4	14.1	81.3	480.0	51.0
<b>Percentil 10 %</b>	A	276.5	6.1	3.9	39.5	70.5	<LOQ
	B	332.5	6.2	3.9	48.9	106.0	5.0
	C	387.0	6.2	3.4	39.3	129.0	<LOQ
<b>Směrodatná odchylka</b>	A	224.8	3.4	2.4	14.7	96.6	11.8
	B	227.1	2.6	0.9	20.6	90.4	11.5
	C	149.0	4.2	3.6	13.4	113.7	15.6
<b>Procento stanovitelných koncentrací</b>	A	100	100	100	100	100	79
	B	100	100	100	100	100	100
	C	100	100	100	100	100	83

Mezi profily nebyly významné rozdíly koncentrací v jednotlivých ukazatelích. Na obrázku č. 9 je na ukázkou průběh koncentrace celkového fosforu pro všechny profily.



Obrázek 9 Koncentrace celkového fosforu pro profily A, B, C

Běžné poznatky o změnách koncentrace celkového dusíku během dne potvrzuje obrázek č. 10, kdy je v grafu vynesena průtok v profilu B a koncentrace celkového dusíku. Výrazný je nárůst koncentrace v ranní špičce, kdy roste koncentrace celkového dusíku, na kterou však nenavazuje nárůst průtoku. Tento jev je zapříčiněn běžnými zvyklostmi obyvatel, kdy v rámci ranní toalety vyprodukováno značné množství dusíku, který je součástí moči, ale kvantitativně produkce odpadní vody neroste. Naopak ve večerní špičce je nárůst koncentrace navázán na nárůst průtoku související s večerní koupelí.



Obrázek 10 Průběh koncentrace celkového dusíku a průtoku odpadní vody v profilu B

Tabulka č. 16 shrnuje průměrné koncentrace základních ukazatelů a porovnává je s limity kanalizačního řádu.

Tabulka 16 Průměrné koncentrace základních ukazatelů v odpadní vodě pro jednotlivé profily a srovnání s limity kanalizačního řádu

Ukazatel	Koncentrace [mg/l]			
	A	B	C	Limit KŘ [9]
CHSK-Cr	575.83	690.67	584.75	1000
P <sub>celk</sub>	10.23	9.77	11.98	10
P-PO <sub>4</sub>	6.79	5.51	8.53	-
N <sub>celk</sub>	68.18	76.80	68.88	60
NL <sub>105</sub>	172.25	240.42	241.67	500
NL <sub>550</sub>	12.75	18.42	17.00	-

Z tabulky je patrné, že jsou překračovány limitní koncentrace v případě dusíku a fosforu. Můžeme se domnívat, že tento jev je způsoben nerealisticky nastavenými limity, které často pochází z dob, kdy byla specifická produkce odpadní vody výrazně vyšší. Jednoduchým výpočtem si můžeme udělat představu o možné reálné koncentraci výpočtem ze specifické produkce fosforu a dusíku dle normy ČSN 75 6401 [7] a specifické produkce odpadních vod. Za předpokladu, že specifická produkce fosforu činí 2,5 g/EO/den a specifická spotřeba vody 96 l/EO/den, dostáváme průměrnou koncentraci fosforu v odpadní vodě 26 mg/l. Při obdobném výpočtu pro dusík získáme průměrnou vypočtenou koncentraci dusíku ve splaškové odpadní vodě 115 mg/l.

Statistické vyhodnocení kvality vody na odtoku z ČOV (profilu D) obsahuje tabulka č. 17.

Tabulka 17 Statistické vyhodnocení základních ukazatelů na odtoku z ČOV, koncentrace jsou uvedeny v mg/l

	CHSK-Cr	P <sub>celk</sub>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	N <sub>celk</sub>	NL <sub>105</sub>	NL <sub>550</sub>
Průměr	50.50	1.44	0.80	27.18	14.50	1.83
Medián	49.00	1.37	0.70	27.30	12.00	1.00
Maximum	78.00	2.10	1.40	28.10	39.00	6.00
Minimum	38.00	0.90	0.38	25.80	9.00	1.00
Percentil 90	67.20	2.07	1.38	28.10	32.40	5.70
Percentil 10	38.90	0.90	0.39	25.83	9.00	1.00
Směrodatná odchylka	8.92	0.40	0.33	0.73	7.84	1.67
% stanovitelných vzorků	100	100	100	100	100	22

Na odtoku z ČOV výrazně vzrostl podíl nestanovitelných hodnot koncentrací NL<sub>550</sub> na 78 %, proto některé charakteristiky nejsou stanoveny. Nabízí se srovnání se standardy vypouštěných vod z ČOV dle NV 401/2015, Sb., které přináší tabulka č. 18.

Tabulka 18 Porovnání kvality vypouštěné vody z ČOV Pečky s emisními standardy dle NV 401/2015, Sb. [2]

	Koncentrace [mg/l]			
	Průměr	Standard pro průměrnou hodnotu [2]	Maximum	Standard pro max. hodnotu [2]
CHSK-Cr	50.5	120.0	78.0	170.0
P <sub>celk</sub>	1.4	3.0	2.1	8.0
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.8	-	1.4	-
N <sub>celk</sub>	27.2	15.0	28.1	30.0
NL <sub>105</sub>	14.5	30.0	39.0	60.0
NL <sub>550</sub>	-	-	6.0	-

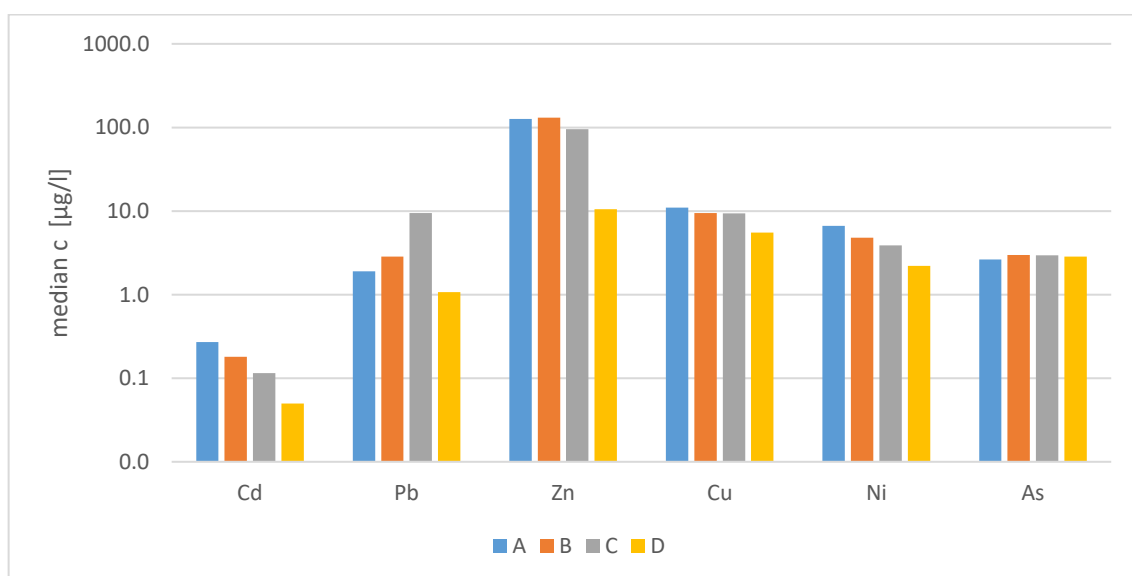
Je patrné, že ČOV Pečky splňuje limity průměrných i maximálních koncentrací na odtoku navzdory tomu, že limity KŘ byly v některých ukazatelích překročeny. Účinnosti odstranění znečištění v základních chemických ukazatelích shrnuje tabulka č. 19. Ve většině případů bylo dosaženo 90 % účinnosti, jedinou výjimkou je odstranění dusíku, kde účinnost dosahovala 60 %, tento údaj odpovídá i hodnotě z VÚPE, kde byla za rok 2019 hlášena hodnota 64 % [35].

Tabulka 19 Účinnosti odstranění základního znečištění na ČOV Pečky

Ukazatel	CHSK-Cr	P <sub>celk</sub>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	N <sub>celk</sub>	NL <sub>105</sub>	NL <sub>550</sub>
Účinnost odstranění	91.4 %	89.2 %	93.0 %	59.6 %	93.7 %	90.2 %

### 2.3.1.2 Těžké kovy

Zásadní informací je, že ve vzorcích surové odpadní vody ze všech profilů (A, B, C) ať už ze stokové sítě, nebo nátoků na ČOV, byly v drtivé většině naměřeny koncentrace nad mezí stanovitelnosti. Mediány koncentrací jednotlivých prvků graficky shrnuje obrázek č. 11.



Obrázek 11 Mediány koncentrací jednotlivých těžkých kovů ve vybraných profilech

Je patrné, že koncentrace zinku dosahovala řádově vyšších hodnot než u ostatních prvků kromě kadmia, které naopak dosahovalo koncentrací řádově nižších. Celkové hodnoty statistického vyhodnocení vzorků surové odpadní vody přináší tabulka č. 20.

Tabulka 20 Statistické vyhodnocení koncentrací těžkých kovů v bezdeštném odtoku surové odpadní vody, koncentrace jsou uváděny v µg/l.

	Profil	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
<b>Průměr</b>	A	2.73	0.29	11.77	6.83	1.88	133.67
	B	3.21	0.17	10.03	4.37	2.69	120.17
	C	3.10	0.12	9.39	3.94	10.46	106.83
<b>Medián</b>	A	2.64	0.27	11.00	6.66	1.90	126.00
	B	2.97	0.18	9.47	4.79	2.85	131.00
	C	2.97	0.12	9.39	3.89	9.48	95.50
<b>Maximum</b>	A	3.36	0.43	18.60	8.53	3.93	210.00
	B	4.12	0.31	17.80	5.20	4.82	179.00
	C	4.22	0.18	13.40	4.93	23.00	174.00
<b>Minimum</b>	A	2.25	0.18	5.92	5.62	0.50	92.00
	B	2.47	0.05	7.30	3.23	0.50	45.00
	C	2.57	0.10	6.24	3.18	4.77	77.00
<b>Percentil 90 %</b>	A	3.33	0.43	18.21	8.32	3.62	202.80
	B	4.11	0.30	16.00	5.15	4.78	176.60
	C	4.20	0.17	13.31	4.83	21.77	166.50
<b>Percentil 10 %</b>	A	2.28	0.19	6.30	5.62	0.50	92.60
	B	2.47	0.05	7.53	3.28	0.71	48.30
	C	2.59	0.10	6.42	3.26	4.78	78.20
<b>Směrodatná odchylka</b>	A	0.37	0.08	4.01	0.85	1.11	36.77
	B	0.57	0.08	2.63	0.69	1.43	43.81
	C	0.52	0.02	2.23	0.49	5.45	28.59
<b>Procento stanovitelných koncentrací</b>	A	100	100	100	100	75	100
	B	100	75	100	100	92	100
	C	100	100	100	100	100	100

Samostatně je poté provedeno stejné vyhodnocení vzorků u odtoku z ČOV viz tabulka č. 21.



Tabulka 21 Statistické vyhodnocení koncentrací těžkých kovů v odtoku z ČOV, koncentrace jsou uváděny v µg/l.

	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Průměr	2.86	-	6.04	2.23	1.58	11.71
Medián	2.86	-	5.68	2.42	1.26	11.50
Maximum	3.16	0.21	8.42	3.17	4.74	24.00
Minimum	2.47	<LOQ	4.20	1.00	0.50	2.50
Percentil 90	3.11	-	8.24	3.13	4.43	22.80
Percentil 10	2.64	-	4.21	1.00	0.50	2.50
Směrodatná odchylka	0.19	-	1.37	0.77	1.33	6.86
% stanovitelných vzorků	100	6	100	78	56	72

Tabulka č. 22 uvádí pro srovnání také limity kanalizačního řádu pro Pečky a výsledky vybraných zahraničních studií.

Tabulka 22 Mediány koncentrace jednotlivých těžkých kovů ve vybraných profilech v bezdeštném období

Profil	Koncentrace [µg/l]						
	A	B	C	Limit KŘ [9]	Německo (Nickel,2021) [38]	Paříž (Gasperi, 2008) [40]	UK (Gardner,2013) [41]
Cd	0.3	0.2	0.1	10	0.11	1	0.1
Pb	1.9	2.9	9.5	100	3.1	17	12
Zn	126.0	131.0	95.5	1000	neřešeno	361	160
Cu	11.0	9.5	9.4	500	neřešeno	51	65
Ni	6.7	4.8	3.9	100	6.3	-	-
As	2.6	3.0	3.0	100	neřešeno	neřešeno	-

Vyšší hodnota koncentrace zinku není nikterak překvapující, jelikož i zahraniční studie, viz tabulka č. 22, s tímto poznatkem přišly. Pokud se zaměříme i na hodnoty koncentrace dalších kovů, zjistíme, že hodnoty mediánů koncentrací prezentovaných v literatuře se podobají hodnotám z našeho povodí. Nicméně například koncentrace zinku v pařížské studii [40] jsou dvojnásobné a podobně jsou na tom i koncentrace mědi. Důležité je, že koncentrace v žádném z našich profilů výrazně nepřevyšují hodnoty v literatuře a ani se zásadně neblíží limitům kanalizačního řádu.

Společným znakem jednotlivých kovů je očekávaný pokles koncentrace ve vzorku na odtoku z ČOV. Překvapujícím jevem je, že v případě arsenu jsou hodnoty v jednotlivých profilech prakticky totožné a to i v případě odtoku z ČOV a tím se dostáváme k účinnosti čistírny v odstraňování těžkých kovů.

Poměrně vysokých hodnot účinnosti odstraňování těžkých kovů bylo dosaženo v případě olova a zinku, kdy průměrná účinnost atakovala hranici 90 %. V nátoky na ČOV vykazují silné korelace zinek (0,7) a olovo (0,6) s ukazatelem  $CHSK_{Cr}$  (účinnost odstranění 91 %), což by potvrzovalo vazbu těchto kovů do organické hmoty. Nicméně podobnou shodu nalezneme také pro olovo, zinek a  $NL_{550}$  (viz příloha č. 7, strana 108). Naopak nejnižší procenta mělo odstraňování arsenu. Konkrétní hodnoty průměrných

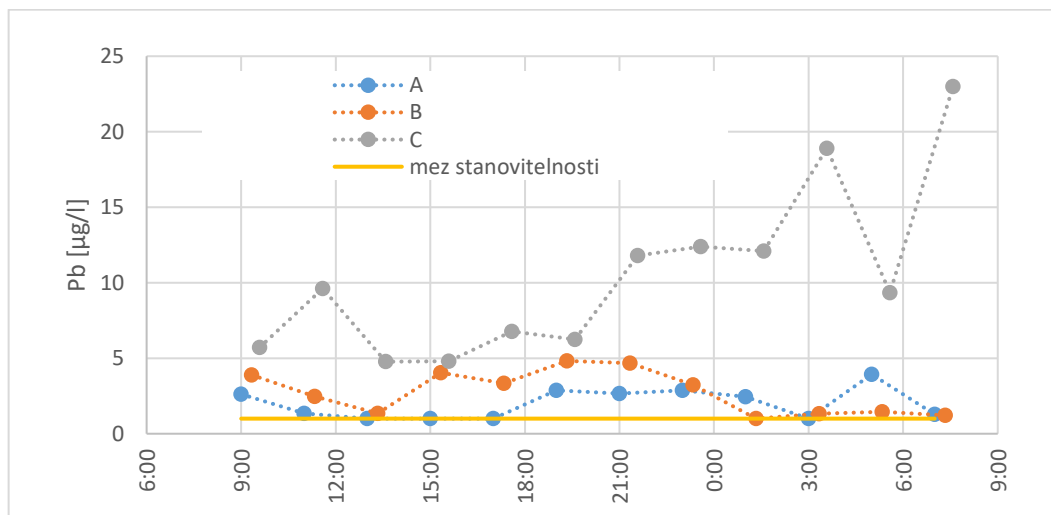
účinností nabízí tabulka č. 23. Vzácná shoda s německou studií [38] nastává v případě niklu, kdy je účinnost odstranění prakticky totožná, naopak u kadmia jsme v našem povodí zjistili účinnost nižší.

Tabulka 23 Průměrná účinnost odstraňování těžkých kovů

Prvek	Účinnost [%]	Německo (Nickel, 2021) [38]	Peking (Yang, 2015) [42]
Cd	59	93	neřešeno
Pb	89	97	70
Zn	89	neřešeno	74
Cu	46	neřešeno	79
Ni	48	47	30
As	10	neřešeno	61

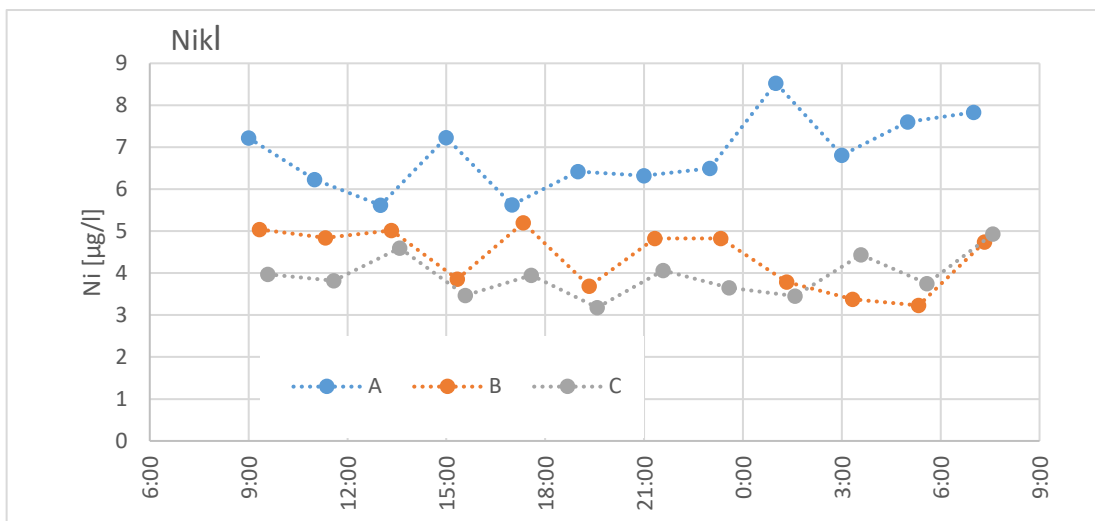
Pokud se vrátíme k obrázku č. 11 (str. 47), vidíme, že v případě kadmia, mědi a niklu byly nejvyšší koncentrace naměřeny v profilu A – Tahiti, tedy na vzdálenějším profilu od ČOV. Jinak jsou hodnoty koncentrací na obou profilech na síti srovnatelné a směrem k ČOV po připojení dalších částí povodí klesají. Zcela odlišně se chová olovo, jehož koncentrace na nátoku na ČOV výrazně vzrostla. Velký rozdíl v koncentracích olova mezi profilem B – Garáže a nátokem na ČOV je celkem překvapující. Nicméně v této části povodí se připojují vody přivedené z obcí Milčice a Velké Chvalovice, takže je možné, že rozdíl vytváří právě tyto přičerpané vody.

Rozdíl v koncentracích olova mezi profilem odlehčovacích komor a nátokem na ČOV je patrný z obrázku č. 12.



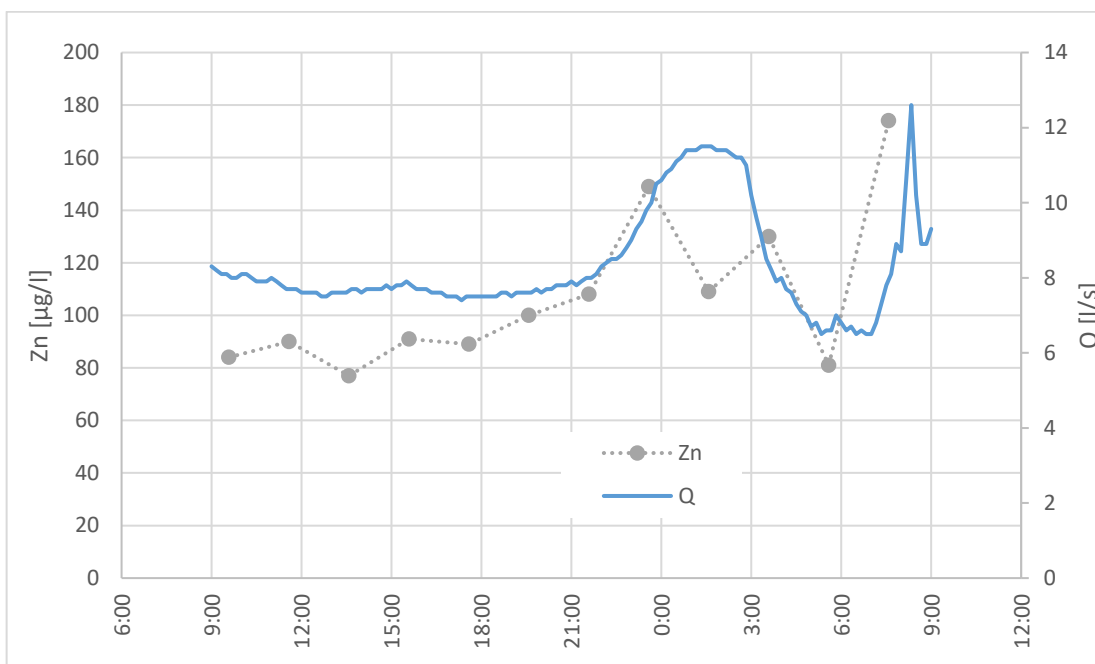
Obrázek 12 Průběh koncentrace olova v čase v jednotlivých profilech

Opačný scénář nastával v případě niklu, kdy největší koncentrace byly naměřeny v profilu A., viz obrázek č. 13. U ostatních kovů byly koncentrace meziprofilově srovnatelné (viz příloha 5, strana 100).



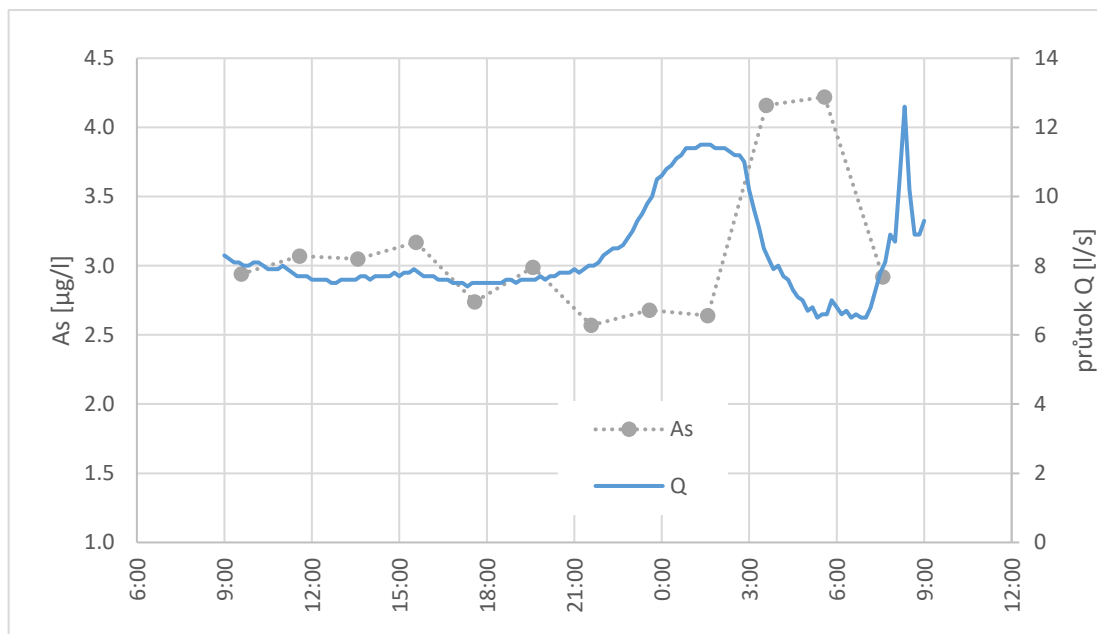
Obrázek 13 Průběh koncentrace niklu v čase a jednotlivých profilech

Vztahujeme-li koncentraci k průtoku, lze konstatovat, že u většiny kovů průtok s koncentrací koreluje. Na ukázkou máme na obrázku č. 14 průběh koncentrace a průtoku zinku v nátoku na ČOV (ostatní grafy viz přílohy č. 2, 3, 4, strany 87, 88., 93, 94, 98).



Obrázek 14 Průběh koncentrace zinku a průtoku odpadní vody v profilu C

Jako zcela opačné se jeví chování arsenu, jehož koncentrace s rostoucím průtokem naopak klesá, viz obrázek č. 15. Tento jev je patrně zapříčiněn stálou koncentrací arsenu v podzemní vodě, která se do kanalizace dostává ve formě balastních vod. Přímou na čistírně odpadních vod se nachází monitorovací vrt pro evidenci jakosti podzemních vod ČHMÚ, odkud jsou dlouhodobě hlášeny koncentrace arsenu v podzemních vodách. Poslední vzorky z roku 2020 vykazovaly maximální koncentraci arsenu 4,4 µg/l. [43]



Obrázek 15 Průběh koncentrace arsenu a průtoku odpadní vody v profilu C

### 2.3.2.2 Polycyklické aromatické uhlovodíky

Z 15 analyzovaných PAU nebyly u dvou, benzo(k)fluoranthenu a dibenzo(a,h)antracenu, zjištěny střední hodnoty koncentrace nad úrovní meze stanovitelnosti v žádném vzorku. Naopak koncentrace naftalenu a fenanthrenu vyčnívají nad ostatní. Kompletní statistické vyhodnocení, podobně jako pro těžké kovy přináší tabulka č. 24. Červeně zvýrazněné hodnoty poměru stanovitelných vzorků mají upozornit na látky, kde nebylo dosaženo meze stanovitelnosti u více než poloviny odebraných vzorků. U takovýchto látek nemá význam stanovovat některé statistické hodnoty, jako je průměr, medián nebo směrodatná odchylka.

Tabulka 24 Statistické vyhodnocení PAU v bezdeštném odtoku surové odpadní vody

	Profil	naftalen	acenaften	fluoren	fenanthren	anthracen	fluoranthren	pyren	benzo(a)anthracen
Průměr [µg/l]	A	0.152	0.014	0.033	0.214	0.011	0.061	0.042	0.033
	B	0.172	-	0.014	0.168	-	0.068	0.042	0.029
	C	0.139	0.010	0.017	0.133	-	0.061	0.037	0.027
Medián [µg/l]	A	0.137	0.011	0.028	0.204	0.009	0.058	0.037	0.028
	B	0.165	-	0.013	0.157	-	0.062	0.044	0.032
	C	0.134	0.008	0.019	0.131	-	0.060	0.034	0.024
Maximum [µg/l]	A	0.237	0.033	0.073	0.400	0.027	0.134	0.088	0.061
	B	0.259	0.012	0.023	0.264	0.023	0.156	0.058	0.048
	C	0.194	0.019	0.028	0.192	-	0.096	0.083	0.064
Minimum [µg/l]	A	0.097	<LOQ	0.011	0.099	<LOQ	0.022	0.017	0.012
	B	0.075	<LOQ	<LOQ	0.072	<LOQ	0.033	0.020	0.009
	C	0.062	<LOQ	<LOQ	0.059	<LOQ	0.031	0.017	0.014
Percentil 90 % [µg/l]	A	0.232	0.032	0.072	0.382	0.027	0.126	0.082	0.060
	B	0.255	-	0.023	0.260	-	0.136	0.058	0.046
	C	0.186	0.018	0.027	0.185	-	0.093	0.071	0.054
Percentil 10 % [µg/l]	A	0.098	<LOQ	0.011	0.105	<LOQ	0.024	0.017	0.013
	B	0.080	-	<LOQ	0.078	-	0.034	0.022	0.010
	C	0.079	<LOQ	<LOQ	0.073	-	0.034	0.020	0.014
Směrodatná odchylka [µg/l]	A	0.045	0.009	0.021	0.089	0.008	0.031	0.021	0.016
	B	0.062	-	0.006	0.066	-	0.033	0.012	0.011
	C	0.032	0.005	0.008	0.033	-	0.019	0.015	0.012
Stanovitelných vzorků [%]	A	100	67	100	100	67	100	100	100
	B	100	8	83	100	42	100	100	100
	C	100	50	75	100	0	100	100	100

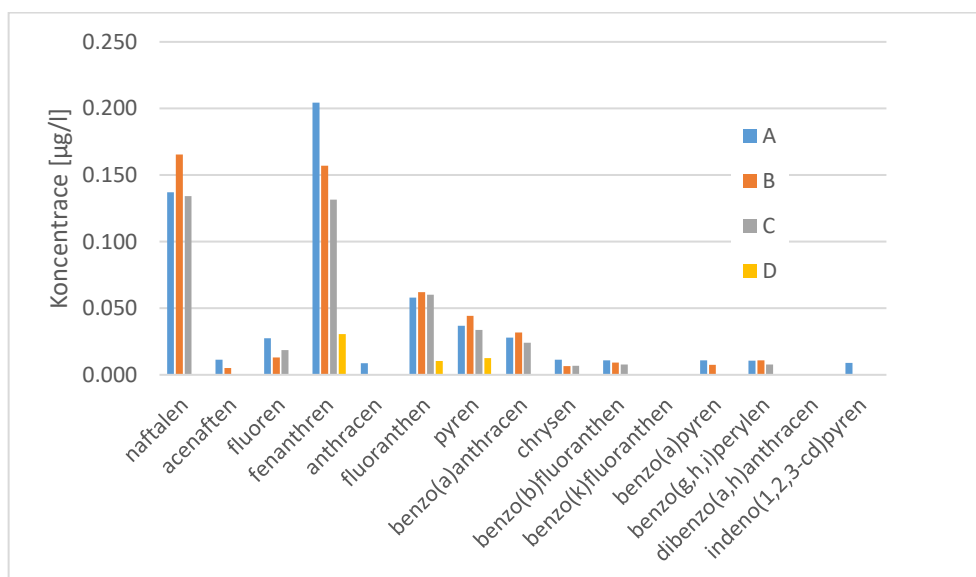
	Profil	chrysen	benzo(b)fluoranthren	benzo(k)fluoranthren	benzo(a)pyren	benzo(g,h,i)perylene	dibenzo(a,h)anthracen	indeno(1,2,3-cd)pyren
Průměr [µg/l]	A	0.012	0.010	-	0.012	0.010	-	-
	B	0.007	0.008	-	0.007	0.010	-	-
	C	0.007	0.009	-	-	0.009	-	-
Medián [µg/l]	A	0.011	0.011	-	0.011	0.011	-	-
	B	0.007	0.009	-	0.008	0.011	-	-
	C	0.007	0.008	-	-	0.008	-	-
Maximum [µg/l]	A	0.036	0.019	0.012	0.030	0.016	-	0.015
	B	0.022	0.012	-	0.011	0.013	-	0.011
	C	0.021	0.020	0.008	0.018	0.019	-	0.015
Minimum [µg/l]	A	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.003	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	B	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.003	0.006	<LOQ	<LOQ
	C	<LOQ	0.005	<LOQ	<LOQ	0.006	<LOQ	<LOQ
Percentil 90 % [µg/l]	A	0.031	0.019	-	0.027	0.015	-	-
	B	0.018	0.012	-	0.010	0.013	-	-
	C	0.017	0.017	-	-	0.017	-	-
Percentil 10 % [µg/l]	A	<LOQ	<LOQ	-	<LOQ	0.003	-	-
	B	<LOQ	0.003	-	<LOQ	0.006	-	-
	C	<LOQ	0.005	-	-	0.006	-	-
Směrodatná odchylka [µg/l]	A	0.009	0.005	-	0.007	0.004	-	-
	B	0.005	0.003	-	0.002	0.002	-	-
	C	0.005	0.004	-	-	0.003	-	-
Stanovitelných vzorků [%]	A	83	83	33	83	92	0	42
	B	75	92	0	83	100	0	17
	C	75	100	8	42	100	0	8

Mediány koncentrací jednotlivých PAU pro vybrané profily samostatně shrnuje tabulka č. 25. Součástí tabulky jsou i hodnoty zjištěné v literatuře. Zde je zajímavý pohled na výsledky německé studie [38], kde by hodnoty měly být porovnatelné s profilem C. Můžeme vidět, že zjištěné koncentrace jsou výrazně nižší u naftalenu a fenantrenu než v našem povodí.

Tabulka 25 Mediány koncentrace vybraných PAU pro jednotlivé profily

PAU	Koncentrace [ $\mu\text{g/l}$ ]						
	A	B	C	Německá studie (Nickel, 2021) [38]	Paříž (Gasperi, 2008) [40]	UK (Gardner, 2013) [41]	Soluň (Manol, 2008) [28]
naftalen	0.137	0.165	0.134	0.028	-	1.100	2.800
acenaften	0.011	0.005	-	-	-	-	-
fluoren	0.028	0.013	0.019	-	0.030	-	0.050
fenanthren	0.204	0.157	0.131	0.062	-	-	1.000
anthracen	0.009	-	-	-	-	0.050	0.070
fluoranthren	0.058	0.062	0.060	-	-	0.110	0.230
pyren	0.037	0.044	0.034	-	-	-	0.220
benzo(a)anthracen	0.028	0.032	0.024	-	-	-	0.040
chrysen	0.011	0.007	0.007	-	-	-	0.060
benzo(b)fluoranthren	0.011	0.009	0.008	-	0.020	0.020	0.022
benzo(k)fluoranthren	-	-	-	-	-	0.020	0.007
benzo(a)pyren	0.011	0.008	-	0.011	0.020	0.020	0.020
benzo(g,h,i)perylene	0.011	0.011	0.008	0.012	0.020	0.026	0.028
dibenzo(a,h)anthracen	-	-	-	-	-	-	0.004
indeno(1,2,3-cd)pyren	0.009	-	-	-	0.020	0.020	0.014

Pro větší názornost ohledně koncentrací jednotlivých látek v různých profilech informuje graficky obrázek č. 16. Kromě již zmíněných zvýšených koncentrací naftalenu a fenanthrenu je patrné, které látky byly v kterých profilech identifikovány nebo které prošly čistírnou odpadních vod ve stanovitelné koncentraci. Dalším poznatkem jsou zvýšené koncentrace v určitých profilech jako například naftalen a pyren v profilu B nebo fenanthren a fluoren v profilu A.



Obrázek 16 Grafické znázornění mediánů koncentrací jednotlivých PAU v závislosti na profilu

Příznivé je, že stanovitelné hodnoty koncentrace PAU na odtoku z ČOV byly zjištěny pouze v případě fenanthrenu, fluoranthenu a pyrenu, v ostatních případech nebyly stanoveny hodnoty koncentrace pro jediný vzorek kampaně. Pro úplný kompletní přehled tedy tabulka č. 26 přináší statistické hodnoty koncentrací odtoku z ČOV.

Tabulka 26 Statistické vyhodnocení PAU v odtoku z ČOV

PAU	fenanthren	fluoranthren	pyren
Průměr [µg/l]	0.034	0.010	0.014
Medián [µg/l]	0.034	0.010	0.013
Maximum [µg/l]	0.047	0.016	0.020
Minimum [µg/l]	0.025	0.007	0.009
Percentil 90 % [µg/l]	0.045	0.015	0.019
percentil 10 % [µg/l]	0.026	0.007	0.011
Směrodatná odchylka [µg/l]	0.007	0.003	0.003
Stanovitelných vzorků [%]	100	100	100

Průměrnou účinnost odstraňování jednotlivých vybraných PAU shrnuje tabulka č. 27. Účinnosti byly stanoveny jen u části látek z důvodu nízkých koncentrací už na přítoku na ČOV, které se blížily mezi stanovitelnosti, a proto by výsledná procenta nemusela být dostatečně vypovídající. Výpočet byl proveden pouze pro látky, jejichž koncentrace byly nad mezí stanovitelnosti alespoň v 50 % vzorků.

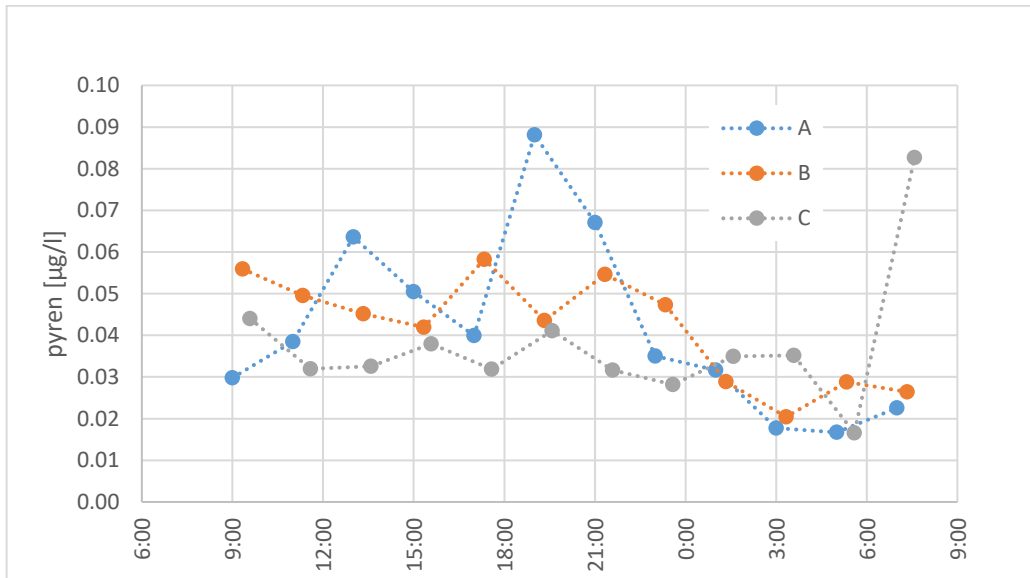
Tabulka 27 Efektivita odstraňování PAU na čistírně odpadních vod

PAU	Účinnost odstranění [%]	Německo (Nickel, 2021) [38]	Itálie (Torretta, 2012) [44]	Dusseldorf (2003) [45]
naftalen	80.6	83	-	92
acenaften	49.2	-	-	-
fluoren	69.8	-	-	50
fenanthren	72.6	95	-	93
fluoranthren	81.3	-	95	91
pyren	57.9	-	94	95
benzo(a)anthracen	89.2	-	80	50
chrysen	64.8	-	83	75
benzo(b)fluoranthren	70.7	-	-	50
dibenzo(g,h,i)perylene	72.2	98	-	-

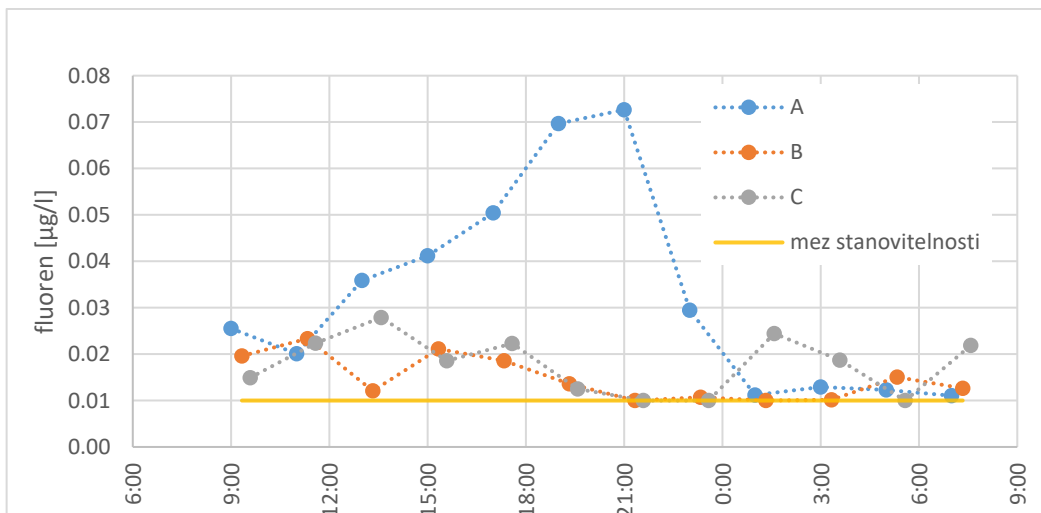
Opět se nabízí srovnání s německou studií [38]. Zatímco účinnost odstranění naftalenu byla srovnatelná, účinnost u fenanthrenu nebo dibenzo(g,h,i)perylenu dosahovala v případě naší ČOV o více než 20 % nižší hodnoty. Pro některé další vyhodnocené látky byly nalezeny hodnoty pro srovnání v italské studii Vincenza Torretty [44], kde byly zjištěny efektivitu odstranění vyšší u fluoranthenu a výrazně vyšší u pyrenu, srovnatelné hodnoty dosáhlo odstranění benzo(a)anthracenu. Řadu hodnot pro porovnání také nabídla německá studie zabývající se nebezpečnými látkami na vstupu a výstupu

z komunálních čistíren odpadních vod [45]. Za zmínku stojí snad výrazně vyšší účinnost odstraňování pyrenu čistírnou odpadních vod v Dusseldorfu, což je údaj, který se shoduje i s italskou studií.

Pokud se budeme zabývat průběhem koncentrací jednotlivých látek v čase, narazíme na to, že například acenaften, fluoren, fluoranthen, pyren nebo chrysen dosahují v profilu A maxima ve večerních hodinách. Pro názornou ukázkou slouží obrázky č. 17 a 18.



Obrázek 17 Průběh koncentrace pyrenu v bezdeštném odtoku pro jednotlivé profily

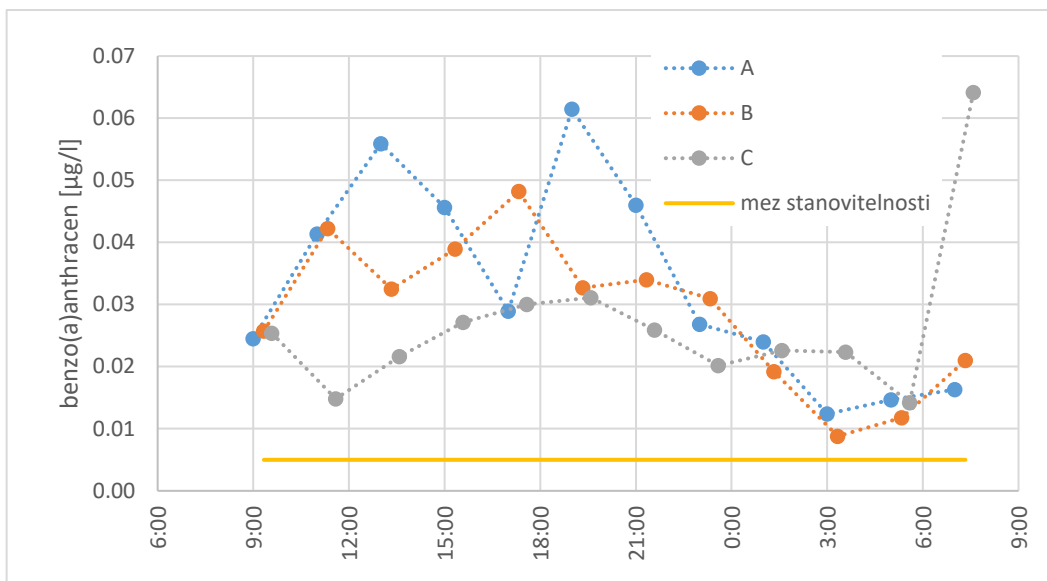


Obrázek 18 Průběh koncentrace fluorenu v bezdeštném odtoku pro jednotlivé profily

Zajímavého jevu, který je patrný z obrázku č. 17 pro pyren, si můžeme všimnout i u dalších látek. Jedná se o značný nárůst koncentrace v profilu nátoku na ČOV v případě posledního odběru 1. 6. 2021 v 7:35. Obrázek č. 19 přináší průběh koncentrace benzo(a)antracenu, který se choval právě tak. Příčinou mohou být, podobně jako v případě olova, odpadní vody přečerpávané z povodí Milčic a Velkých Chvalovic.

Ostatní grafy porovnávající koncentrace v profilech obsahuje příloha č. 5, strana 100.





Obrázek 19 Průběh koncentrace benzo(a)anthracenu v bezdeštném odtoku pro jednotlivé profily

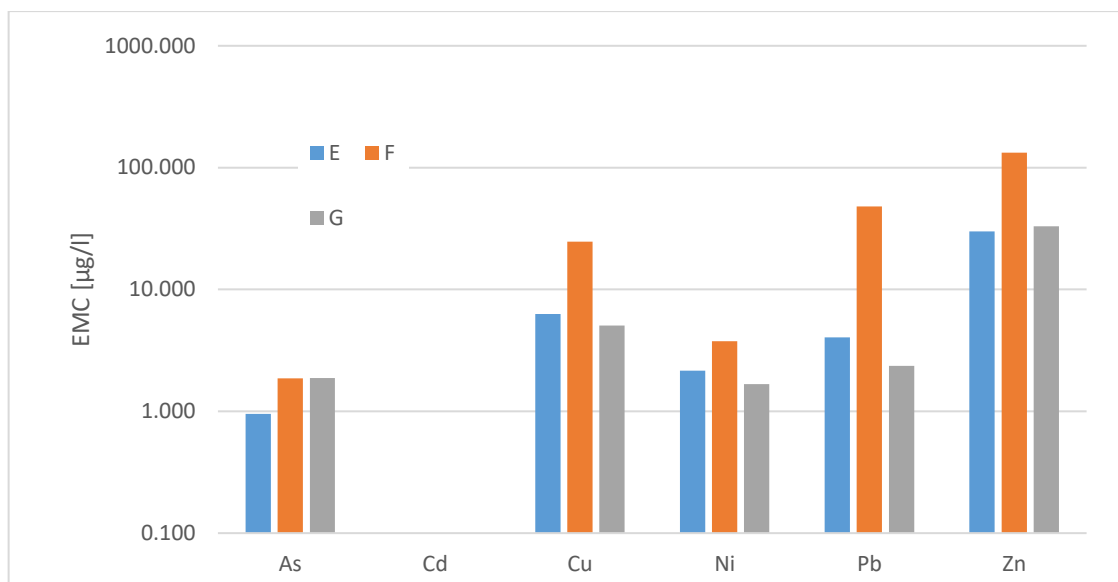
### 2.3.2 Výsledky monitoringu povrchového odtoku a odtoku dešťovou kanalizací během srážkové události

Jako první bylo zpracováno statistické vyhodnocení včetně výpočtu EMC. Souhrnně výsledky pro základní ukazatele, těžké kovy a PAU přináší tabulka č. 28.

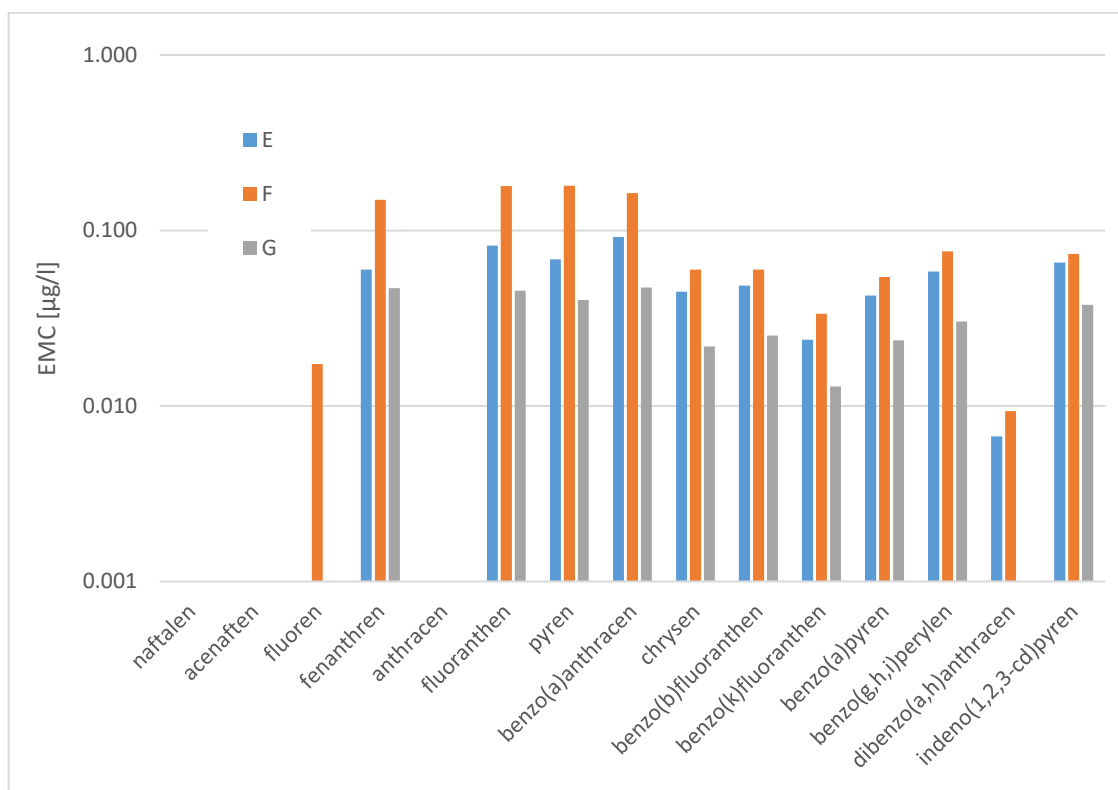
Tabulka 28 Statistické vyhodnocení základních chemických ukazatelů, těžkých kovů a PAU v povrchovém odtok

Profil	E				F				G			
	EMC	Max. koncentrace	Min. koncentrace	Stanovitelných vzorků	EMC	Max. koncentrace	Min. koncentrace	Stanovitelných vzorků	EMC	Max. koncentrace	Min. koncentrace	Stanovitelných vzorků
Látka	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	
As	<b>0.950</b>	1.970	<LOQ	60%	<b>1.868</b>	3.980	1.250	100%	<b>1.881</b>	2.6	1.380	100%
Cd	-	0.100	<LOQ	20%	-	0.180	<LOQ	40%	-	0.1	<LOQ	0%
Cu	<b>6.297</b>	13.900	4.010	100%	<b>24.703</b>	86.200	11.600	100%	<b>5.061</b>	10.7	3.710	100%
Ni	<b>2.156</b>	4.910	1.000	60%	<b>3.768</b>	10.800	2.300	100%	<b>1.673</b>	2.9	<LOQ	67%
Pb	<b>4.037</b>	7.690	2.720	100%	<b>48.144</b>	160.000	22.000	100%	<b>2.367</b>	4.0	1.760	100%
Zn	<b>29.953</b>	98.000	18.000	100%	<b>132.381</b>	498.000	18.000	100%	<b>33.034</b>	55.0	8.000	100%
naftalen	-	0.060	<LOQ	20%	-	0.069	<LOQ	40%	-	0.057	<LOQ	33%
acenaften	-	-	<LOQ	0%	-	-	<LOQ	0%	-	-	<LOQ	0%
fluoren	-	0.010	<LOQ	40%	<b>0.017</b>	0.028	0.016	100%	-	-	<LOQ	0%
fenanthren	<b>0.060</b>	0.069	0.040	100%	<b>0.149</b>	0.352	0.087	100%	<b>0.047</b>	0.051	0.038	100%
anthracen	-	-	<LOQ	0%	-	0.013	<LOQ	40%	-	-	<LOQ	0%
fluoranthren	<b>0.082</b>	0.102	0.039	100%	<b>0.179</b>	0.463	0.080	100%	<b>0.045</b>	0.057	0.028	100%
pyren	<b>0.068</b>	0.085	0.032	100%	<b>0.180</b>	0.484	0.077	100%	<b>0.040</b>	0.050	0.024	100%
benzo(a)anthracen	<b>0.092</b>	0.110	0.039	100%	<b>0.163</b>	0.380	0.066	100%	<b>0.047</b>	0.066	0.023	100%
chrysen	<b>0.045</b>	0.058	0.018	100%	<b>0.060</b>	0.128	0.025	100%	<b>0.022</b>	0.031	0.010	100%
benzo(b)fluoranthren	<b>0.048</b>	0.060	0.020	100%	<b>0.060</b>	0.127	0.024	100%	<b>0.025</b>	0.036	0.012	100%
benzo(k)fluoranthren	<b>0.024</b>	0.029	0.009	100%	<b>0.034</b>	0.065	0.012	100%	<b>0.013</b>	0.019	0.006	100%
benzo(a)pyren	<b>0.043</b>	0.052	0.019	100%	<b>0.054</b>	0.103	0.021	100%	<b>0.024</b>	0.034	0.012	100%
benzo(g,h,i)perylene	<b>0.058</b>	0.071	0.031	100%	<b>0.076</b>	0.152	0.032	100%	<b>0.030</b>	0.041	0.015	100%
dibenzo(a,h)anthracen	<b>0.007</b>	0.009	0.003	80%	<b>0.009</b>	0.018	0.006	100%	-	0.006	<LOQ	17%
indeno(1,2,3-cd)pyren	<b>0.066</b>	0.082	0.033	100%	<b>0.074</b>	0.122	0.032	100%	<b>0.038</b>	0.052	0.018	100%
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]		[mg/l]	[µg/l]	[mg/l]		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	
CHSK-Cr	<b>43.931</b>	94.000	31.000	100%	<b>138.371</b>	426.000	62.000	100%	<b>26.170</b>	69.000	<LOQ	67%
Pcelk	<b>0.155</b>	0.222	0.099	100%	<b>0.527</b>	1.420	0.308	100%	<b>0.266</b>	0.780	0.187	100%
P-PO4	<b>0.066</b>	0.099	0.043	100%	<b>0.209</b>	0.475	0.124	100%	<b>0.220</b>	0.634	0.152	100%
Ncelk	<b>0.909</b>	2.530	<LOQ	60%	<b>2.132</b>	7.180	<LOQ	80%	<b>1.746</b>	7.640	1.000	100%
NL105	<b>25.071</b>	36.000	15.000	100%	<b>60.197</b>	220.000	29.000	100%	<b>10.327</b>	21.000	4.800	100%
NL550	<b>13.511</b>	21.000	8.000	100%	<b>33.787</b>	130.000	15.000	100%	<b>7.244</b>	14.000	3.200	100%

Společným znakem je, že ve většině ukazatelů, a to platí hlavně pro těžké kovy a PAU, jsou výrazně vyšší koncentrace u profilu F tedy frekventované ulice v centru Peček. Pro ukázkou mohou sloužit obrázky č. 20 a 21, kde jsou vyneseny EMC ve sloupcových grafech s logaritmickým měřítkem.



Obrázek 20 Sloupcový graf EMC těžkých kovů pro jednotlivé profily

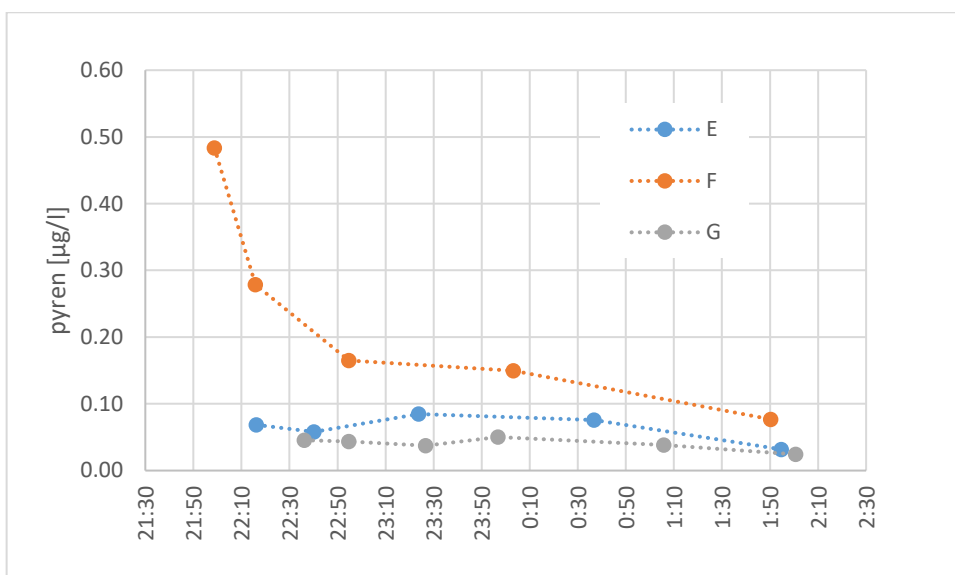


Obrázek 21 Sloupcový graf EMC PAU pro jednotlivé profily

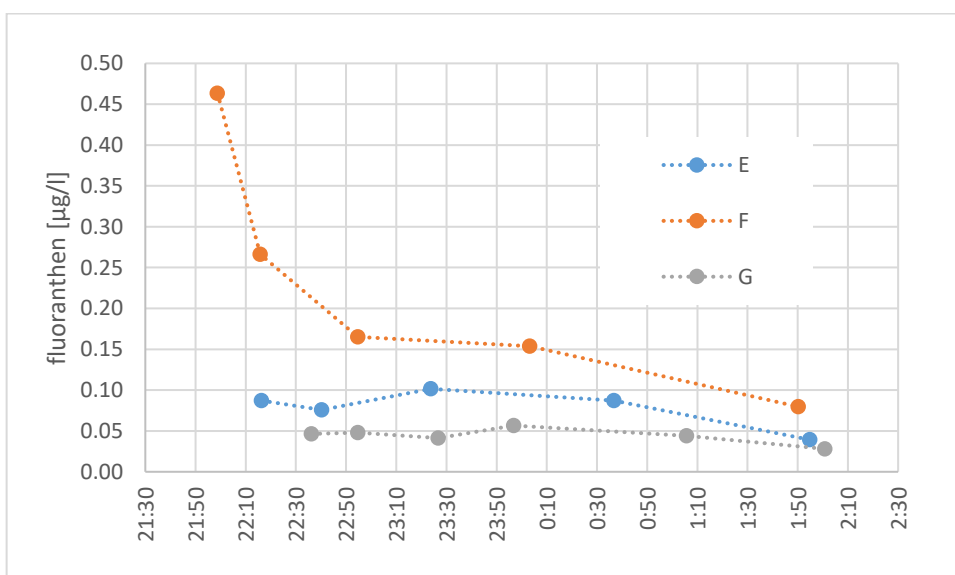
Není překvapením, že jsou podobně jako v bezdeštném odtoku kanalizací výrazné koncentrace zinku v povrchovém odtoku. U dalších kovů jsou hodnoty řádově podobné, ale vyčnívají koncentrace mědi a olova v profilu F.

U PAU jsou významné hodnoty EMC fenanthrenu, fluoranthenu, pyrenu a benzo(a)anthracenu opět pro profil F. Profil F byl také víceméně jediným, kde byly zachyceny stanovitelné koncentrace fluorenu. Vesměs se jedná o produkty spalování organických paliv nebo přímo jejich součásti.

Cílem této kampaně bylo také zjistit, jestli se projeví na koncentracích první splach. Ze získaných dat lze vypožorovat, že první splach bylo možné sledovat pouze u profilu F, v ostatních profilech byly koncentrace v čase dosti podobné. Příkladem může být průběh koncentrací pyrenu v čase pro všechny tři profily na obrázku č. 22 nebo fluoranthenu na obrázku č. 23. Grafické vyjádření průběhu koncentrace i ostatních látek je v příloze č. 6.



Obrázek 22 Průběh koncentrace pyrenu v povrchovém odtoku a odtoku dešťovou kanalizací



*Obrázek 23 Průběh koncentrace fluorathenu v povrchovém odtoku a odtoku dešťovou kanalizací*

Ostatně jistou představu o prvním splachu v profilu F jsme měli už v průběhu kampaně, kdy se vizuálně velmi lišil první a poslední odebraný vzorek, viz obrázek č. 24. Naopak u profilu G v Dobřichově nebyl vizuální rozdíl příliš patrný a následné analýzy také vliv prvního splachu neprokázaly, viz obrázek 25.



*Obrázek 24 Poslední a první vzorek povrchového odtoku odebraného v profilu F*



*Obrázek 25 Vzorky odtoku dešťovou kanalizací odebrané v profilu G*

Pro porovnání kvality povrchového odtoku a odpadní vody za bezdeštného období slouží tabulka č. 29, která srovnává koncentrace z profilů E, F, G s kvalitou vody v nátoku a odtoku z ČOV (profily C a D).

Tabulka 29 Porovnání kvality vody v profilech E, F, G při kampani na povrchový odtok a odtok dešťovou kanalizací a kvality vody v profilech C a D bezdeštné kampaně

Profil	E	F	G	C	D
	EMC	EMC	EMC	median c	median c
Látka	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
As	0.950	1.868	1.881	2.97	2.86
Cd	-	-	-	0.12	0.05
Cu	6.297	24.703	5.061	9.39	5.68
Ni	2.156	3.768	1.673	3.89	2.42
Pb	4.037	48.144	2.367	9.48	1.26
Zn	29.953	132.381	33.034	95.50	11.50
naftalen	-	-	-	0.134	-
acenaften	-	-	-	0.008	-
fluoren	-	0.017	-	0.019	-
fenanthren	0.060	0.149	0.047	0.131	0.034
anthracen	-	-	-	-	-
fluoranthren	0.082	0.179	0.045	0.060	0.010
pyren	0.068	0.180	0.040	0.034	0.013
benzo(a)anthracen	0.092	0.163	0.047	0.024	-
chrysen	0.045	0.060	0.022	0.007	-
benzo(b)fluoranthren	0.048	0.060	0.025	0.008	-
benzo(k)fluoranthren	0.024	0.034	0.013	-	-
benzo(a)pyren	0.043	0.054	0.024	-	-
benzo(g,h,i)perylen	0.058	0.076	0.030	0.008	-
dibenzo(a,h)anthracen	0.007	0.009	-	-	-
indeno(1,2,3-cd)pyren	0.066	0.074	0.038	-	-
	EMC	EMC	EMC	median c	median c
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
CHSK-Cr	43.931	138.371	26.170	584.75	49.00
P <sub>celk</sub>	0.155	0.527	0.266	11.98	1.37
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.066	0.209	0.220	8.53	0.70
N <sub>celk</sub>	0.909	2.132	1.746	68.88	27.30
NL <sub>105</sub>	25.071	60.197	10.327	241.67	12.00
NL <sub>550</sub>	13.511	33.787	7.244	17.00	1.00

Porovnáním kvality vzorků povrchového odtoku a bezdeštného odtoku odpadní vody dospíváme v následujícím závěru. Ohledně základních ukazatelů a nutrientů kromě NL<sub>550</sub> je možné říct, že odpadní voda je těmito látkami výrazně více zatížena a povrchový odtok nedosahuje takové míry znečištění nutrienty ani ve srovnání s vyčištěnou odpadní vodou.

U těžkých kovů je to složitější v tom, že odpadní vody obsahují větší nebo srovnatelné koncentrace TK než dešťový odtok v profilech E a G, ale v případě zinku, olova a mědi jsou výrazně vyšší koncentrace v profilu frekventované ulice (F) než v odpadní vodě. Kadmium nebylo ve vzorcích povrchového odtoku zaznamenáno.

U PAU je možné obecně říct, že jejich koncentrace v povrchovém odtoku a odtoku dešťovou kanalizací převyšuje koncentrace v odpadní vodě. V případě profilů E a G ne tak výrazně, ale v případě profilu F i více než pětinasobně jako u pyrenu. Naopak některé látky jako naftalen nebo acenaften v dešťovém odtoku nebyly na rozdíl od odpaní vody vůbec stanovitelné.

Na závěr výsledků monitoringu povrchového odtoku a odtoku dešťovou kanalizací se nabízí srovnání získaných výsledků s poznatky z literatury, viz tabulka č. 30.

Tabulka 30 Porovnání kvality povrchového odtoku a odtoku dešťovou kanalizací s hodnotami z literatury

Profil	E	F	G	Berlín (Wicke,2021) [39]	Lodz (Sakson, 2018) [3]
	EMC	EMC	EMC	EMC	EMC
Látka	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
As	0.950	1.868	1.881	-	-
Cd	-	-	-	-	0.5
Cu	6.297	24.703	5.061	253	60
Ni	2.156	3.768	1.673	7.8	-
Pb	4.037	48.144	2.367	68	15
Zn	29.953	132.381	33.034	954	320
naftalen	-	-	-	-	-
acenaften	-	-	-	-	-
fluoren	-	0.017	-	0.017	-
fenanthren	0.060	0.149	0.047	0.16	-
anthracen	-	-	-	0.029	-
fluoranthren	0.082	0.179	0.045	0.4	-
pyren	0.068	0.180	0.040	0.34	-
benzo(a)anthracen	0.092	0.163	0.047	0.14	-
chrysen	0.045	0.060	0.022	0.17	-
benzo(b)fluoranthren	0.048	0.060	0.025	0.16	-
benzo(k)fluoranthren	0.024	0.034	0.013	0.061	-
benzo(a)pyren	0.043	0.054	0.024	0.088	-
benzo(g,h,i)perylene	0.058	0.076	0.030	0.062	-
dibenzo(a,h)anthracen	0.007	0.009	-	0.018	-
indeno(1,2,3-cd)pyren	0.066	0.074	0.038	0.073	-

Srovnání se nabízí zejména s berlínskou studií [39], protože při ní byla analyzována většina látek jako v naší kampani. Hlavní informací je, že koncentrace těžkých kovů byly v našem povodí výrazně nižší než v berlínské studii. U PAU tak jednoznačný závěr udělat nelze. U většiny látek byla zjištěna hodnota velmi podobná jako v našem profilu F (fluoren, fenanthren, benzo(a)anthracen, benzo(g,h,i)perylene, indeno(1,2,3-cd)pyren) v ostatních případech se jednalo v našem povodí o koncentrace nižší než v literatuře.

U povrchové odtoku a odtoku dešťovou kanalizací v průběhu srážkové události jsou vztahy jednotlivých škodlivin o něco průkaznější než v případě bezdeštné kampaně.

Profily E a G vykazují vysoké korelační koeficienty u vzájemného vztahu některých PAU, kterými jsou fluoranthen, pyren, benzo(a)anthracen, chrysen, benzo(b)fluoranthen a benzo(a)pyren, kde se korelační koeficienty vesměs pohybují nad hranicí 0,9, výjimečně v rozsahu 0,8-0,89. U těžkých kovů se výrazněji projevuje korelace těžkých kovů s CHSK<sub>Cr</sub>. Příkladem může být vztah mědi, niklu a olova s CHSK<sub>Cr</sub> v profilu E i G, kdy hodnoty korelačních koeficientů přesahují 0,95. U profilu F, který se jeví jako nejvíce znečištěný se dá říct, že podle korelačních koeficientů koreluje téměř vše se vším. Až na výjimku naftalenu a benzo(a,h)anthracenu se koeficienty pohybují nad hranicí 0,8. Kompletní matice korelačních koeficientů obsahuje příloha č. 8, strana 112.

### 2.3.3 Výsledky analýz pevné matrice

#### 2.3.3.1 *Sediment z kanalizace*

Nejprve se zaměříme na složení sedimentu odebraného přímo z kanalizace a konkrétně z profilů A a B, tedy z odlehčovacích komor. Pro oba profily byly odebrány dva vzorky (21. 6. a 16. 9.). Konkrétní výsledky analýz jsou v tabulce č. 31.



Tabulka 31 Výsledky analýz vzorků sedimentu z kanalizace v profilech A a B

Ukazatel	Jednotka	Profil A		Profil B	
		21.6.	16.9.	21.6.	16.9.
Podíl sušiny	%	29.7	77.7	84.9	81.6
Ztráta žíháním sušiny	%	29	3.5	0.8	1.2
P <sub>celk</sub>	mg/kg	4460	2290	629	236
N <sub>celk</sub>	g/kg	8.47	6.12	3.81	3.84
As	mg/kg	6.11	5.01	3.7	1.53
Cd	mg/kg	0.47	0.14	<LOQ	0.15
Cu	mg/kg	97.2	31.8	20.1	29.3
Hg	mg/kg	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Ni	mg/kg	20.1	15.6	9.47	4.22
Pb	mg/kg	12.8	96.7	9.38	5.41
Zn	mg/kg	362	224	95.3	117
naftalen	mg/kg	-	0.090	0.019	0.050
acenaften	mg/kg	-	0.013	0.006	0.010
fluoren	mg/kg	-	0.020	0.011	0.008
fenanthren	mg/kg	-	0.202	0.056	0.059
anthracen	mg/kg	-	0.033	0.006	0.004
fluoranthren	mg/kg	-	0.412	0.089	0.088
pyren	mg/kg	-	0.301	0.067	0.065
benzo(a)anthracen	mg/kg	-	0.409	0.083	0.064
chrysen	mg/kg	-	0.190	0.040	0.033
benzo(b)fluoranthren	mg/kg	-	0.176	0.042	0.031
benzo(k)fluoranthren	mg/kg	-	0.103	0.023	0.023
benzo(a)pyren	mg/kg	-	0.193	0.045	0.039
benzo(g,h,i)perylene	mg/kg	-	0.142	0.040	0.031
dibenzo(a,h)anthracen	mg/kg	-	0.028	0.009	0.020
indeno(1,2,3-cd)pyren	mg/kg	-	0.189	0.056	0.039

Na první pohled je patrný rozdíl v obsahu nutrientů, těžkých kovů i PAU mezi oběma profilem. Příkladem je obsah celkového fosforu, který dosahuje v profilu A (z 16. 9.) až téměř desetinásobné hodnoty oproti profilu B a podobně je tomu v případě mědi nebo zinku, fluoranthenu, benzo(a)anthracenu, benzo(b)pyrenu a dalších. Příčinou může být průmyslový areál spadající pod povodí k profilu A, který by měl být napojen na vlastní čistírnu odpadních vod, ale přesto je třeba brát ho v úvahu. Další příčinou může být skutečnost, že odlehčovací komora A slouží také jako bezpečnostní přeliv pro čerpací stanici, která se nachází nedaleko pod profilem A. V případě, že by čerpací stanice nefungovala podle představy, mohlo by právě zde docházet ke zvýšené sedimentaci unášeného materiálu a případně zvýšené sorpci těžkých kovů a PAU.

Rozdíl však není jen mezi profilem, ale i mezi vzorky odebranými v různých dnech. Zpravidla je obsah polutantů ve vzorku z 16. 9. nižší než ve vzorku z 21. 6. Možnou příčinou lze nalézt v záznamech ze srážkoměrů. Zatímco červnovému odběru předcházela

časový úsek jedenácti dní, kdy nebyly zaznamenány prakticky žádné srážky, 16. 9. byla v ranních hodinách zaznamenána poměrně vydatná srážková událost, při které mohlo dojít k odplavení části sedimentu nebo k jeho částečnému vymytí. Pozitivním poznatkem je, že v sedimentu z kanalizace nebylo v žádném vzorku stanovitelné množství rtuti.

### 2.3.3.2 Prach z ulic

Kompletní přehled obsahu jednotlivých škodlivin v prachu ze silnic je zaznamenán v tabulce č. 32. Při pohledu na dva vzorky z blízkosti profilu B, opět se zde zřejmě projevila ranní srážková událost a opět jsou hodnoty z 16. září ve většině případů nižší. V případě vzorků odebraných před začátkem kampaně na odběr povrchového odtoku vidíme, že u mědi, olova a zinku byly zjištěny vyšší obsahy u profilu F – frekventované ulice.

Tabulka 32 Výsledky analýz vzorků prachu odebraného z ulice

Ukazatel	Jednotka	Profil B		Dobříchov	Profil E	Profil F	Dobříchov OÚ
		21.6.	16.9.	16.9.	Kampaň na povrchový odtok a odtok DK 1. 11.		
Podíl sušiny	%	99.8	99.1	92.4	75.0	41.0	67.7
Ztráta žíháním sušiny	%	2.1	2.0	5.0	19.3	11.4	4.1
Pcelk	mg/kg	847	522	475	961	554	470
Ncelk	g/kg	4.46	3.24	5.28	12.5	6.75	4.68
As	mg/kg	4.76	6	4.73	8.51	7.22	6.81
Cd	mg/kg	0.1	<LOQ	0.1	0.64	<LOQ	0.16
Cu	mg/kg	80.1	51.5	23.8	62.6	118	30.9
Hg	mg/kg	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Ni	mg/kg	19	32.1	28.9	47.6	53.8	57.6
Pb	mg/kg	22.7	44.6	8.48	43	62.1	12.9
Zn	mg/kg	123	116	116	396	487	123
naftalen	mg/kg	0.028	0.075	0.080	-	0.060	0.070
acenaften	mg/kg	0.019	0.007	0.010	-	0.008	0.007
fluoren	mg/kg	0.032	0.012	0.019	-	0.013	0.006
fenanthren	mg/kg	0.215	0.094	0.151	-	0.164	0.054
anthracen	mg/kg	0.043	0.008	0.010	-	0.011	0.002
fluoranthren	mg/kg	0.242	0.177	0.282	-	0.250	0.125
pyren	mg/kg	0.174	0.137	0.214	-	0.310	0.098
benzo(a)anthracen	mg/kg	0.310	0.175	0.257	-	0.124	0.116
chrysen	mg/kg	0.151	0.082	0.131	-	0.069	0.060
benzo(b)fluoranthren	mg/kg	0.109	0.084	0.134	-	0.071	0.064
benzo(k)fluoranthren	mg/kg	0.071	0.053	0.078	-	0.041	0.046
benzo(a)pyren	mg/kg	0.129	0.093	0.142	-	0.079	0.086
benzo(g,h,i)perylene	mg/kg	0.192	0.121	0.149	-	0.130	0.112
dibenzo(a,h)anthracen	mg/kg	0.015	0.020	0.021	-	0.008	0.006
indeno(1,2,3-cd)pyren	mg/kg	0.157	0.089	0.170	-	0.069	0.096

Na kolik se podílí obsah polutantů v prachu na koncentraci znečištění v povrchovém odtoku, ukazuje tabulka č. 33 s vypočtenou koncentrací polutantů v odtoku na základě obsahu nerozpuštěných látek a obsahu polutantu v sušině prachu z ulice. V první řadě je škoda, že se nepodařilo analyzovat obsah PAU v prachu v profilu E. Dále je zřetelné, že vypočtená koncentrace je ve většině případů výrazně nižší než vypočtená EMC. Příčinou tohoto jevu může být to, že k celkové koncentraci látek v odtoku přispívají ještě další vlivy, jako může být atmosférická depozice. Další příčinou může být, že se při odběru vzorku prachu nepodařilo odebrat i nejjemnější frakci, na kterou bývá sorbováno největší množství těžkých kovů a PAU. Velmi dobrá shoda naopak nastala v případě niklu.

Tabulka 33 Výpočet koncentrace znečištění na základě obsahu nerozpuštěných látek v odtoku a množství polutantu v sušině prachu z ulice

Ukazatel	Jednotka	Profil E		Profil F	
		EMC	Vypočtená koncentrace	EMC	Vypočtená koncentrace
NL105	mg/l	25.071		60.197	
Pcelk	mg/l	0.155	0.024	0.527	0.033
Ncelk	mg/l	0.909	0.313	2.132	0.406
As	µg/l	0.950	0.213	1.868	0.435
Cd	µg/l	-	-	-	-
Cu	µg/l	6.297	1.569	24.703	7.103
Hg	µg/l	-	-	-	-
Ni	µg/l	2.156	1.193	3.768	3.239
Pb	µg/l	4.037	1.078	48.144	3.738
Zn	µg/l	29.953	9.928	132.381	29.316
naftalen	µg/l	-	-	-	0.004
acenaften	µg/l	-	-	-	-
fluoren	µg/l	-	-	0.017	0.001
fenanthren	µg/l	0.060	-	0.149	0.010
anthracen	µg/l	-	-	-	-
fluoranthren	µg/l	0.082	-	0.179	0.015
pyren	µg/l	0.068	-	0.180	0.019
benzo(a)anthracen	µg/l	0.092	-	0.163	0.007
chrysen	µg/l	0.045	-	0.060	0.004
benzo(b)fluoranthren	µg/l	0.048	-	0.060	0.004
benzo(k)fluoranthren	µg/l	0.024	-	0.034	0.002
benzo(a)pyren	µg/l	0.043	-	0.054	0.005
benzo(g,h,i)perylene	µg/l	0.058	-	0.076	0.008
dibenzo(a,h)anthracen	µg/l	0.007	-	0.009	-
indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	0.066	-	0.074	0.004

### 2.3.3.3 Kaly z čistírny odpadních vod

Tabulka č. 34 obsahuje přehled hodnot obsahu jednotlivých polutantů v sušině kalu z denitrifikace a vratného kalu. Pro porovnání také obsahuje hodnoty z kanalizační sítě, konkrétně z profilu B.

Tabulka 34 Obsah polutantů v sušině kalů z ČOV

Ukazatel	Jednotka	Kaly		Sediment z profilu B
		denitrifikace	vratný kal	21.6.
Podíl sušiny	%	5.2	0.7	84.9
Ztráta žiháním sušiny	%	77.9	67.1	0.8
Pcelk	mg/kg	14800	39300	629
Ncelk	g/kg	64.7	64.2	3.81
As	mg/kg	4.65	2.17	3.7
Cd	mg/kg	0.62	0.64	<LOQ
Cu	mg/kg	161	129	20.1
Hg	mg/kg	0.34	0.36	<LOQ
Ni	mg/kg	14.5	13	9.47
Pb	mg/kg	206	126	9.38
Zn	mg/kg	631	639	95.3
naftalen	mg/kg	0.093	0.083	0.019
acenaften	mg/kg	0.028	0.008	0.006
fluoren	mg/kg	0.012	0.017	0.011
fenanthren	mg/kg	0.090	0.084	0.056
anthracen	mg/kg	0.008	0.002	0.006
fluoranthren	mg/kg	0.178	0.122	0.089
pyren	mg/kg	0.178	0.111	0.067
benzo(a)anthracen	mg/kg	0.143	0.089	0.083
chrysen	mg/kg	0.051	0.038	0.040
benzo(b)fluoranthren	mg/kg	0.067	0.041	0.042
benzo(k)fluoranthren	mg/kg	0.040	0.026	0.023
benzo(a)pyren	mg/kg	0.069	0.057	0.045
benzo(g,h,i)perylene	mg/kg	0.080	0.062	0.040
dibenzo(a,h)anthracen	mg/kg	0.007	<LOQ	0.009
indeno(1,2,3-cd)pyren	mg/kg	0.080	0.054	0.056

Zřetelná je vysoká koncentrace nutrientů, což se dalo očekávat vzhledem k principu biologického stupně ČOV. Z vysoké hodnoty ztráty žiháním, která činí 78 respektive 67 % usuzujeme, že se jedná především o organický materiál. V návaznosti na to nám vysoké obsahy olova, mědi a zinku potvrzují, že právě tyto kovy se velmi ochotně váží na organickou hmotu. Návaznost olova, mědi a zinku na organickou hmotu potvrzují i korelační koeficienty obsahu těchto kovů (vyhodnoceno pro všechny vzorky pevné matrice) s procentuální ztrátou žiháním, kdy se hodnota korelačního koeficientu pohybovala v rozmezí 0,85 – 0,90, všechny korelační koeficienty viz příloha č. 9, strana 115. Specialitou kalů z ČOV, na rozdíl od sedimentů z kanalizace nebo prachu z ulic, je

obsah rtuti. Z důvodu vysokých koncentrací těžkých kovů a samotné přítomnosti rtuti je třeba důkladně dbát na ochranu ČOV před havarijnými přítoky, které by mohly kal z čistírny „vypláchnout“ přímo do recipientu.

## Závěr

Předmětem diplomové práce bylo vyhodnotit výsledky odběrných kampaní provedených v povodí ČOV Pečky vzhledem k možnému nedosažení dobré kvality povrchových vod. Hlavními sledovanými polutanty, na které se práce zaměřuje, jsou těžké kovy, polycyklické aromatické uhlovodíky a nutrienty. Výsledky kampaní jsou dále porovnány s výsledky nalezenými v literatuře.

Základní chemické ukazatele jako je chemická spotřeba kyslíku nebo nerozpuštěné látky v odpadní vodě nedosahovaly ani zdaleka limitů uvedených v kanalizačním řádu ČOV Pečky. V případě nutrientů byly limity překračovány. Tento jev je ale zřejmě možné vysvětlit špatným nastavením limitů, které pochází patrně z doby, kdy specifická spotřeba vody byla výrazně vyšší než dnes. Je možné říct, že se specifická produkce nutrientů v povodí nevymyká, ale spíše odpovídá hodnotám z normy ČSN 75 6401 [7]. Taktéž kvalita vody na odtoku z ČOV splňuje standardy NV 401/2015, Sb. [2], které stanovují maximální přípustné znečištění vypouštěných odpadních vod i minimální účinnosti odstranění vybraných látek na ČOV.

Při vyhodnocení kampaně monitorující kvalitu povrchového odtoku bylo zjištěno, že povrchový odtok má lepší kvalitu v základních ukazatelích a nutrientech než odpadní voda přitékající na ČOV, a to i v případě velmi frekventované komunikace. V případě nutrientů měl povrchový odtok rovněž lepší kvalitu než odtok z ČOV.

Povrchový odtok z frekventovaných komunikací může být však problémem v případě těžkých kovů. Kampaň ukázala, že v případě olova, zinku a mědi je koncentrace mnohem vyšší než v odpadní vodě. Koncentrace těchto kovů v našich vzorcích ale byly nižší nebo srovnatelné jako hodnoty nalezené v literatuře. Těžké kovy se vyskytují i v odpadní vodě, ale podobně jako v případě povrchového odtoku se jejich koncentrace podobají hodnotám z literatury a navíc splňují i limity kanalizačního řádu. Čistírna odpadních vod vykazuje dobré účinnosti odstranění těžkých kovů, a to hlavně v případě olova a zinku. V případě mědi a niklu se účinnost pohybuje okolo 45 %. U niklu, na rozdíl od mědi, byly podobné hodnoty nalezeny i v literatuře. Velké množství těžkých kovů obsahují kaly z čistírny odpadních vod, což ve většině případu souvisí s jejich schopností velmi snadno se vázat do organické hmoty. V kalu z čistírny byla také prokázána přítomnost rtuti.

Z PAU v odpadní vodě vyčnívaly koncentrace naftalenu a fenanthrenu, naopak velmi nízké koncentrace vykazoval acenaften, anthracen, chrysen, benzo(b)fluoranthén, benzo(k)fluoranthén, benzo(a)pyren, benzo(g,h,i)perylen a indeno(1,2,3-cd)pyren. U dibenzo(a,h)anthracenu nebyla nalezena stanovitelná koncentrace v žádném ze vzorků. Na odtoku z čistírny odpadních vod byly stanovitelné koncentrace naměřeny jen u fenanthrenu, fluoranthenu a pyrenu, a to koncentrace velmi nízké. Naproti tomu v povrchovém odtoku a odtoku dešťovou kanalizací byly nalezeny vesměs vyšší koncentrace než v odpadní vodě, v případě pyrenu nebo fluoranthenu

i několikanásobně. Naopak naftalen a acenaften nebyly v povrchovém odtoku nalezeny vůbec. Po srovnání koncentrací z našeho povodí se zahraniční literaturou zjišťujeme, že hodnoty jsou velmi podobné.

Z našich výsledků lze hodnotit fungování ČOV Pečky jako dobré a koncentrace sledovaných prioritních polutantů v odpadní vodě nepřekračují stanovené limity a shodují se nebo jsou dokonce nižší než koncentrace z literatury. Problémem by mohl být dešťový odtok, který obsahuje vyšší koncentrace těžkých kovů a PAU než odpadní voda. Ukazuje se, že největším problémem je povrchový odtok z frekventovaných komunikací. Zde by se dalo uvažovat, v případě oddílné dešťové kanalizace, o opatření na zachycení prvního splachu. Také by bylo vhodné zjistit kvalitu vody přepadající z odlehčovacích komor a odtékající přímo do recipientu při srážkové události. Dále je třeba dbát na ochranu čistírny odpadních vod před havarijními přítoky vody v případě intenzivních srážek vzhledem k vysokým obsahům těžkých kovů a nutrientů v kalech a samotné přítomnosti rtuti. Vhodné by také bylo zaměřit se samostatně na kvalitu odpadní vody přečerpávaných z obcí Milčice a Velké Chvalovice, které mohou být příčinou zvýšených koncentrací těžkých kovů a PAU v posledních vzorcích bezdeštné kampaně z nátoky na ČOV. Vzhledem k tomu, že se ukázalo, že jedna z odlehčovacích komor současně plní funkci bezpečnostního přelivu pro čerpací stanici odpadních vod, je třeba věnovat pozornost správné funkci této přečerpávací stanice.

## Seznam použité literatury

- [1] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000*. In: Úřední věstník Evropské unie, 2000, 2000/60.
- [2] *Narřízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech*. In: Sběrka zákonů, Česká republika, 2015, 401/2015.
- [3] SAKSON, G. et al. *Emission of heavy metals from an urban catchment into receiving water and possibility of its limitation on the example of Lodz city*. Environmental Monitoring and Assessment, 2018.
- [4] LUNDY, L. et al. *Risk prioritisation of stormwater pollutant sources*. Water Research, 2012, ISSN 0043-1354.
- [5] HORÁKOVÁ, M. *Analytika vody*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2000. 80-708-0391-6.
- [6] *Narřízení evropského parlamentu a rady (EU), kterým se mění nařízení (ES) č. 648/2004, pokud jde o používání fosforečnanů a jiných sloučenin fosforu v pracích prostředcích pro spotřebitele a v detergentech určených pro automatické myčky nádobí pro spotřebitele*. In: Úřední věstník Evropské unie, 2012, 259/2012.
- [7] ČSN 75 6401 *Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) více než 500*. Praha: Český normalizační institut, 2014.
- [8] PITTER, P. *Hydrochemie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0.
- [9] HRSTKOVÁ, S. *Kanalizační řád pro veřejnou kanalizaci města Pečky*. Pečky, 2012.
- [10] KAFKA, Z., PUNČOCHÁŘOVÁ, J. *Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita*. Chemické listy 96, 2002.
- [11] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2013/39/EU ze dne 12. srpna 2013, kterou se mění směrnice 2000/60/ES a 2008/105/ES, pokud jde o prioritní látky v oblasti vodní politiky*. In: Úřední věstník Evropské unie L 226, 2013.
- [12] ETO, K. *Minamata disease*. Minamata city: National Institute for Minamata disease, 2002.
- [13] PROKEŠ, J. *Základy toxikologie: Obecná toxikologie a ekotoxikologie*. Praha: Galén, 2005. ISBN 80-246-1085-x.
- [14] SHARMA, S. *Heavy Metals in Water: Presence, Removal and Safety*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2015. ISBN 978-1-85973-885-9.



- [15] LANDRIGAN, P. *The worldwide problem of lead in petrol*. Bulletin of the World Health Organization, Volume 80, 2002.
- [16] *End of leaded fuel use a "milestone for multilateralism"*. United Nations News [online]. [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: <https://news.un.org/en/story/2021/08/1098792>.
- [17] Svět skoncoval s olovnatým benzinem. Česká televize [online]. [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/3363566-svet-skoncoval-s-olovnatym-benzinem-posledni-stat-ho-prestal-pouzivat>.
- [18] SÖRME, L. *Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm*. Science of The Total Environment, Volume 298. ISSN 0048-9697.
- [19] HUBER, M. et al. *Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurance, influencing factors, and partitioning*. Science of The Total Environment , Volume 541, 2016. ISSN 0048-9697.
- [20] SYLWAN, I., Thorin, E. *Removal of Heavy Metals during Primary Treatment of Municipal Wastewater and Possibilities of Enhanced Removal: A Review*. Water, Volume 13, 2021.
- [21] RACLAVSKÁ, H. a kol. *Podklady k provádění Protokolu o PRTR – Přejechod metod a identifikace látek sledovaných podle Protokolu o registrech úniků a přenosů znečišťujících látek v únicích do půd*, VŠB, MŽP Praha, 2008.
- [22] HONDA, M., SUZUKI, N. *Toxicities od Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for Aquatic Animals. International journal of environmental research and public health*, 2020.
- [23] LOUČKA, T. *Chemie životního prostředí - část I. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně*, 2013.
- [24] HOLOUBEK, I. *Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs) v prostředí*. Praha: Český ekologický ústav, 1996. ISBN 80-85087-44-8.
- [25] *Informace o vyhodnocení výsledků imisního monitoringu v roce 2019*. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha, 2020.
- [26] *Deepwater Horizon oil spill*. Wikipedia The Free Encyclopedia [online]. [cit. 2021-10-25] Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Deepwater\\_Horizon\\_oil\\_spill#Environmental\\_impact](https://en.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon_oil_spill#Environmental_impact).
- [27] MANCIULEA, I., DUMITRESCU, L. *Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)*. Bratislava: Transylvánská univerzita v Brašově.
- [28] MANOLI, E., SAMARA, C. *The removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the wastewater treatment process: Experimental calculations and model predictions*. Environmental Pollution, Volume 151, 2008. ISSN 0269-7491.

- [29] *Počet obyvatel v obcích – k 1. 1. 2021*. Český statistický úřad [online]. [cit. 2021-11-24] Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112021>.
- [30] *Město Pečky - Oficiální stránky města*. [online]. [cit. 2021-11-24] Dostupné z: <https://www.pecky.cz/cs/mesto-4/>.
- [31] *Pečky*. Wikipedia – otevřená encyklopedie [online]. [cit. 2021-11-24] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pe%C4%8Dky>.
- [32] *Mapy.cz*. Seznam, a.s. [online]. [cit. 2021-11-24] Dostupné z: <https://mapy.cz>.
- [33] *Základní mapa ČR 1:10 000*. Český úřad zeměměřičský a katastrální [online]. [cit. 2021-11-24] Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>.
- [34] *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Středočeského kraje – obec Pečky*. Ministerstvo zemědělství České republiky, 2021.
- [35] *Vybrané údaje majetkové a provozní evidence*. Ministerstvo zemědělství České republiky, 2019.
- [36] KREJČÍ, P. *Kanalizační řád tlakové sítě obce Milčice*, 2015.
- [37] NICKEL, J. P. *Up-to-date monitoring data of wastewater and stormwater quality in Germany*. Water Research, Volume 202, 2021. ISSN 0043-1354.
- [38] WICKE, et al. *Micropollutants in Urban Stormwater Runoff of Different Land Uses*. Water, Volume 13, 2021.
- [39] GASPERI, J. et al. *Priority pollutants in wastewater and combined sewer overflow*. The Science of the total environment, Volume 407, 2008.
- [40] GARDNER, M. et al. *Performance of UK wastewater treatment works with respect to trace contaminants*. Science of The Total Environment, Volume 456, 2013.
- [41] YANG, J. et al. *Comparison of heavy metal removal efficiencies in four activated sludge processes*. Journal of Central South University, Volume 22, 2015.
- [42] *ISVS – Evidence jakosti podzemní vody*. Český hydrometeorologický ústav, 2021.
- [43] TORRETTA, V. *PAHs in wastewater: removal efficiency in a conventional wastewater treatment plant and comparison with model predictions*. Environmental Technology, 2012.
- [44] *Abschlussbericht an das zum Forschungsvorhaben Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen*. Universität Dortmund, 2003.

## Seznam obrázků

Obrázek 1	Strukturní chemické vzorce vybraných PAU [22]	27
Obrázek 2	Průměrná roční koncentrace benzo(a)pyrenu v ovzduší na území ČR v roce 2019 [25]	31
Obrázek 3	Umístění obce v širším území [32]	33
Obrázek 4	Výřez Základní mapy ČR s územím Peček a přilehlých obcí [33]	33
Obrázek 5	Kanalizační sítě v povodí ČOV Pečky [34]	35
Obrázek 6	Mapa s vyznačením polohy možných producentů specifického znečištění s jejich hlavní činností	37
Obrázek 7	Vyznačení umístění jednotlivých profilů v mapě Peček [33]	39
Obrázek 8	Schéma povodí s vyznačením profilů bezdeštné kampaně	40
Obrázek 9	Koncentrace celkového fosforu pro profily A, B, C	47
Obrázek 10	Průběh koncentrace celkového dusíku a průtoku odpadní vody v profilu B	47
Obrázek 11	Mediány koncentrací jednotlivých těžkých kovů ve vybraných profilech	49
Obrázek 12	Průběh koncentrace olova v čase v jednotlivých profilech	52
Obrázek 13	Průběh koncentrace niklu v čase a jednotlivých profilech	53
Obrázek 14	Průběh koncentrace zinku a průtoku odpadní vody v profilu C	53
Obrázek 15	Průběh koncentrace arsenu a průtoku odpadní vody v profilu C	54
Obrázek 16	Grafické znázornění mediánů koncentrací jednotlivých PAU v závislosti na profilu	56
Obrázek 17	Průběh koncentrace pyrenu v bezdeštném odtoku pro jednotlivé profily	58
Obrázek 18	Průběh koncentrace fluorenu v bezdeštném odtoku pro jednotlivé profily	58
Obrázek 19	Průběh koncentrace benzo(a)anthracenu v bezdeštném odtoku pro jednotlivé profily	59
Obrázek 20	Sloupcový graf EMC těžkých kovů pro jednotlivé profily	61
Obrázek 21	Sloupcový graf EMC PAU pro jednotlivé profily	61
Obrázek 22	Průběh koncentrace pyrenu v povrchovém odtoku a odtoku dešťovou kanalizací	62
Obrázek 23	Průběh koncentrace fluorathenu v povrchovém odtoku a odtoku dešťovou kanalizací	63
Obrázek 24	Poslední a první vzorek povrchového odtoku odebraného v profilu F	63
Obrázek 25	Vzoroky odtoku dešťovou kanalizací odebrané v profilu G	63

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Příklady přípustných koncentrací $NL_{105}$ a $CHSK_{Cr}$ z kanalizačního řádu a emisní standardy pro ČOV .....	16
Tabulka 2 Nejdůležitější zdroje kontaminace životního prostředí těžkými kovy [10]...	23
Tabulka 3 Limity NEK a koncentrace naměřené v Labské vodě .....	24
Tabulka 4 Specifická produkce těžkých kovů v odpaní vodě [18].....	25
Tabulka 5 Podíl jednotlivých zdrojů těžkých kovů v kanalizaci [18] .....	26
Tabulka 6 Chronická toxicita některých PAU (stanovena pro myši a králíky) [24] .....	28
Tabulka 7 Přehled vybraných vlastností PAU při teplotě 25 °C [24].....	29
Tabulka 8 Koncentrace vybraných polycyklických aromatických uhlovodíků v labské vodě a plaveninách v profilu Valy v roce 2000 [8, 11] .....	29
Tabulka 9 Účinnost čištění na ČOV Pečky v roce 2019 [35].....	34
Tabulka 10 Shrnutí systémů, materiálů kanalizace a způsobů odvádění odpadních vod [35].....	36
Tabulka 11 Počet obyvatel v zájmovém povodí a procento připojených obyvatel .....	36
Tabulka 12 Označení odběrných profilů .....	39
Tabulka 13 Přehled odebraných vzorků pevné matrice.....	43
Tabulka 14 Výpočet doby zdržení na ČOV Pečky .....	44
Tabulka 15 Statistické vyhodnocení základních chemických ukazatelů v bezdeštném odtoku pro profily A, B, C, koncentrace jsou uváděny v mg/l.....	46
Tabulka 16 Průměrné koncentrace základních ukazatelů v odpadní vodě pro jednotlivé profily a srovnání s limity kanalizačního řádu.....	48
Tabulka 17 Statistické vyhodnocení základních ukazatelů na odtoku z ČOV, koncentrace jsou uvedeny v mg/l.....	48
Tabulka 18 Porovnání kvality vypouštěné vody z ČOV Pečky s emisními standardy dle NV 401/2015, Sb. [2].....	49
Tabulka 19 Účinnosti odstranění základního znečištění na ČOV Pečky.....	49
Tabulka 20 Statistické vyhodnocení koncentrací těžkých kovů v bezdeštném odtoku surové odpadní vody, koncentrace jsou uváděny v $\mu\text{g/l}$ .....	50
Tabulka 21 Statistické vyhodnocení koncentrací těžkých kovů v odtoku z ČOV, koncentrace jsou uváděny v $\mu\text{g/l}$ .....	51
Tabulka 22 Mediány koncentrace jednotlivých těžkých kovů ve vybraných profilech v bezdeštném období .....	51
Tabulka 23 Průměrná účinnost odstraňování těžkých kovů .....	52
Tabulka 24 Statistické vyhodnocení PAU v bezdeštném odtoku surové odpadní vody	54
Tabulka 25 Mediány koncentrace vybraných PAU pro jednotlivé profily.....	56
Tabulka 26 Statistické vyhodnocení PAU v odtoku z ČOV .....	57
Tabulka 27 Efektivita odstraňování PAU na čistírně odpadních vod.....	57
Tabulka 28 Statistické vyhodnocení základních chemických ukazatelů, těžkých kovů a PAU v povrchovém odtok .....	60

Tabulka 29 Porovnání kvality vody v profilech E, F, G při kampani na povrchový odtok a odtok dešťovou kanalizací a kvality vody v profilech C a D bezdeštné kampaně .....	64
Tabulka 30 Porovnání kvality povrchového odtoku a odtoku dešťovou kanalizací s hodnotami z literatury .....	65
Tabulka 31 Výsledky analýz vzorků sedimentu z kanalizace v profilech A a B.....	67
Tabulka 32 Výsledky analýz vzorků prachu odebraného z ulice .....	68
Tabulka 33 Výpočet koncentrace znečištění na základě obsahu nerozpuštěných látek v odtoku a množství polutantu v sušině prachu z ulice .....	69
Tabulka 34 Obsah polutantů v sušině kalů z ČOV .....	70

## Seznam použitých zkratek a symbolů

ČOV	čistírna odpadních vod
EO	ekvivalentní obyvatel
OK	odlehčovací komora
PAU/PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky/polycyklic aromatic hydrocarbons
TK	těžké kovy
NL <sub>105</sub>	nerozpuštěné látky
NL <sub>550</sub>	nerozpuštěné látky (zbytek po žihání)
P <sub>celk</sub>	celkový fosfor
N <sub>celk</sub>	celkový dusík
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	fosforečnanový fosfor
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	amoniový dusík
CHSK <sub>Cr</sub>	chemická spotřeba kyslíku dichromanem draselným
NV	nařízení vlády
KŘ	kanalizační řád
Q	průtok
Q <sub>24</sub>	průměrný denní průtok
V	objem
t	čas
c	koncentrace
c <sub>in</sub>	koncentrace na nátoku na ČOV
c <sub>out</sub>	koncentrace na odtoku z ČOV
RR	účinnost odstranění znečištění (z anglického removal rate)
EMC	hodnota koncentrace znečištění pro událost (event mean concentration)
LOQ	mez stanovitelnosti (limit of quantification)

## Seznam příloh

Příloha 1 Seznam prioritních látek a prioritních nebezpečných látek dle Nařízení vlády č. 401/2015, Sb. [2] s vyznačením látek pojednávaných v této práci.....	82
Příloha 2 Průběh koncentrace jednotlivých ukazatelů a průtoku při bezdeštné kampani v profilu A – Tahiti .....	84
Příloha 3 Průběh koncentrace jednotlivých ukazatelů a průtoku při bezdeštné kampani v profilu B – ČOV Pečky.....	91
Příloha 4 Průběh koncentrace jednotlivých ukazatelů a průtoku při bezdeštné kampani v profilu C – nátok na ČOV Pečky .....	97
Příloha 5 Průběh koncentrací znečištění při bezdeštné kampani v profilech A, B, C ..	101
Příloha 6 Koncentrace znečištění v odtoku při srážkové události .....	105
Příloha 7 Matice korelačních koeficientů koncentrace znečištění při bezdeštné kampani .....	109
Příloha 8 Matice korelačních koeficientů koncentrací znečištění v povrchovém odtoku a odtoku dešťovou kanalizací v průběhu srážkové události .....	113
Příloha 9 Matice korelačních koeficientů obsahu jednotlivých látek pro vzorky pevné matrice .....	116

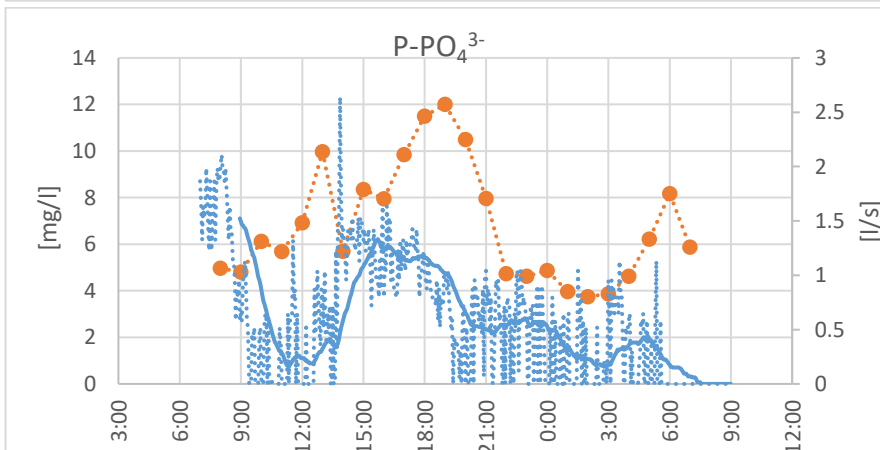
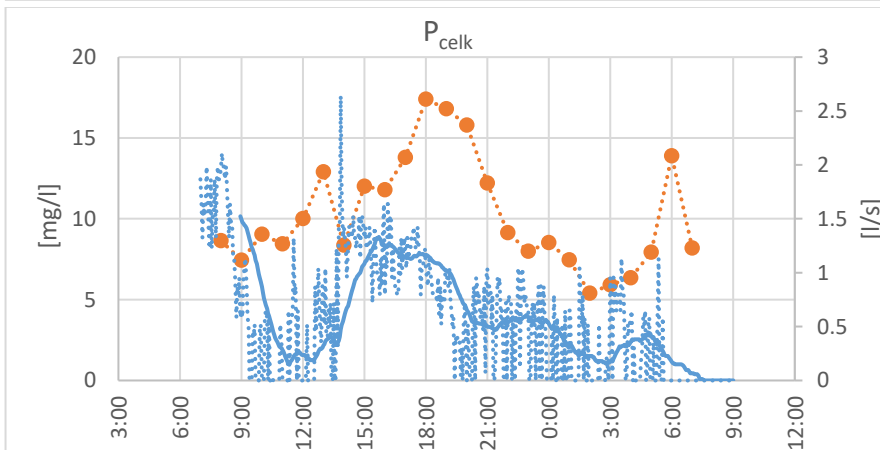
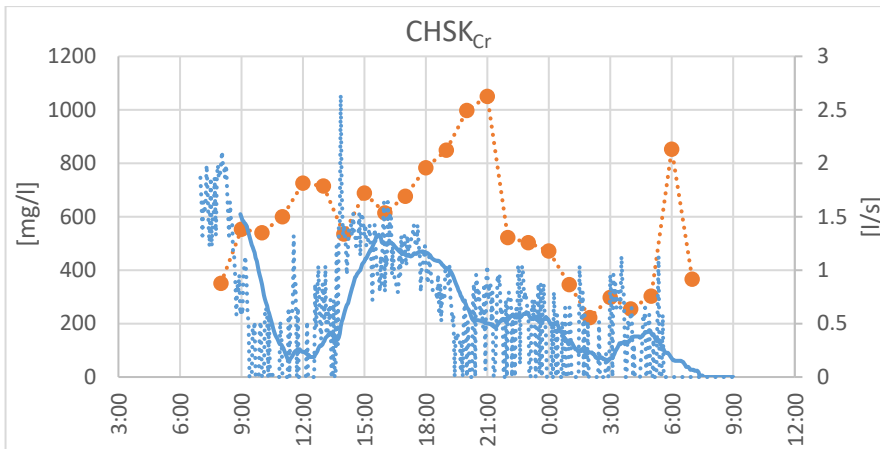
*Příloha 1 Seznam prioritních látek a prioritních nebezpečných látek dle Nařízení vlády č. 401/2015, Sb. [2] s vyznačením látek pojednávaných v této práci*

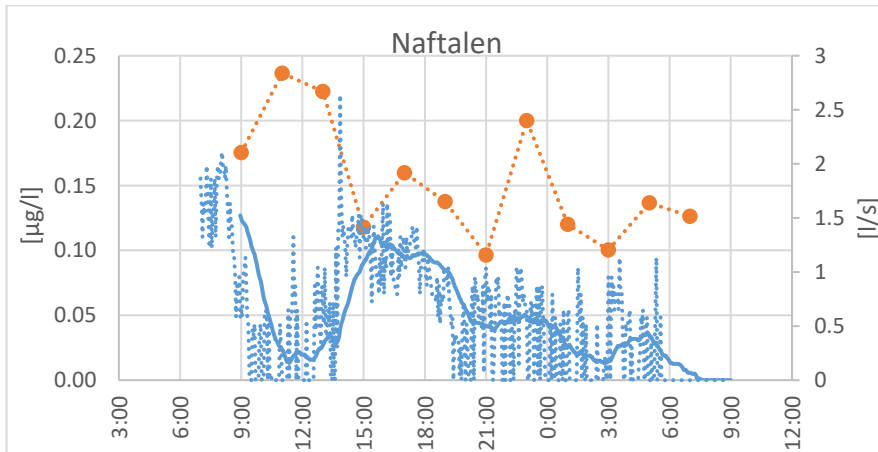
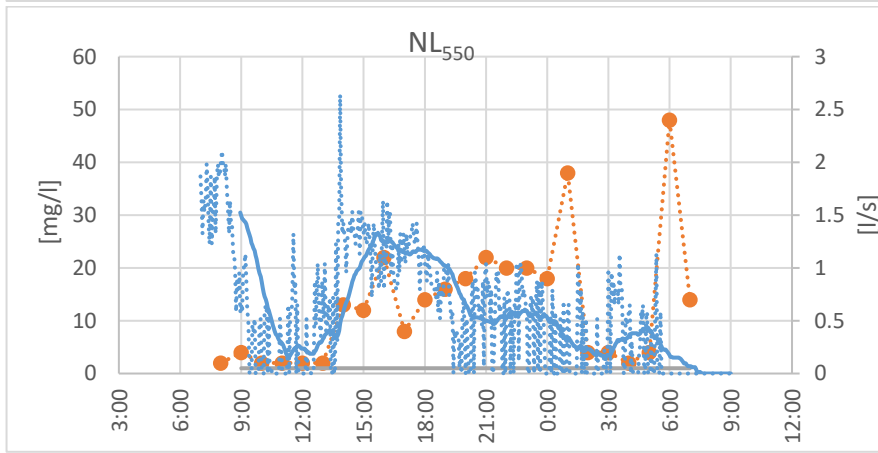
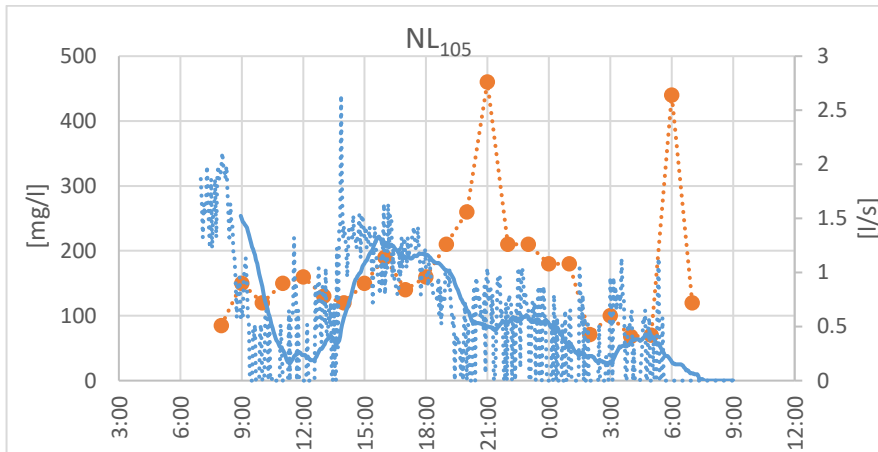
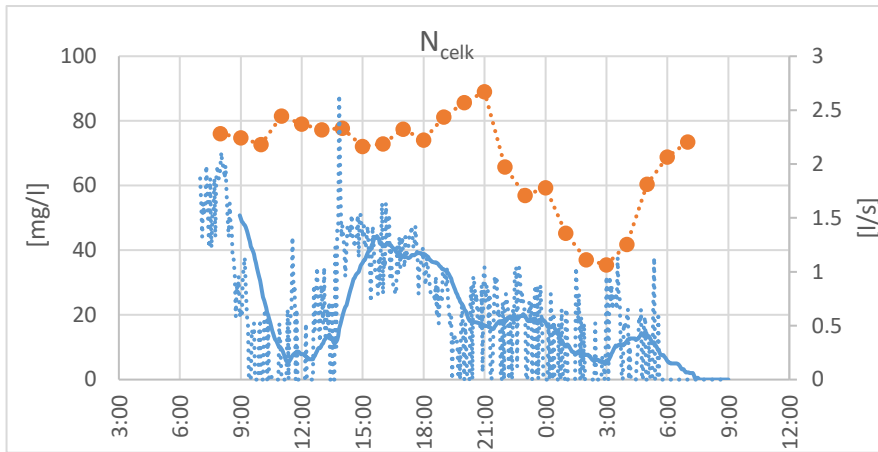
Číslo látky	Název prioritní látky	Identifikována jako prioritní nebezpečná
1	alachlor	
<b>2</b>	<b>anthracen</b>	<b>X</b>
3	atrazin	
4	benzen	
5	brómované difenylethery	X
<b>6</b>	<b>kadmium a jeho sloučeniny</b>	<b>X</b>
7	chloralkany, C <sub>10-13</sub>	X
8	chlorfenvinfos	
9	chlorpyrifos (chlorpyrifos-ethyl)	
10	1,2-dichlorethan	
11	dichlormethan	
12	bis(2-ethylhexyl)ftalát (DEHP)	X
13	diuron	
14	endosulfan	X
<b>15</b>	<b>fluoranthren</b>	
16	hexachlorbenzen	X
17	hexachlorbutadien	X
18	hexachlorcyklohexan	X
19	isoproturon	
<b>20</b>	<b>olovo a jeho sloučeniny</b>	
<b>21</b>	<b>rtuť a její sloučeniny</b>	<b>X</b>
<b>22</b>	<b>naftalen</b>	
<b>23</b>	<b>nikl a jeho sloučeniny</b>	
24	nonylfenoly	X
25	oktylfenoly	
26	pentachlorbenzen	X
27	pentachlorfenol	
<b>28</b>	<b>polyaromatické uhlovodíky (PAU)</b>	<b>X</b>
29	simazin	
30	tributylcín a jeho sloučeniny	X
31	trichlorbenzeny	
32	trichlormethan (chloroform)	
33	trifluralin	X
34	dikofol	X
35	perfluoroktansulfonová kyselina a její deriváty	X
36	chinoxifen	X
37	dioxiny a sloučeniny s dioxinovým efektem	X
38	aclonifen	
39	bifenox	
40	cybutryn	
41	cypermethrin	

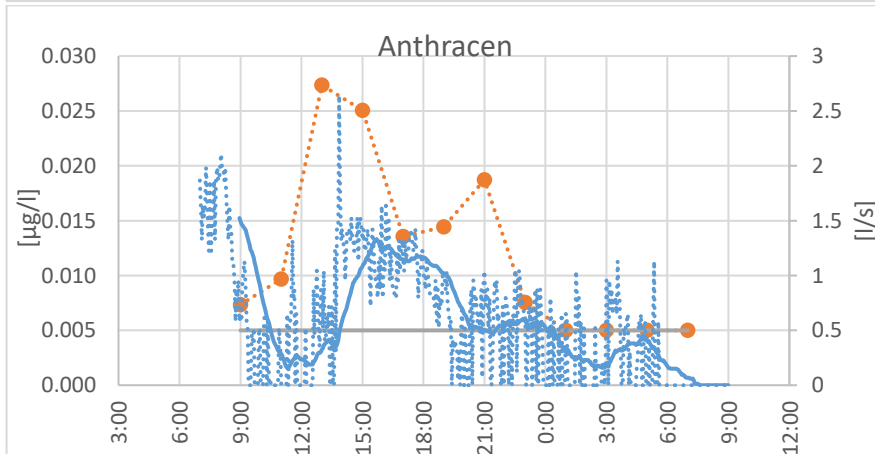
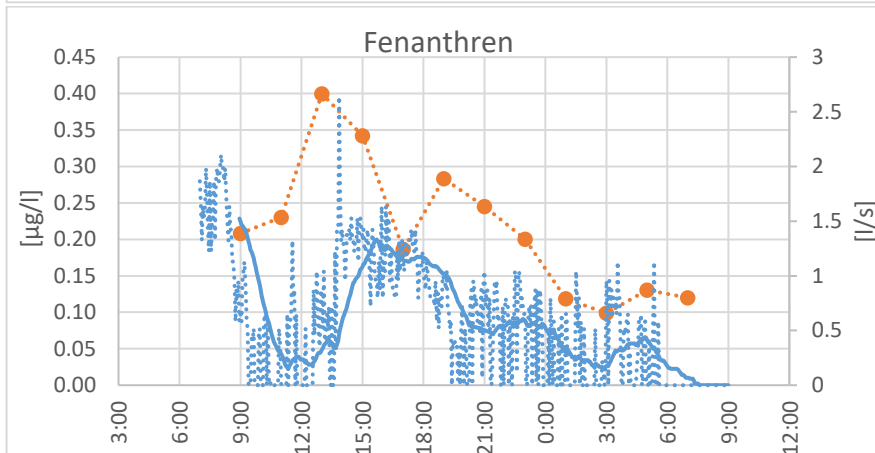
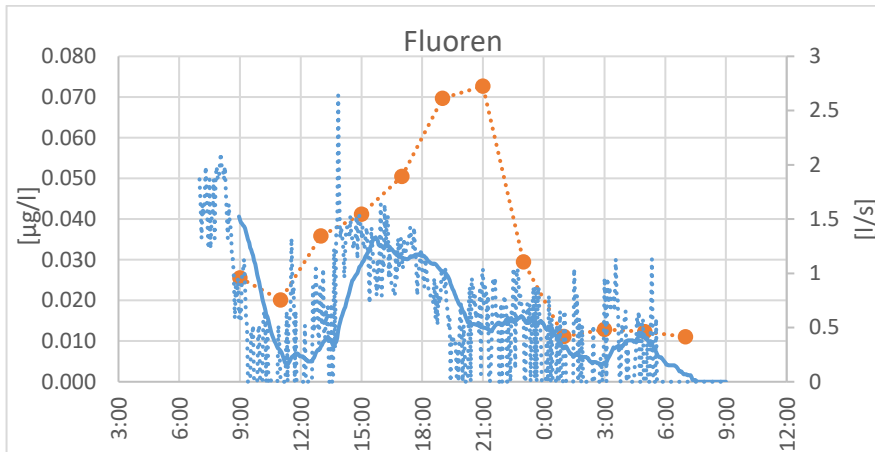
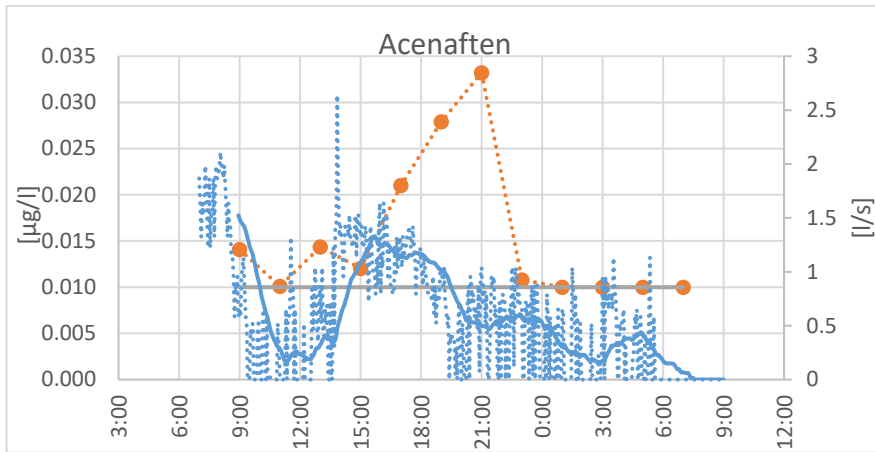


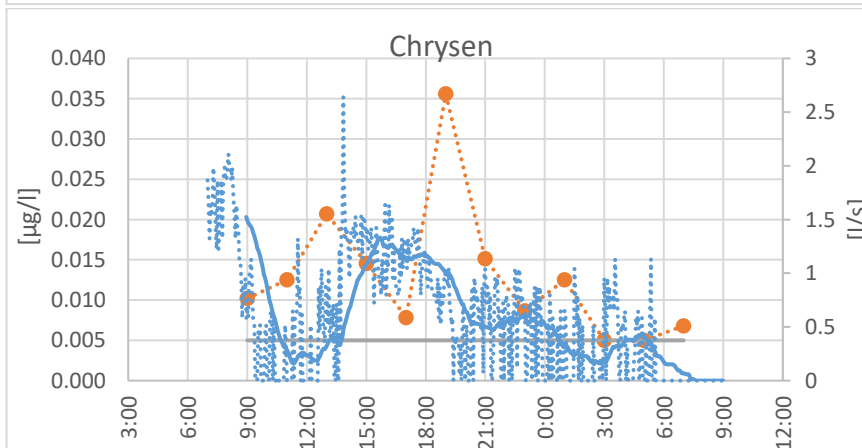
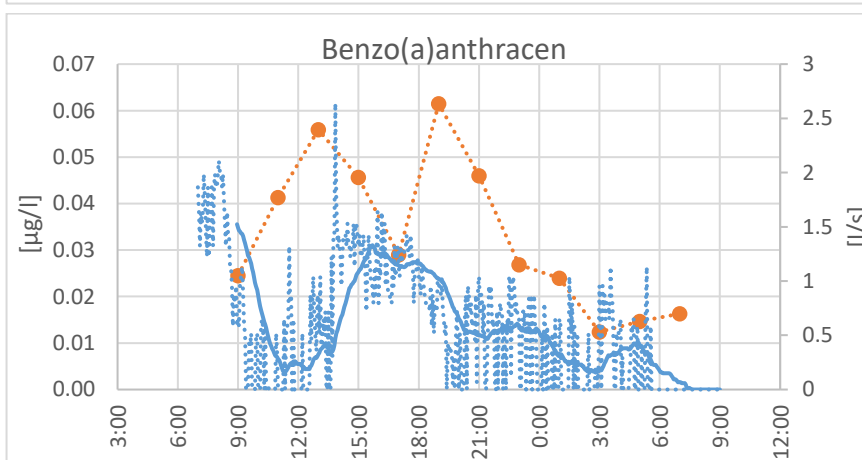
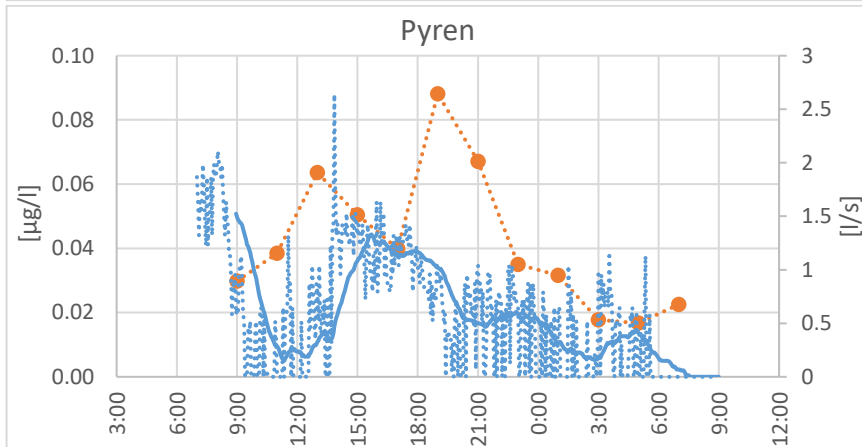
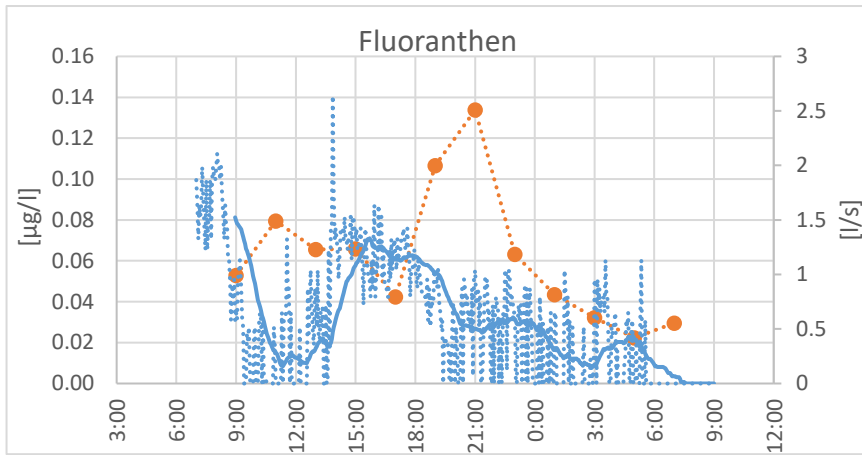
42	dichlorvos	
43	hexabromcyklododekany (HBCDD)	X
44	heptachlor a heptachloreoxid	X
45	terbutryn	

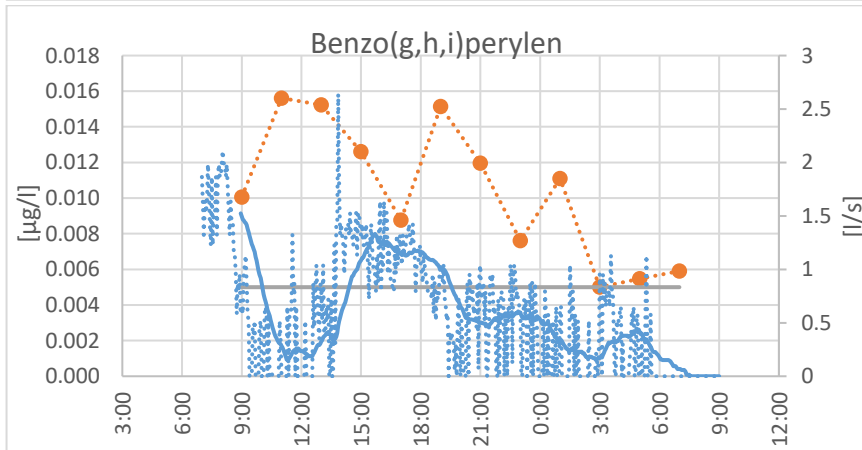
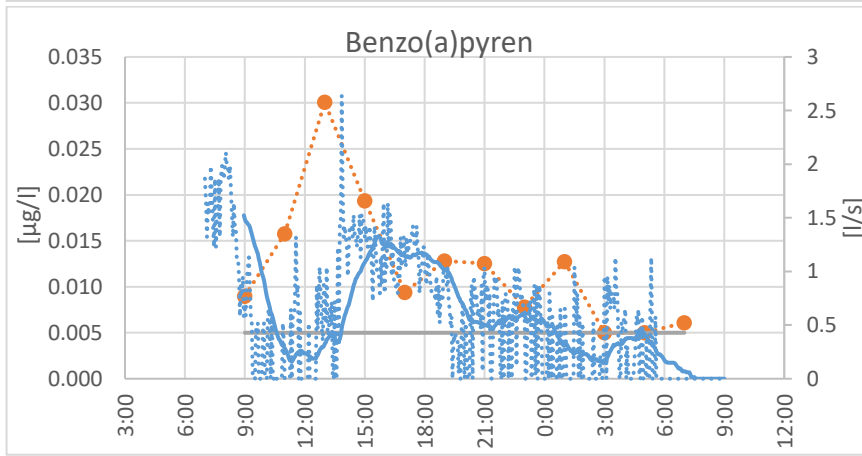
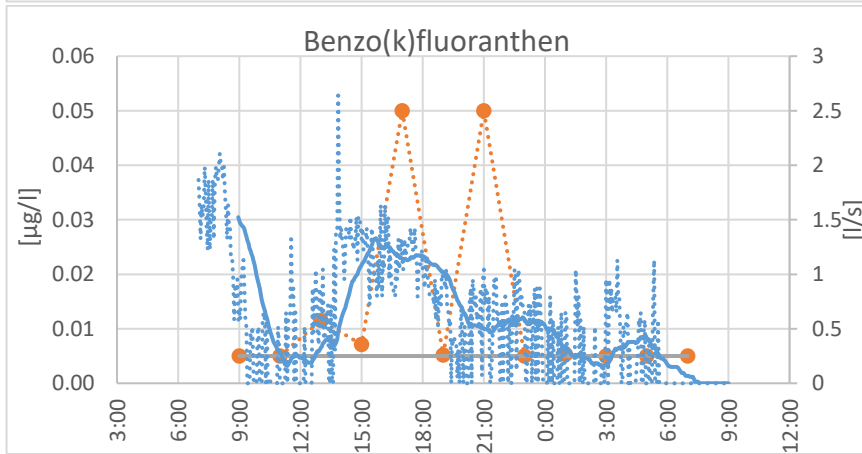
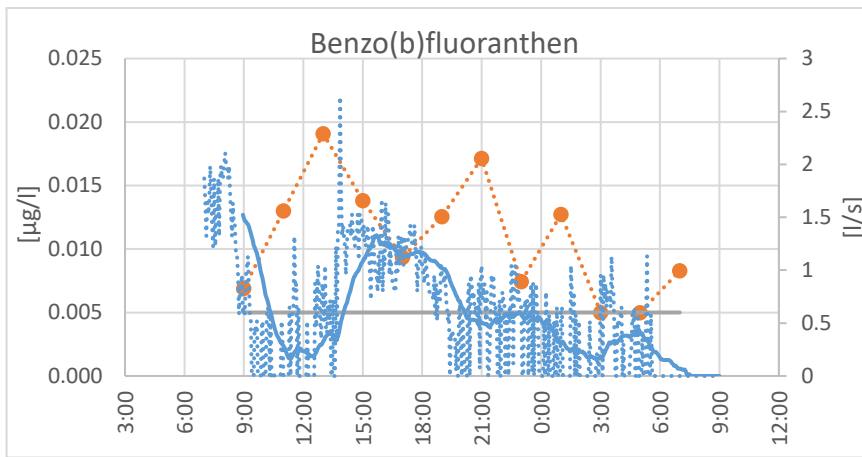
Legenda: ●●●●● Koncentrace — Mez stanovitelnosti ●●●●● Průtok — 10 per. klouzavého průměru (Průtok)

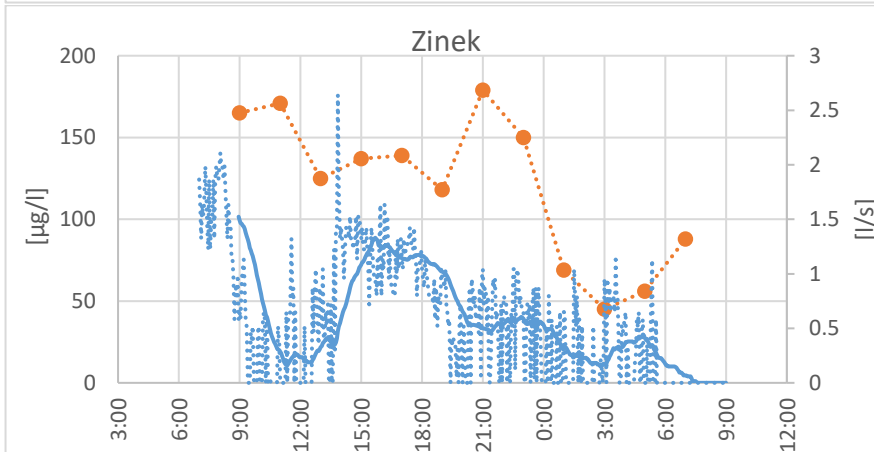
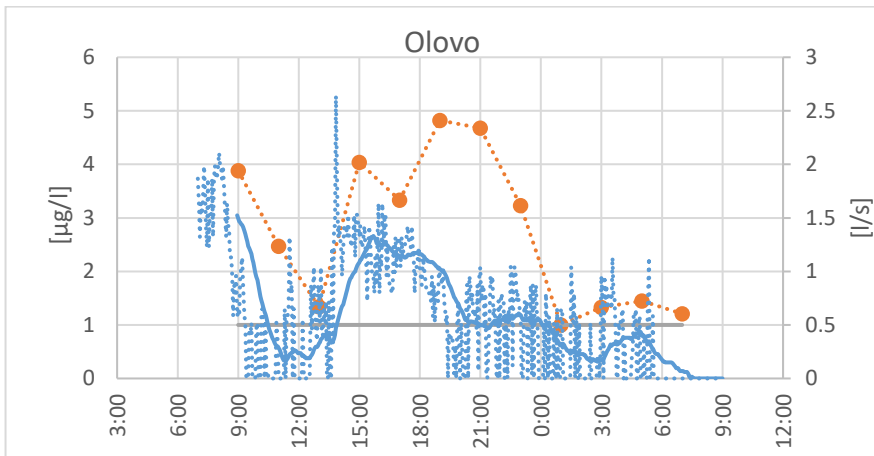
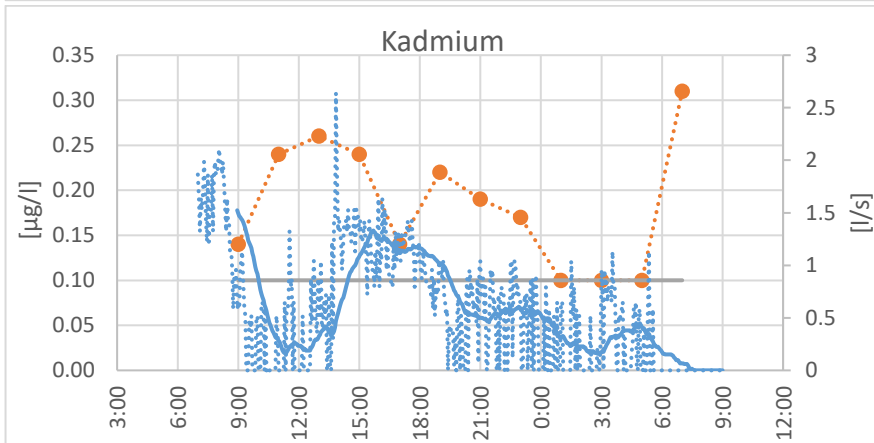
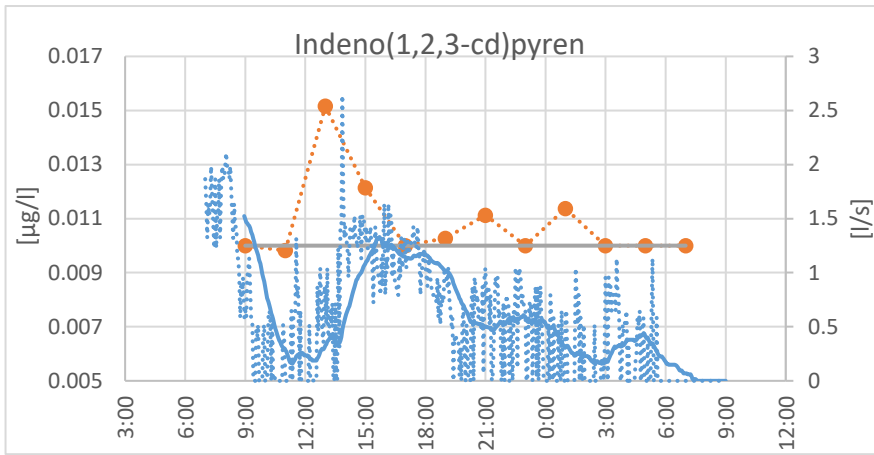


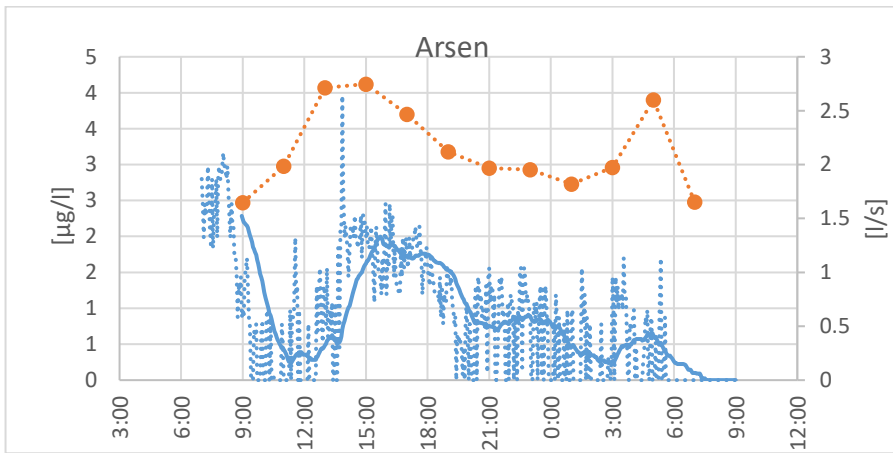
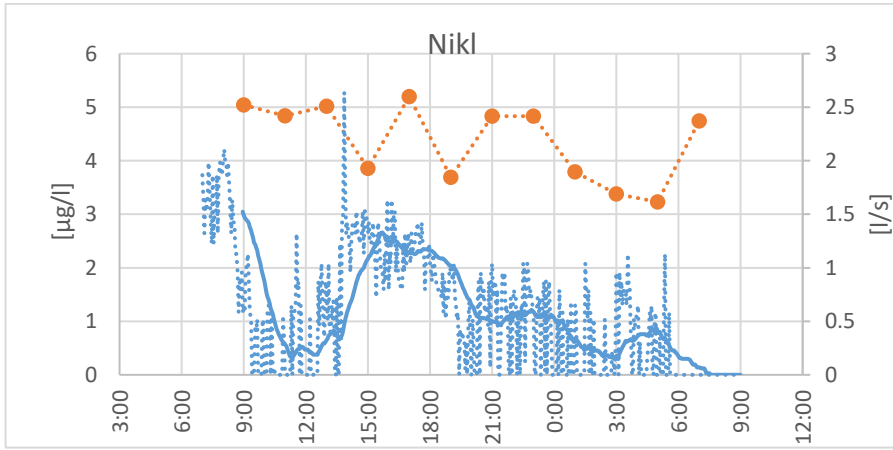
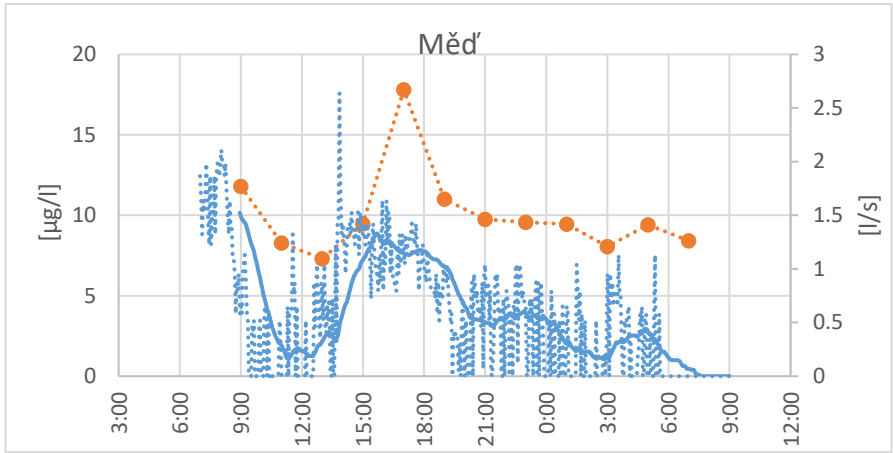






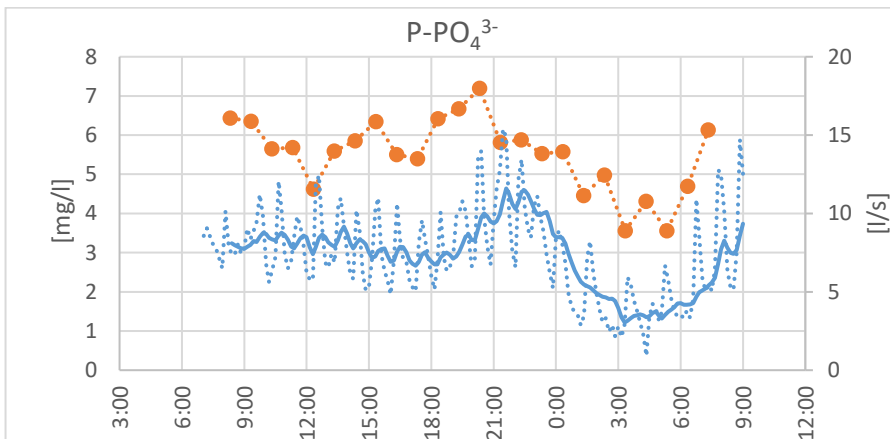
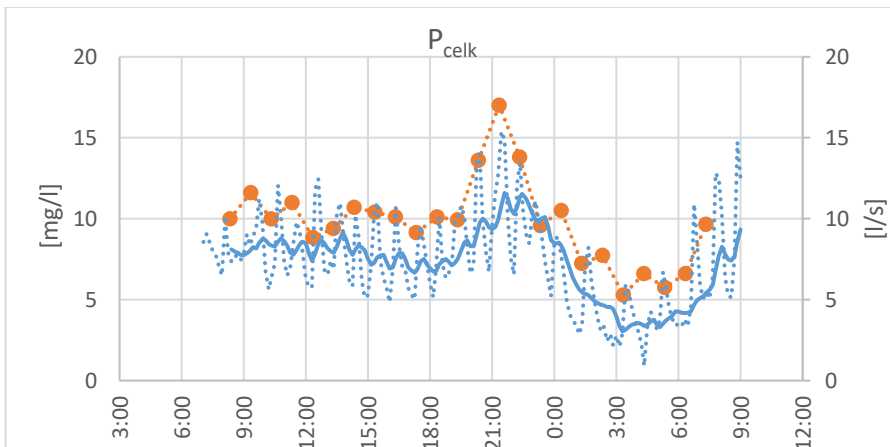
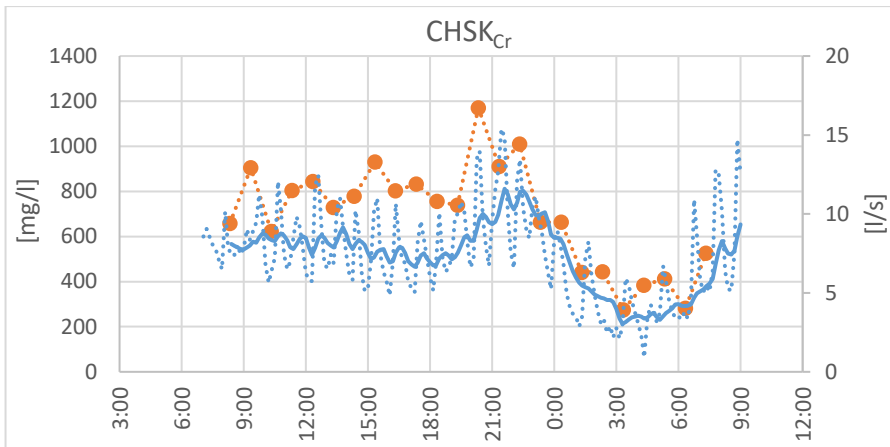


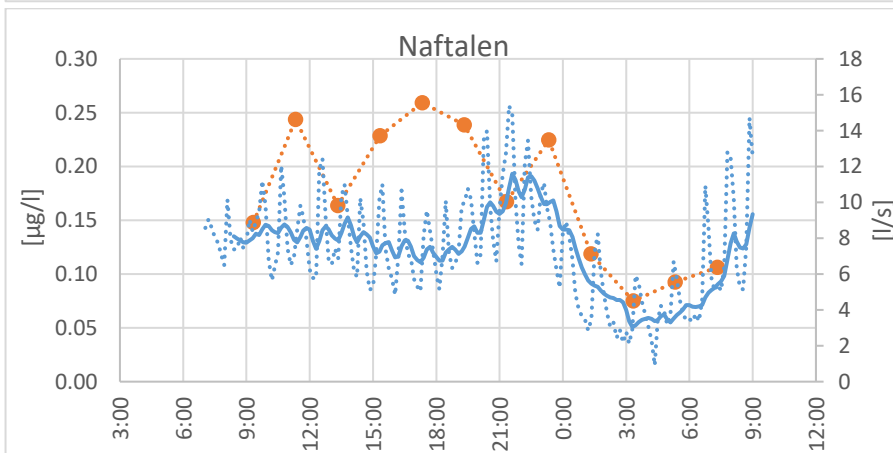
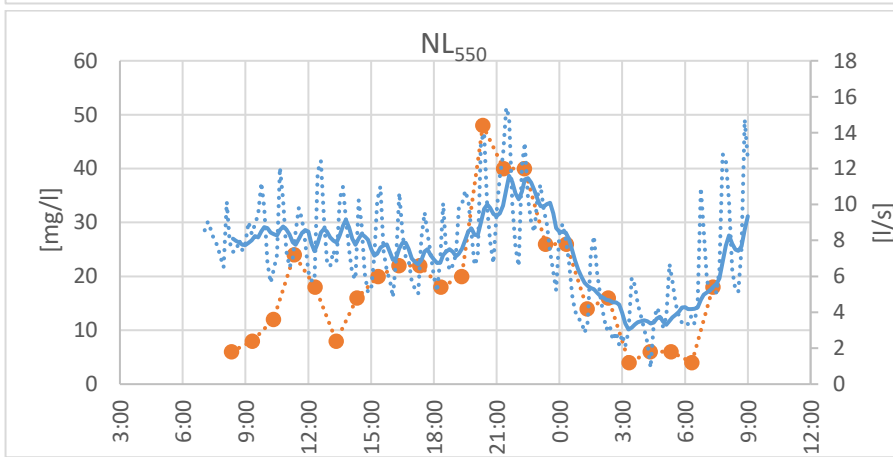
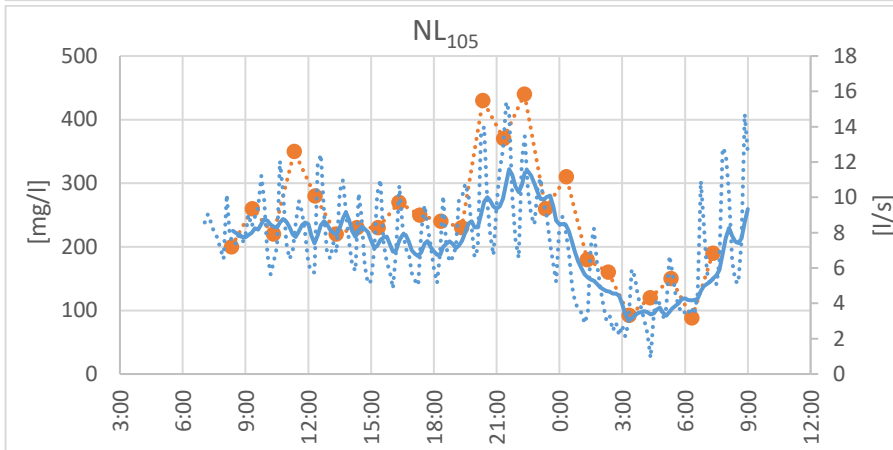
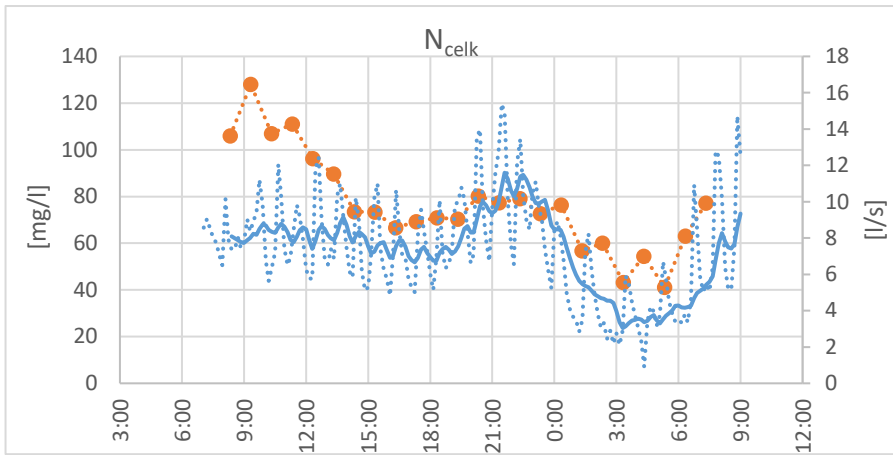


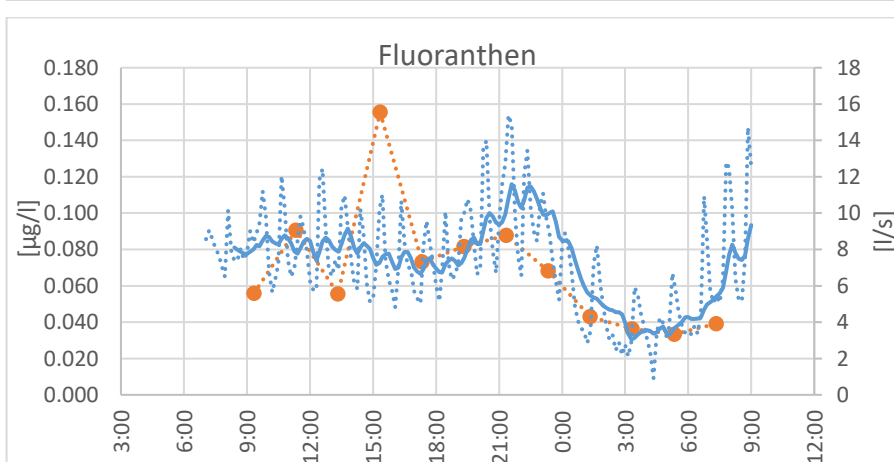
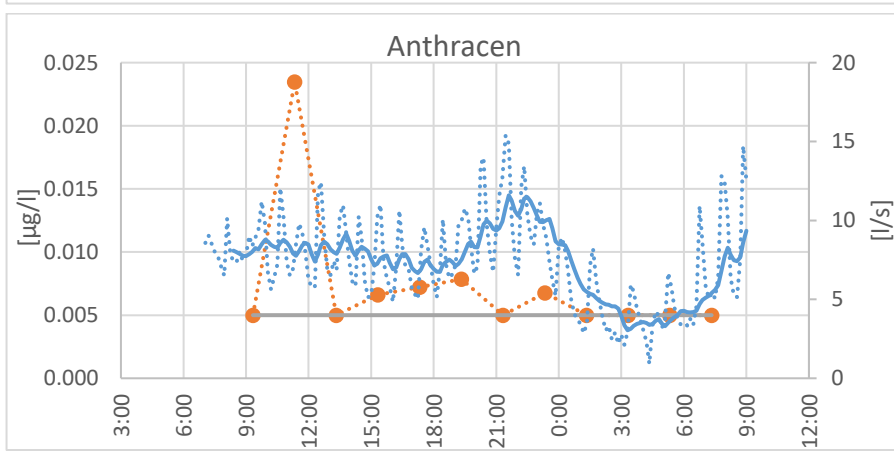
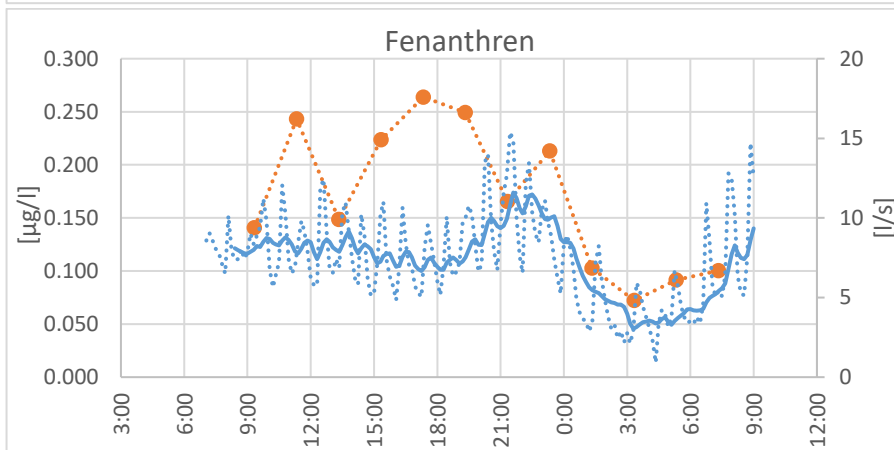
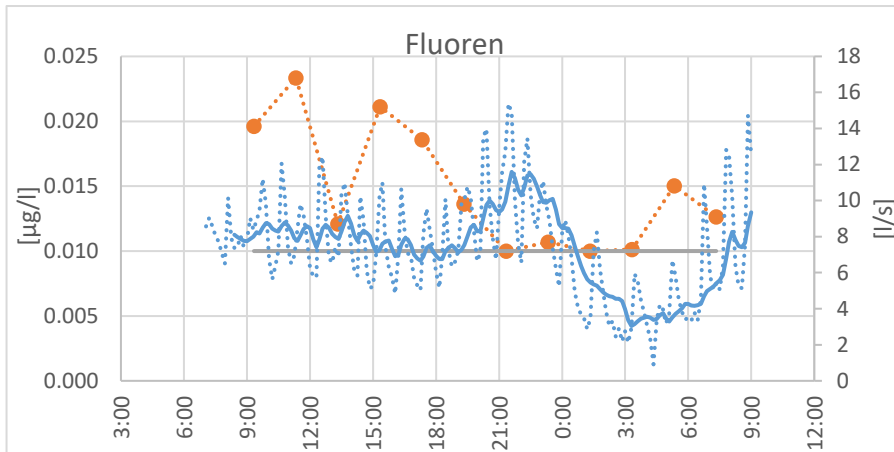


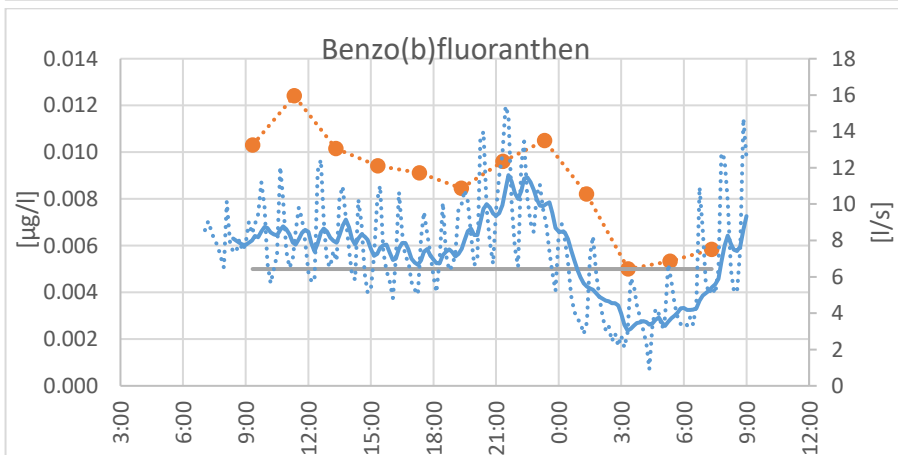
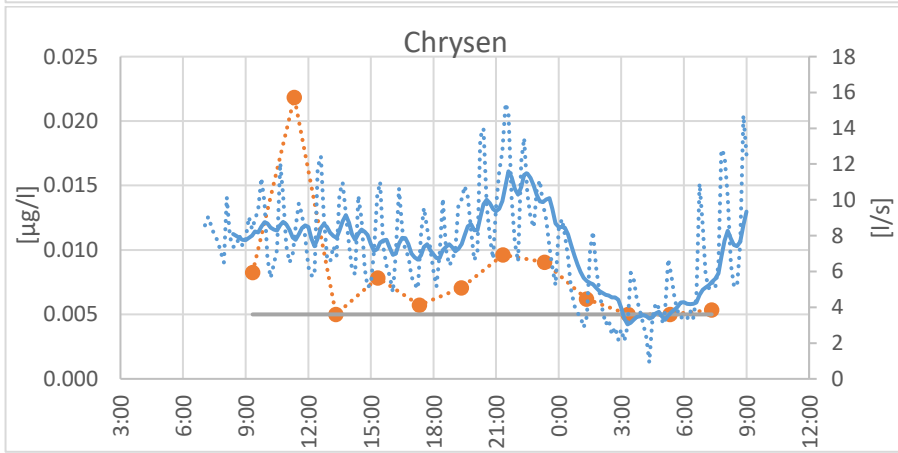
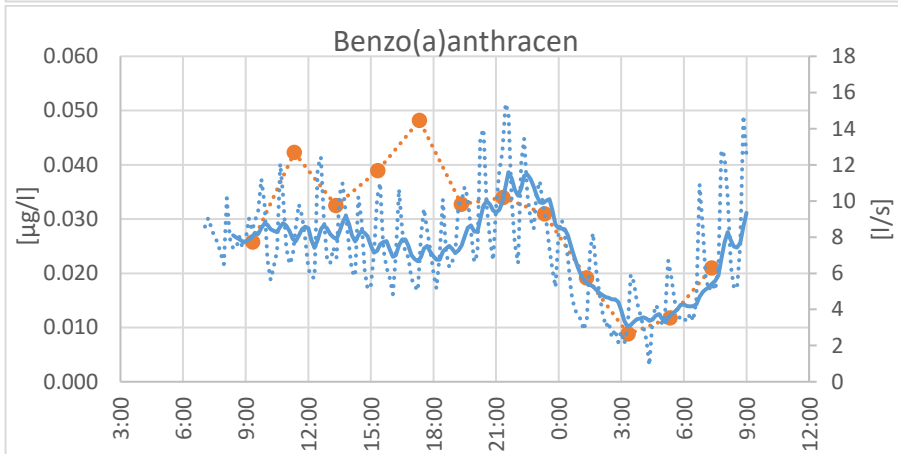
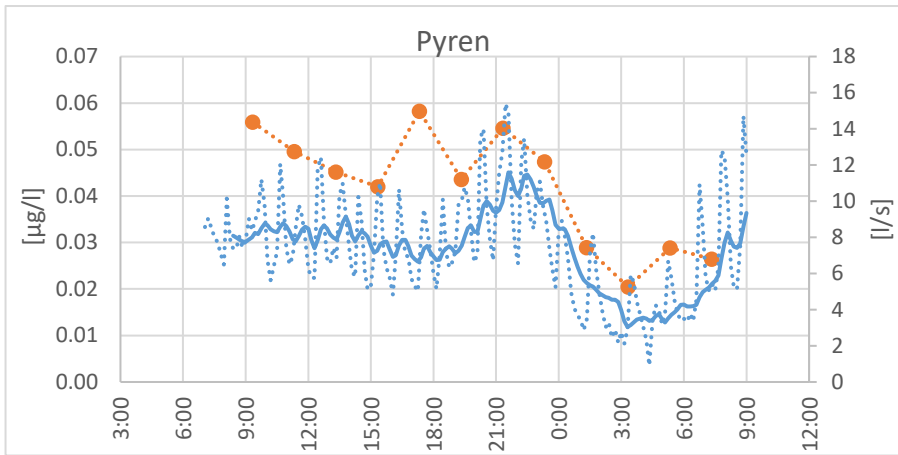


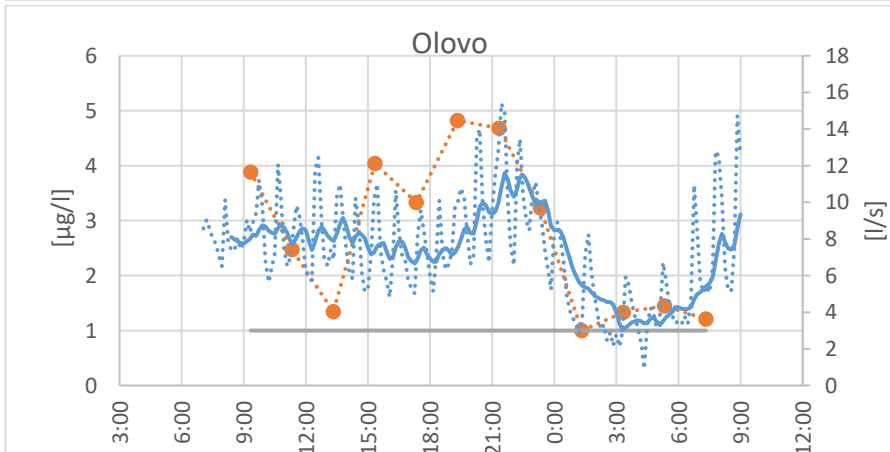
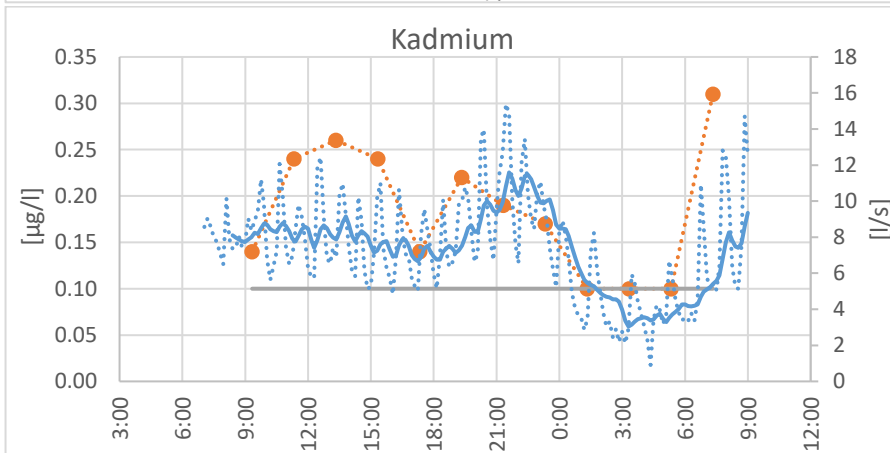
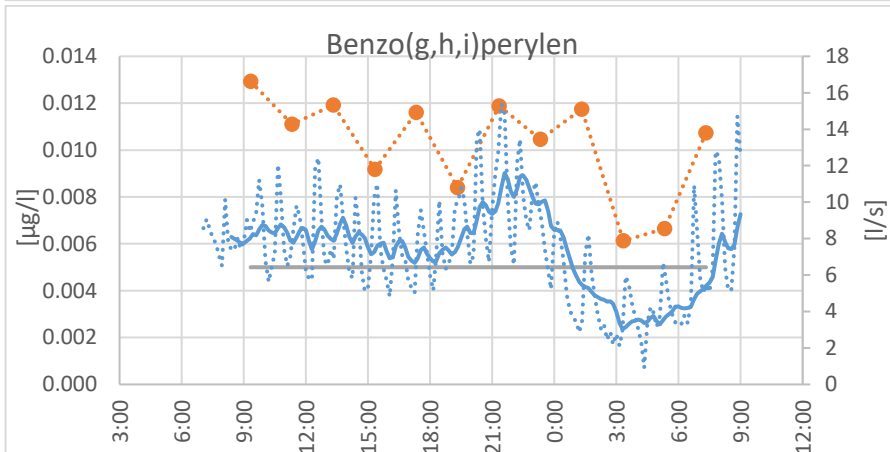
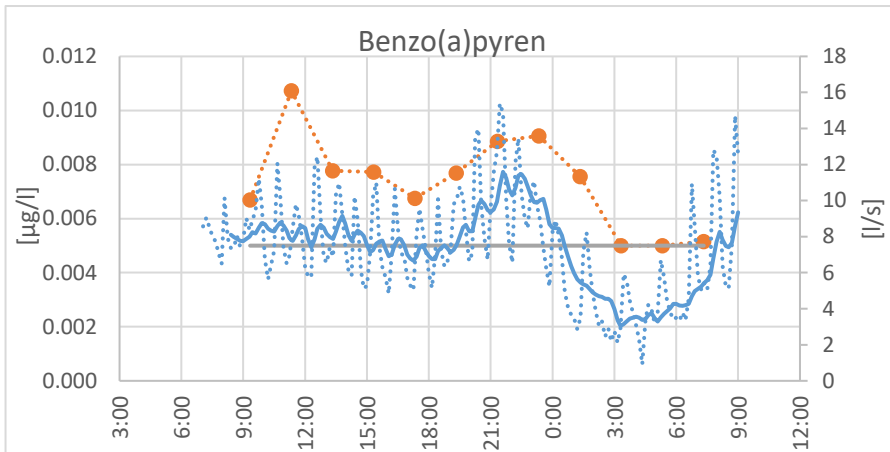
Legenda: ●●●●● Koncentrace — Mez stanovitelnosti ●●●●● Průtok — 10 per. klouzavého průměru (Průtok)

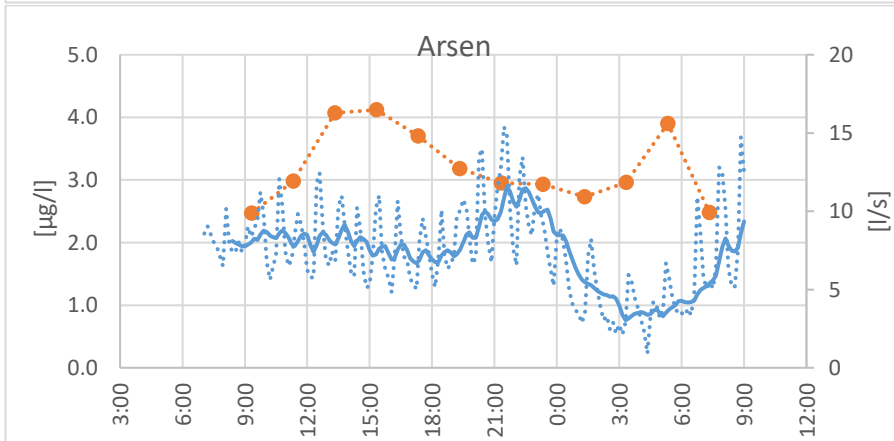
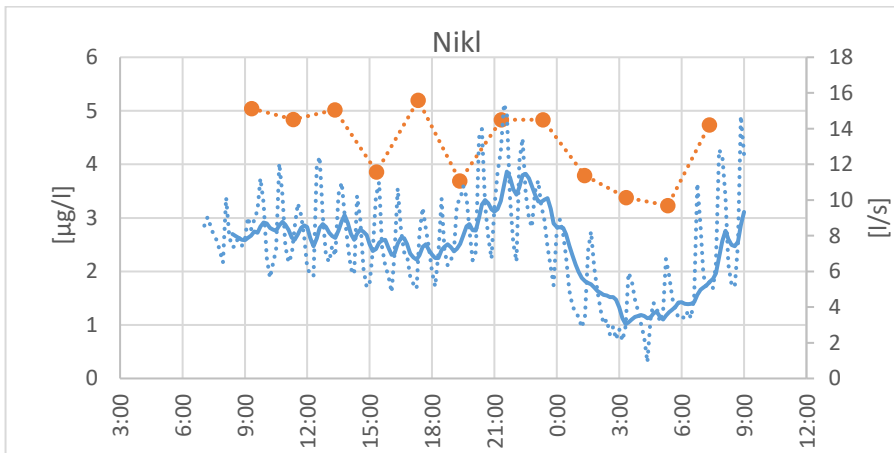
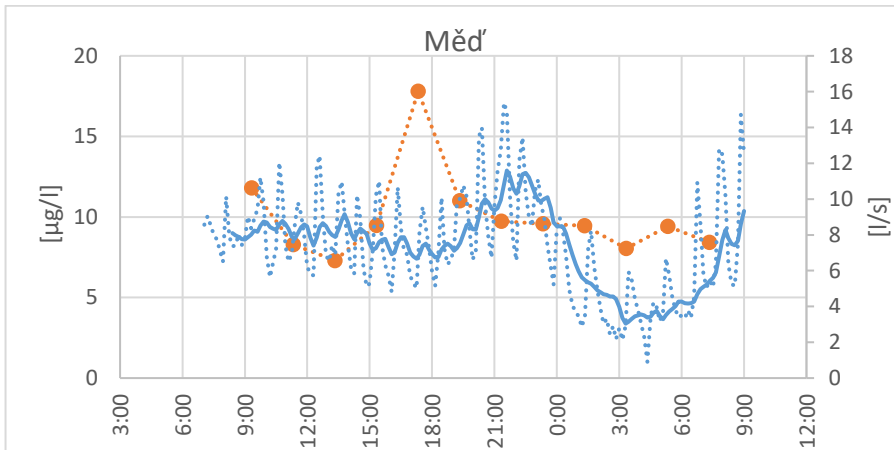
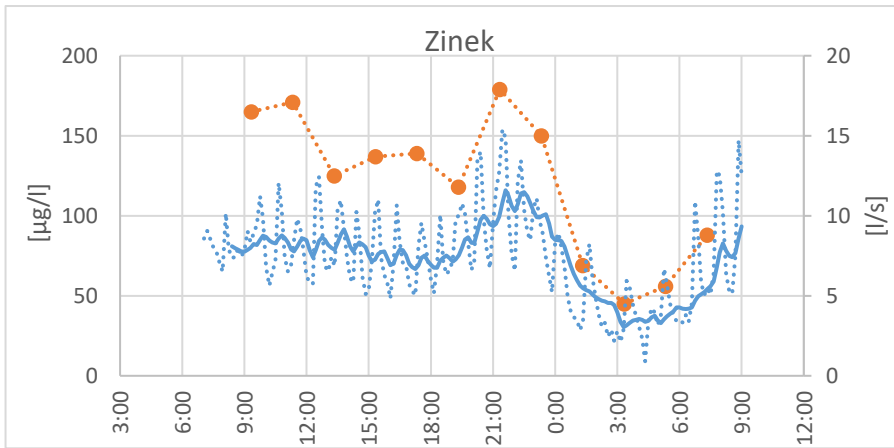






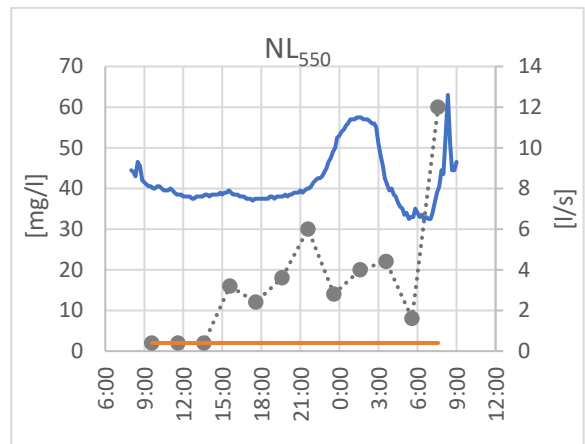
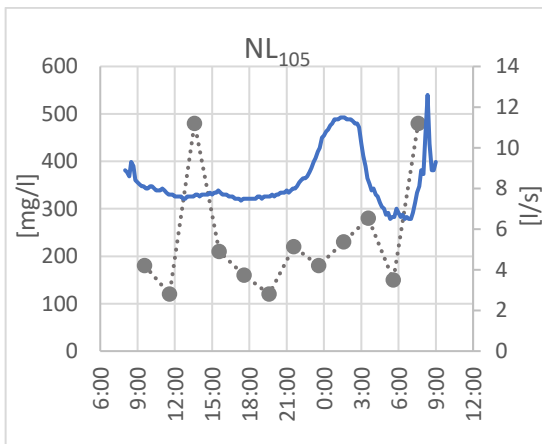
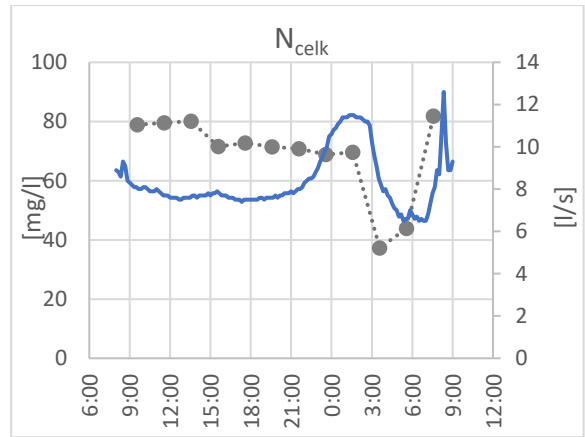
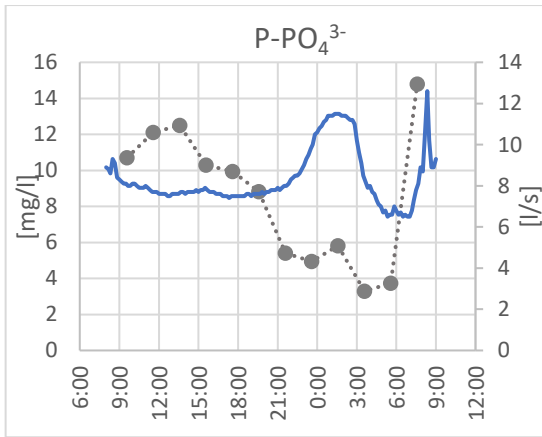
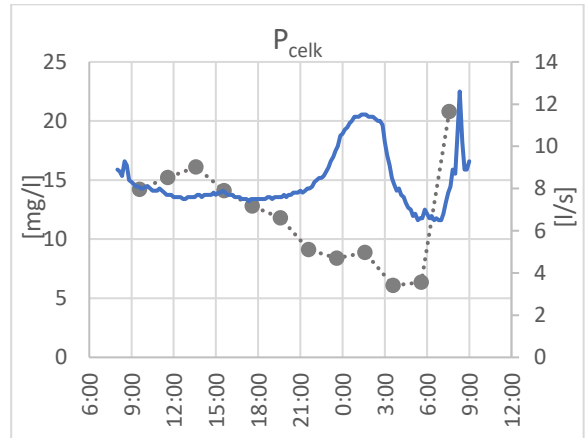
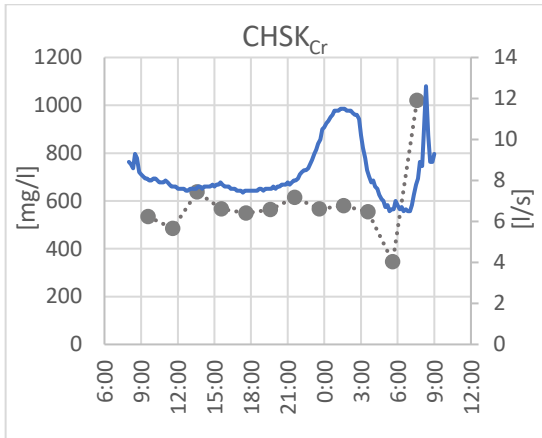


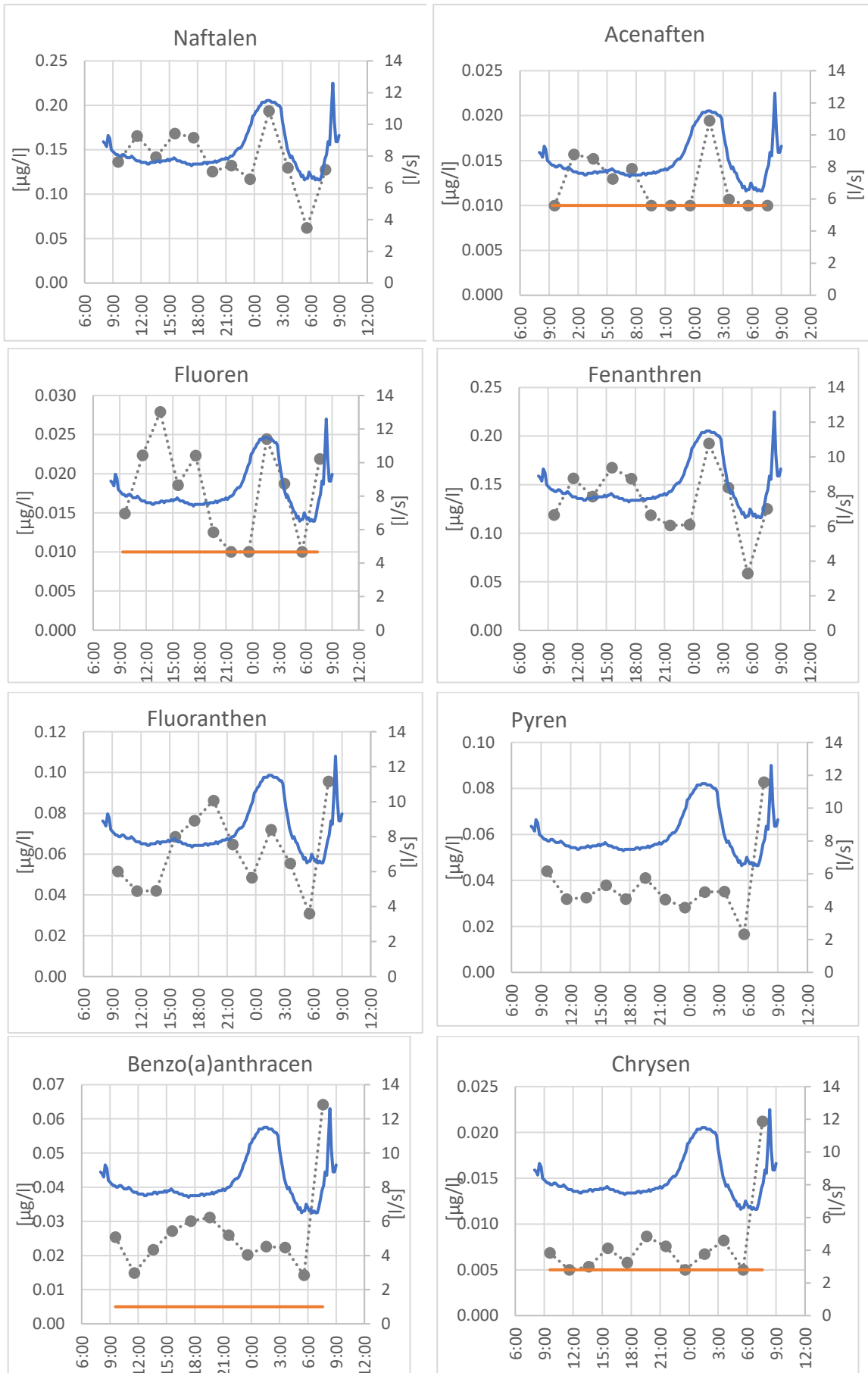




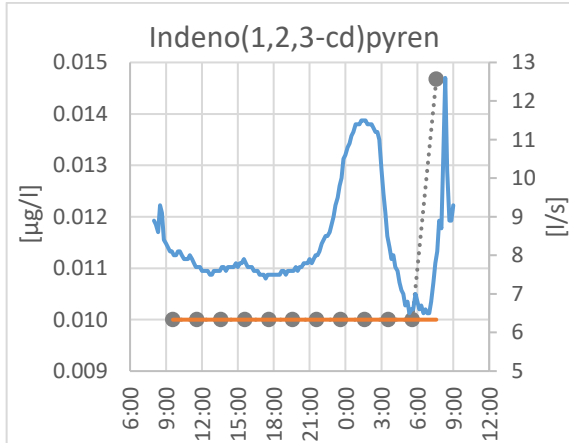
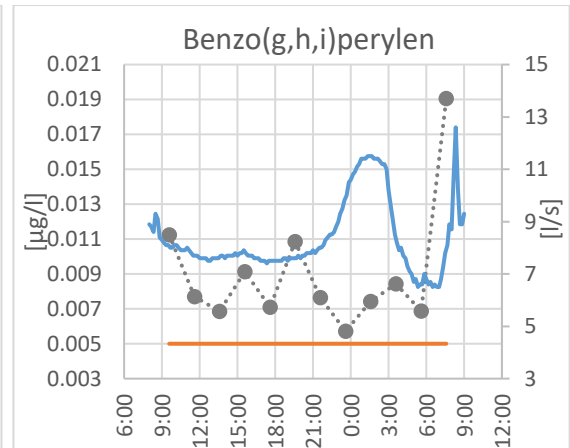
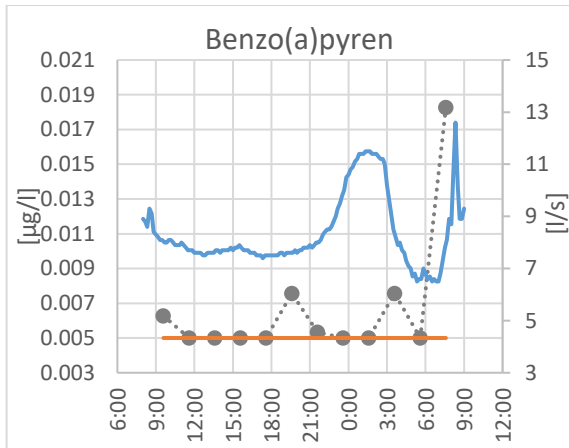
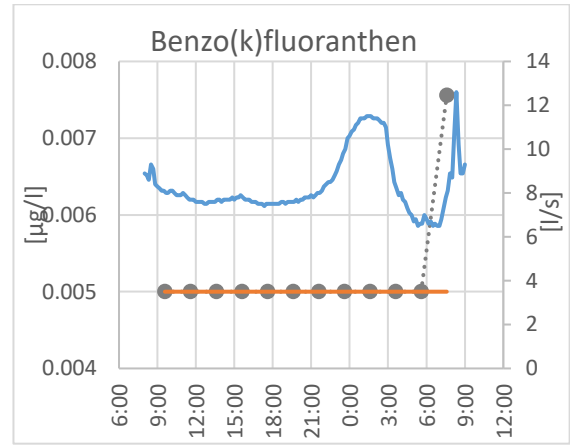
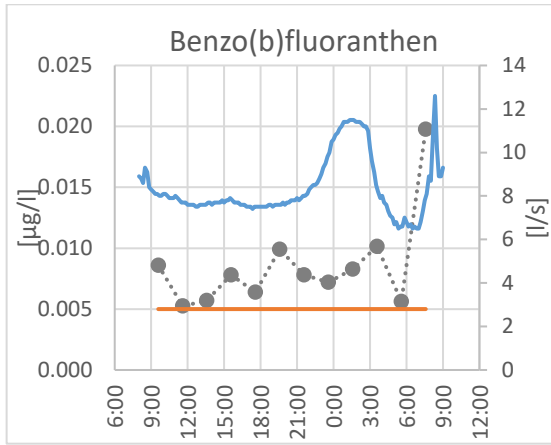
Příloha 4 Průběh koncentrace jednotlivých ukazatelů a průtoku při bezdeštné kampani v profilu C – nátok na ČOV Pečky

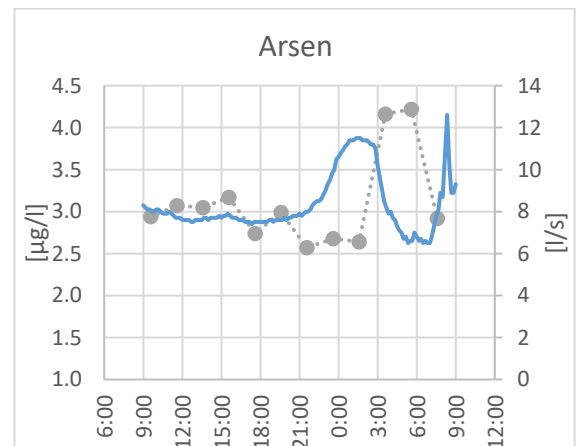
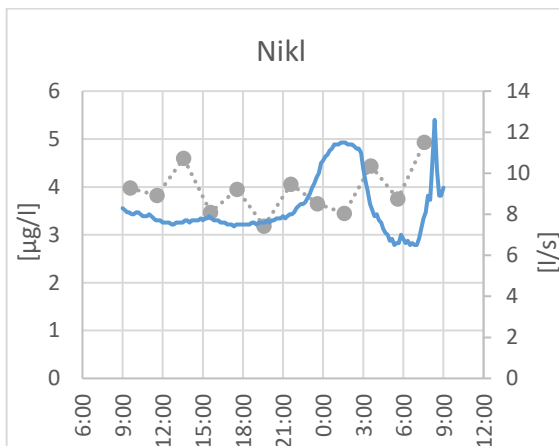
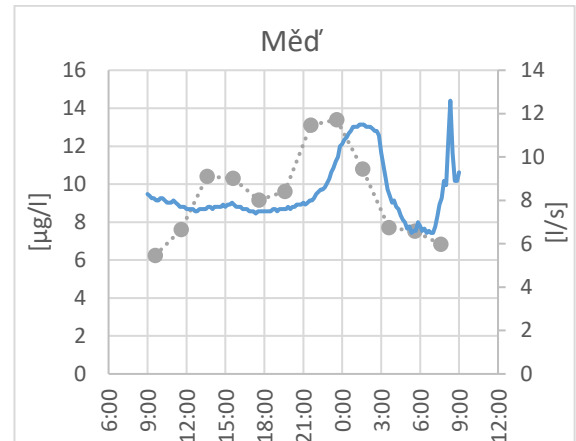
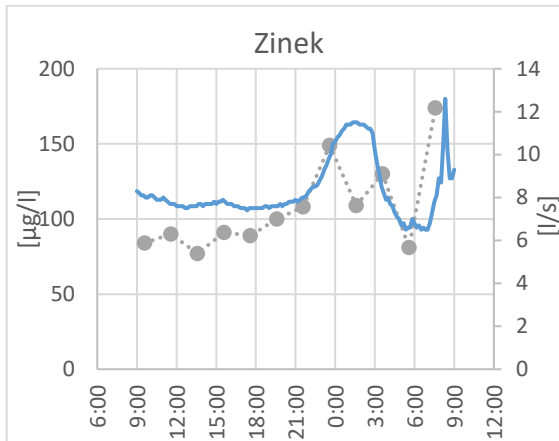
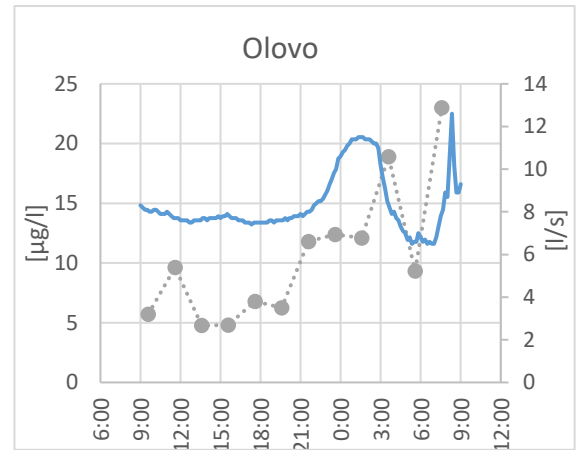
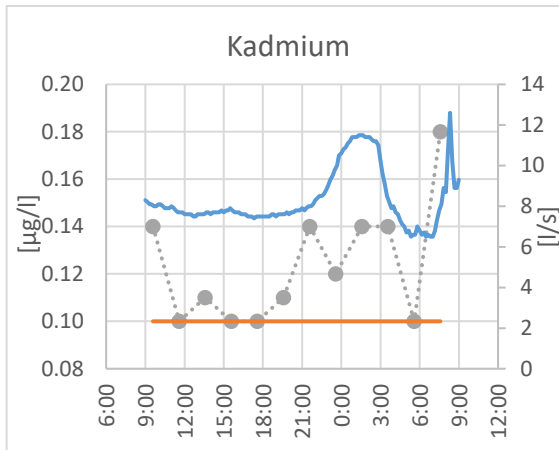
Legenda: — Mez stanovitelnosti    ●●●●● Koncentrace    — Průtok



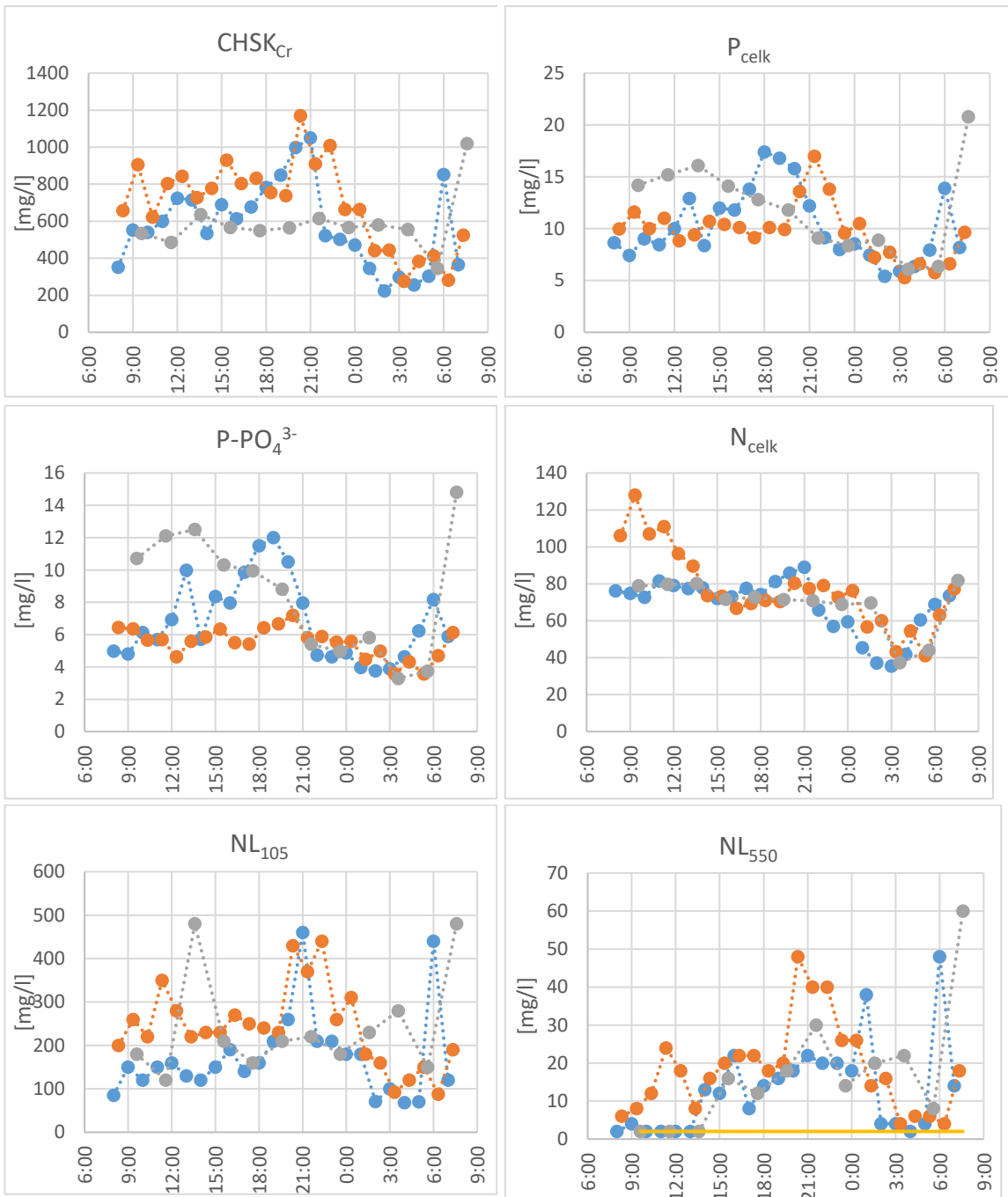


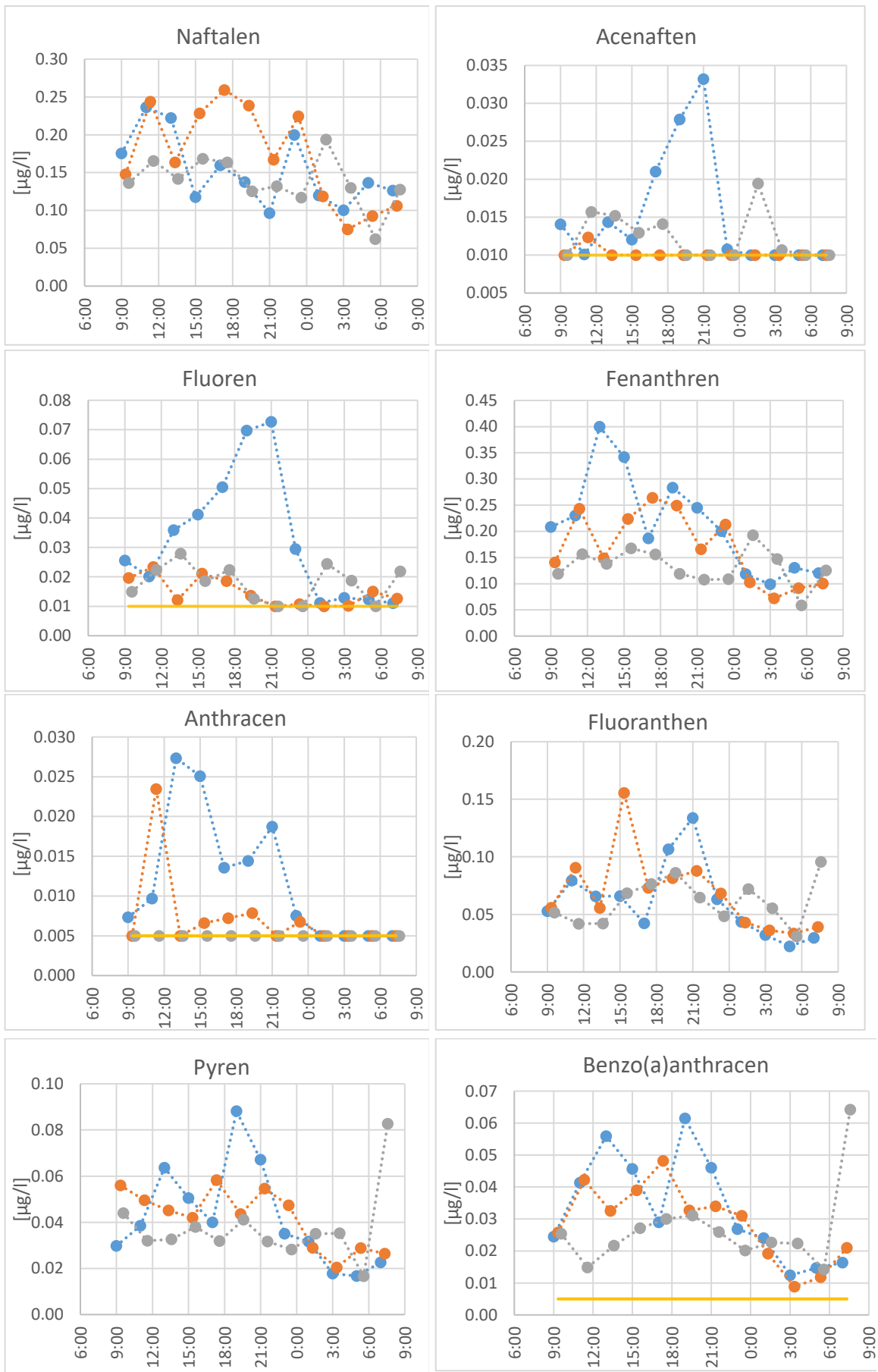


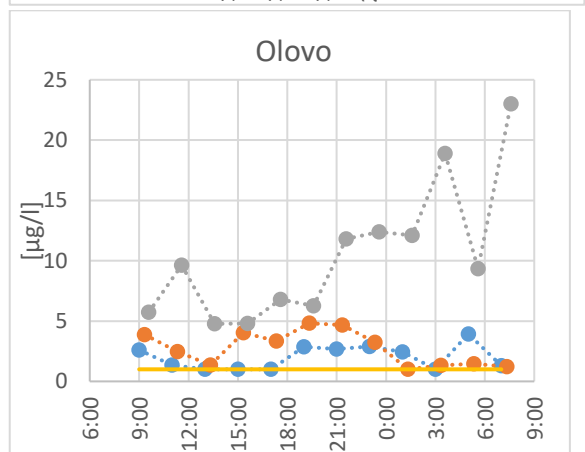
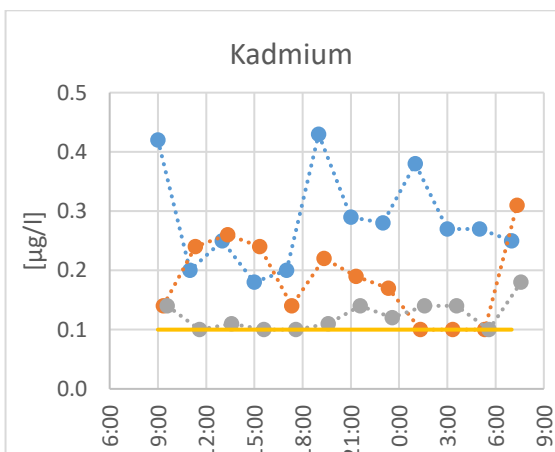
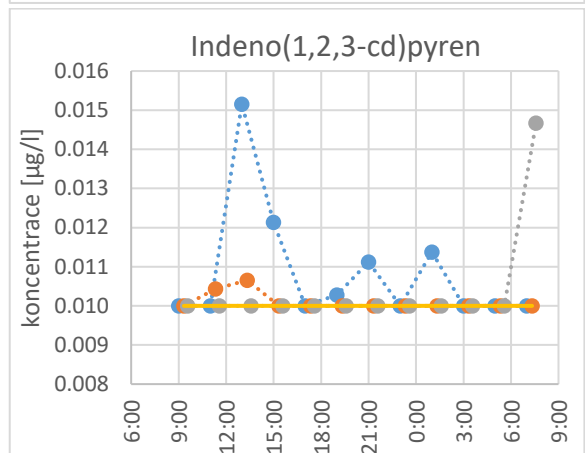
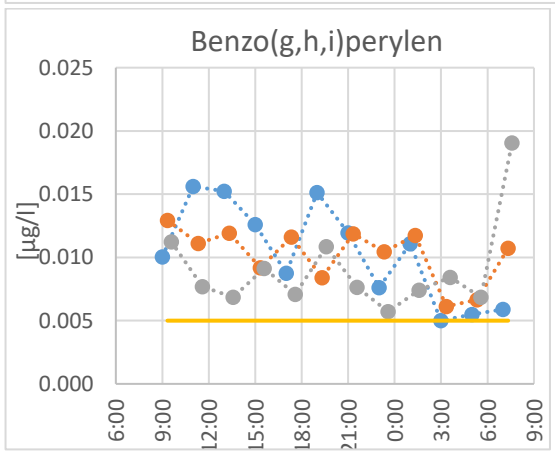
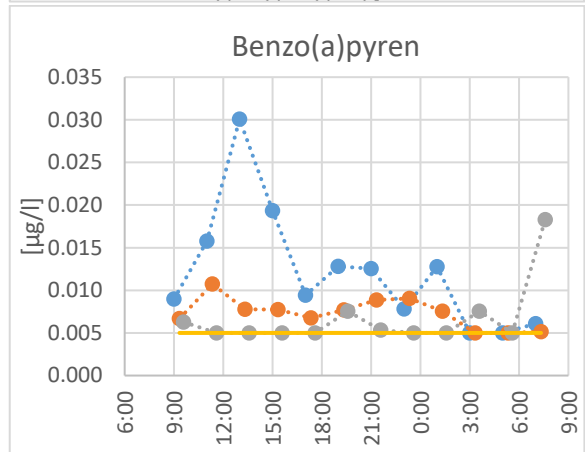
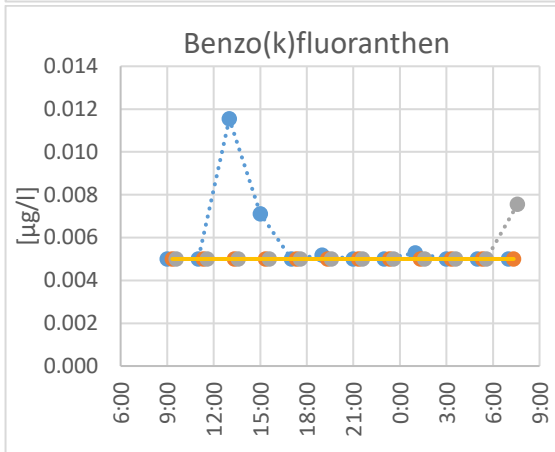
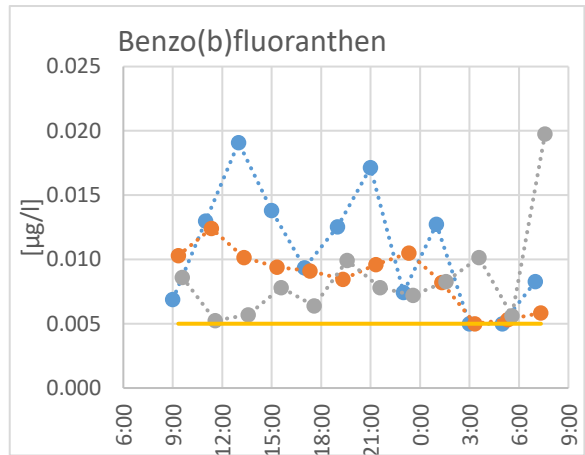
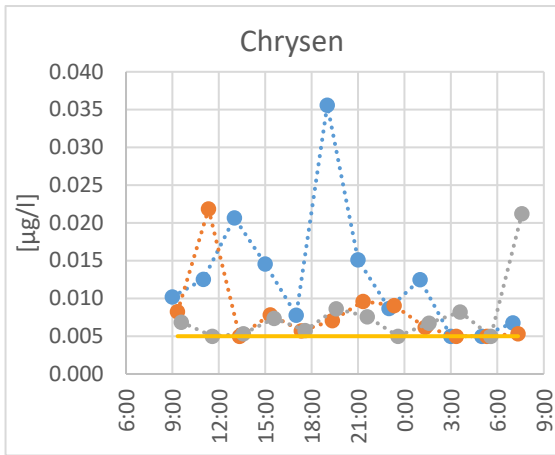


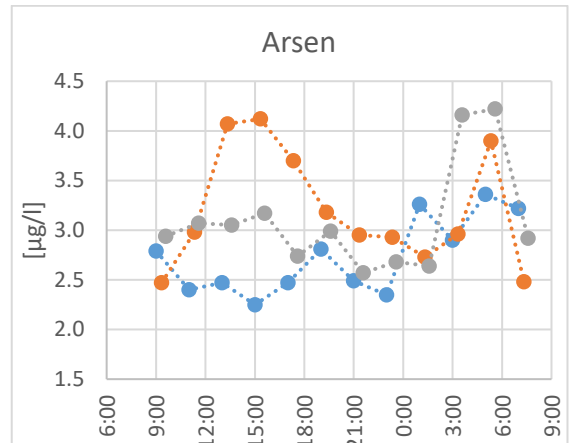
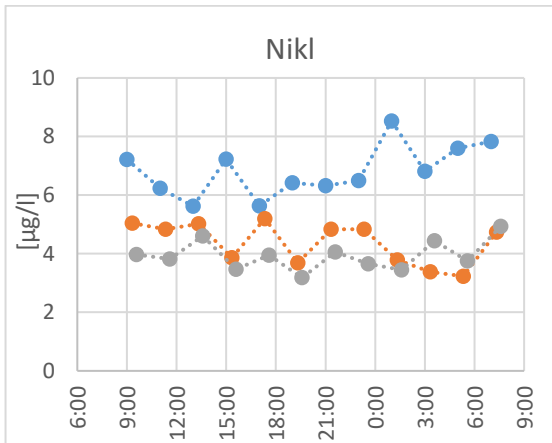
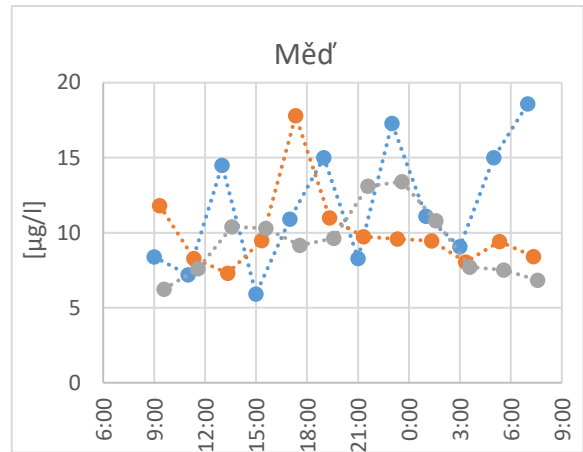
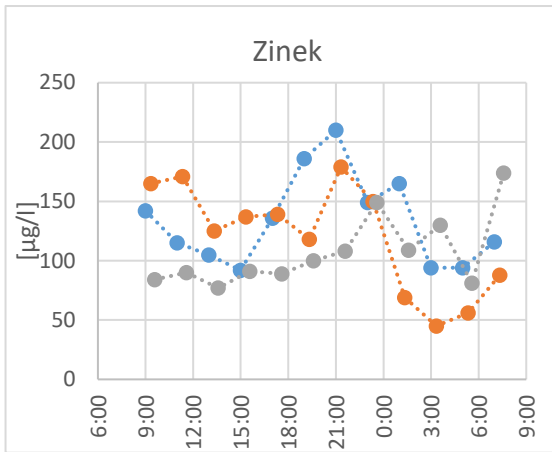


Legenda: ● A ● B ● C — Mez stanovitelosti

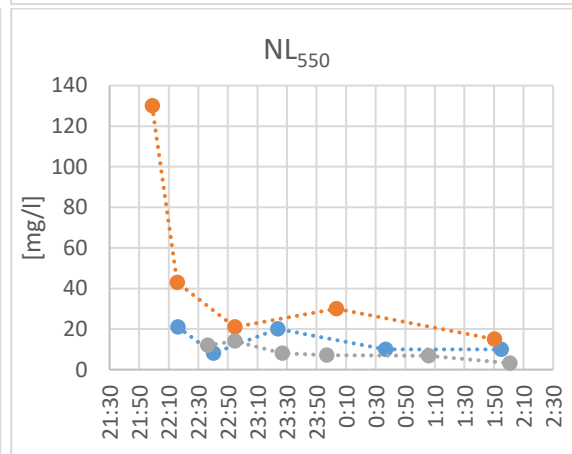
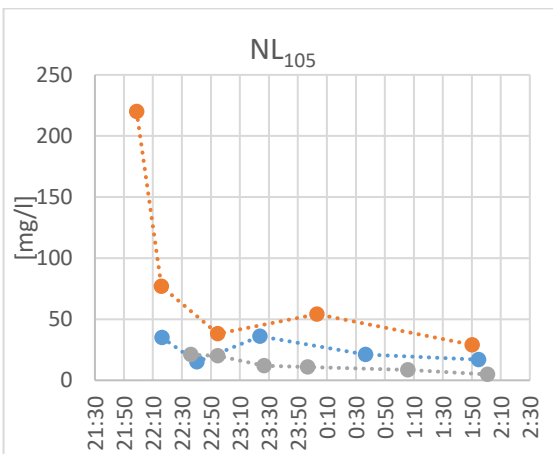
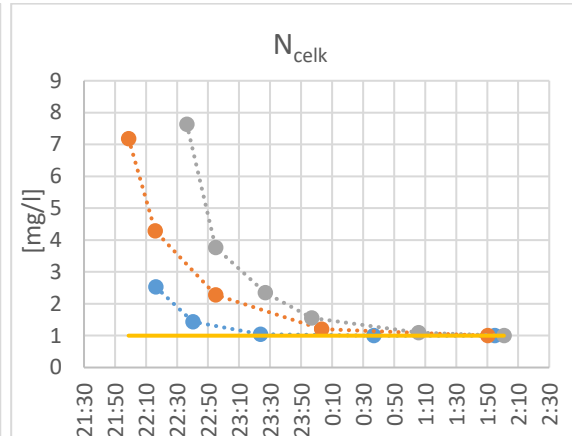
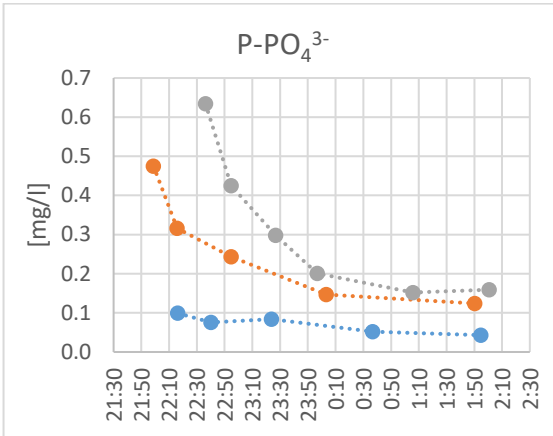
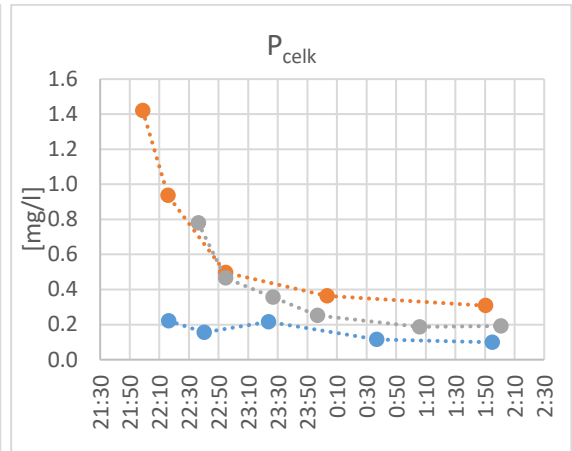
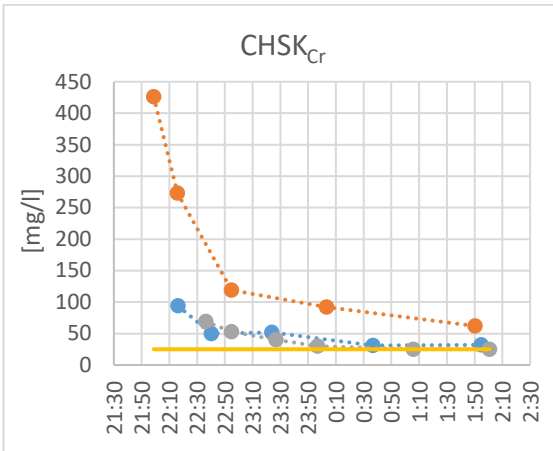


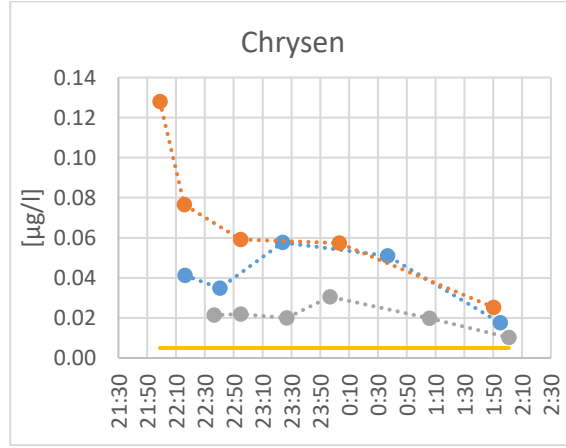
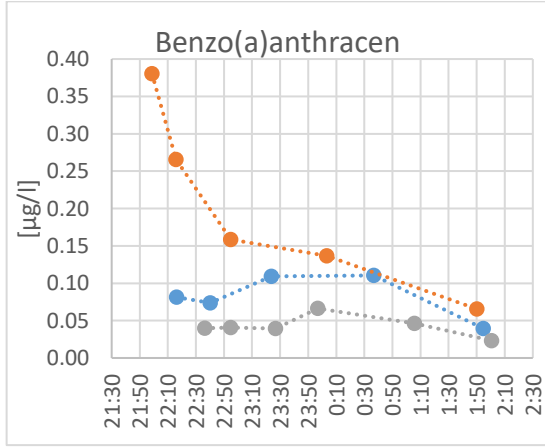
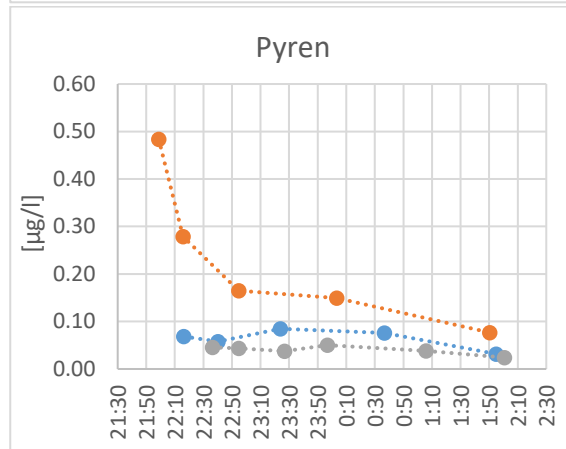
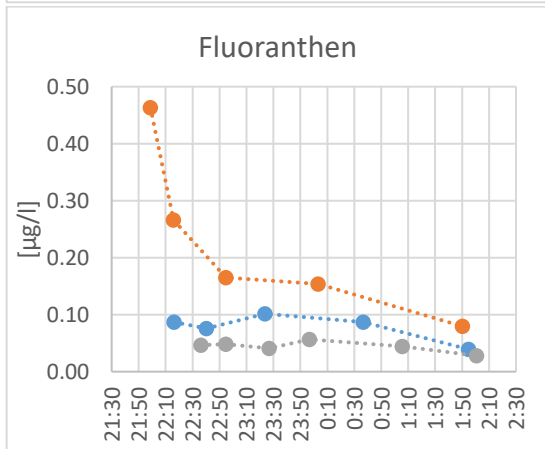
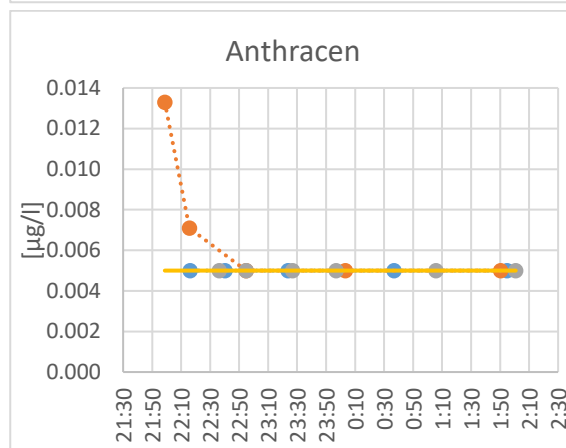
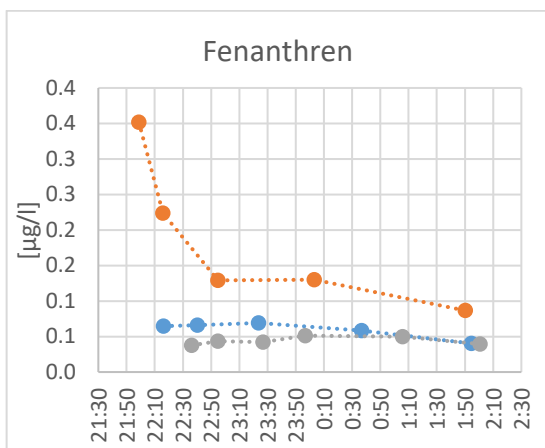
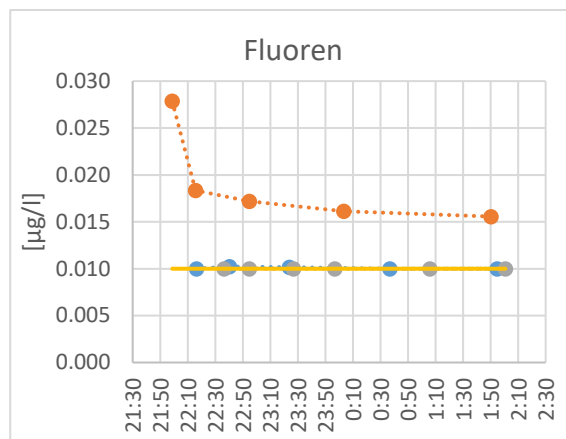
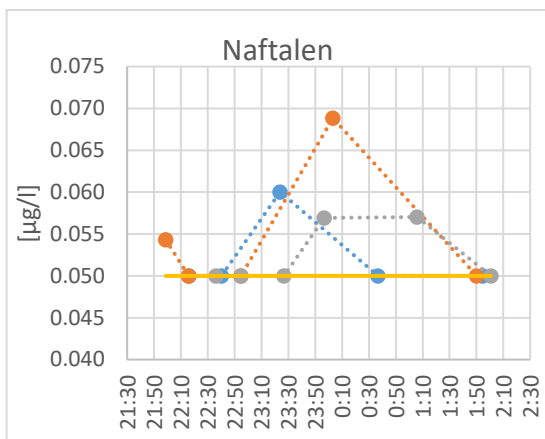




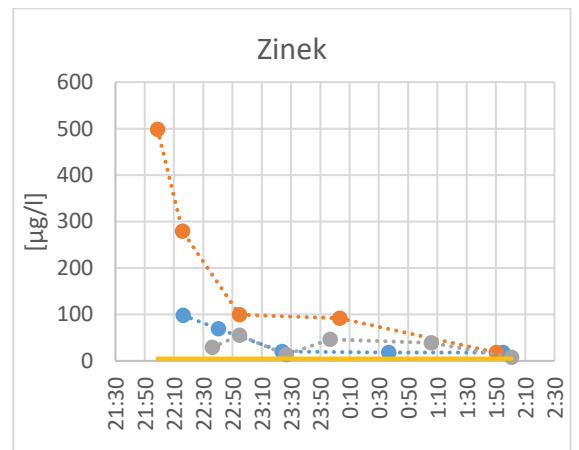
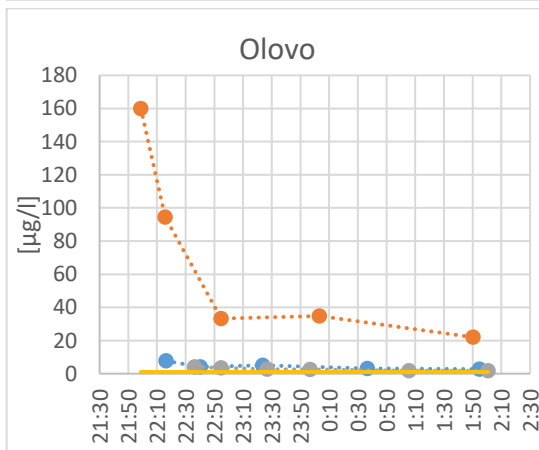
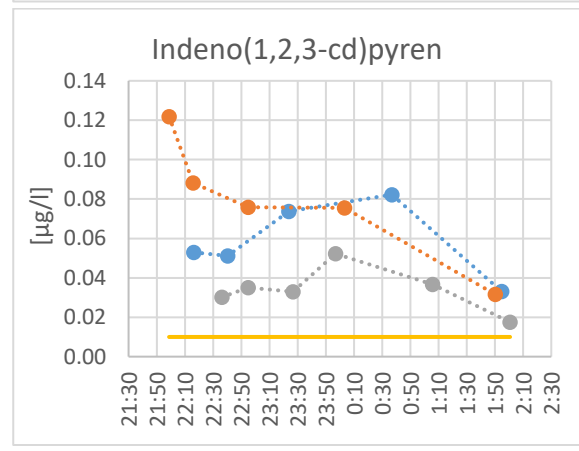
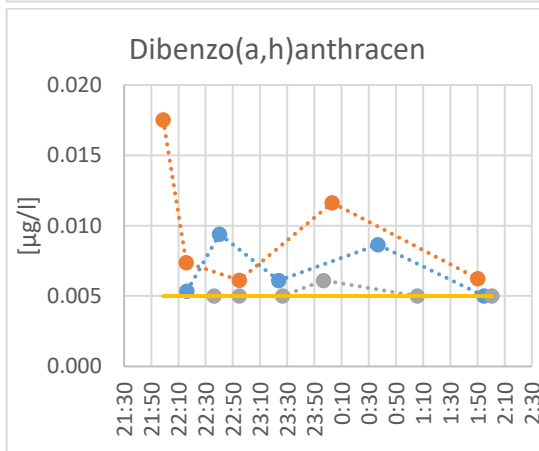
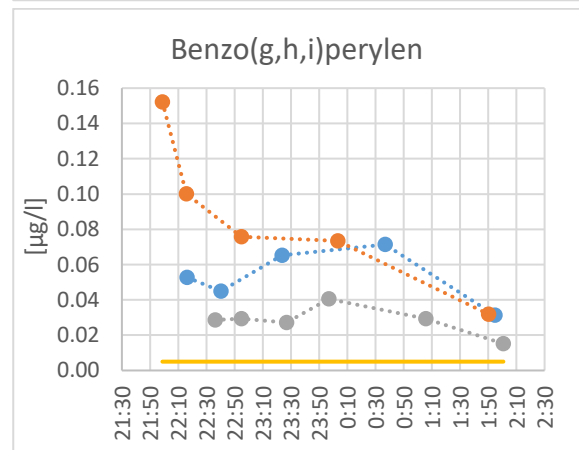
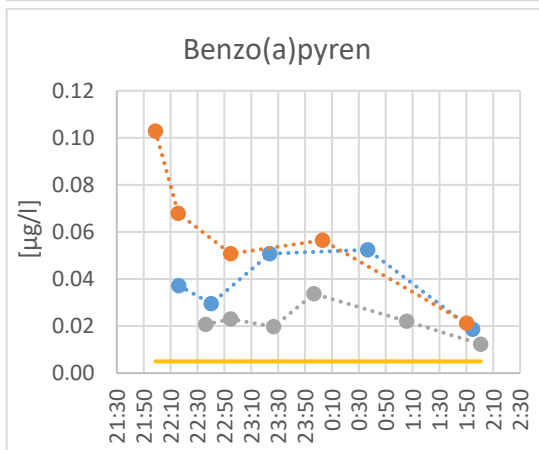
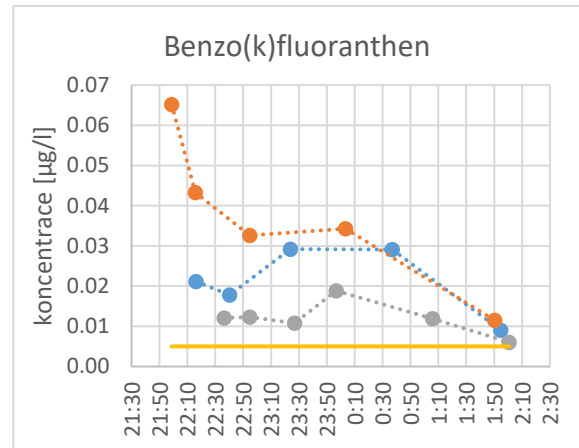
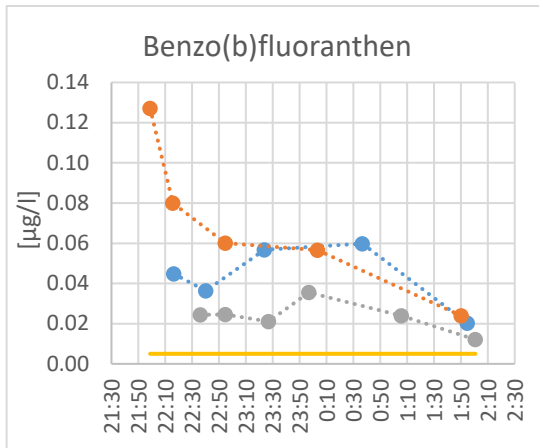


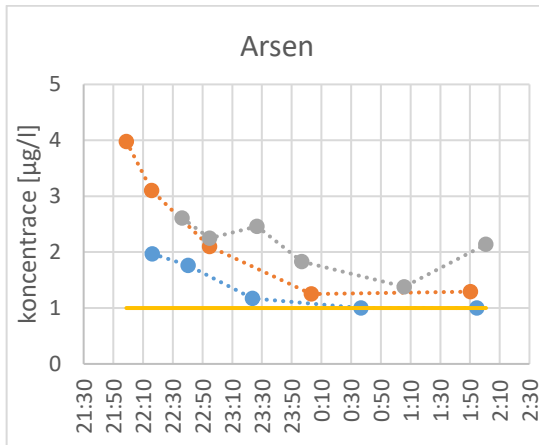
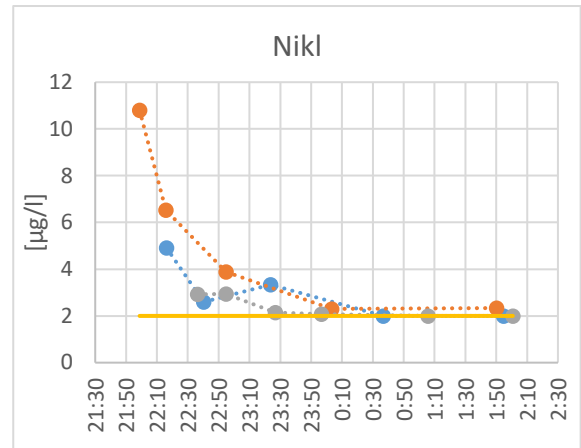
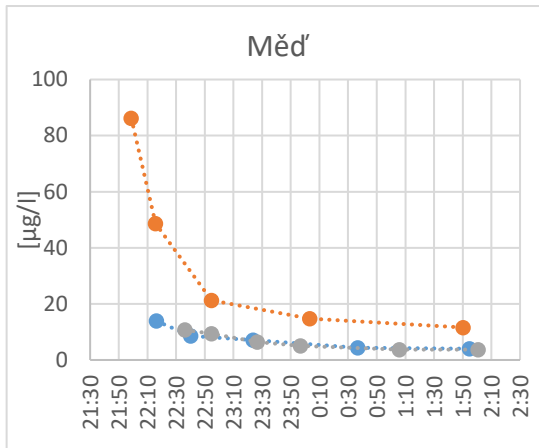
Legenda: ● E ● F ● G — Mez stanovitnosti











Příloha 7 Matice korelačních koeficientů koncentrace znečištění při bezdeštné kampani

Profil A Základní chemické ukazatele a těžké kovy												
	CHSK-Cr	Pcelk	P-PO4	Ncelk	NL105	NL550	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
CHSK-Cr	1.00											
Pcelk	0.79	1.00										
P-PO4	0.72	0.98	1.00									
Ncelk	0.79	0.66	0.66	1.00								
NL105	0.74	0.33	0.19	0.43	1.00							
NL550	0.04	0.01	-0.16	-0.22	0.49	1.00						
As	-0.64	-0.41	-0.35	-0.45	-0.34	0.22	1.00					
Cd	0.03	0.02	-0.05	-0.10	0.19	0.38	0.43	1.00				
Cu	-0.28	0.04	0.09	-0.09	-0.21	0.13	0.41	0.17	1.00			
Ni	-0.62	-0.56	-0.59	-0.50	-0.21	0.49	0.73	0.32	0.09	1.00		
Pb	-0.03	-0.09	-0.13	0.01	0.27	0.33	0.42	0.58	0.32	0.32	1.00	
Zn	0.60	0.38	0.22	0.34	0.83	0.64	-0.06	0.58	0.03	-0.08	0.49	1.00

Profil B Základní chemické ukazatele a těžké kovy												
	CHSK-Cr	Pcelk	P-PO4	Ncelk	NL105	NL550	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
CHSK-Cr	1.00											
Pcelk	0.80	1.00										
P-PO4	0.80	0.69	1.00									
Ncelk	0.70	0.58	0.68	1.00								
NL105	0.81	0.88	0.61	0.65	1.00							
NL550	0.57	0.79	0.48	0.17	0.80	1.00						
As	0.17	-0.20	-0.12	-0.29	-0.12	-0.15	1.00					
Cd	0.54	0.52	0.80	0.51	0.47	0.40	0.05	1.00				
Cu	0.37	0.09	0.17	0.05	0.17	0.19	0.10	-0.19	1.00			
Ni	0.63	0.60	0.55	0.72	0.67	0.42	-0.18	0.52	0.31	1.00		
Pb	0.78	0.69	0.67	0.35	0.62	0.59	0.04	0.29	0.42	0.24	1.00	
Zn	0.92	0.85	0.73	0.77	0.93	0.67	-0.06	0.51	0.25	0.75	0.72	1.00

Profil C Základní chemické ukazatele a těžké kovy												
	CHSK-Cr	Pcelk	P-PO4	Ncelk	NL105	NL550	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
CHSK-Cr	1											
Pcelk	0.67	1										
P-PO4	0.56	0.99	1									
Ncelk	0.47	0.80	0.81	1								
NL105	0.77	0.53	0.45	0.24	1							
NL550	0.83	0.27	0.13	0.05	0.51	1						
As	-0.39	-0.40	-0.38	-0.82	-0.04	-0.15	1					
Cd	0.76	0.24	0.11	0.11	0.54	0.77	-0.18	1				
Cu	-0.05	-0.34	-0.37	0.11	-0.07	0.01	-0.51	-0.16	1			
Ni	0.62	0.43	0.36	0.06	0.75	0.43	0.14	0.56	-0.33	1		
Pb	0.60	0.00	-0.12	-0.27	0.39	0.79	0.16	0.77	-0.16	0.55	1	
Zn	0.71	0.11	-0.02	-0.02	0.39	0.81	-0.13	0.73	0.10	0.38	0.87	1

Profil A Základní chemické ukazatele a PAU

	CHSK-Cr	Pcelk	P-PO4	Ncelk	NL105	NL550	naftalen	acenaften	fluore n	fenan thren	anthr acen	fluora nthen	pyren	benzo(a)a nthracen	chrysen	benzo(b) fluoran then	benzo(k)flu oranthen	benzo(a) )pyren	benzo(g,h,i )perylene	indeno(1,2, 3-cd)pyren
CHSK-Cr	1.00																			
Pcelk	0.79	1.00																		
P-PO4	0.72	0.98	1.00																	
Ncelk	0.79	0.66	0.66	1.00																
NL105	0.74	0.33	0.19	0.43	1.00															
NL550	0.04	0.01	-0.16	-0.22	0.49	1.00														
naftalen	0.05	0.02	0.06	0.29	-0.26	-0.44	1.00													
acenaften	0.94	0.78	0.70	0.70	0.76	0.11	-0.10	1.00												
fluoren	0.94	0.86	0.78	0.66	0.70	0.12	-0.13	0.97	1.00											
fenanthren	0.71	0.67	0.68	0.60	0.22	-0.24	0.40	0.48	0.57	1.00										
anthracen	0.77	0.72	0.72	0.59	0.32	-0.17	0.20	0.57	0.66	0.95	1.00									
fluoranthren	0.90	0.59	0.48	0.63	0.85	0.21	0.01	0.85	0.83	0.56	0.57	1.00								
pyren	0.88	0.88	0.82	0.63	0.56	0.14	0.06	0.82	0.87	0.76	0.74	0.84	1.00							
benzo(a)anthracen	0.84	0.82	0.78	0.66	0.42	-0.01	0.27	0.69	0.75	0.88	0.83	0.79	0.95	1.00						
chrysen	0.67	0.79	0.73	0.50	0.34	0.17	0.12	0.63	0.68	0.67	0.56	0.70	0.93	0.89	1.00					
benzo(b)fluoranthren	0.74	0.60	0.54	0.60	0.53	0.23	0.22	0.53	0.55	0.76	0.78	0.69	0.76	0.83	0.66	1.00				
benzo(k)fluoranthren	0.34	0.45	0.48	0.18	0.03	0.00	0.17	0.14	0.23	0.78	0.75	0.25	0.55	0.66	0.55	0.72	1.00			
benzo(a)pyren	0.53	0.51	0.51	0.45	0.14	-0.08	0.45	0.27	0.33	0.88	0.84	0.42	0.62	0.79	0.59	0.88	0.89	1.00		
benzo(g,h,i)perylene	0.69	0.61	0.56	0.66	0.33	0.04	0.45	0.50	0.51	0.78	0.68	0.68	0.77	0.89	0.79	0.85	0.58	0.82	1.00	
indeno(1,2,3-cd)pyren	0.59	0.60	0.56	0.38	0.31	0.17	0.14	0.39	0.45	0.75	0.79	0.52	0.70	0.80	0.64	0.92	0.84	0.91	0.81	1.00

Profil B Základní chemické ukazatele a PAU

	CHSK-Cr	Pcelk	P-PO4	Ncelk	NL105	NL550	naftalen	fluoren	fenanthren	anthracen	fluoranthren	pyren	benzo(a)anthracen	chrysen	benzo(b)fluoranthren	benzo(a)pyren	benzo(g,h,i)perylene
CHSK-Cr	1.00																
Pcelk	0.80	1.00															
P-PO4	0.80	0.69	1.00														
Ncelk	0.70	0.58	0.68	1.00													
NL105	0.81	0.88	0.61	0.65	1.00												
NL550	0.57	0.79	0.48	0.17	0.80	1.00											
naftalen	0.74	0.41	0.62	0.38	0.64	0.57	1.00										
fluoren	0.45	-0.02	0.33	0.50	0.20	-0.14	0.49	1.00									
fenanthren	0.73	0.40	0.61	0.35	0.63	0.57	0.99	0.50	1.00								
anthracen	0.32	0.15	0.24	0.40	0.52	0.32	0.63	0.60	0.64	1.00							
fluoranthren	0.73	0.49	0.58	0.25	0.51	0.52	0.71	0.44	0.70	0.41	1.00						
pyren	0.90	0.71	0.61	0.66	0.82	0.54	0.75	0.36	0.73	0.33	0.47	1.00					
benzo(a)anthracen	0.84	0.56	0.66	0.49	0.74	0.62	0.93	0.47	0.91	0.56	0.70	0.82	1.00				
chrysen	0.48	0.48	0.38	0.59	0.76	0.54	0.55	0.43	0.54	0.88	0.44	0.46	0.54	1.00			
benzo(b)fluoranthren	0.81	0.62	0.64	0.74	0.84	0.51	0.74	0.35	0.70	0.54	0.53	0.82	0.79	0.68	1.00		
benzo(a)pyren	0.70	0.66	0.64	0.60	0.84	0.68	0.74	0.14	0.70	0.59	0.57	0.68	0.76	0.74	0.92	1.00	
benzo(g,h,i)perylene	0.61	0.61	0.54	0.72	0.64	0.38	0.32	0.01	0.26	0.08	0.11	0.65	0.53	0.35	0.73	0.66	1.00

Profil C Základní chemické ukazatele a PAU

	CHSK-Cr	Pcelk	P-PO4	Ncelk	NL105	NL550	naftalen	acenaften	fluoren	fenanthren	fluoranthren	pyren	benzo(a)anthracen	chrysen	benzo(b)fluoranthren	benzo(g,h,i)perylene
CHSK-Cr	1.00															
Pcelk	0.67	1.00														
P-PO4	0.56	0.99	1.00													
Ncelk	0.47	0.80	0.81	1.00												
NL105	0.75	0.51	0.43	0.22	1.00											
NL550	0.83	0.27	0.13	0.05	0.49	1.00										
naftalen	0.18	0.31	0.35	0.49	0.03	-0.05	1.00									
acenaften	-0.13	0.09	0.16	0.14	0.08	-0.32	0.78	1.00								
fluoren	0.35	0.57	0.61	0.37	0.49	-0.01	0.69	0.77	1.00							
fenanthren	0.18	0.24	0.28	0.30	0.10	-0.01	0.96	0.83	0.77	1.00						
fluoranthren	0.69	0.39	0.33	0.34	0.20	0.73	0.36	-0.07	0.23	0.35	1.00					
pyren	0.92	0.73	0.64	0.45	0.58	0.76	0.15	-0.21	0.35	0.16	0.71	1.00				
benzo(a)anthracen	0.92	0.65	0.55	0.38	0.56	0.85	0.04	-0.29	0.23	0.05	0.81	0.94	1.00			
chrysen	0.91	0.57	0.46	0.25	0.62	0.88	0.05	-0.26	0.26	0.09	0.77	0.95	0.96	1.00		
benzo(b)fluoranthren	0.87	0.47	0.35	0.15	0.54	0.89	-0.06	-0.36	0.14	0.00	0.71	0.94	0.93	0.96	1.00	
benzo(g,h,i)perylene	0.80	0.67	0.58	0.33	0.47	0.73	-0.05	-0.37	0.20	-0.04	0.65	0.96	0.91	0.93	0.93	1.00

Příloha 8 Matice korelačních koeficientů koncentrací znečištění v povrchovém odtoku a odtoku dešťovou kanalizací v průběhu srážkové události

Profil E

	CHSK-Cr	Pcelk	P-PO4	Ncelk	NL105	NL550	As	Cu	Ni	Pb	Zn	fenanthren	fluoranthren	pyren	benzo(a)anthracen	chrysen	benzo(b)fluoranthren	benzo(k)fluoranthren	benzo(a)pyren	benzo(g,h,i)perylene	dibenzo(a,h)anthracen	indeno(1,2,3-cd)pyren	
CHSK-Cr	1.00																						
Pcelk	0.83	1.00																					
P-PO4	0.90	0.96	1.00																				
Ncelk	0.98	0.77	0.89	1.00																			
NL105	0.67	0.87	0.73	0.52	1.00																		
NL550	0.74	0.88	0.76	0.60	0.99	1.00																	
As	0.85	0.76	0.90	0.93	0.37	0.44	1.00																
Cu	0.98	0.80	0.91	1.00	0.56	0.63	0.93	1.00															
Ni	0.96	0.95	0.98	0.93	0.76	0.82	0.88	0.94	1.00														
Pb	0.99	0.90	0.94	0.95	0.77	0.82	0.83	0.96	0.98	1.00													
Zn	0.87	0.56	0.75	0.95	0.23	0.32	0.91	0.94	0.77	0.80	1.00												
fenanthren	0.52	0.79	0.81	0.55	0.54	0.48	0.69	0.59	0.68	0.60	0.44	1.00											
fluoranthren	0.40	0.72	0.67	0.36	0.68	0.58	0.40	0.41	0.55	0.52	0.18	0.91	1.00										
pyren	0.29	0.64	0.56	0.23	0.67	0.55	0.25	0.28	0.44	0.42	0.05	0.83	0.99	1.00									
benzo(a)anthracen	0.08	0.43	0.35	0.03	0.51	0.37	0.05	0.08	0.21	0.21	-0.12	0.73	0.93	0.97	1.00								
chrysen	0.18	0.56	0.46	0.11	0.63	0.50	0.13	0.16	0.33	0.32	-0.08	0.78	0.96	0.99	0.98	1.00							
benzo(b)fluoranthren	0.11	0.43	0.35	0.05	0.54	0.40	0.03	0.10	0.22	0.24	-0.10	0.69	0.92	0.96	0.99	0.97	1.00						
benzo(k)fluoranthren	0.10	0.45	0.36	0.03	0.55	0.41	0.04	0.08	0.23	0.23	-0.13	0.71	0.93	0.97	1.00	0.99	1.00	1.00					
benzo(a)pyren	0.04	0.39	0.28	-0.04	0.55	0.40	-0.06	0.01	0.16	0.18	-0.21	0.63	0.89	0.95	0.99	0.97	0.99	0.99	1.00				
benzo(g,h,i)perylene	0.03	0.34	0.25	-0.04	0.49	0.34	-0.06	0.01	0.13	0.16	-0.18	0.62	0.87	0.93	0.99	0.95	0.99	0.99	0.99	1.00			
dibenzo(a,h)anthracen	-0.07	0.07	0.19	0.06	-0.20	-0.30	0.27	0.08	0.00	-0.03	0.17	0.66	0.57	0.54	0.61	0.53	0.57	0.56	0.50	0.56	1.00		
indeno(1,2,3-cd)pyren	-0.10	0.24	0.15	-0.16	0.38	0.22	-0.14	-0.11	0.01	0.03	-0.28	0.58	0.83	0.90	0.98	0.93	0.98	0.97	0.98	0.99	0.61	1.00	

Profil F

	CHSK-Cr	Pcelk	P-PO4	Ncelk	NL105	NL550	As	Cu	Ni	Pb	Zn	fluore n	fenanthr en	fluoran then	pyren	benzo(a) anthrac en	chrysen	benzo(b) fluorant hen	benzo(k)fl uoranth en	benzo(a)pyre n	benzo(g,h,i)p erylen	dibenzo(a,h)a nthracen	indeno(1,2 ,3- cd)pyren	
CHSK-Cr	1.000																							
Pcelk	0.999	1.000																						
P-PO4	0.978	0.983	1.000																					
Ncelk	0.994	0.995	0.994	1.000																				
NL105	0.934	0.932	0.908	0.927	1.000																			
NL550	0.931	0.929	0.907	0.926	1.000	1.000																		
As	0.977	0.983	0.987	0.985	0.859	0.857	1.000																	
Cu	0.997	0.997	0.978	0.991	0.955	0.953	0.969	1.000																
Ni	0.992	0.996	0.989	0.994	0.940	0.938	0.981	0.997	1.000															
Pb	0.996	0.993	0.961	0.983	0.955	0.952	0.955	0.996	0.986	1.000														
Zn	0.996	0.994	0.973	0.991	0.953	0.951	0.961	0.995	0.986	0.997	1.000													
fluoren	0.934	0.938	0.936	0.940	0.989	0.990	0.885	0.958	0.956	0.946	0.947	1.000												
fenanthren	0.993	0.990	0.969	0.988	0.962	0.960	0.953	0.994	0.984	0.996	0.999	0.954	1.000											
fluoranthren	0.985	0.983	0.975	0.988	0.966	0.965	0.947	0.988	0.981	0.986	0.995	0.965	0.997	1.000										
pyren	0.988	0.987	0.977	0.991	0.964	0.962	0.953	0.990	0.984	0.989	0.997	0.963	0.998	1.000	1.000									
benzo(a)anthracen	0.987	0.985	0.979	0.992	0.914	0.912	0.969	0.978	0.974	0.977	0.990	0.914	0.987	0.987	0.989	1.000								
chrysen	0.953	0.950	0.957	0.968	0.946	0.945	0.915	0.954	0.947	0.952	0.972	0.944	0.976	0.989	0.986	0.978	1.000							
benzo(b)fluoranthren	0.958	0.955	0.963	0.973	0.932	0.931	0.927	0.955	0.949	0.953	0.974	0.931	0.976	0.987	0.985	0.985	0.999	1.000						
benzo(k)fluoranthren	0.926	0.919	0.928	0.943	0.899	0.898	0.888	0.917	0.907	0.921	0.949	0.889	0.951	0.965	0.961	0.969	0.990	0.993	1.000					
benzo(a)pyren	0.925	0.917	0.920	0.938	0.910	0.909	0.877	0.917	0.904	0.924	0.950	0.894	0.953	0.966	0.962	0.966	0.990	0.991	0.999	1.000				
benzo(g,h,i)perylene	0.952	0.948	0.956	0.967	0.921	0.920	0.920	0.946	0.940	0.946	0.969	0.918	0.971	0.982	0.980	0.984	0.997	0.999	0.996	0.994	1.000			
dibenzo(a,h)anthracen	0.724	0.711	0.672	0.712	0.901	0.902	0.582	0.750	0.711	0.772	0.776	0.849	0.796	0.810	0.800	0.729	0.828	0.800	0.804	0.828	0.796	1.000		
indeno(1,2,3-cd)pyren	0.885	0.879	0.903	0.912	0.849	0.849	0.858	0.872	0.866	0.874	0.910	0.845	0.912	0.932	0.927	0.945	0.972	0.977	0.993	0.989	0.983	0.764	1.000	



Profil G

	CHSK-Cr	Pcelk	P-PO4	Ncelk	NL105	NL550	As	Cu	Ni	Pb	Zn	fenanthren	fluoranthren	pyren	benzo(a)anthracen	chrysen	benzo(b)fluoranthren	benzo(k)fluoranthren	benzo(a)pyren	benzo(g,h,i)perylen	indeno(1,2,3-cd)pyren
CHSK-Cr	1.000																				
Pcelk	0.952	1.000																			
P-PO4	0.966	0.995	1.000																		
Ncelk	0.925	0.996	0.986	1.000																	
NL105	0.957	0.893	0.923	0.873	1.000																
NL550	0.868	0.767	0.814	0.741	0.969	1.000															
As	0.761	0.738	0.746	0.692	0.577	0.436	1.000														
Cu	0.983	0.950	0.975	0.928	0.974	0.906	0.730	1.000													
Ni	0.958	0.832	0.862	0.791	0.950	0.904	0.679	0.937	1.000												
Pb	0.997	0.937	0.955	0.910	0.974	0.899	0.720	0.985	0.972	1.000											
Zn	0.255	0.122	0.166	0.130	0.491	0.618	-0.353	0.298	0.427	0.329	1.000										
fenanthren	-0.472	-0.590	-0.590	-0.579	-0.305	-0.165	-0.835	-0.509	-0.293	#####	0.591	1.000									
fluoranthren	0.409	0.258	0.259	0.250	0.516	0.549	-0.157	0.340	0.551	0.457	0.804	0.597	1.000								
pyren	0.565	0.435	0.433	0.427	0.646	0.647	0.000	0.495	0.670	0.605	0.756	0.441	0.982	1.000							
benzo(a)anthracen	0.051	-0.088	-0.106	-0.088	0.135	0.170	-0.413	-0.048	0.206	0.093	0.658	0.805	0.916	0.842	1.000						
chrysen	0.342	0.175	0.168	0.159	0.409	0.428	-0.147	0.244	0.494	0.383	0.702	0.624	0.982	0.952	0.952	1.000					
benzo(b)fluoranthren	0.263	0.122	0.111	0.119	0.350	0.371	-0.257	0.175	0.410	0.308	0.737	0.684	0.979	0.939	0.974	0.989	1.000				
benzo(k)fluoranthren	0.226	0.076	0.063	0.070	0.300	0.318	-0.258	0.130	0.382	0.269	0.703	0.695	0.964	0.917	0.981	0.988	0.997	1.000			
benzo(a)pyren	0.157	-0.008	-0.014	-0.015	0.247	0.285	-0.315	0.068	0.336	0.205	0.728	0.747	0.951	0.887	0.984	0.976	0.988	0.995	1.000		
benzo(g,h,i)perylen	0.263	0.109	0.100	0.100	0.349	0.381	-0.252	0.170	0.410	0.306	0.717	0.695	0.978	0.936	0.974	0.993	0.993	0.990	0.981	1.000	
indeno(1,2,3-cd)pyren	0.082	-0.092	-0.097	-0.103	0.179	0.240	-0.385	-0.011	0.260	0.128	0.699	0.810	0.930	0.851	0.989	0.962	0.969	0.976	0.986	0.979	1.000

Příloha 9 Matice korelačních koeficientů obsahu jednotlivých látek pro vzorky pevné matrice

	Podíl sušiny	Ztráta žháním sušiny	Pcelk	Ncelk	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Podíl sušiny	1.000									
Ztráta žháním sušiny	-0.914	1.000								
Pcelk	-0.799	0.838	1.000							
Ncelk	-0.899	0.994	0.884	1.000						
As	0.148	-0.269	-0.463	-0.341	1.000					
Cd	-0.872	0.968	0.883	0.983	-0.404	1.000				
Cu	-0.833	0.843	0.635	0.807	0.031	0.732	1.000			
Ni	0.027	-0.245	-0.301	-0.302	0.864	-0.327	0.006	1.000		
Pb	-0.815	0.887	0.639	0.864	-0.053	0.826	0.813	-0.213	1.000	
Zn	-0.960	0.897	0.767	0.874	-0.076	0.816	0.918	-0.034	0.863	1.000

	Podíl sušiny	Ztráta žháním sušiny	Pcelk	Ncelk	naftalen	acenaften	fluoren	fenanthren	anthracen	fluoranthren	pyren	benzo(a)anthracen	chrysen	benzo(b)fluoranthren	benzo(k)fluoranthren	benzo(a)pyren	benzo(g,h,i)perylene	dibenzo(a,h)anthracen	indeno(1,2,3-cd)pyren
Podíl sušiny	1.000																		
Ztráta žháním sušiny	-0.914	1.000																	
Pcelk	-0.799	0.838	1.000																
Ncelk	-0.899	0.994	0.884	1.000															
naftalen	-0.484	0.517	0.403	0.500	1.000														
acenaften	-0.319	0.535	0.132	0.496	0.212	1.000													
fluoren	0.213	-0.046	0.055	-0.021	-0.144	0.384	1.000												
fenanthren	0.243	-0.220	-0.216	-0.234	0.036	0.293	0.844	1.000											
anthracen	0.388	-0.289	-0.272	-0.280	-0.207	0.399	0.874	0.877	1.000										
fluoranthren	0.192	-0.191	-0.238	-0.211	0.376	0.225	0.587	0.875	0.690	1.000									
pyren	-0.073	-0.036	-0.169	-0.088	0.383	0.210	0.418	0.805	0.495	0.893	1.000								
benzo(a)anthracen	0.392	-0.273	-0.268	-0.267	0.211	0.301	0.740	0.854	0.847	0.908	0.647	1.000							
chrysen	0.468	-0.377	-0.340	-0.372	0.144	0.205	0.739	0.875	0.846	0.908	0.656	0.990	1.000						
benzo(b)fluoranthren	0.378	-0.295	-0.312	-0.301	0.335	0.194	0.602	0.802	0.699	0.948	0.721	0.965	0.965	1.000					
benzo(k)fluoranthren	0.420	-0.328	-0.334	-0.332	0.321	0.195	0.611	0.797	0.723	0.921	0.674	0.971	0.975	0.991	1.000				
benzo(a)pyren	0.379	-0.310	-0.286	-0.309	0.326	0.163	0.618	0.804	0.724	0.931	0.689	0.970	0.974	0.990	0.996	1.000			
benzo(g,h,i)perylene	0.376	-0.314	-0.339	-0.340	0.086	0.193	0.703	0.842	0.732	0.738	0.645	0.782	0.821	0.765	0.805	0.794	1.000		
dibenzo(a,h)anthracen	0.694	-0.585	-0.578	-0.579	0.090	0.004	0.277	0.463	0.482	0.608	0.332	0.676	0.690	0.695	0.699	0.661	0.353	1.000	
indeno(1,2,3-cd)pyren	0.432	-0.310	-0.313	-0.309	0.224	0.241	0.681	0.786	0.741	0.860	0.590	0.955	0.964	0.961	0.974	0.970	0.821	0.615	1.000