

2012 až 2017

INFORMAČNÍ SYSTÉM KVALITY OVZDUŠÍ V KRAJI VYSOČINA

CELKOVÁ FINÁLNÍ ZÁVĚREČNÁ
ZPRÁVA Z MĚŘENÍ



CELKOVÁ FINÁLNÍ ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA Z MĚŘENÍ

ŘEŠENÍ PROJEKTU

„Informační systém kvality ovzduší v Kraji Vysočina“

Realizátor projektu:

Konsorcium – Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě a ENVItech
Bohemia s.r.o.



PRAHA, ŘÍJEN 2017

Obsah

1	ÚVOD	1
2	MĚŘÍCÍ LOKALITY	5
3	MĚŘENÉ ŠKODLIVINY	6
4	VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ	7
4.1	SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀ A PM_{2,5}	7
4.1.1	PRŮMĚRNÉ ROČNÍ KONCENTRACE PM ₁₀	9
4.1.2	PRŮMĚRNÁ DENNÍ KONCENTRACE PM ₁₀ A SROVNÁNÍ S IMISNÍM LIMITEM	14
4.1.3	PRŮMĚRNÉ ROČNÍ KONCENTRACE PM _{2,5}	17
4.2	OXID DUSIČITÝ NO₂	22
4.2.1	PRŮMĚRNÉ ROČNÍ KONCENTRACE NO ₂	23
4.3	OXID SIŘIČITÝ SO₂	28
4.3.1	PRŮMĚRNÁ DENNÍ KONCENTRACE SO ₂ A SROVNÁNÍ S IMISNÍM LIMITEM	29
4.4	PŘÍZEMNÍ OZÓN O₃	32
4.4.1	MAXIMÁLNÍ 8HODINOVÝ KLOUZAVÝ PRŮMĚR ZA DEN	33
4.5	TĚKAVÉ ORGANICKÉ LÁTKY - BENZEN	34
4.5.1	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE BENZENU	35
4.6	POLYCYKLICKÉ AROMATICKÉ UHLOVODÍKY – BENZO[A]PYREN	38
4.6.1	PRŮMĚRNÁ ROČNÍ KONCENTRACE BENZO[A]PYRENU	40
4.7	PERSISTENTNÍ ORGANICKÉ POLUTANTY – PCDD/F	43
4.8	FORMALDEHYD HCHO	46
4.8.1	VÝVOJ KONCENTRACÍ FORMALDEHYDU V JIHLAVĚ	46
5	OPATŘENÍ KE ZLEPŠENÍ KVALITY OVZDUŠÍ	49
5.1	LOKÁLNÍ TOPENIŠTĚ	49
5.2	DOPRAVA	50
5.3	PRŮMYSLOVÉ ZDROJE	52
5.4	ZEMĚDĚLSTVÍ A VĚTRNÁ EROZE	53
6	ZÁVĚRY	54
7	CITOVANÁ LITERATURA	56
8	SEZNAM ZKRATEK POUŽITÝCH V DOKUMENTU	58

1 Úvod

Cílem projektu „Informační systém kvality ovzduší v Kraji Vysočina“ (ISKOV) bylo objektivně poskytovat veřejnosti aktuální informace o kvalitě ovzduší v systému on-line. Výstupy tohoto projektu jsou plně slučitelné a kompatibilní s výstupy státního monitoringu AIM (automatizovaný informační systém) a doplňují měření v oblastech a sídlech, která státní monitoring nepokrývá, v tomto projektu jsou navíc měřeny škodliviny, které AIM nezajišťuje.

Mobilní měření sledovaly i jiné škodliviny než ty, které jsou obsaženy ve stávajících měřících programech stacionárních stanic umístěných v kraji Vysočina.



Obyvatelstvo Kraje Vysočina, jak prokázaly poslední studie, nadále používá v domácnostech jako palivo některé druhy odpadů a v místech malých sídel kraje Vysočina pak dochází k výraznému nárůstu znečišťování ovzduší – problematika znečišťování ovzduší se přesunula do oblastí malých sídel.

Obnova kvality ovzduší je jednou z podmínek zachování ekologické stability krajiny, fungujících ekosystémů, zdravotního stavu lesních porostů a zdraví obyvatelstva, zvláště dětí a mladé populace.

Díky mobilním měřením přímo v malých sídlech Kraje Vysočina se tak podařilo získat unikátní informace o kvalitě ovzduší v kraji.

ISKOV je ve své podstatě jedním z prvních projektů tohoto typu, který detailně řeší problematiku znečištění malých sídel ve velmi zachovalém prostředí Vysočiny. Projekt probíhal podle předem stanoveného harmonogramu, data byla okamžitě on-line zasílána z mobilních měřících systémů na webové stránky Kraje Vysočina. Projekt tak sloužil k informování všech skupin obyvatelstva. Tento informační systém dává ideální přehled o situaci v Kraji Vysočina.

2 Měřicí lokality

Pro projekt bylo vybráno 24 lokalit v kraji Vysočina, které reprezentovaly různá ovlivnění kvality ovzduší některými z významných zdrojů (doprava, lokální topeniště, průmysl, atp.). Zároveň se také jednotlivé lokality lišily provětrávaností mírou náchylnosti k tvorbě teplotních inverzí (zda-li je lokalita na kopci nebo v údolí atp.). V neposlední řadě bylo dbáno na to, aby měření byla co nejvíce rozprostřena po kraji Vysočina.

V průběhu celého projektu došlo v roce 2015 k výměně dvou původních lokalit (Světlá nad Sázavou a Rozsochy) za lokality nové (Ledeč nad Sázavou a Vír). K jiným změnám během 5 let měření nedošlo. Jednotlivé lokality včetně základní charakteristiky z pohledu ovzduší uvádí následující Tab. 1. Detailní popis lokalit včetně fotografií je pak uveden ve zprávě z roku 2013 za první rok měření a nové lokality jsou pak uvedeny ve zprávě z roku 2016.

Tab. 1 – Kategorizace lokalit dle ovlivnění jednotlivými zdroji a mírou provětrávání

Lokalita	Doprava	Plynofikace	Lok. topení	Ventilovaná	Inverzní	Zástavba
Bochovice	ne	ne	ano	ano	ne	ne
Bystřice n.P.	ano	ano	ano	ano	ne	ano
Golčův Jeníkov	ne	ano	ano	ano	ne	ano
Havl.Brod	ano	ano	ne	ano	ne	ne
Hrotovice	ne	ano	ano	ano	ne	ne
Humpolec	ne	ano	ano	ano	ne	ne
Chotěboř	ano	ano	ano	ano	ne	ne
Jihlava	ano	ano	ne	ano	ne	ne
Kamenice n.L.	ne	ano	ne	ano	ne	ne
Lukavec	ano	ano	ano	ne	ne	ano
Mor. Budějovic	ano	ano	ano	ano	ne	ne
Nové M.n.M.	ne	ano	ano	ano	ne	ne
Náměšť n.O.	ano	ano	ano	ano	ne	ne
Okříšky	ano	ano	ano	ano	ne	ne
Pacov	ano	ano	ano	ano	ne	ne
Pelhřimov	ano	ano	ano	ne	ano	ne
Rozsochy *	ne	ano	ano	ano	ne	ne
Světlá n. S. *	ne	ano	ano	ano	ne	ne
Telč	ne	ano	ano	ano	ne	ne
Třebíč	ne	ano	ne	ano	ne	ne
V. Bíteš	ano	ano	ano	ano	ne	ne
V. Meziříčí	ne	ano	ano	ne	ano	ano
Žďár n.S.	ano	ano	ano	ne	ano	ne
Ždírec n.D.	ano	ano	ano	ano	ne	ne
Ledeč n.S. **	ano	ano	ano	ne	ano	ano
Vír **	ne	ano	ano	ne	ano	ne

* Lokality měřily v období od 10/2012 do 09/2015

** Lokality měřily v období od 10/2015 do 09/2017

3 Měřené škodliviny

V rámci celého projektu probíhalo **kontinuální měření** na všech uvedených lokalitách, a to vždy 14 dní vždy 4 x za rok. V rámci tohoto kontinuálního měření byly analyzovány následující veličiny (**tučně** uvedené veličiny mají legislativou [1], [2] stanoveny imisní limity):

- Suspendované částice (prašnost) frakce **PM₁₀** a **PM_{2,5}**
- Oxidy dusíku – NO, **NO₂** a NO_x
- Oxid siřičitý – **SO₂**
- Meteorologické prvky (rychlost a směr větru, teplota, vlhkost)

Kontinuálně byl dále také sledován přízemní ozón, avšak jeho měření neprobíhalo na všech lokalitách a hodnocení je prováděno pouze pro lokality Jihlava a Žďár nad Sázavou. Přízemní ozón není nijak vypouštěn, ale vzniká až v atmosféře reakcí oxidů dusíku a těkavých organických látek. Ke svému vzniku potřebuje především teplo a sluneční záření. Proto není potřeba měřit úplně všude – postačí několik referenčních míst. Všechna kontinuální měření pak byla srovnána se stanicemi státní sítě imisního monitoringu (SSIM) v Jihlavě (městská stanice) a Košetících (venkovská pozadřová stanice).

Mimo kontinuální měření probíhal v rámci projektu také **odběr a analýza organických látek** v ovzduší. Těkavé organické látky a polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) byly 4x ročně odebírány na 12 vybraných lokalitách (viz kapitola věnovaná těmto škodlivinám). Takto odebrané vzorky byly následně analyzovány v chemických laboratořích. Důraz byl kladen zejména na legislativní zástupce těchto dvou skupin organických látek – **benzen** (zástupce těkavých organických látek) a **benzo[*a*]pyren** (zástupce PAH).

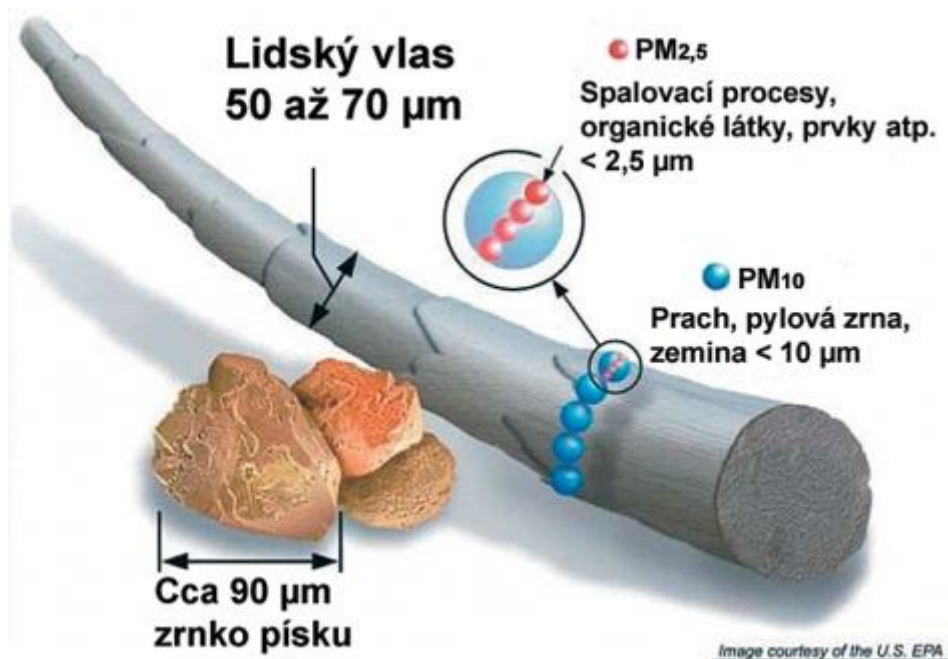
V Jihlavě a v Bochovicích (jediná neplynofikovaná obec ve výběru) byly navíc speciálně odebírány a stanovovány polychlorované dibenzo-*p*-dioxiny a polychlorované dibenzofurany (PCDD/F), které spadají do kategorie persistentních organických polutantů (POPs). Dioxiny nemají žádný užitek a nebyly nikdy cíleně vyráběny. Jako nechtěný produkt vznikají při spalování fosilních paliv a odpadu, do prostředí se také uvolňují během průmyslové výroby, která má co dočinění s chlórem. Tyto látky nemají v legislativě ČR stanoveny imisní limity, ale jsou sledovány např. v rámci Stockholmské úmluvy [3].

V Jihlavě pak byl jednou měsíčně odebírán také formaldehyd (HCHO).

4 Vyhodnocení kvality ovzduší

4.1 Suspendované částice PM₁₀ a PM_{2,5}

Z hlediska platné legislativy [1] jsou v ovzduší sledovány dvě velikostní frakce suspendovaných částic. Jedná se o hrubší frakci PM₁₀ (suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 10 µm) a jemnější frakci PM_{2,5} (suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 2,5 µm). Názorně jsou tyto částice velikostně srovnány s lidským vlasem na Obr. 1.



Obr. 1 – Srovnání velikostí částic PM₁₀ a PM_{2,5} s lidským vlasem a zrnkem písku. Zdroj: US EPA

Pro výše uvedené frakce suspendovaných částic jsou v příloze 1 zákona o ochraně ovzduší [1] uvedeny imisní limity. Pro hrubší frakci PM₁₀ platí imisní limit pro průměrnou roční koncentraci a dále pro denní koncentraci s tím, že tato může být 35x za kalendářní rok překročena. V případě PM_{2,5} platí imisní limit pouze pro průměrnou roční koncentraci.

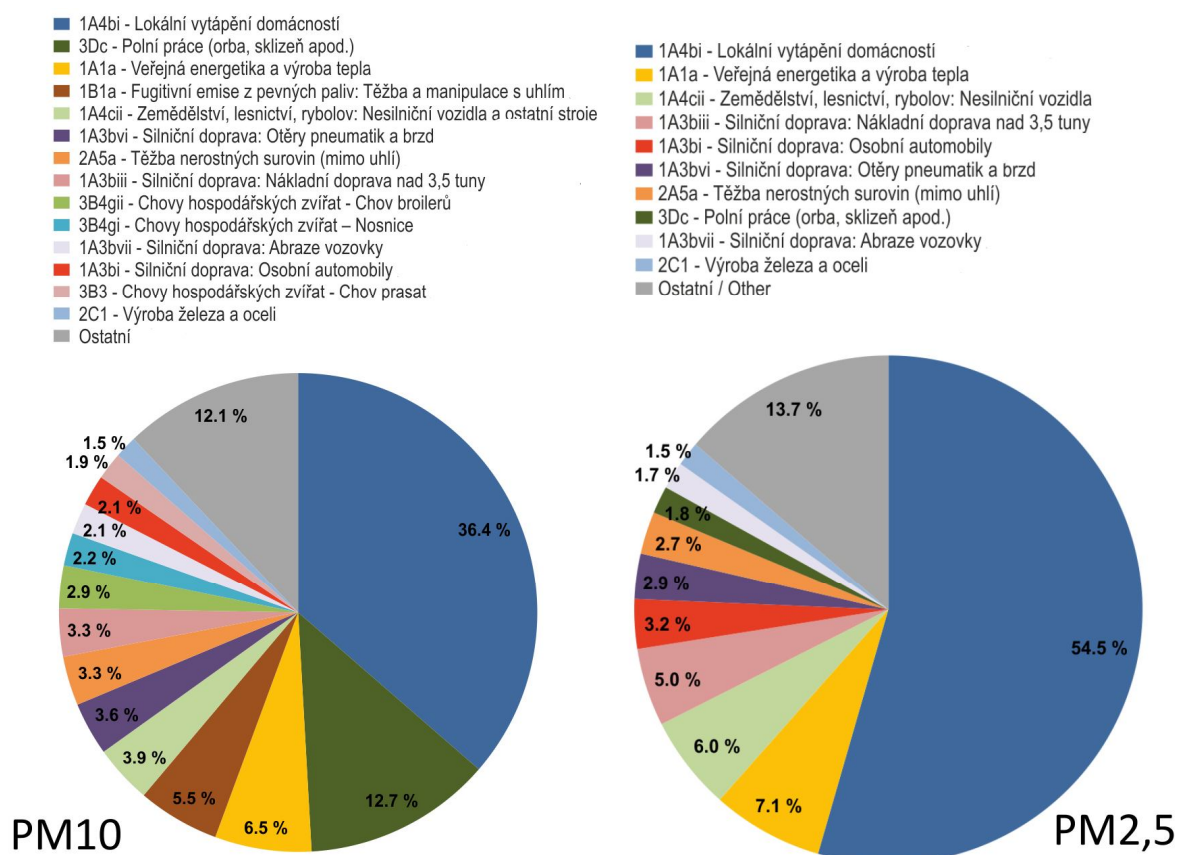
Tab. 2 – Imisní limity platné pro suspendované částice [1]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální povolený počet překročení
Suspendované částice PM ₁₀	24 hodin	50 µg.m ⁻³	35 za kalendářní rok
Suspendované částice PM ₁₀	1 kalendářní rok	40 µg.m ⁻³	
Suspendované částice PM _{2,5}	1 kalendářní rok	25 µg.m ⁻³	

Pozn. S účinností od 01. 01. 2020 bude imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM_{2,5} zpřísněn na hodnotu 20 µg.m⁻³.

Částice obsažené ve vzduchu lze rozdělit na primární a sekundární. Primární částice jsou emitovány přímo do atmosféry, ať již z přírodních (např. sopečná činnost, pyl nebo mořský aerosol) nebo z antropogenních zdrojů (např. spalování paliv ve stacionárních i mobilních zdrojích, otěry pneumatik, brzd a vozovek). Sekundární částice jsou převážně antropogenního původu a vznikají v atmosféře ze svých plynných prekurzorů SO₂, NO_x, NH₃ a VOC procesem nazývaným konverze plyn-částice. Z důvodu různorodosti emisních zdrojů mají suspendované částice různé chemické složení a různou velikost.

Emisní inventury částic PM₁₀ a PM_{2,5} prováděné podle současných metodik zahrnují pouze emise produkované primárními zdroji. Ve srovnání s emisemi jiných znečišťujících látek jsou emise PM_x vnášeny do ovzduší z velkého počtu významnějších skupin zdrojů. Kromě zdrojů, ze kterých jsou tyto látky vypouštěny řízeně komínem nebo výdouchy (průmyslové zdroje, lokální topeniště, doprava), pochází významné množství emisí PM ze zdrojů fugitivních (kamenolomy, skládky prašných materiálů, operace s prašnými materiály apod.). Zahrnuty jsou rovněž emise z otěrů pneumatik, brzdového obložení a abraze vozovek vypočítávané z dopravních výkonů. Kvalitu ovzduší ovlivňuje rovněž resuspenze částic (znovuzvíření), která do standardně prováděných emisních inventur není zahrnuta.



Obr. 2 - Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM₁₀ (vlevo) a PM_{2,5} (vpravo) v ČR v roce 2015 [4]

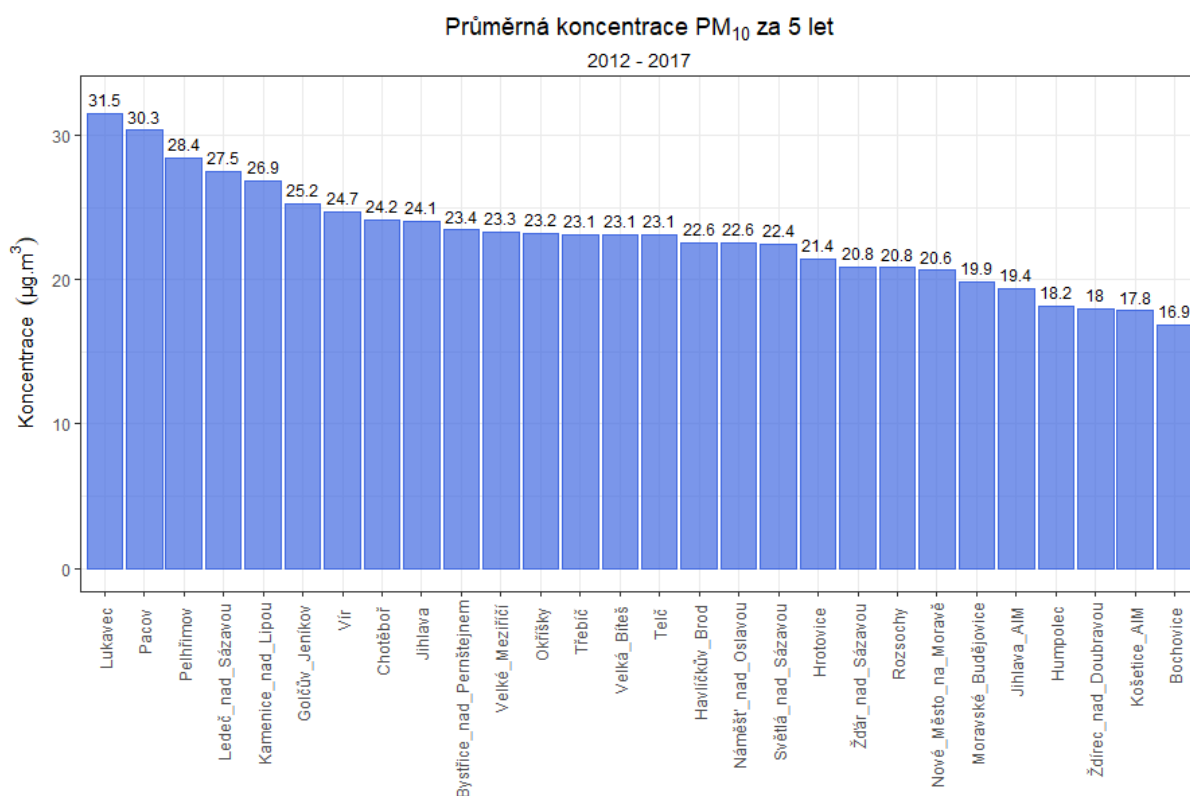
Mezi hlavní zdroje emisí PM_x v roce 2015 patřil sektor 1A4bi-Lokální vytápění domácností, který se podílel na znečišťování ovzduší v celorepublikovém měřítku látkami PM₁₀ 36,4 % a PM_{2,5} 54,5 % (Obr. 2) [5]. Mezi další významné zdroje emisí PM₁₀ patří 3Dc-Polní práce, kde tyto emise vznikají při zpracování půdy, sklizni a čištění zemědělských plodin. Tento sektor představoval 12,7 % emisí PM₁₀. Z hlediska účinku na lidské zdraví jsou velkým rizikem emise částic pocházející z dopravy, především ze spalování paliv ve vznětových motorech, které produkují částice o velikosti jednotek až stovek nm [6]. Sektory 1A3biii-Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 tuny a 1A3bi-Silniční doprava: Osobní automobily se na emisích PM₁₀ podílely 5,4 % a na emisích PM_{2,5} 8,2 %.

Suspendované částice mají významné zdravotní důsledky, které se projevují již při velmi nízkých koncentracích bez zřejmé spodní hranice bezpečné koncentrace. Zdravotní rizika částic ovlivňuje jejich koncentrace, velikost, tvar a chemické složení. Při akutním působení částic může dojít k podráždění sliznic dýchací soustavy, zvýšené produkci hlenu apod. Tyto změny mohou způsobit snížení imunity a zvýšení náchylnosti k onemocnění dýchací soustavy. Opakující se onemocnění mohou vést ke vzniku chronické bronchitidy a kardiovaskulárním potížím. Při akutním působení částic může dojít k zvýraznění symptomů u astmatiků a navýšení celkové nemocnosti a úmrtnosti populace. Dlouhodobé vystavení působení částic může vést ke vzniku onemocnění respiračního a kardiovaskulárního systému. Míra zdravotních důsledků je ovlivněna řadou faktorů, jako je například aktuální zdravotní stav jedince, alergická dispozice nebo kouření. Citlivou skupinou jsou děti, starší lidé a lidé trpící onemocněním dýchací a oběhové soustavy. Nejzávažnější zdravotní dopady, tj. kardiovaskulární a respirační účinky a navýšení úmrtnosti, mají jemné a ultra jemné částice s velikostí aerodynamického průměru pod 1 μm [7], [8].

4.1.1 Průměrné roční koncentrace PM₁₀

Jak již bylo uvedeno, v každé lokalitě se měřilo 8 týdnů za kalendářní rok. To je dle legislativy [2] dostačující počet pro „orientační měření“, avšak pro srovnání s imisními limity je vhodnější použít co nejvíce dat. Navíc každý rok je meteorologicky jiný, proto i zákon o ochraně ovzduší [1], §11, odst. 5 a 6, doporučuje hodnocení na základě pětiletých průměrů.

Hodnocení jednotlivých lokalit bude tedy probíhat na základě průměru za celých 5 let měření. Následující Obr. 3 zobrazuje tuto průměrnou koncentraci na všech lokalit ISKOV a lokalit SSIM Jihlava a Košetice, seřazené od nejvyšší po nejnižší hodnotu koncentrace PM₁₀.

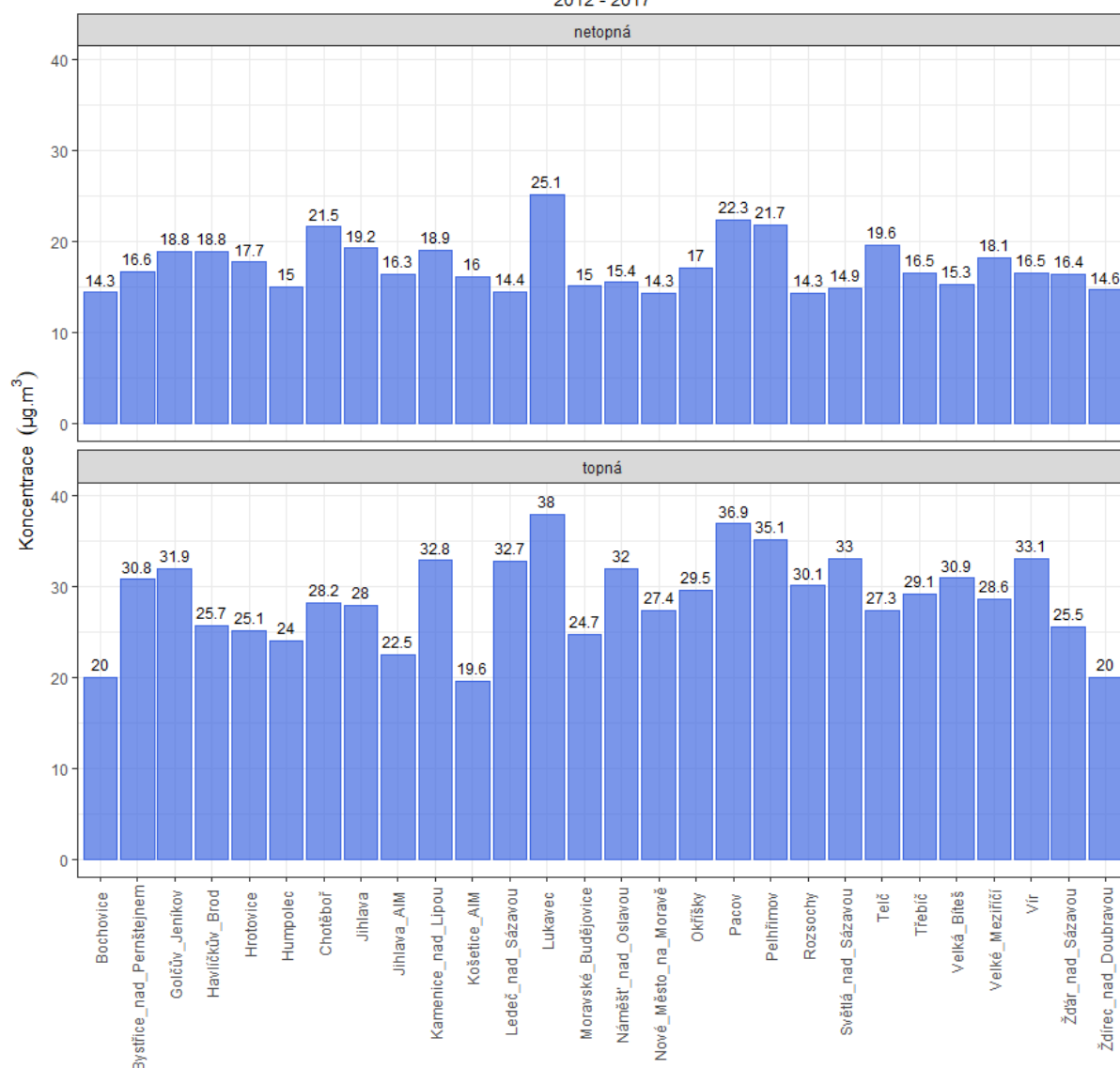


Obr. 3 – Průměrná koncentrace PM₁₀ za 5 let, lokality ISKOV, AIM Jihlava a Košetice, 10/2012 – 09/2017

Z grafu na Obr. 3 je patrné, že v průměru nejvyšších hodnot dosahují lokality Lukavec a Pacov, následují lokality Pelhřimov, Ledec nad Sázavou (měřilo se pouze 2 roky) a Kamenice nad Lipou. Žádná z lokalit by však nepřekročila imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM₁₀ (40 µg·m⁻³). Naopak nejnižší hodnoty byly dlouhodobě měřeny v lokalitách Bochovice a Košetice. V Lukavci a Pacově byly měřeny téměř dvojnásobné hodnoty koncentrací PM₁₀ proti Bochovicím. Průměrné koncentrace za každý rok kampaně pro všechny lokality zobrazuje Obr. 6.

Pokud tyto průměrné koncentrace rozdělíme na topnou (říjen – březen) a netopnou (duben – září) sezónu, dostaneme následující graf na Obr. 4.

Průměrná koncentrace PM₁₀ v topné a netopné sezóně za 5 let
2012 - 2017



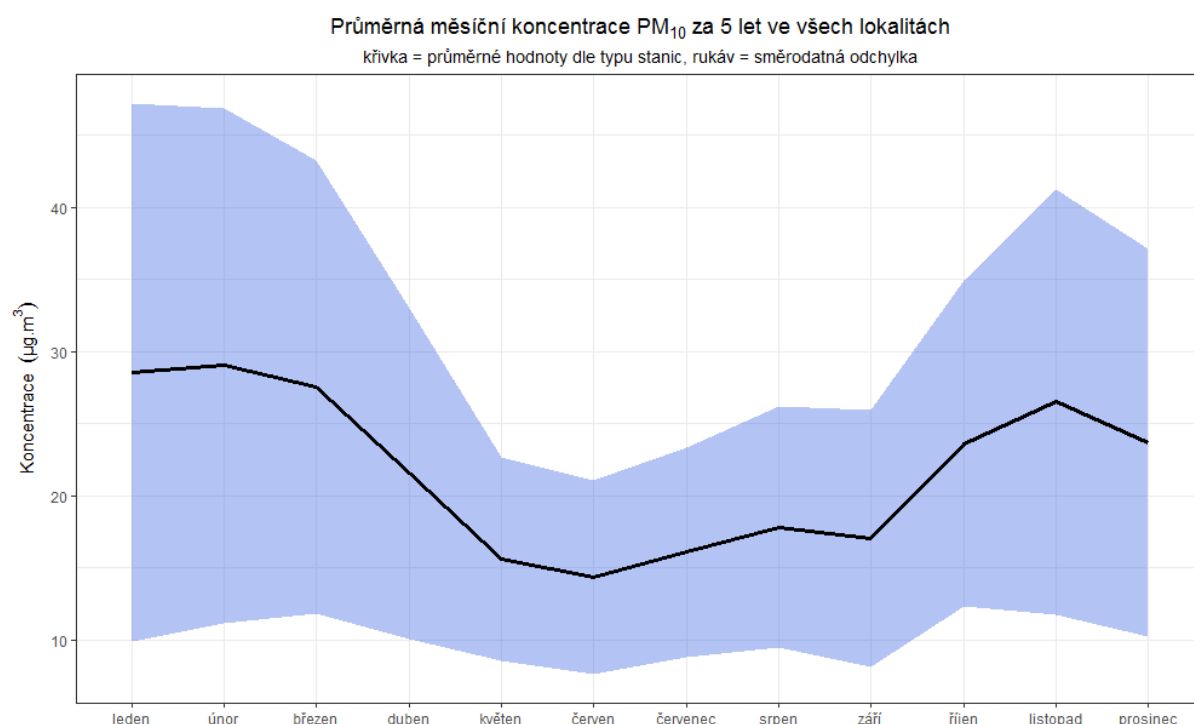
Obr. 4 - Průměrná koncentrace PM₁₀ za 5 let v topné a netopné sezóně, lokality ISKOV, AIM Jihlava a Košetice, 10/2012 – 09/2017

Oba grafy mají stejné měřítko, proto je na první pohled patrné, že v topné sezóně jsou měřeny vyšší koncentrace než v sezóně netopné. Absolutní rozdíl mezi topnou a netopnou sezónou se pohyboval od 3,6 µg·m⁻³ v Košeticích až po 18,4 µg·m⁻³ v Ledči nad Sázavou (měření pouze 2 roky) a 18,2 ve Světlé nad Sázavou (měření 3 roky). Z relativního hlediska navýšila topná sezóna koncentrace PM₁₀ na Vysočině minimálně o 22,5 % (Košetice) a maximálně o 128 % (Ledeč nad Sázavou). V průměru za 5 let a všechny hodnocené lokality navýšila topná sezóna koncentrace PM₁₀ o 68 %.

Z grafu na Obr. 4 jsou rovněž patrné zvýšené koncentrace v Lukavci, Pacově a Pelhřimově v letní i zimní sezóně. Tato skutečnost naznačuje, že koncentrace nejsou zvýšeny pouze topnou sezónou, ale je zde zřejmě jiný zdroj znečištění s celoročním chodem nezávislým na topné sezóně. V případě Pelhřimova a Pacova se zřejmě bude jednat o vliv dopravy,

v případě obce Lukavec může do koncentrací významně promlouvat místní dřevozpracující družstvo (průmysl, zdroj REZZO1) a s ním spojená logistika (doprava). Naopak v případě Ledče nad Sázavou je patrné, že se koncentrace PM_{10} v topné sezóně více než zdvojnásobily. V tomto případě se zřejmě spojily dva faktory, které v topné sezóně výrazně navyšují koncentrace proti sezóně netopné. Jedná se o vytápění (zejména lokální topeniště) a orografie terénu – lokalita je náchylná k výskytu teplotních inverzí, a ty jsou častější a silnější v chladné části roku. Z toho důvodu jsou v topné sezóně měřeny výrazně vyšší koncentrace PM_{10} než v netopné sezóně. Podobná situace může nastávat také v lokalitě Vír, Světlá nad Sázavou či Náměšť nad Oslavou.

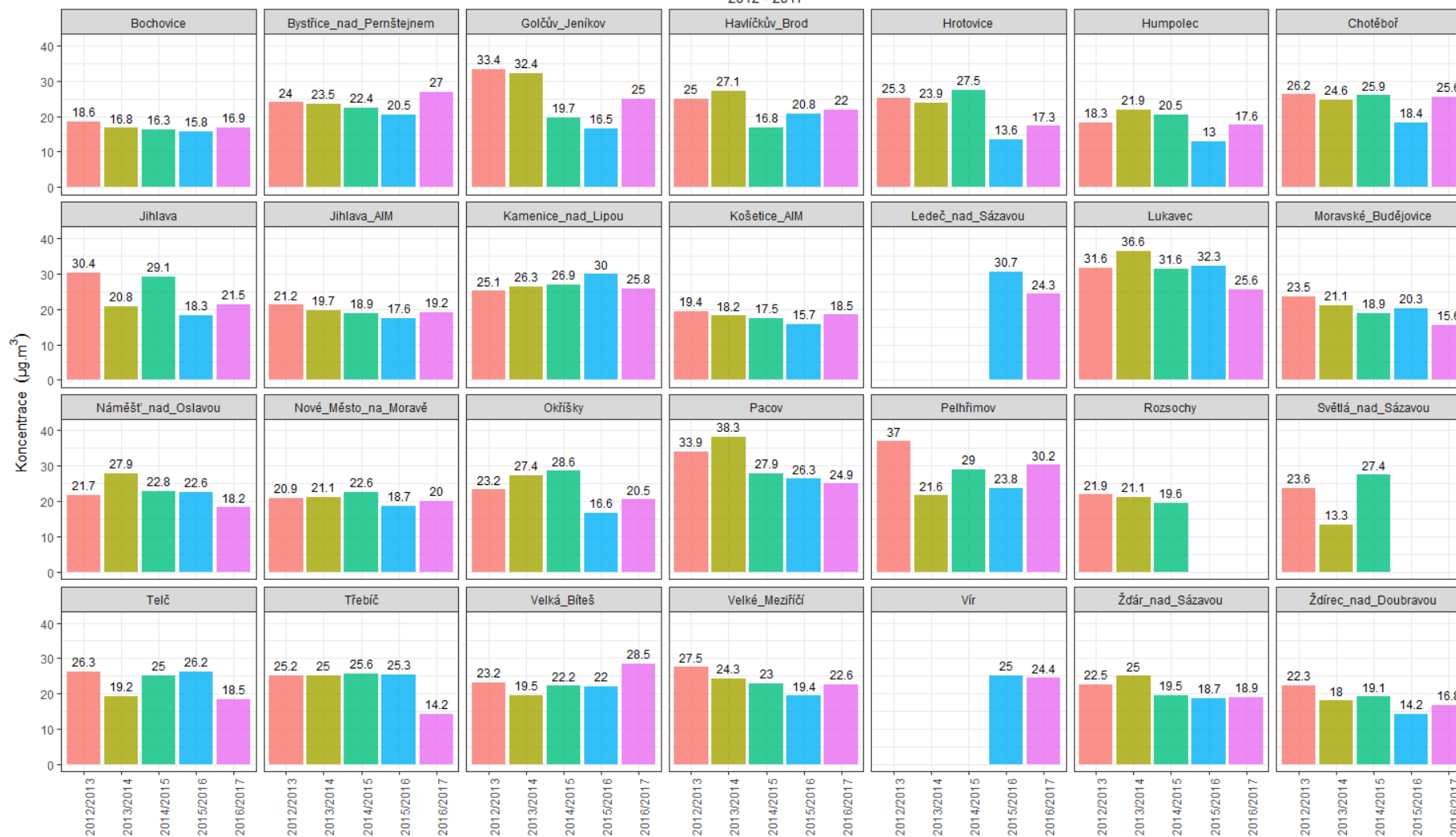
Průměrný chod měsíčních koncentrací PM_{10} na Vysočině pak zobrazuje následující Obr. 5. Černá křivka zobrazuje průměrnou hodnotu pro každý měsíc, vypočtenou ze všech měřících lokalit za všech 5 let měření. Modrá plocha (rukáv) zobrazuje směrodatnou odchylku.



Obr. 5 – Průměrný vývoj měsíčních koncentrací PM_{10} na Vysočině vypočtený ze všech lokalit za 5 let

Z grafu je patrné, že maximálních hodnot je dosahováno v lednu, únoru a také v březnu, tedy především v nejchladnějších měsících roku. S končící topnou sezónou průměrná měsíční koncentrace PM_{10} prudce klesá a od května do září se pohybuje na zhruba polovičních hodnotách proti lednovým či únorovým koncentracím. Nejnížší koncentrace jsou v průměru měřeny v červnu. S nastupující topnou sezónou v říjnu koncentrace opět vzrůstají, v listopadu jsou pak měřeny vyšší koncentrace než v prosinci, což může být důsledek pálení listí, úklidu a intenzivnějšího topení.

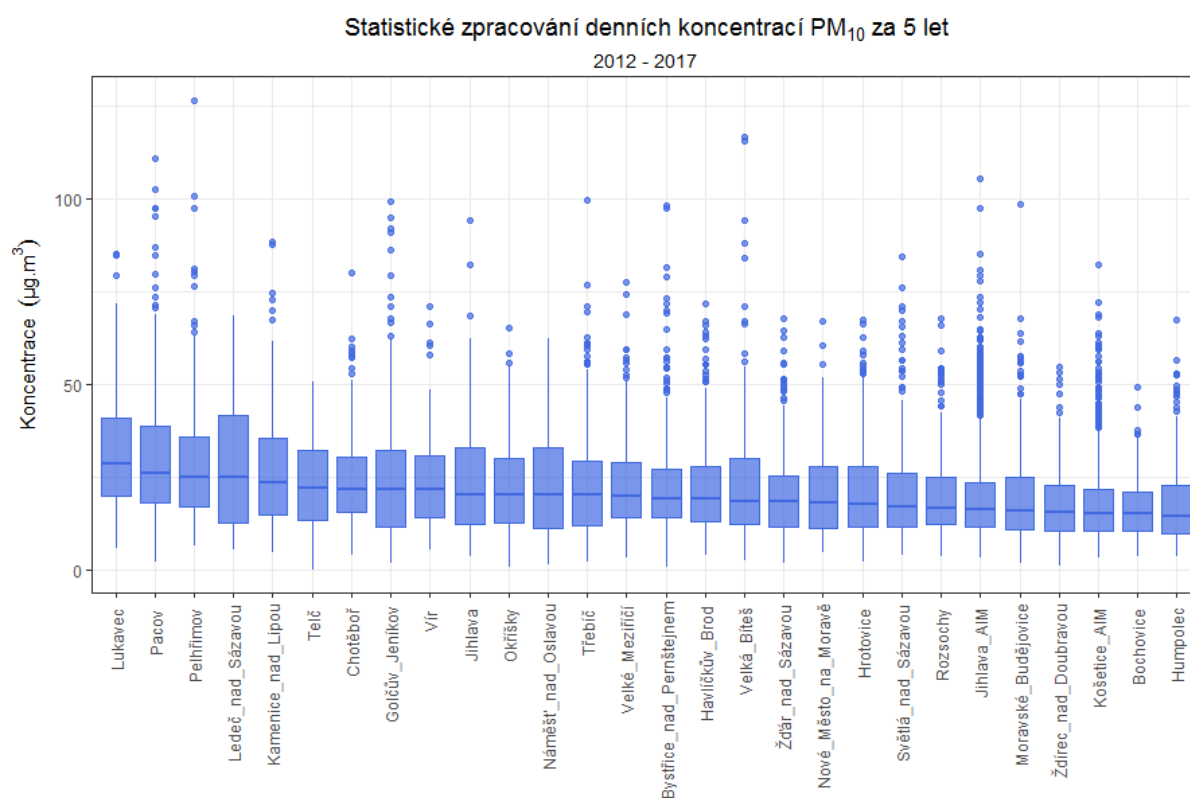
Průměrná roční koncentrace PM₁₀ v jednotlivých kampaních a typech lokalit
2012 - 2017



Obr. 6 – Průměrné koncentrace PM₁₀ na všech měřících lokalitách v jednotlivých ročních kampaních (vždy říjen – září), Vysočina, 2012 - 2017

4.1.2 Průměrná denní koncentrace PM₁₀ a srovnání s imisním limitem

Suspendované částice PM₁₀ mají imisní limit také pro průměrnou denní koncentraci. Proto je důležité znát nejen průměrnou hodnotu za celé sledované období, ale mít také povědomí o rozložení koncentrací PM₁₀ v jednotlivých dnech. Pro hodnocení je pak důležité statistické zpracování všech průměrných denních koncentrací pomocí krabicových grafů (Obr. 7). Ona krabice zobrazuje dolní kvartil, střední hodnotu (medián) a horní kvartil a vymezuje tak koncentrace, ve kterých se vyskytuje 50 % všech naměřených hodnot. Graf rovněž zobrazuje odlehlé hodnoty (bodově), které mohly být způsobeny lokálním ovlivněním či nepříznivými rozptylovými podmínkami a mohou silně ovlivnit průměrné hodnoty. Jednotlivé lokality jsou seřazeny sestupně dle střední hodnoty koncentrací.



Obr. 7 – Statistické zpracování průměrných denních koncentrací PM₁₀ v jednotlivých lokalitách ISKOV, 2012 – 2017

Z grafu je patrné, že u většiny lokalit není rozpětí „krabice“ příliš velké, 50 % měření se tedy vyskytuje v relativně úzkém intervalu koncentrací a jednotlivé lokality se po celou dobu měření chovaly uniformně. Mírně větší rozptyl koncentrací lze pozorovat např. v lokalitě Ledeč nad Sázavou, což může být vysvětleno topnou sezónou (viz výše). Obdobně je na tom také Náměšť nad Oslavou, popř. Golčův Jeníkov.

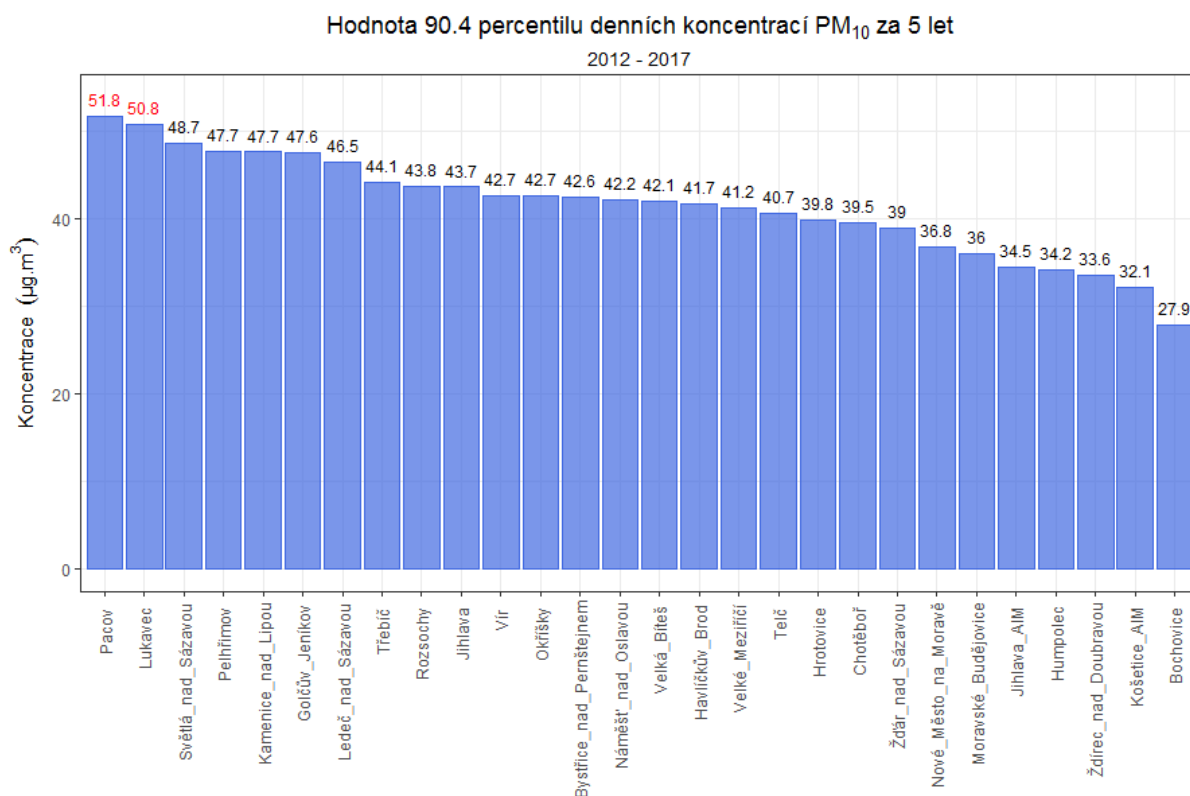
Rovněž je dobře patrný výskyt odlehlých hodnot. V případě mediánu koncentrací PM₁₀ vychází lokalita Humpolec nejlépe, lépe než Bochovice. Avšak z hlediska průměru je horší (Obr. 3). To je způsobeno právě vyšším počtem odlehlých hodnot, navíc odlehlé hodnoty jsou

koncentračně výš, než u Bochovic. Tyto odlehlé hodnoty silně ovlivní průměr, avšak neovlivní střední hodnotu.

Důležité je také všimnout si některých odlehlých hodnot s velmi vysokými koncentracemi PM₁₀ (např. Pelhřimov, Velká Bíteš, Pacov). Tyto odlehlé hodnoty mohou mít hodnotu až okolo 100 µg·m⁻³ a byly téměř **ve všech případech způsobeny velmi špatnými rozptylovými podmínkami ze začátku roku 2017**, které ve většině krajů ČR vedly k vyhlášení smogových situací a regulací. Kraj Vysočina jako jeden z mála nemusel smogovou situaci vyhlášovat, přesto i zde se měřily velmi vysoké koncentrace PM₁₀ (vysvětlení této situace je ve zprávě z měření 2016/2017). V této době vysokých koncentrací měřily právě lokality Pelhřimov, Pacov, Velká Bíteš nebo Jihlava, a proto jsou takto vysoké koncentrace právě u těchto lokalit a mohly do značné míry ovlivnit i celkový průměr v této lokalitě. Kdyby během této epizody zhoršených rozptylových podmínek měřily jiné lokality, je pravděpodobné, že by tyto vysoké koncentrace naměřily také.

Jak již bylo uvedeno výše, pro průměrnou denní koncentraci existuje v legislativě [1] imisní limit. Ten má **hodnotu 50 µg·m⁻³**, a za kalendářní rok může být 35x překročen. **Proto se vždy hodnotí 36. nejvyšší denní koncentrace PM₁₀ za kalendářní rok, a pokud je vyšší než 50 µg·m⁻³, je překročen imisní limit.** Tato hodnota je z logiky věci velmi citlivá na počet měření. Pokud se za kalendářní rok provede pouze cca 60 měření (8 týdnů v každé lokalitě za rok), tak bude 36. nejvyšší hodnota výrazně jiná, než v případě regulérního měření SSIM, kde je k dispozici cca 350 naměřených hodnot. **I proto se v hodnocení kvality ovzduší na území ČR počítá tato charakteristika pouze tehdy, pokud je za kalendářní rok naměřeno alespoň 90 % primárních dat.** Této podmínce nemůže žádná z lokalit vyhovět.

Pro hodnocení lokalit ISKOV se tedy opět využije celého pětiletého intervalu u všech lokalit. Pro hodnocení této pětileté periody z hlediska překračování denního imisního limitu je použit 90,4 percentil průměrných denních koncentrací, tak jak je to uváděno v evropských zprávách o kvalitě ovzduší [9]. Naměřené hodnoty zobrazuje Obr. 8.



Obr. 8 – Hodnota 90,4 percentilu průměrných denních koncentrací PM₁₀ v jednotlivých lokalitách ISKOV, 2012 – 2017

Z grafu na Obr. 8 vyplývá, že v lokalitách Pacov a Lukavec s největší pravděpodobností dochází k překročení imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM₁₀ (hodnoty zobrazeny červeně). Tyto lokality dosahovaly také nejvyšších průměrných koncentrací. Těsně pod hodnotou imisního limitu zůstala lokalita Světlá nad Sázavou, avšak je potřeba mít na paměti, že lokality Ledeč nad Sázavou a Vír měřily pouze 2 roky a lokality Světlá nad Sázavou a Rozsochy pouze 3 roky, tudíž hodnoty u těchto lokalit jsou významně ovlivněny nižším počtem vstupních dat. Z důvodu ukončení měření po 3 letech tedy není možné usuzovat, zda-li by lokalita překračovala nebo nepřekračovala tento imisní limit. Následují lokality Pelhřimov, Kamenice nad Lipou a Golčův Jeníkov s téměř totožnou hodnotou koncentrace, která sice nepřekročila hodnotu imisního limitu 50 µg·m⁻³, ale leží v její těsné blízkosti. Pokud by se vyskytlo několik chladných let po sobě popř., pokud by v dopravních lokalitách klesala plynulost dopravy, mohly by i tyto lokality překročit imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM₁₀.

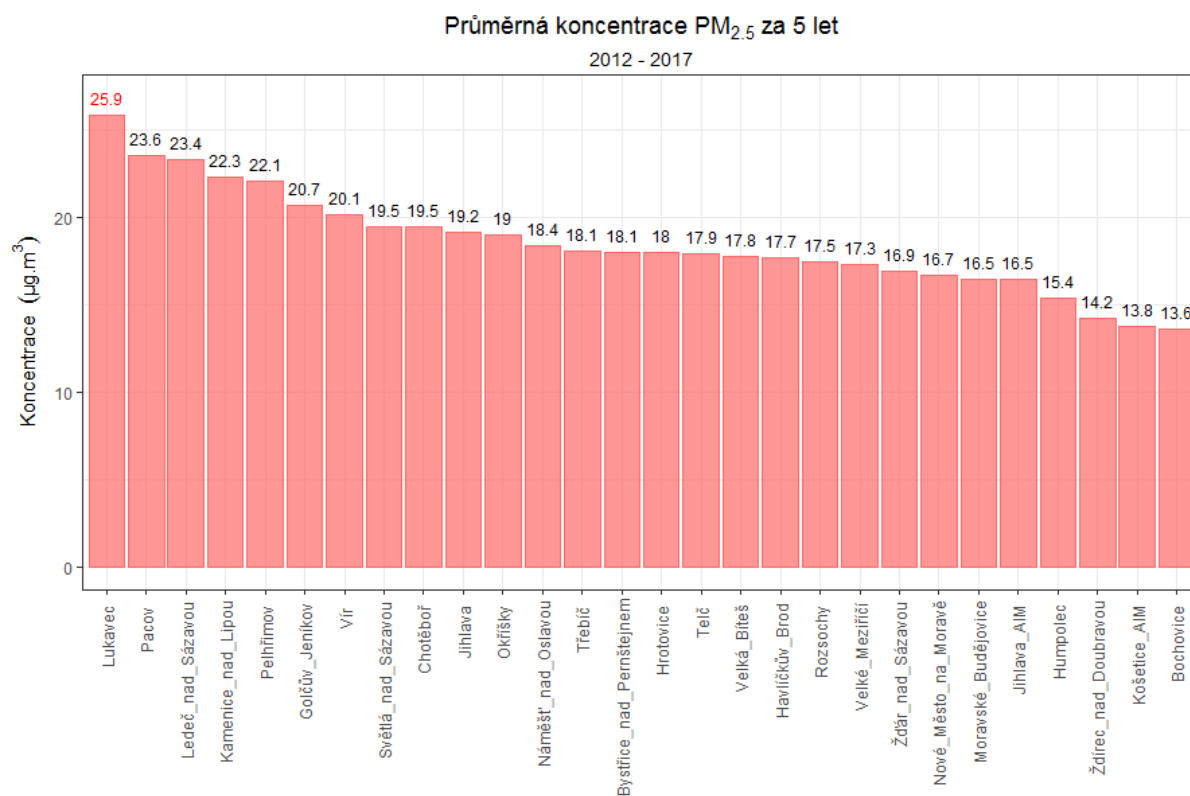
Nejmenší koncentrace pak byla naměřena v Bochovicích. Lokalita zřejmě není silně zatížena, je velmi dobře provětrávaná, a pravděpodobně v ní neprobíhalo měření během zhoršených rozptylových podmínek, a proto jsou zde koncentrace výrazně nižší.

4.1.3 Průměrné roční koncentrace PM_{2,5}

Částice PM_{2,5} jsou „jemnější“ frakcí suspendovaných částic než PM₁₀. Proto způsobují pro lidský organismus větší riziko, protože díky menšímu průměru se mohou dostat v lidském organismu dále a způsobit větší škody. Zatímco částice PM₁₀ deponují zejména v horních cestách dýchacích, částice PM_{2,5} deponují v dolních cestách dýchacích, v plicích. Tyto částice mají často velký povrch, na který se mohou adsorbovat další látky, jako těžké kovy a polycyklické aromatické uhlovodíky. Samotná částice tak může sloužit jako nosič, na kterém se tyto karcinogenní a toxické látky mohou snáze dostat do lidského těla.

Jak již bylo uvedeno, v každé lokalitě se měřilo 8 týdnů za kalendářní rok. To je dle legislativy [2] dostačující počet pro „orientační měření“, avšak pro srovnání s imisními limity je vhodnější použít co nejvíce dat. Navíc každý rok je meteorologicky jiný, proto i zákon o ochraně ovzduší [1], §11, odst. 5 a 6, doporučuje hodnocení na základě pětiletých průměrů.

Hodnocení jednotlivých lokalit bude tedy probíhat na základě průměru za celých 5 let měření. Následující Obr. 9 zobrazuje tuto průměrnou koncentraci na všech lokalit ISKOV a lokalit SSIM Jihlava a Košetice, seřazené od nejvyšší po nejnižší hodnotu koncentrace PM_{2,5}.



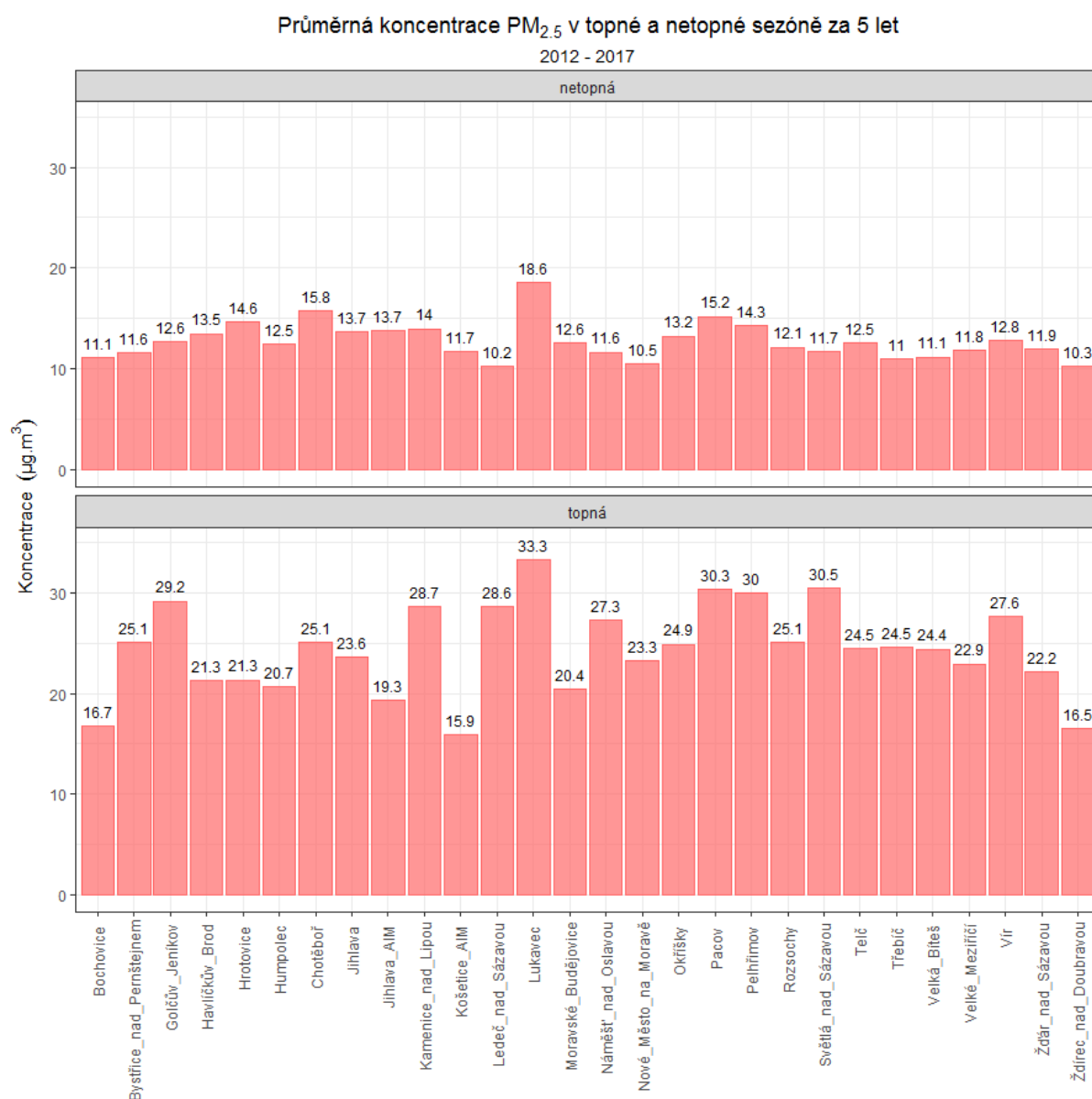
Obr. 9 – Průměrná koncentrace PM_{2,5} za 5 let, lokality ISKOV, AIM Jihlava a Košetice, 10/2012 – 09/2017

Z grafu na Obr. 9 je patrné, že v průměru nejvyšších hodnot dosahuje **lokality Lukavec, která zároveň jako jediná překračuje imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM_{2,5}** (hodnota zobrazena červeně). Následují lokality Pacov, Ledeč nad Sázavou (měřilo se pouze 2 roky), Kamenice nad Lipou, Pelhřimov, Golčův Jeníkov a Vír. Tyto lokality v současnosti sice

nepřekračují imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM_{2,5}, avšak po **zpřísnění tohoto limitu v roce 2020 na 20 µg·m⁻³** [10] může docházet k překračování imisního limitu i v těchto lokalitách.

Naopak nejnižší hodnoty byly dlouhodobě měřeny v lokalitách Bochovice a Košetice. V Lukavci a Pacově byly měřeny téměř dvojnásobné hodnoty koncentrací PM_{2,5} proti Bochovicím či Košetickým. Průměrné koncentrace za každý rok kampaně pro všechny lokality zobrazuje Obr. 12.

Pokud tyto průměrné koncentrace rozdělíme na topnou (říjen – březen) a netopnou (duben – září) sezónu, dostaneme následující graf na Obr. 10.



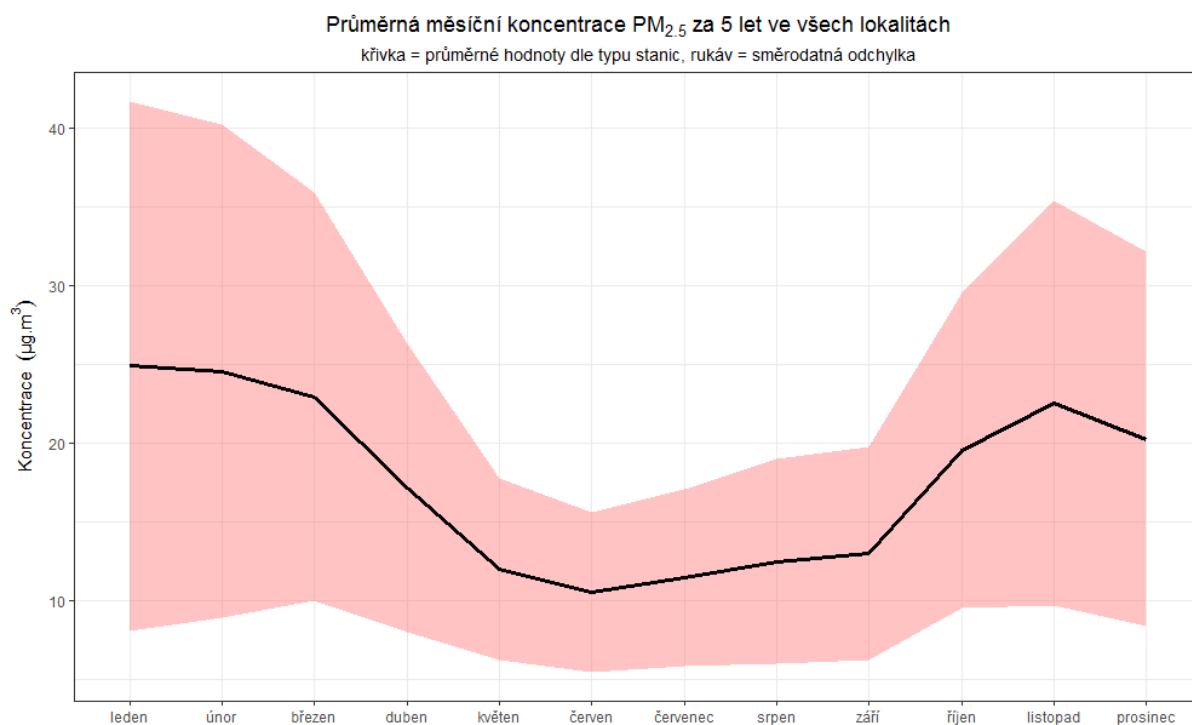
Obr. 10 - Průměrná koncentrace PM_{2,5} za 5 let v topné a netopné sezóně, lokality ISKOV, AIM Jihlava a Košetice, 10/2012 – 09/2017

Oba grafy mají stejné měřítko, proto je na první pohled patrné, že v topné sezóně jsou měřeny výrazně vyšší koncentrace než v sezóně netopné. To odpovídá i emisní bilanci pro PM_{10} a $PM_{2,5}$ (Obr. 2), ze které vyplývá, že lokální topeniště se více podílí na emisích $PM_{2,5}$ než na emisích PM_{10} . Absolutní rozdíl mezi topnou a netopnou sezónou se pohyboval od $4,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v Košetících až po $18,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ve Světlé nad Sázavou (měření pouze 3 roky) a $18,4$ ve Světlé nad Sázavou (měření 2 roky). Z relativního hlediska navýšila topná sezóna koncentrace $PM_{2,5}$ na Vysočině minimálně o 36 % (Košetice) a maximálně o 180 % (Ledč nad Sázavou). V průměru za 5 let a všechny hodnocené lokality navýšila topná sezóna koncentrace $PM_{2,5}$ o 94 % - **topná sezóna tedy na Vysočině prakticky zdvojnásobí hodnoty $PM_{2,5}$ mimo topnou sezónu.**

Z grafu na Obr. 10 jsou rovněž patrné zvýšené koncentrace v Lukavci v letní i zimní sezóně. Tato skutečnost naznačuje, že koncentrace nejsou zvýšeny pouze topnou sezónou, ale je zde zřejmě jiný zdroj znečištění s celoročním chodem nezávislým na topné sezóně. Situace se mírně liší od PM_{10} , kde byly mimo topnou sezónu měřené zvýšené koncentrace v Pacově a Pelhřimově, což se v případě $PM_{2,5}$ nestalo. V těchto dvou lokalitách se tedy na zvýšených koncentracích PM_{10} podílely především otěry (pneumatik, brzdového obložení, vozovky – viz Obr. 2), které spíše odpovídají hrubší frakci. Spalovací procesy a lokální topeniště se více podílí na jemnější frakci $PM_{2,5}$. Z uvedeného vyplývá, že zvýšené koncentrace $PM_{2,5}$ i PM_{10} v Lukavci lze spíše přisuzovat významnému průmyslovému zdroji v obci včetně logistiky dieslovými nákladními vozidly, než dopravě jako celku, část znečištění pochopitelně pochází z lokálních topenišť. To potvrzují i nízké koncentrace NO_2 , vypovídající o nízké intenzitě dopravy (viz následující kapitola). I několik neudržovaných nákladních vozidel se staršími dieslovými motory tak může vyprodukovat velké množství částic a koncentrace NO_2 příliš neovlivnit.

V případě Ledče nad Sázavou je patrné, že se **koncentrace $PM_{2,5}$ v topné sezóně téměř ztrojnásobily**. V tomto případě se zřejmě spojily dva faktory, které v topné sezóně výrazně navyšují koncentrace proti sezóně netopné. Jedná se o vytápění (zejména lokální topeniště) a orografie terénu – lokalita je náchylná k výskytu teplotních inverzí, a ty jsou častější a silnější v chladné části roku. Z toho důvodu jsou v topné sezóně měřeny výrazně vyšší koncentrace $PM_{2,5}$ než v netopné sezóně. Podobná situace může nastávat také v lokalitě Vír, Světlá nad Sázavou či Náměšť nad Oslavou a dalších.

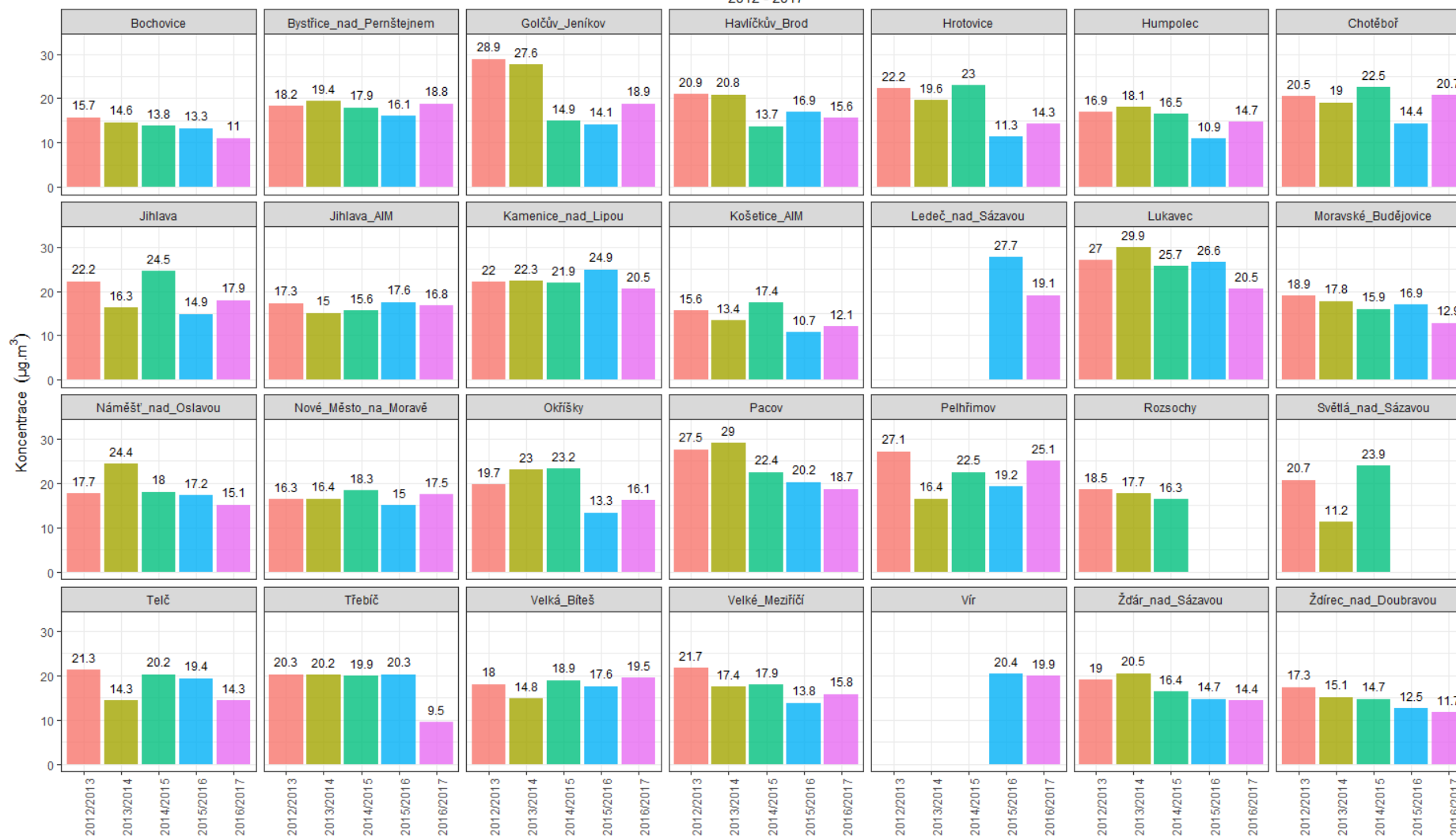
Průměrný chod měsíčních koncentrací $PM_{2,5}$ na Vysočině pak zobrazuje následující Obr. 11. Černá křivka zobrazuje průměrnou hodnotu pro každý měsíc, vypočtenou ze všech měřících lokalit za všech 5 let měření. Červená plocha (rukáv) zobrazuje směrodatnou odchylku.



Obr. 11 – Průměrný vývoj měsíčních koncentrací PM_{2,5} na Vysočině vypočtený ze všech lokalit za 5 let

Z grafu je patrné, že maximálních hodnot je dosahováno v lednu, únoru a pak také v březnu a listopadu, tedy především v nejchladnějších měsících roku. S končící topnou sezónou průměrná měsíční koncentrace PM_{2,5} prudce klesá a od května do září se pohybuje na méně než polovičních hodnotách proti lednovým či únorovým koncentracím. Nejnižší koncentrace jsou v průměru měřeny v červnu. S nastupující topnou sezónou v říjnu koncentrace opět vzrůstají, v listopadu jsou pak měřeny vyšší koncentrace než v prosinci, což může být důsledek pálení listí, úklidu a intenzivnějšího topení.

Průměrná roční koncentrace PM_{2.5} v jednotlivých kampaních a typech lokalit
2012 - 2017



Obr. 12 – Průměrné koncentrace PM_{2.5} na všech měřících lokalitách v jednotlivých ročních kampaních (vždy říjen – září), Vysočina, 2012 - 2017

4.2 Oxid dusičitý NO₂

Při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku (NO_x) rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂) [11].

Pro oxid dusičitý jsou v příloze 1 zákona o ochraně ovzduší [1] uvedeny dva imisní limity. Pro průměrnou roční koncentraci a pro hodinovou koncentraci, která může být za kalendářní rok 18 x překročena (Tab. 3).

Tab. 3 – Imisní limity platné pro oxid dusičitý NO₂ [1]

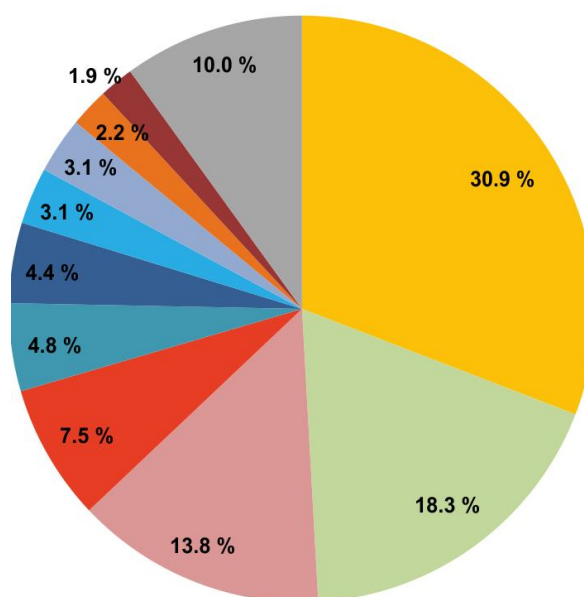
Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální povolený počet překročení
Oxid dusičitý NO ₂	1 hodina	200 µg.m ⁻³	18 za kalendářní rok
Oxid dusičitý NO ₂	1 kalendářní rok	40 µg.m ⁻³	

Z hlediska imisních limitů je na území ČR důležitý pouze imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO₂. Imisní limit pro hodinovou koncentraci není v současnosti na žádné lokalitě v ČR překračován, a to ani na dopravně nejzatíženějších lokalitách, jako je Praha-Legerova.

Více než 90 % z celkových oxidů dusíku ve venkovním ovzduší je emitováno ve formě NO. NO₂ vzniká relativně rychle reakcí NO s přízemním ozonem nebo s radikály typu HO₂, popř. RO₂ [12]. Řadou chemických reakcí se část NO_x přemění na HNO₃/NO₃⁻, které jsou z atmosféry odstraňovány suchou a mokrou atmosférickou depozicí. Pozornost je věnována NO₂ z důvodu jeho negativního vlivu na lidské zdraví. Hraje také klíčovou roli při tvorbě fotochemických oxidantů.

V Evropě vznikají emise NO_x převážně z antropogenních spalovacích procesů, kde NO vzniká reakcí mezi dusíkem a kyslíkem ve spalovaném vzduchu a částečně i oxidací dusíku z paliva. Hlavní antropogenní zdroje představuje především silniční doprava (významný podíl má ovšem i doprava letecká a vodní) a dále spalovací procesy

- 1A1a - Veřejná energetika a výroba tepla
- 1A4cii - Zemědělství, lesnictví, rybolov: Nesilniční vozidla
- 1A3biii - Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 tuny
- 1A3bi - Silniční doprava: Osobní automobily
- 1A2f - Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Minerální
- 1A4bi - Lokální vytápění domácností
- 1A4ai - Služby / instituce: Stacionární spalovací zdroje
- 1A2c - Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Chemický průh
- 1A1c - Zpracování uhlí (brikety, koks, zplyňování)
- 1A2a - Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Železo a ocel
- Ostatní



Obr. 13 - Podíl sektorů NFR na celkových emisích NO_x v ČR v roce 2015 [5]

ve stacionárních zdrojích. Méně než 10 % celkových emisí NO_x vzniká ze spalování přímo ve formě NO₂. Přírodní emise NO_x vznikají převážně z půdy, vulkanickou činností a při vzniku blesků. Jsou poměrně významné z globálního pohledu, z pohledu Evropy však představují méně než 10 % celkových emisí [13].

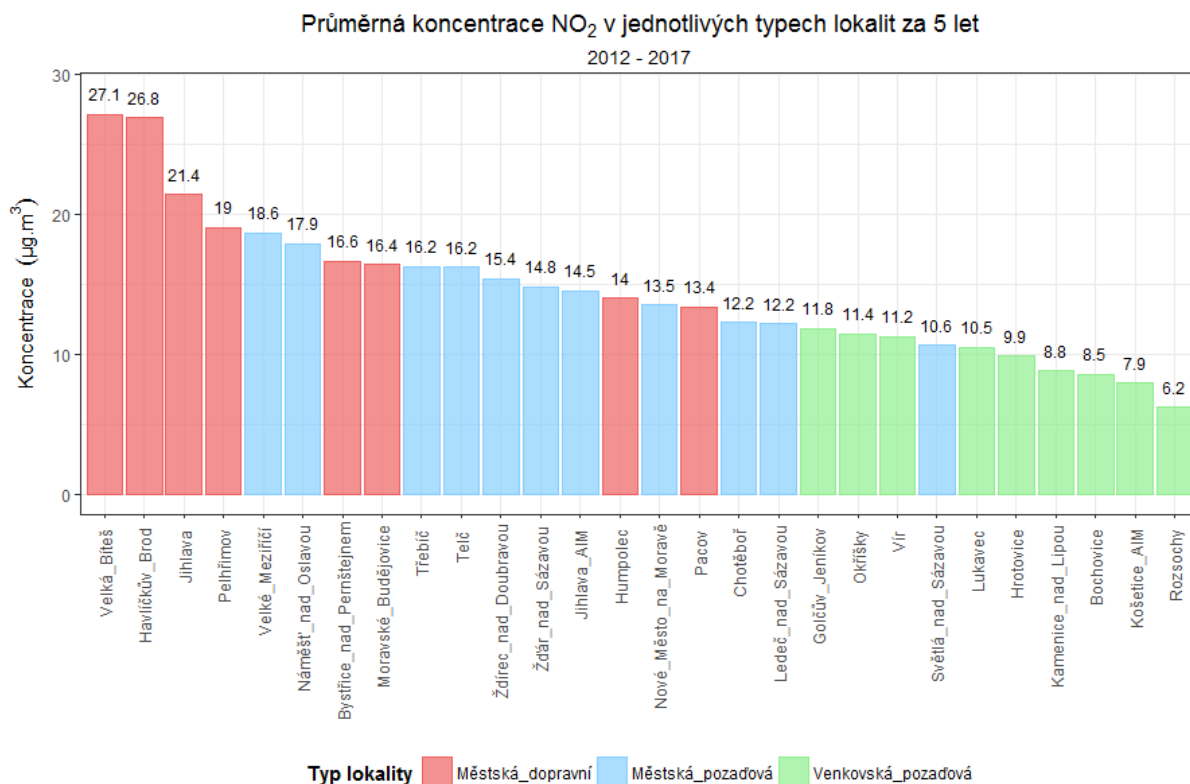
Největší množství emisí NO_x pochází z dopravy. Sektory 1A3biii-Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 t, 1A3bi-Silniční doprava: Osobní automobily a 1A4cii-Zemědělství, lesnictví, rybolov: Nesilniční vozidla a ostatní stroje se na celorepublikových emisích NO_x v roce 2014 podílely 32 % (Obr. 13). V sektoru 1A1a-Veřejná energetika a výroba tepla bylo do ovzduší vneseno 31,0 % emisí NO_x. Klesající trend emisí NO_x v období let 2007–2015 souvisí především s přirozenou obnovou vozového parku a se zavedením emisních stropů pro emise NO_x ze zdrojů v sektoru 1A1a-Veřejná energetika a výroba tepla [14], [5].

Expozice zvýšeným koncentracím NO₂ ovlivňuje plicní funkce a způsobuje snížení imunity [15].

4.2.1 Průměrné roční koncentrace NO₂

Jak již bylo uvedeno, v každé lokalitě se měřilo 8 týdnů za kalendářní rok. To je dle legislativy [2] dostačující počet pro „orientační měření“, avšak pro srovnání s imisními limity je vhodnější použít co nejvíce dat. Navíc každý rok je meteorologicky jiný, proto i zákon o ochraně ovzduší [1], §11, odst. 5 a 6, doporučuje hodnocení na základě pětiletých průměrů.

Hodnocení jednotlivých lokalit bude tedy probíhat na základě průměru za celých 5 let měření. Následující Obr. 14 zobrazuje tuto průměrnou koncentraci na všech lokalit ISKOV a lokalit SSIM Jihlava a Košetice, seřazené od nejvyšší po nejnižší hodnotu koncentrace NO₂. V tomto případě jsou navíc lokality barevně odlišeny podle charakteru stanice – jestli se jedná o venkovskou pozadřovou lokalitu, městskou pozadřovou lokalitu (ve větších městech, mimo přímé ovlivnění dopravou), anebo o městskou dopravní lokalitu (ve větších městech, stanice v blízkosti významnějších komunikací či parkovišť).



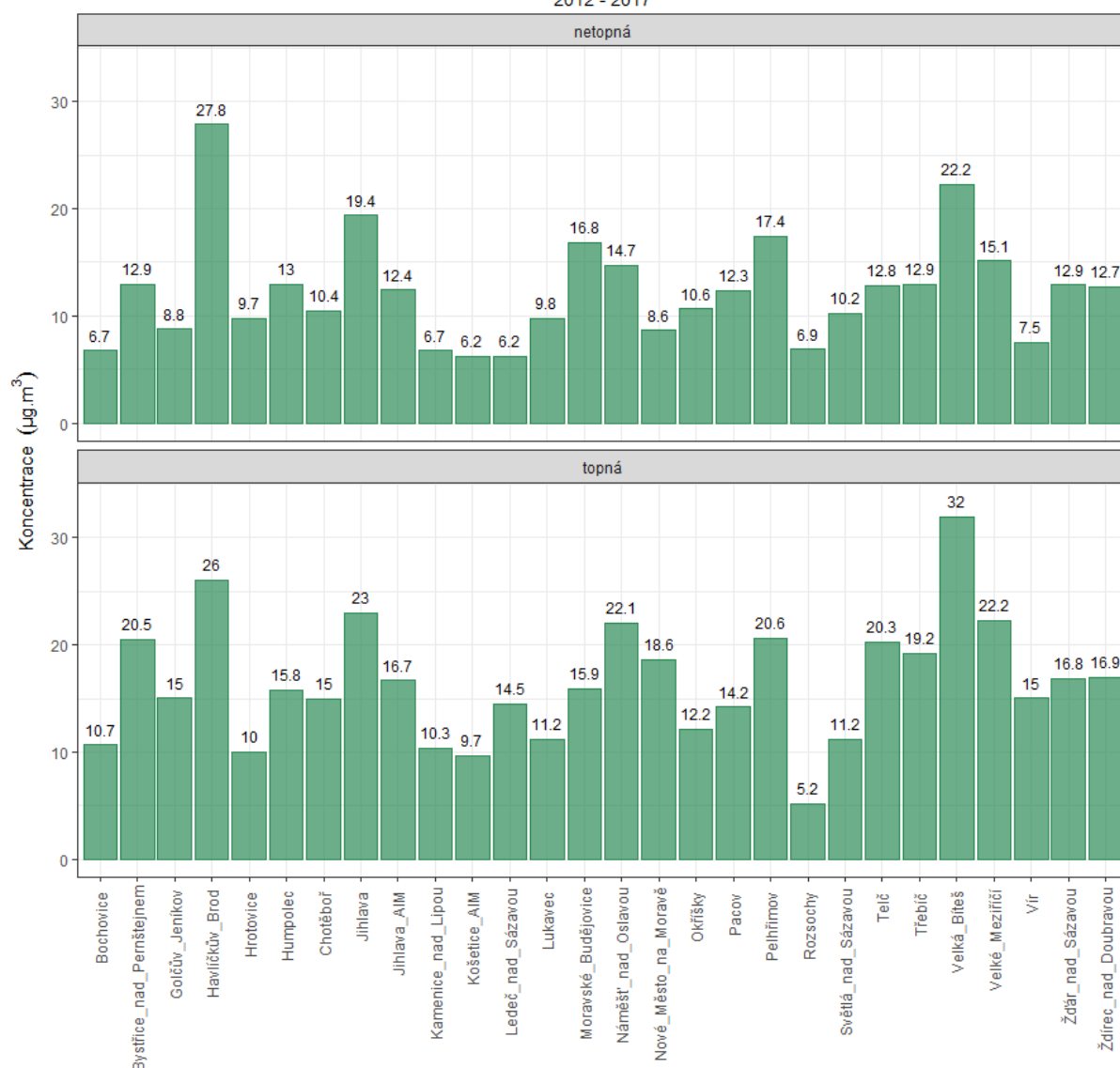
Obr. 14 – Průměrná koncentrace NO₂ za 5 let, lokality ISKOV, AIM Jihlava a Košetice, 10/2012 – 09/2017

Z grafu na Obr. 14 je patrné, že nejvyšší hodnoty jsou měřeny na dopravních lokalitách ve větších městech (červené sloupce), naopak nejnižší koncentrace NO₂ jsou měřeny v menších obcích, neovlivněných dopravou (zelené sloupce). Vazba na ovlivnění dopravou je tak zcela zřetelná. V průměru nejvyšších hodnot dosahují lokality Velká Bíteš a Havlíčkův Brod. Následují další dopravní lokality (Jihlava a Pelhřimov), a dále pak městské pozadové lokality Velké Meziříčí a Náměšť nad Oslavou. Tyto lokality sice neleží v těsné blízkosti komunikace, avšak v dopravně zatíženém centru města, které je navíc v údolí, a proto hůře provětrávaném. Z tohoto důvodu zde byly naměřeny vyšší hodnoty koncentrací NO₂.

Naopak nejnižší hodnoty byly dlouhodobě měřeny v lokalitách Rozsochy (měření probíhalo pouze 3 roky) a Košetice. V Lukavci, ve kterém byly naměřeny nejvyšší koncentrace PM₁₀ a PM_{2,5}, byly naměřeny pouze nízké hodnoty koncentrací NO₂. Průměrné koncentrace za každý rok kampaně pro všechny lokality zobrazuje Obr. 17.

Pokud tyto průměrné koncentrace rozdělíme na topnou (říjen – březen) a netopnou (duben – září) sezónu, dostaneme následující graf na Obr. 15.

Průměrná koncentrace NO₂ v topné a netopné sezóně za 5 let
2012 - 2017



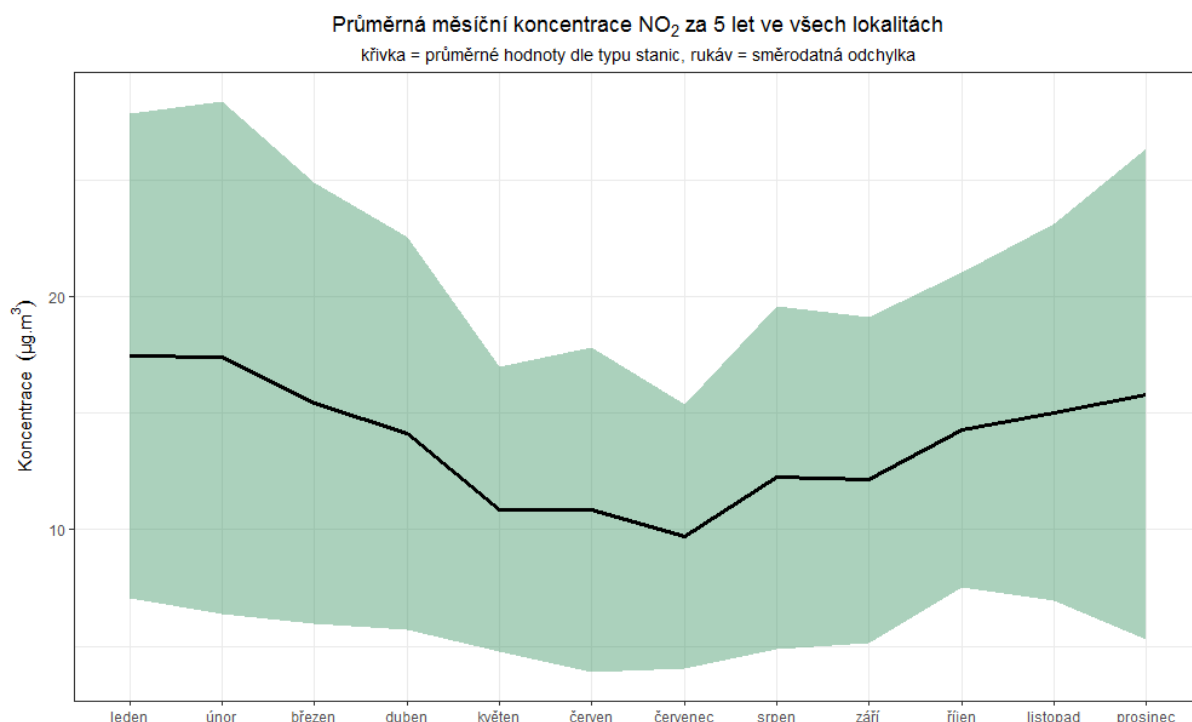
Obr. 15 - Průměrná koncentrace NO₂ za 5 let v topné a netopné sezóně, lokality ISKOV, AIM Jihlava a Košetice, 10/2012 – 09/2017

Oba grafy mají stejné měřítko. Z grafů tak vyplývá, že v topné sezóně jsou měřeny mírně vyšší koncentrace NO₂. Neplatí to ovšem pro všechny lokality. Důvodem vyšších koncentrací v topné sezóně může být jednak podíl lokálních topenišť na emisích oxidů dusíku (4,5 %, Obr. 13), zhoršené rozptylové podmínky, a studené starty motorových vozidel.

Absolutní rozdíl mezi topnou a netopnou sezónou se pohyboval od -2 µg·m⁻³ v Havlíčkově Brodě (mimo topnou sezónu byly měřeny vyšší koncentrace) až po 10 µg·m⁻³ v Novém Městě na Moravě. Z relativního hlediska navýšila topná sezóna koncentrace NO₂ na Vysočině minimálně o -24 % (Rozsochy, koncentrace NO₂ byly mimo topnou sezónu vyšší, než v topné sezóně), a maximálně o 133 % (Ledeč nad Sázavou). V průměru za 5 let a všechny hodnocené lokality navýšila topná sezóna koncentrace NO₂ o 40 %.

V případě Ledče nad Sázavou je patrné, že se **koncentrace NO₂ v topné sezóně více než zdvojnásobily**. V tomto případě se zřejmě spojily dva faktory, které v topné sezóně výrazně navýšují koncentrace proti sezóně netopné. Jedná se o vytápění (zejména lokální topeniště) a orografie terénu – lokalita je náchylná k výskytu teplotních inverzí, a ty jsou častější a silnější v chladné části roku. Nedojde tak k dostatečnému rozptýlu ani emisí oxidů dusíku z dopravy. Podobná situace může nastávat také v lokalitě Vír, Nové Město na Moravě či Náměšť nad Oslavou a dalších.

Průměrný chod měsíčních koncentrací NO₂ na Vysočině pak zobrazuje následující Obr. 16. Černá křivka zobrazuje průměrnou hodnotu pro každý měsíc, vypočtenou ze všech měřicích lokalit za všech 5 let měření. Červená plocha (rukáv) zobrazuje směrodatnou odchylku.



Obr. 16 – Průměrný vývoj měsíčních koncentrací NO₂ na Vysočině vypočtený ze všech lokalit za 5 let

Z grafu je patrné, že maximálních hodnot je dosahováno v lednu a únoru, tedy především v nejchladnějších měsících roku. S končící topnou sezónou průměrná měsíční koncentrace NO₂ mírně klesá a nízké hodnoty jsou měřeny zhruba do září. Nejnížší koncentrace jsou v průměru měřeny v červnu. To může souviset s vysokými teplotami a dostatkem slunečního záření pro tvorbu přízemního ozónu [12], který vzniká reakcí NO₂ a těkavých organických látek (více viz kapitola o přízemním ozónu). S nastupující topnou sezónou v říjnu koncentrace opět vzrůstají.

Průměrná roční koncentrace NO₂ v jednotlivých kampaních a typech lokalit

2012 - 2017



Obr. 17 – Průměrné koncentrace NO₂ na všech měřicích lokalitách v jednotlivých ročních kampaních (vždy říjen – září), Vysočina, 2012 - 2017

4.3 Oxid siřičitý SO₂

Pro oxid siřičitý jsou v příloze 1 zákona o ochraně ovzduší [1] uvedeny dva imisní limity. Pro průměrnou denní koncentraci, která může být za kalendářní rok 3 x překročena, a pro hodinovou koncentraci, která může být za kalendářní rok 24 x překročena (Tab. 4).

Tab. 4 – Imisní limity platné pro oxid dusičitý SO₂ [1]

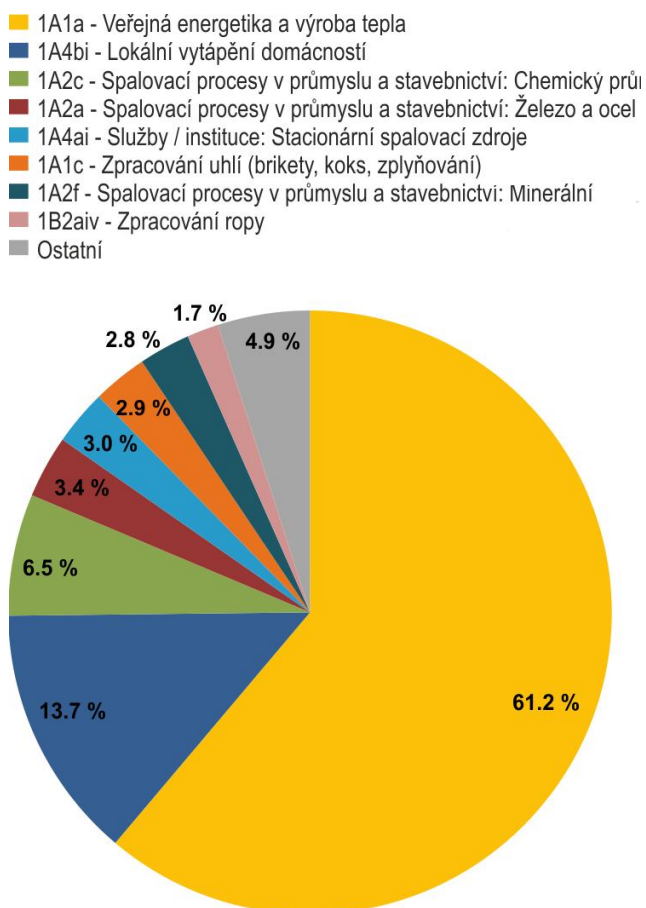
Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální povolený počet překročení
Oxid siřičitý SO ₂	1 hodina	350 µg.m ⁻³	24 za kalendářní rok
Oxid siřičitý SO ₂	1 den	125 µg.m ⁻³	3 za kalendářní rok

Z hlediska imisních limitů je na území ČR důležitý pouze imisní limit pro průměrnou denní koncentraci SO₂ a i ten je překračován pouze výjimečně (zejména Ústecký kraj). Imisní limit pro hodinovou koncentraci není dlouhodobě na žádné lokalitě v ČR překračován.

Hlavním antropogenním zdrojem oxidu siřičitého (SO₂) je spalování fosilních paliv (uhlí a těžkých olejů) a tavení rud s obsahem síry. V atmosféře je SO₂ oxidován na sírany a kyselinu sírovou vytvářející aerosol jak ve formě kapiček, tak i pevných částic širokého rozsahu velikostí. SO₂ a látky z něj vznikající jsou z atmosféry odstraňovány mokrou a suchou depozicí.

V roce 2014 pocházelo v celorepublikovém měřítku ze sektoru 1A1a-Veřejná energetika a výroba tepla 63,6 % emisí SO₂ a ze sektoru 1A4bi-Lokální vytápění domácností 10,7 % (Obr. 18).

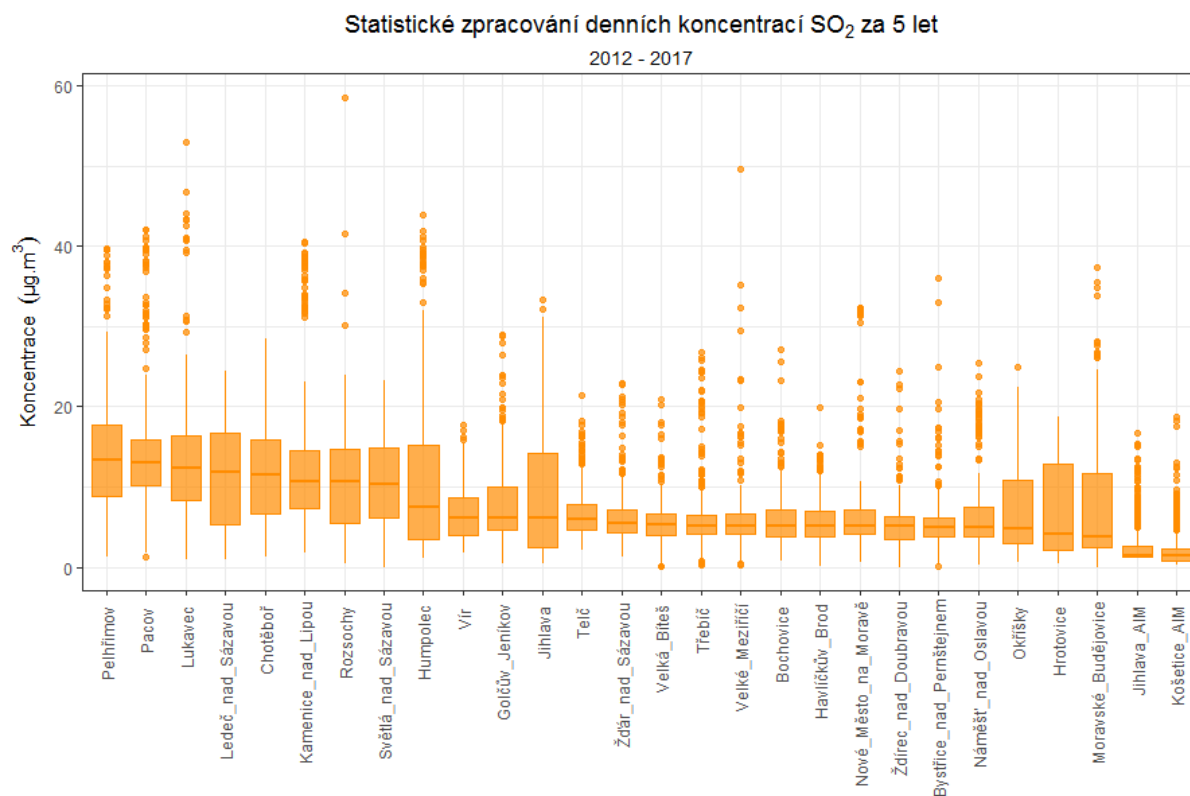
SO₂ má dráždivé účinky, při vysokých koncentracích může způsobit zhoršení plicních funkcí a změnu plicní kapacity [16].



Obr. 18 - Podíl sektorů NFR na celkových emisích SO₂ v ČR v roce 2015 [5]

4.3.1 Průměrná denní koncentrace SO₂ a srovnání s imisním limitem

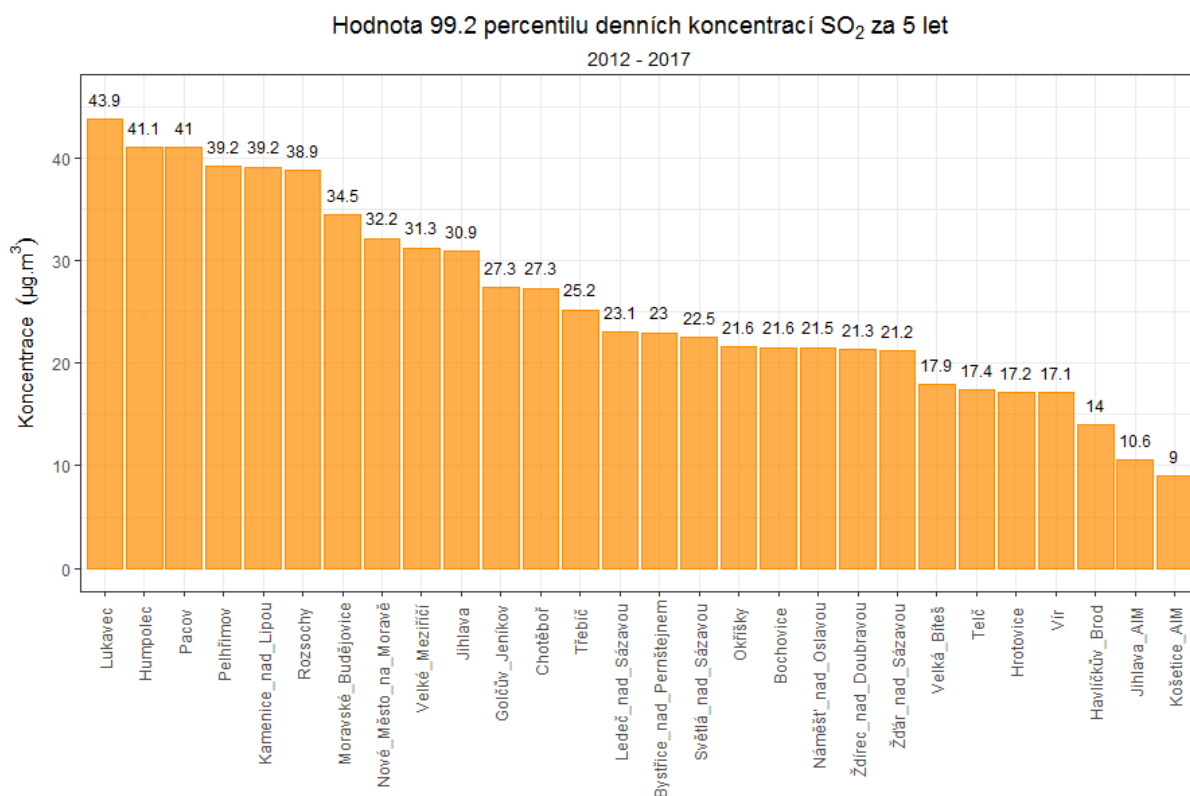
Oxid siřičitý má imisní limit pro průměrnou denní koncentraci. Proto je důležité mít povědomí o rozložení koncentrací SO₂ v jednotlivých dnech. Pro hodnocení je pak důležité statistické zpracování všech průměrných denních koncentrací pomocí krabicových grafů (Obr. 19, vysvětlení viz kapitola o PM₁₀).



Obr. 19 – Statistické zpracování průměrných denních koncentrací SO₂ v jednotlivých lokalitách ISKOV, 2012 – 2017

Z grafu je patrné, že ani nejdlehlší hodnoty (maxima) se neblíží hodnotě imisního limitu 125 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Maximální hodnota za všechny lokality byla stěží poloviční. Je tedy jasné, že imisní limit pro denní koncentraci SO₂ nebyl překročen. Navíc tato hodnota může být za kalendářní rok 3x překročena. **Proto se vždy hodnotí 4. nejvyšší denní koncentrace SO₂ za kalendářní rok, a pokud je vyšší než 125 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, je překročen imisní limit.** Naopak pokud je tato hodnota nižší než 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nepřekračuje ani tzv. dolní mez pro posuzování – to znamená, že v území není potřeba tuto škodlivinu měřit.

Pro hodnocení lokalit ISKOV se tedy opět využije celého pětiletého intervalu u všech lokalit. Z hlediska překračování denního imisního limitu pro SO₂ je použit 99,2 percentil průměrných denních koncentrací, reprezentující 4. nejvyšší hodnotu za kalendářní rok. Naměřené hodnoty zobrazuje Obr. 20.



Obr. 20 – Hodnota 99,2 percentilu průměrných denních koncentrací SO₂ v jednotlivých lokalitách ISKOV, 2012 – 2017

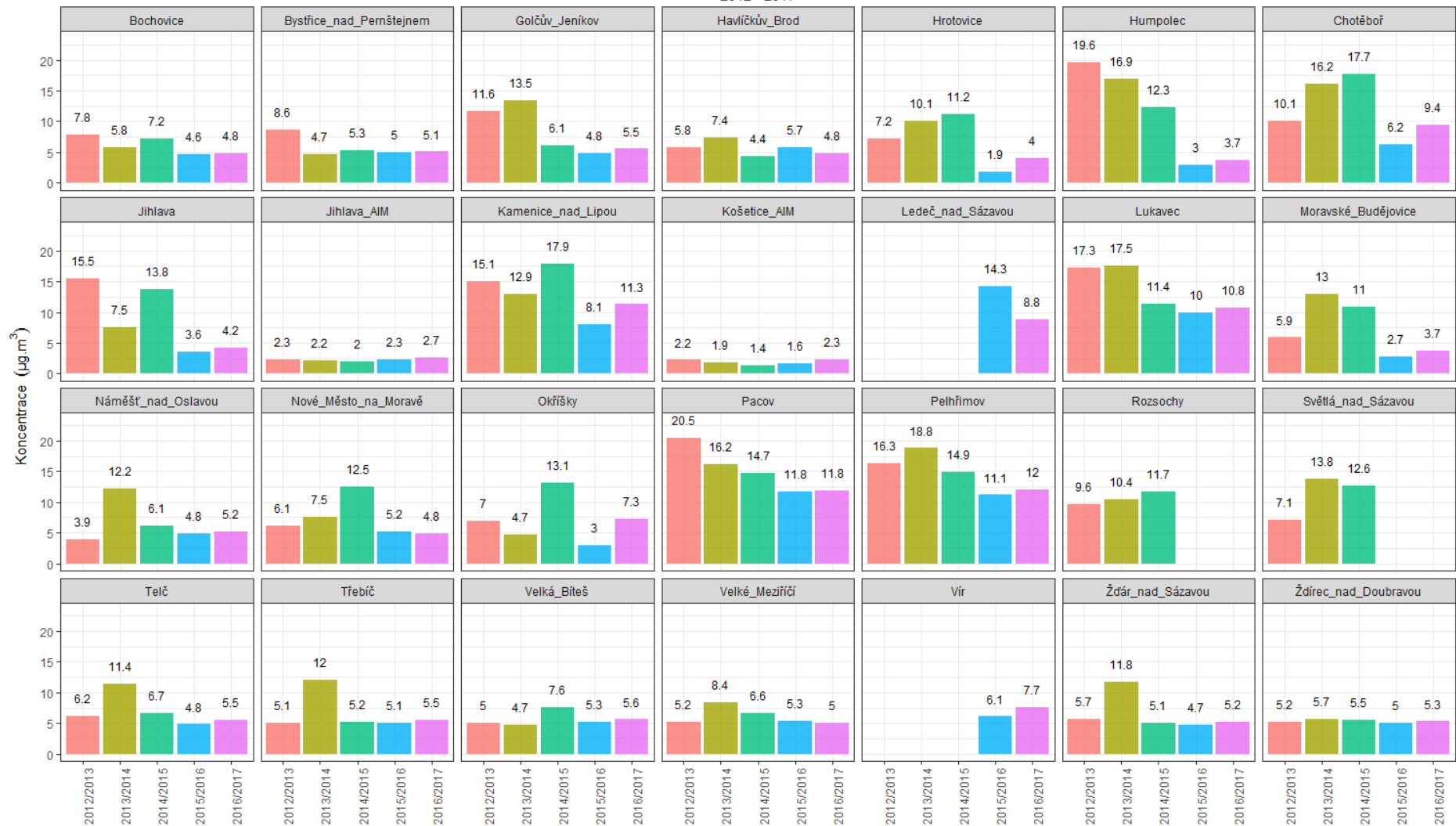
Z grafu na Obr. 20 vyplývá, že ani jedna z lokalit nepřekročila dolní mez pro posuzování. Oxid siřičitý tedy není na Vysočině problémem a není potřeba jej sledovat ve více než jedné lokalitě. Nejvyšší koncentrace byly naměřeny v lokalitách Lukavec, Humpolec a Pacov.

Absolutní rozdíl mezi topnou a netopnou sezónou se pohyboval od -3,4 µg·m⁻³ v Golčově Jeníkově (mimo topnou sezónu byly měřeny vyšší koncentrace) až po 9,1 µg·m⁻³ v Ledči nad Sázavou (měřilo se pouze 2 roky). Z relativního hlediska navýšila topná sezóna koncentrace SO₂ na Vysočině minimálně o -34 % (Golčův Jeníkov, koncentrace SO₂ byly mimo topnou sezónu vyšší, než v topné sezóně), a maximálně o 181 % (Ledeč nad Sázavou). V průměru za 5 let a všechny hodnocené lokality navýšila topná sezóna koncentrace SO₂ o 34 %.

Průměrné koncentrace za každý rok kampaně pro všechny lokality zobrazuje Obr. 21.

Průměrná roční koncentrace SO₂ v jednotlivých kampaních a typech lokalit

2012 - 2017



Obr. 21 – Průměrné koncentrace SO₂ na všech měřicích lokalitách v jednotlivých ročních kampaních (vždy říjen – září), Vysočina, 2012 - 2017

4.4 Přízemní ozón O₃

O₃ nemá v atmosféře vlastní významný zdroj. Jedná se o tzv. sekundární látku vznikající v celé řadě velmi komplikovaných nelineárních fotochemických reakcí [17]. Prekurzory O₃ jsou oxidy dusíku (NO_x) a nemetanické těkavé organické látky (NMVOC), v globálním měřítku hrají roli i metan (CH₄) a oxid uhelnatý (CO). Důležitou reakcí je fotolýza NO₂ zářením o vlnové délce 280–430 nm, při které vzniká NO a atomární kyslík. Reakcí atomárního a molekulárního kyslíku pak za přítomnosti katalyzátoru dochází ke vzniku molekuly O₃. Současně probíhá titrace O₃ oxidem dusnatým za vzniku NO₂ a O₂. Pokud je při této reakci O₃ nahrazen radikály, jeho koncentrace v atmosféře rostou. Důležitou úlohu při těchto reakcích hraje zejména radikál OH.

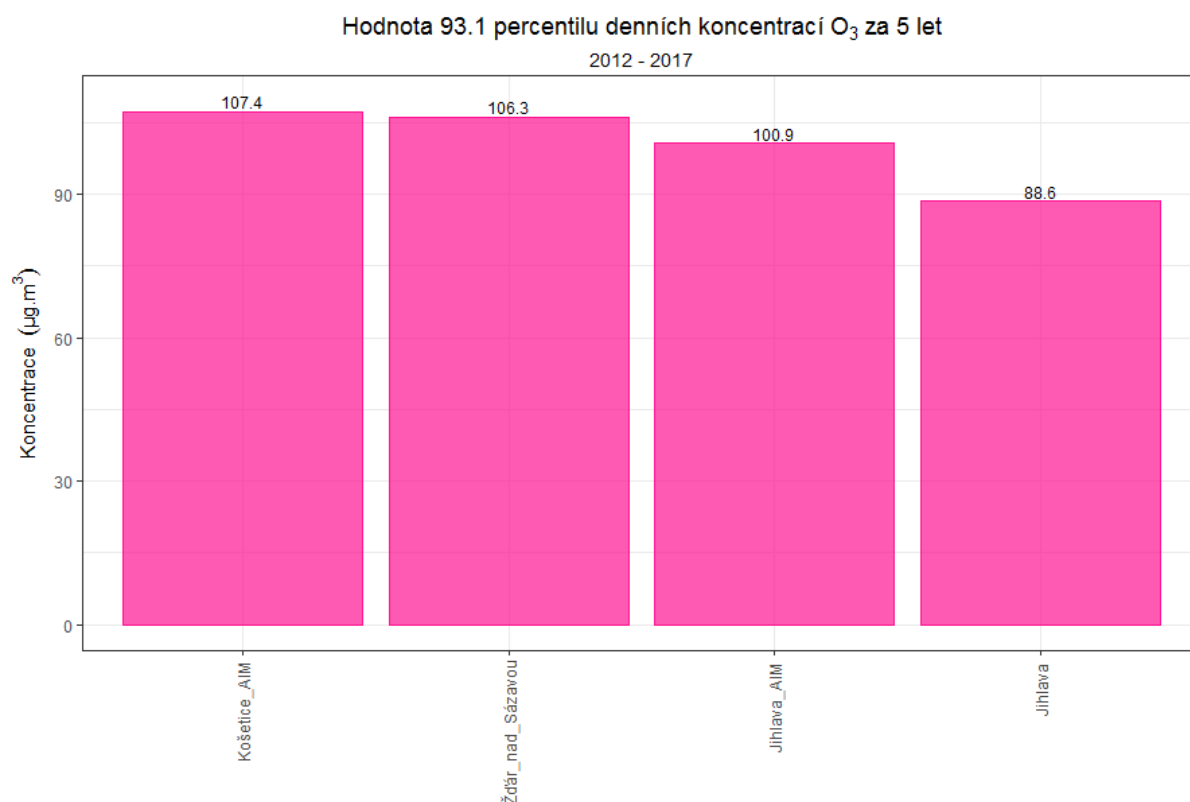
NO_x vznikají při veškerých spalovacích procesech. NMVOC jsou emitovány z celé řady zdrojů antropogenních (doprava, manipulace s ropou a jejími deriváty, rafinerie, použití barev a rozpouštědel atd.), ale i přirozených (např. biogenní emise z vegetace).

Při vzniku O₃ z prekurzorů nezáleží pouze na absolutním množství prekurzorů, ale i na jejich vzájemném poměru [18]. V oblastech, kde je režim limitovaný NO_x, charakterizovaný relativně nízkými koncentracemi NO_x a vysokými koncentracemi VOC, narůstají koncentrace O₃ s rostoucími koncentracemi NO_x, zatímco se vzrůstajícími koncentracemi VOC se mění jen málo. Naopak v oblastech s režimem limitovaným VOC dochází k poklesu koncentrací O₃ s rostoucími koncentracemi NO_x a nárůstu koncentrací O₃ s rostoucími koncentracemi VOC. Oblasti s vysokým poměrem NO_x/VOC jsou typicky znečištěné oblasti okolo center velkých měst. Závislost vzniku O₃ na počátečních koncentracích VOC a NO_x se často vyjadřují na diagramech ozonových isopleť. Jedná se o zobrazení maximální dosažené koncentrace ozonu jako funkce počáteční koncentrace NO_x a VOC. Významnou roli při vzniku O₃ hrají nejen koncentrace prekurzorů, ale i meteorologické podmínky [19]. Imisní koncentrace O₃ rostou s rostoucím ultrafialovým zářením a teplotou, naopak klesají s rostoucí relativní vlhkostí vzduchu. Vysoké koncentrace bývají spojeny s déletrvající anticyklonální situací. Kromě výše popsaného fotochemického mechanismu se koncentrace O₃ mohou zvyšovat i epizodicky v důsledku průniku stratosférického O₃ do troposféry a též při bouřkách. V poslední době se též zvyšuje význam dálkového přenosu O₃ v rámci proudění na severní polokouli do Evropy a Severní Ameriky ze zdrojových oblastí jihovýchodní Asie. O₃ je z atmosféry odstraňován reakcí s NO a suchou depozicí.

4.4.1 Maximální 8hodinový klouzavý průměr za den

Pro ochranu zdraví lidí platí imisní limit pro maximální denní 8hodinový klouzavý průměr O_3 . Hodnota imisního limitu je $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tato hodnota může být 25x za kalendářní rok překročena. **Plnění imisního limitu se vyhodnocuje na základě průměru za 3 kalendářní roky.**

Vzhledem k nízkému počtu měření je hodnocení provedeno na celém 5-ti letém datovém souboru. Hodnocení O_3 je prováděno pouze pro lokality Jihlava a Žďár nad Sázavou a doplněny jsou lokality SSIM Jihlava_AIM a Košetice_AIM. 26. nejvyšší hodnota za kalendářní rok je vyjádřena jako 93,1 percentil. Hodnoty koncentrací v uvedených lokalitách zobrazuje Obr. 22.



Obr. 22 - Hodnota 99,2 percentilu maximálních 8hodinových průměrů O_3 za den v jednotlivých lokalitách ISKOV, 2012 – 2017

Z grafu na Obr. 22 vyplývá, že nejvyšší koncentrace O_3 jsou měřeny v Košeticích, nejnižší naopak v dopravou zatížené části Jihlavy, kde ozón rychle reaguje s dalšími látkami v ovzduší na jiné produkty. Imisní limit však nebyl na žádné z lokalit překročen. Maximální hodnoty jsou na rozdíl od ostatních škodlivin dosahovány v létě, kdy jsou příhodné podmínky pro tvorbu ozónu (teplota, sluneční záření).

4.5 Těkavé organické látky - benzen

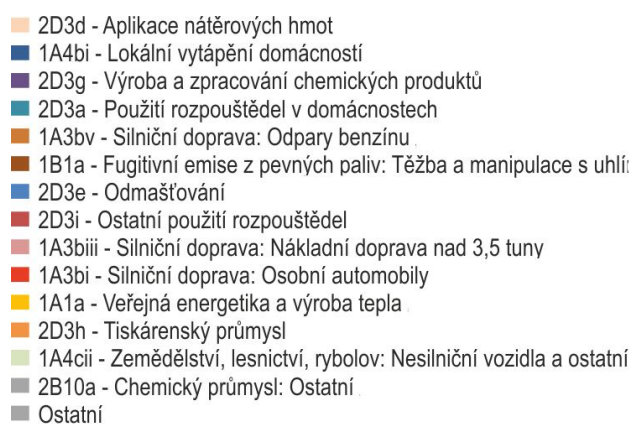
Legislativním zástupcem těkavých organických látek (VOC) je benzen. Antropogenní zdroje produkují více než 90 % celkových emisí do atmosféry. Hlavním emisním zdrojem jsou spalovací procesy, především mobilní zdroje, které představují cca 85 % celkových antropogenních emisí aromatických uhlovodíků, přičemž převládající část připadá na emise z výfukových plynů. Odhaduje se, že zbývajících 15 % emisí pochází ze stacionárních zdrojů. Rozhodující podíl připadá na procesy produkující aromatické uhlovodíky a procesy, kde se tyto sloučeniny používají k výrobě dalších chemikálií. Dalším významným zdrojem emisí jsou ztráty vypařováním při manipulaci, skladování a distribuci benzinů.

Benzen obsažený ve výfukových plynech je především nespálený benzen z paliva. Dalším příspěvkem k emisím benzenu z výfukových plynů je benzen vzniklý z nebenzenových aromatických uhlovodíků, popř. z nearomatických uhlovodíků obsažených v palivu.

Bilance emisí benzenu je založena z velké části na výpočtu z ohlášených emisí VOC. Vykazované emise lze dohledat pouze u zdrojů, jimž ukládá legislativa povinnost zjišťování úrovně znečišťování především z důvodu ověření dodržování emisních limitů.

Významnými zdroji emisí VOC do ovzduší jsou Aplikace nátěrových hmot, lokální topeniště, odpary benzínu a doprava, a chemický průmysl.

Mezi nejvýznamnější škodlivé efekty expozice benzenu patří poškození krevetvorby a dále jeho karcinogenní účinky [16].

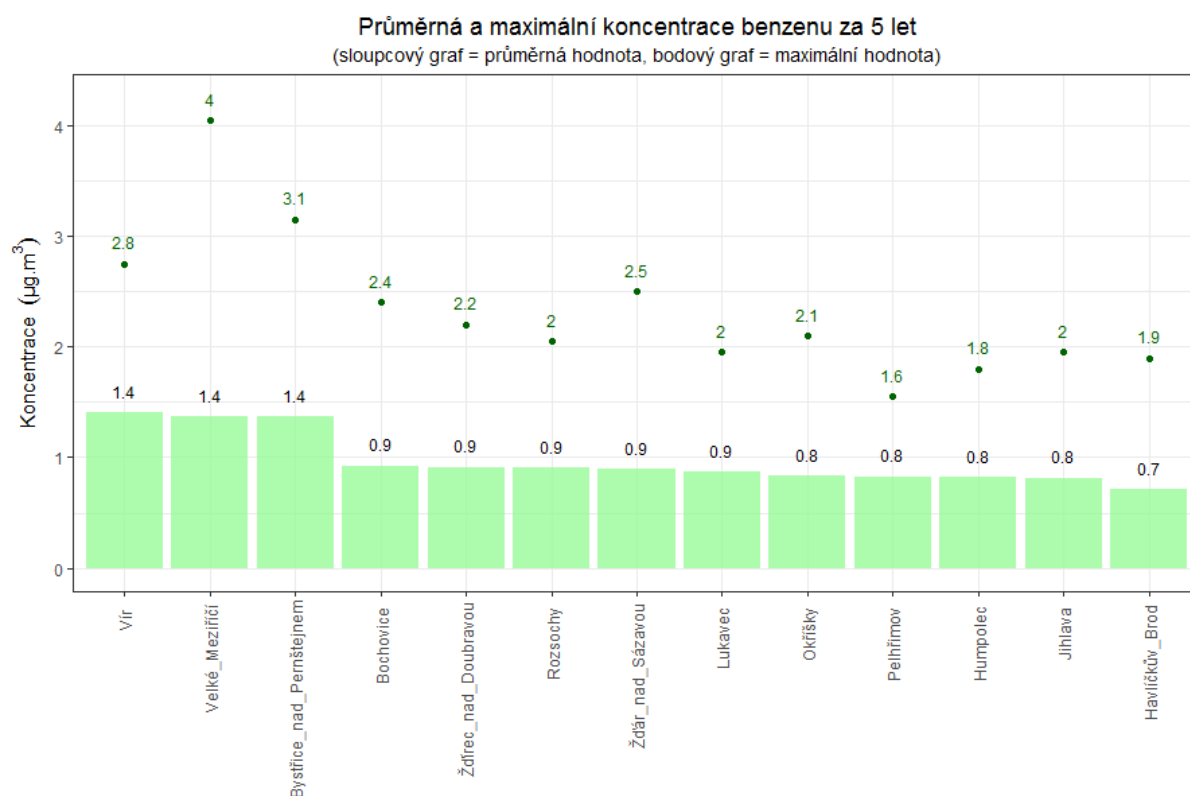


Obr. 23 - Podíl sektorů NFR na celkových emisích těkavých organických látek v ČR v roce 2015 [5]

4.5.1 Průměrná roční koncentrace benzenu

Jak již bylo uvedeno, v každé lokalitě probíhal odběr těkavých organických látek 4x za kalendářní rok. Vždy 2x v topné sezóně a 2x mimo topnou sezónu.

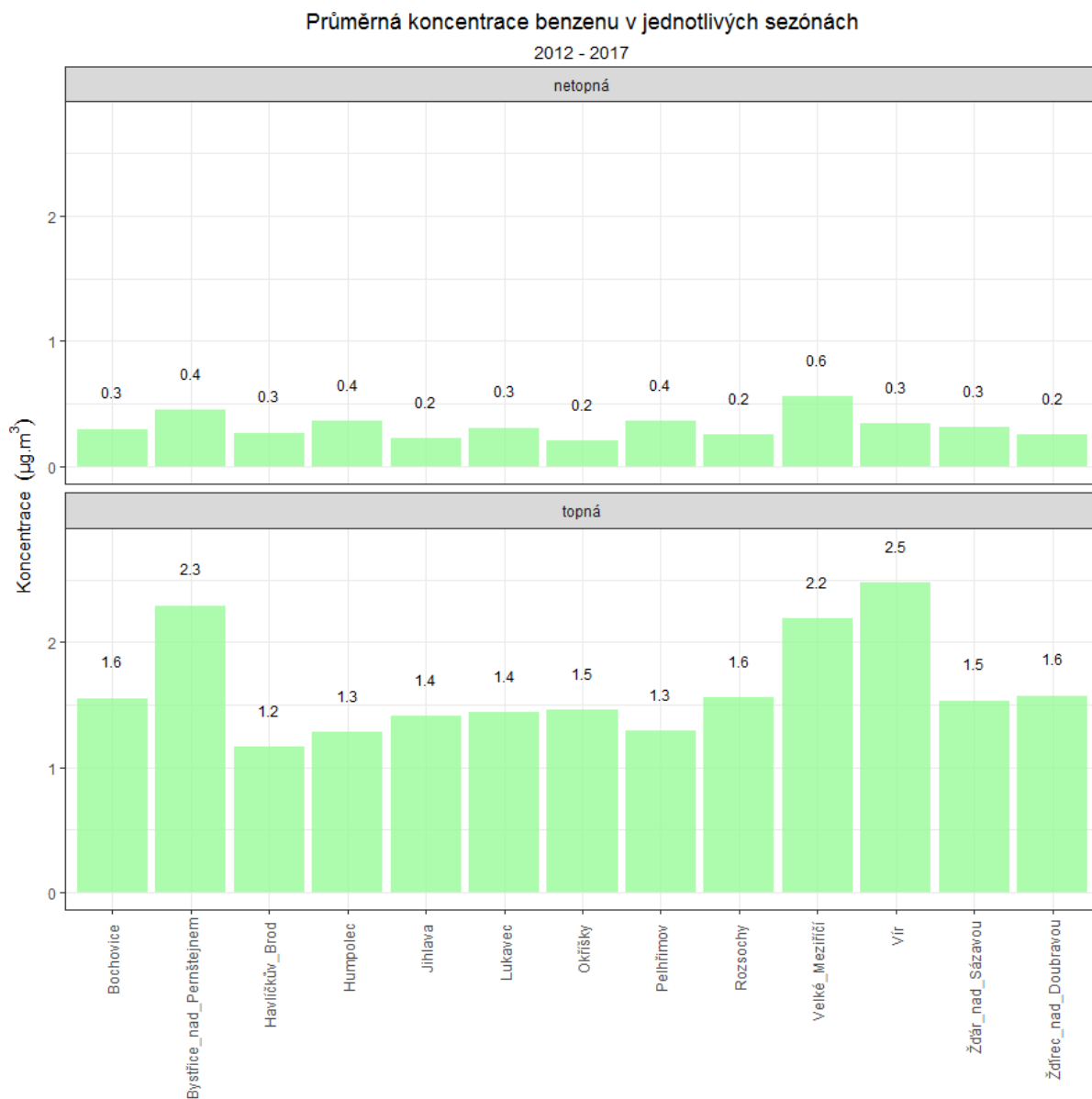
Hodnocení jednotlivých lokalit bude tedy probíhat na základě průměru za celých 5 let měření. Následující Obr. 24 zobrazuje tuto průměrnou koncentraci na všech lokalit ISKOV (sloupce), doplněné o maximální naměřené hodnoty (bodově). Lokality jsou v grafu seřazeny od nejvyšší po nejnižší hodnotu průměrné koncentrace benzenu. Hodnoty průměrů jsou pouze orientační, 20 hodnot za 5 let není dostatečné množství pro výpočet průměrné koncentrace, která by mohla být srovnána s imisním limitem. Ten má v případě benzenu hodnotu $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obr. 24 – Průměrná koncentrace benzenu za 5 let, lokality ISKOV, 10/2012 – 09/2017

Z grafu na Obr. 24 je patrné, že v průměru jsou koncentrace benzenu velmi nízké. Nižší než dolní mez pro posuzování. To znamená, že na Vysočině není nutné tuto látku sledovat nad zákonem minimálně stanovené množství stanic [2]. Ani maximální naměřená hodnota ve Velkém Meziříčí nepřekračuje imisní limit. V průměru jsou nejvyšší hodnoty naměřeny v lokalitách Vír (měřilo se pouze 2 roky), Velké Meziříčí a Bystřice nad Pernštejnem. Nejnižší hodnoty pak vykazují lokality Havlíčkův Brod a Jihlava. Průměrné koncentrace za každý rok kampaně pro všechny lokality zobrazuje Obr. 26.

Pokud tyto průměrné koncentrace rozdělíme na topnou (říjen – březen) a netopnou (duben – září) sezónu, dostaneme následující graf na Obr. 25.

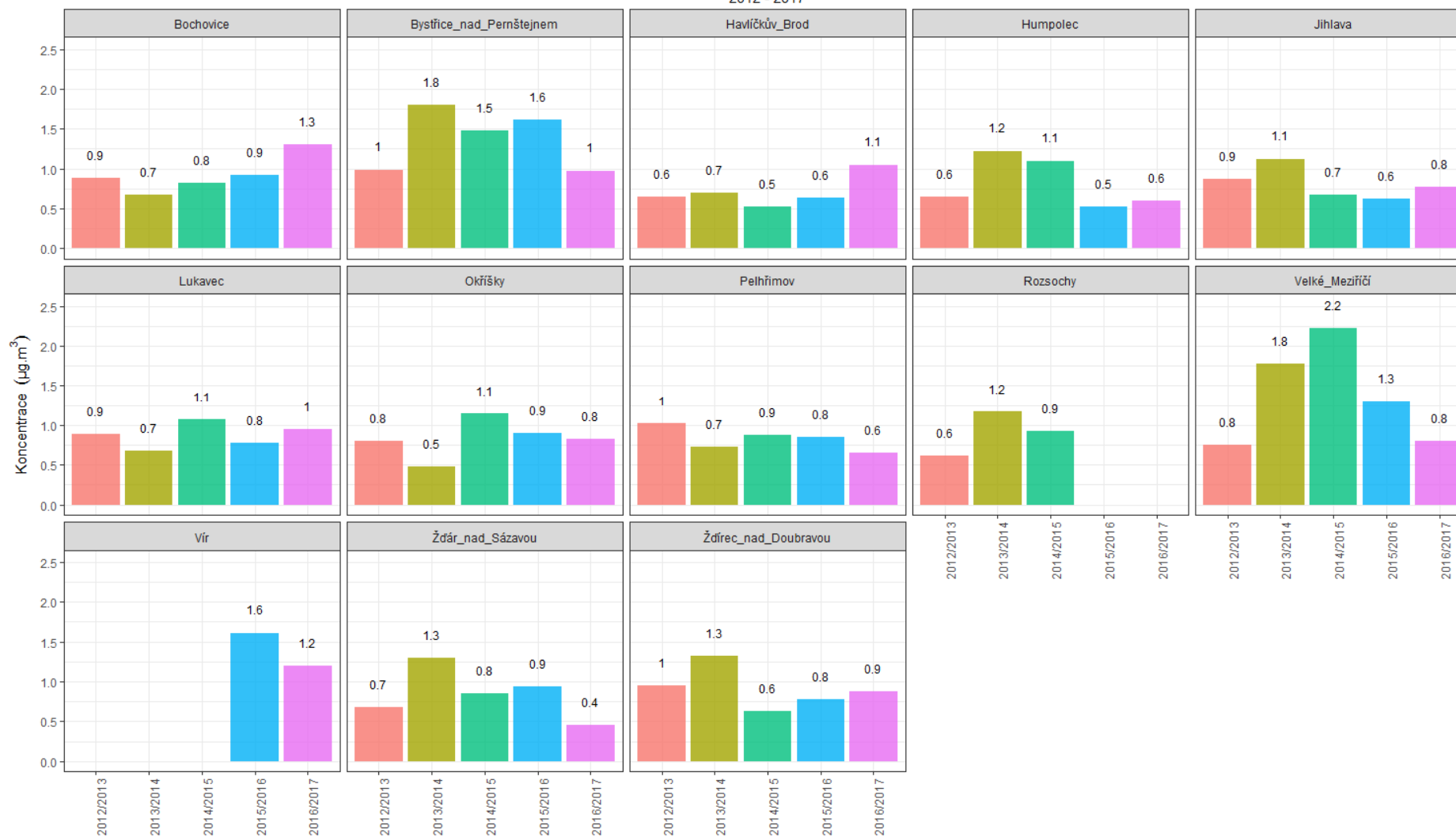


Obr. 25 - Průměrná koncentrace benzenu za 5 let v topné a netopné sezóně, lokality ISKOV, 10/2012 – 09/2017

Oba grafy mají stejné měřítko, proto je na první pohled patrné, že v topné sezóně jsou měřeny vyšší koncentrace než v sezóně netopné. V netopné sezóně byly velmi často měřeny koncentrace pod mezí detekce metody, hodnoty byly tedy nahrazeny polovinou meze detekce. I tak byly koncentrace benzenu velmi nízké na všech lokalitách.

Průměrná koncentrace benzenu v jednotlivých kampaních a lokalitách

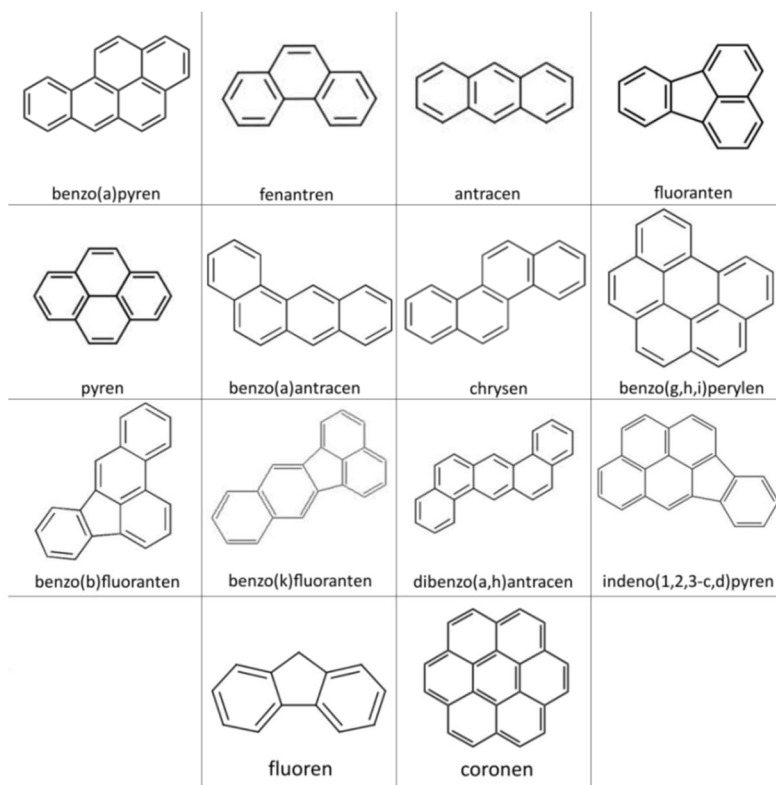
2012 - 2017



Obr. 26 – Průměrné koncentrace benzenu na všech měřicích lokalitách v jednotlivých ročních kampaních (vždy říjen – září), Vysočina, 2012 - 2017

4.6 Polycyklické aromatické uhlovodíky – benzo[a]pyren

Legislativním zástupcem polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) je benzo[a]pyren (BaP). Sledované PAH uvádí Obr. 27. Přírodní hladina pozadí benzo[a]pyrenu může být s výjimkou výskytu lesních požárů téměř nulová. Jeho antropogenním zdrojem, stejně jako ostatních PAH, je jednak nedokonalé spalování fosilních paliv jak ve stacionárních (domácí topeniště – zcela majoritní zdroj emisí) tak i v mobilních zdrojích (motory spalující naftu), ale také průmyslová výroba (výroba koksu a oceli).



Obr. 27 – Polycyklické aromatické uhlovodíky rutinně stanovované v imisích

Přibližně 80–100 % PAH s pěti a více aromatickými jádry (tedy i benzo[a]pyren) je navázáno především na částice menší než 2,5 μm , tedy na tzv. jemnou frakci atmosférického aerosolu $\text{PM}_{2,5}$ (sorpce na povrchu částic). Tyto částice přetrvávají v atmosféře poměrně dlouhou dobu, což umožňuje jejich transport na velké vzdálenosti (stovky km) [9].

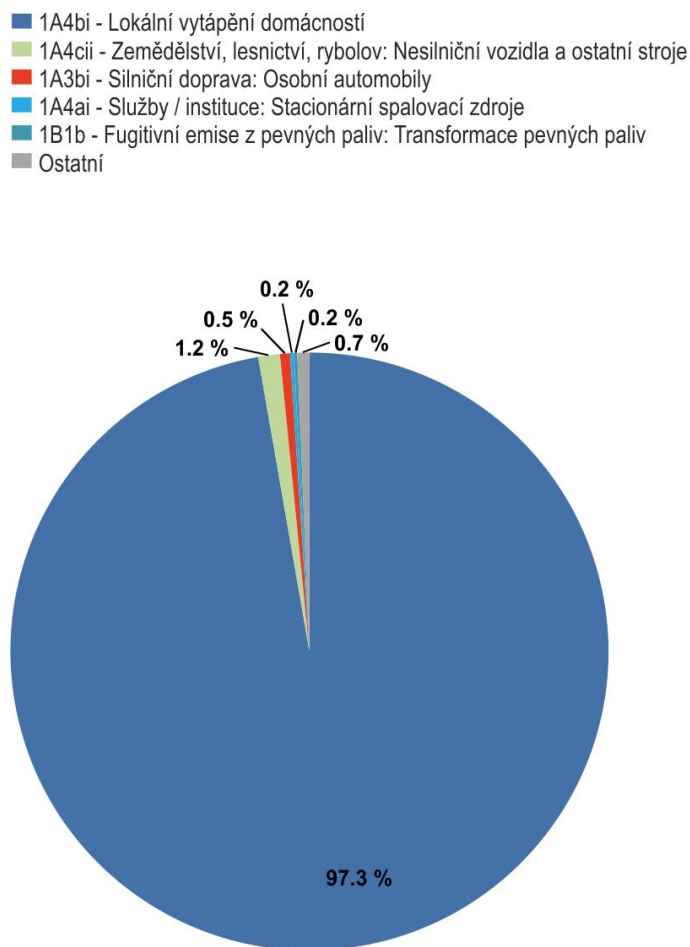
U benzo[a]pyrenu, stejně jako u některých dalších PAH, jsou prokázány karcinogenní účinky na lidský organismus [20].

PAH, zastoupené v oblasti sledování kvality ovzduší benzo[a]pyrenem, jsou produkovány téměř výhradně spalovacími procesy, při nichž nedochází k dostatečné oxidaci přítomných organických spalitelných látek. Benzo[a]pyren je produktem nedokonalého spalování při teplotách 300 až 600 $^{\circ}\text{C}$. Mezi jeho nejvýznamnější zdroje se proto řadí spalování pevných paliv v kotlích nižších výkonů, především v domácích topeništích, a doprava.

Sektor 1A4bi-Lokální vytápění domácností se na emisích benzo[*a*]pyrenu v roce 2014 v celorepublikovém měřítku podílel 97 % (Obr. 28).

Hlavní příčinou takto vysokého podílu je spalování pevných paliv, především uhlí, v kotlích starších typů (odhořivací, prohořivací). Podle odborných odhadů tvoří odhořivací a prohořivací kotle až 85 % všech zařízení na spalování pevných paliv v domácnostech ČR [21]. Vliv sektorů 1A3biii-Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 tuny a 1A3bi-Silniční doprava: Osobní automobily je odhadován na 12,4 %. Ostatní významnější zdroje emisí benzo[*a*]pyrenu se nacházejí v sektorech 1A2a-Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Železo a ocel (spékací pásy aglomerace) a 1B1b-Fugitivní emise z pevných paliv: Transformace pevných paliv (netěsnosti koksárenských baterií).

V jednotlivých oblastech ČR se podíl jednotlivých typů zdrojů na celkových emisích liší podle konkrétní skladby zdrojů v dané oblasti. Vzhledem k dominantnímu podílu sektoru 1A4bi jsou emise benzo[*a*]pyrenu rozloženy na území obydlené zástavby celé ČR a jejich množství v období 2007–2014 bylo závislé především na teplotním charakteru topných sezon.

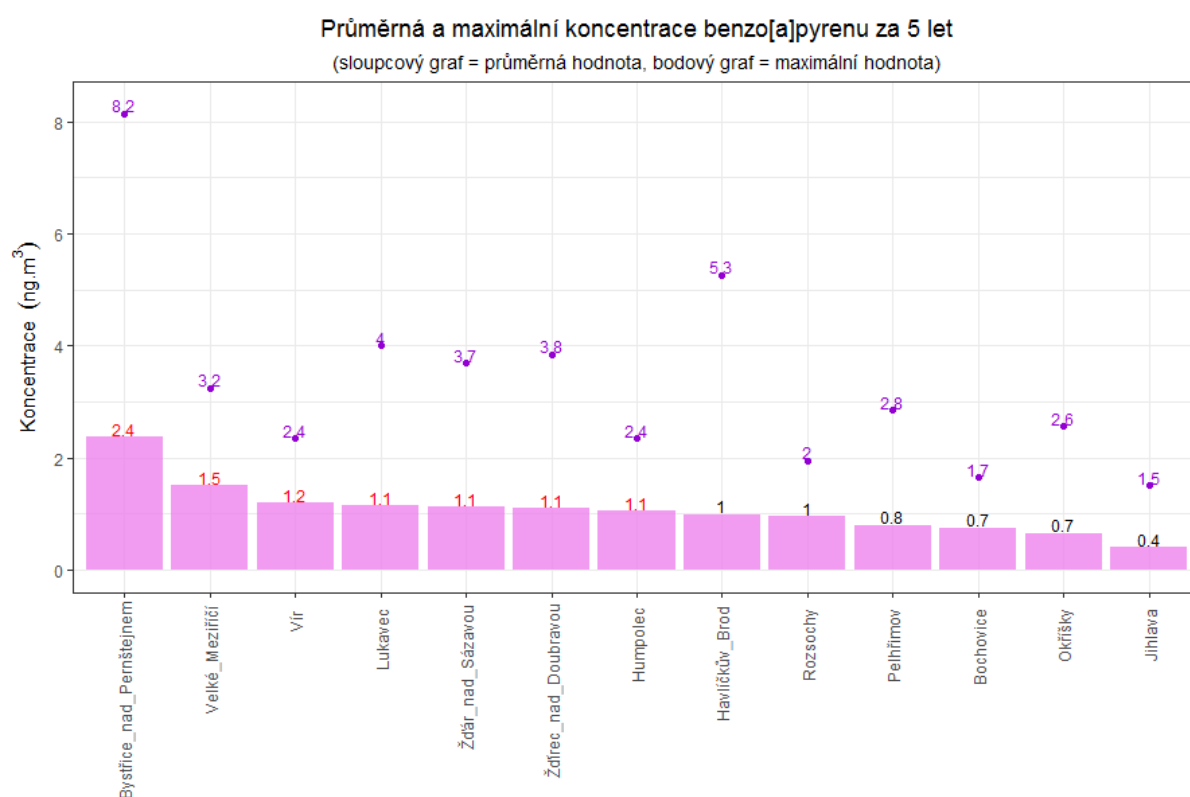


Obr. 28 - Podíl sektorů NFR na celkových emisích BaP v ČR v roce 2015 [5]

4.6.1 Průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu

Jak již bylo uvedeno, v každé lokalitě probíhal odběr polycyklických aromatických uhlovodíků 4x za kalendářní rok. Vždy 2x v topné sezóně a 2x mimo topnou sezónu.

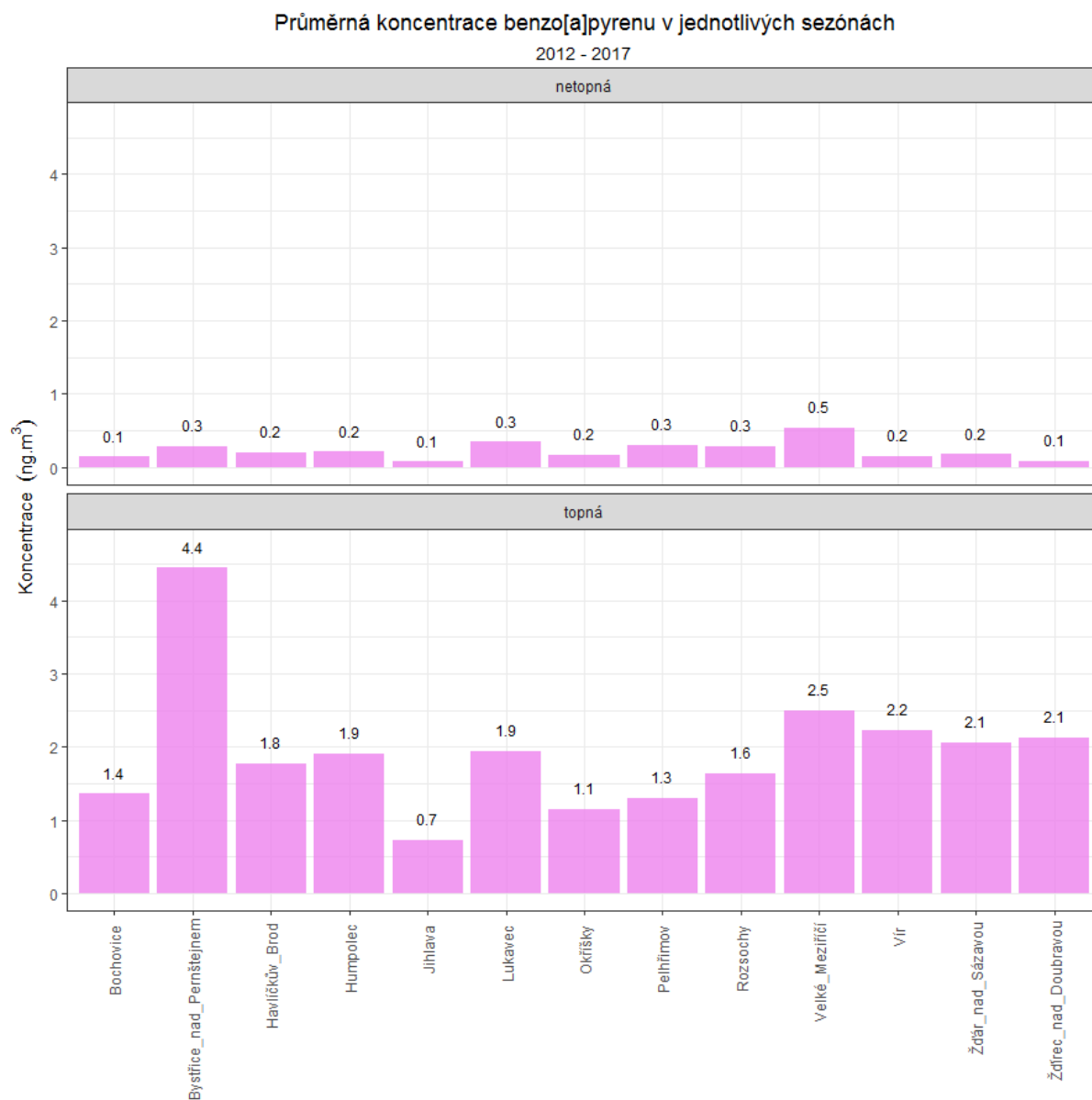
Hodnocení jednotlivých lokalit bude tedy probíhat na základě průměru za celých 5 let měření. Následující Obr. 29 zobrazuje tuto průměrnou koncentraci na všech lokalit ISKOV (sloupce), doplněné o maximální naměřené hodnoty (bodově). Lokality jsou v grafu seřazeny od nejvyšší po nejnižší hodnotu průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu. Hodnoty průměrů jsou pouze orientační, 20 hodnot za 5 let není dostatečné množství pro výpočet průměrné koncentrace, která by mohla být srovnána s imisním limitem. Ten má v případě benzo[a]pyrenu hodnotu $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obr. 29 – Průměrná koncentrace benzo[a]pyrenu za 5 let, lokality ISKOV, 10/2012 – 09/2017

Z grafu na Obr. 29 je patrné, že v některých lokalitách jsou hodnoty benzo[a]pyrenu nad hodnotou imisního limitu pro průměrnou roční koncentraci (hodnoty zobrazeny červeně), další lokality ji přesně vyrovnaly. Vzhledem k velmi nízkému počtu vzorků není možné usuzovat, zda by zde opravdu k překročení imisního limitu došlo. Přesto je to minimálně varování a důvod k detailnějšímu prozkoumání těchto lokalit (dlouhodobější měření). Zejména v případě lokality Bystřice nad Pernštejnem šlo o poměrně vysoké hodnoty koncentrací. Na vysokých koncentracích se zřejmě podílí zejména lokální topeniště, v některých lokalitách možná také doprava. Nejnižší hodnoty pak byly naměřeny v lokalitách napojených na CZT, popř. v plynofikovaných lokalitách jako jsou Jihlava a dále v dobře provětrávaných lokalitách.

Pokud průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu rozdělíme na topnou (říjen – březen) a netopnou (duben – září) sezónu, dostaneme následující graf na Obr. 30.

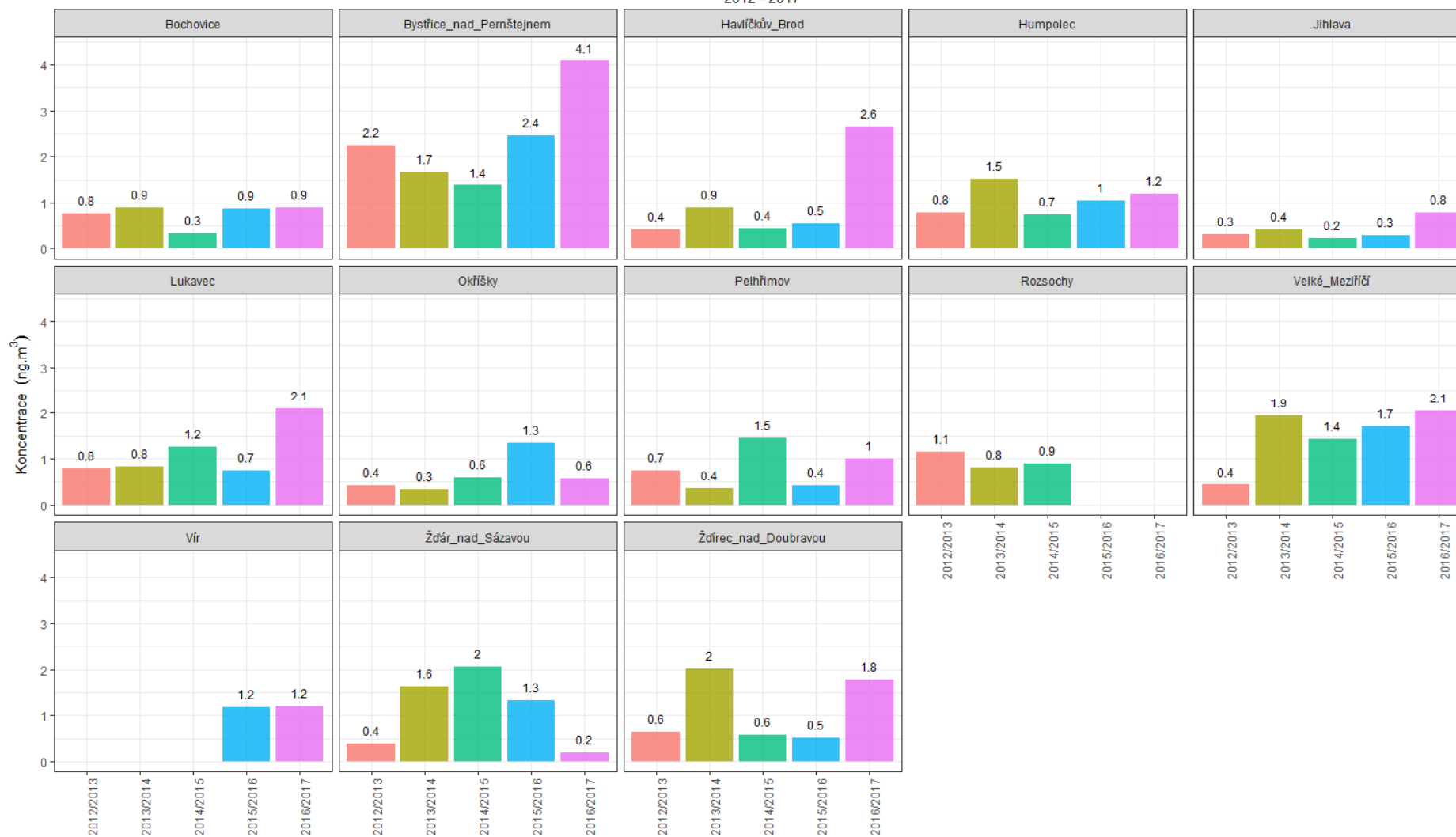


Obr. 30 - Průměrná koncentrace benzo[a]pyrenu za 5 let v topné a netopné sezóně, lokality ISKOV, 10/2012 – 09/2017

Oba grafy mají stejné měřítko, proto je na první pohled patrné, že v topné sezóně jsou měřeny podstatně vyšší koncentrace než v sezóně netopné. V netopné sezóně byly velmi často měřeny koncentrace na hranici mezí detekce metody, hodnoty se blížily nule, a to na všech lokalitách. Mimo topnou sezónu byly nejvyšší koncentrace měřeny ve Velkém Meziříčí, kde může docházet k lokálnímu ovlivnění.

Naopak v topné sezóně byly měřeny násobně vyšší koncentrace benzo[a]pyrenu. S výjimkou Jihlavy se všechny hodnoty v průměru pohybovaly nad $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Výrazně vyšší hodnoty byly měřeny v Bystřici nad Pernštejnem, kde mohla být lokalita přímo ovlivněna nějakým lokálním zdrojem. Průměrné koncentrace za každý rok kampaně pro všechny lokality zobrazuje Obr. 31.

Průměrná koncentrace benzo[a]pyrenu v jednotlivých kampaních a lokalitách
2012 - 2017



Obr. 31 – Průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu na všech měřicích lokalitách v jednotlivých ročních kampaních (vždy říjen – září), Vysočina, 2012 - 2017

4.7 Persistentní organické polutanty – PCDD/F

Do skupiny POPs spadají polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), polychlorované bifenyly (PCBs), organochlorové pesticidy (OCPs) a polychlorované dibenzo-p-dioxiny a dibenzofurany (PCDDs/Fs). Hlavním důvodem jejich sledování je prokázané široké spektrum toxických a genotoxických účinků těchto látek. Tyto látky jsou široce rozšířeny v prostředí, byly detekovány ve všech jeho složkách a patří mezi nejstabilnější organické polutanty v terestrickém prostředí. Některé z nich jako například PAH či PCDDs/Fs jsou v určitém malém množství přirozenou součástí prostředí. Koncentrace POPs začaly růst od průmyslové revoluce, především díky zvyšujícímu se využívání spalovacích a termických průmyslových procesů využívajících především fosilních paliv a zvýšenému užívání pesticidů v celé škále odvětví. Jejich koncentrace závisí na blízkosti bodových zdrojů, ale vyskytují se i v odlehlých oblastech, kam se dostávají dálkovým transportem. Obecně jsou POPs v životním prostředí nebezpečné proto, že jsou silně rezistentní proti degradacím (chemickým i biologickým) a mají nepolární molekuly kumulující se v tukových tkáních a tím pádem dochází k silnému bioobohacování v trofických sítích.

Chování POPs v prostředí tím i jejich nebezpečnost lze charakterizovat zejména pěti environmentálně-chemickými parametry.

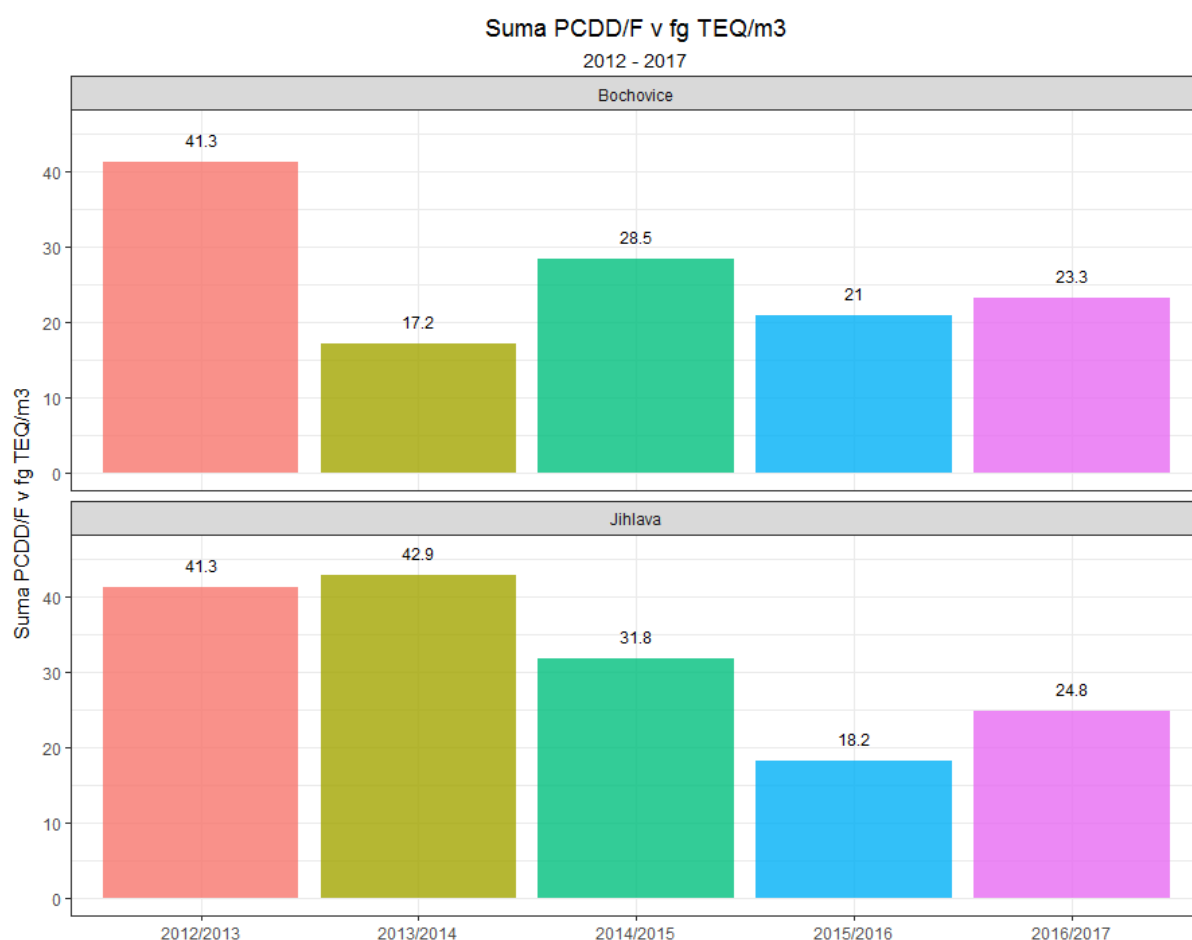
1. Rozpustnost ve vodě WS ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Čím je její hodnota nižší, tím je látka hydrofobnější a lipofilnější, tím má větší tendenci kumulovat se v půdním prostředí a v živých organismech.
2. Těkání vyjádřené hodnotou Henryho konstanty (H v $\text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$). Čím je hodnota H vyšší, tím je látka těkavější, má vyšší tendenci přejít z půdního prostředí do atmosféry.
3. Rozdělovací koeficient n-oktanol-voda (Kow) představující míru tendence látky kumulovat se v živých organismech. Hodnota $\log Kow$ v rozmezí 3-6 představuje látky s vysokou tendencí k bioakumulaci.
4. Sorpce na organický uhlík (půdní organickou hmotu) vyjádřená pomocí rozdělovacího koeficientu organický uhlík (v tuhé fázi) x voda (Koc). Hodnoty $\log Koc$ vyšší než 3 charakterizují látky silně se sorbující v půdním prostředí, dlouhodobě v něm přítomné, ovšem také méně biodostupné.
5. Environmentální persistence vyjádřená pomocí poločasu života ($t_{1/2}$). V případě půdního prostředí se používá například označení $t_{1/2}(S)$ (poločas života polutantu v půdním prostředí).

Polychlorované dibenzo-p-dioxiny (PCDD) a polychlorované dibenzofurany (PCDF) jsou v různé míře chlorované tricyklické aromatické uhlovodíky, jejichž přítomnost v životním prostředí je vzhledem k velmi vysoké toxicitě považována za významný ekologický problém. Vznikají jako vedlejší produkt při různých antropogenních činnostech, zejména však ze spalovacích procesů, nejčastěji spalováním komunálního odpadu. Z tohoto důvodu jsou typickým ukazatelem spalování odpadu v lokálních topeništích. Mají také výrazný sezonní chod, tzn. v topné sezoně

jsou koncentrace vyšší, v netopné naopak nižší. Dioxiny (triviální název pro PCDD a PCDF) lze stanovit dvěma způsoby – aktivní nebo pasivní metodou. Pasivní metoda je vhodná ke sledování pozadí na dané lokalitě, jedná se v podstatě o dlouhodobý (min. měsíční) odběr pomocí pasivních dozimetrů. Dioxiny se zachytávají na PUFu pomocí difuze. Aktivní způsob probíhá 24hodin a jedná se odběr ovzduší pomocí vysokoobjemových vzorkovačů zachycením na filtr a PUF zároveň. Výsledky obou typů odběrů pak získáváme ve specializované akreditované laboratoři.

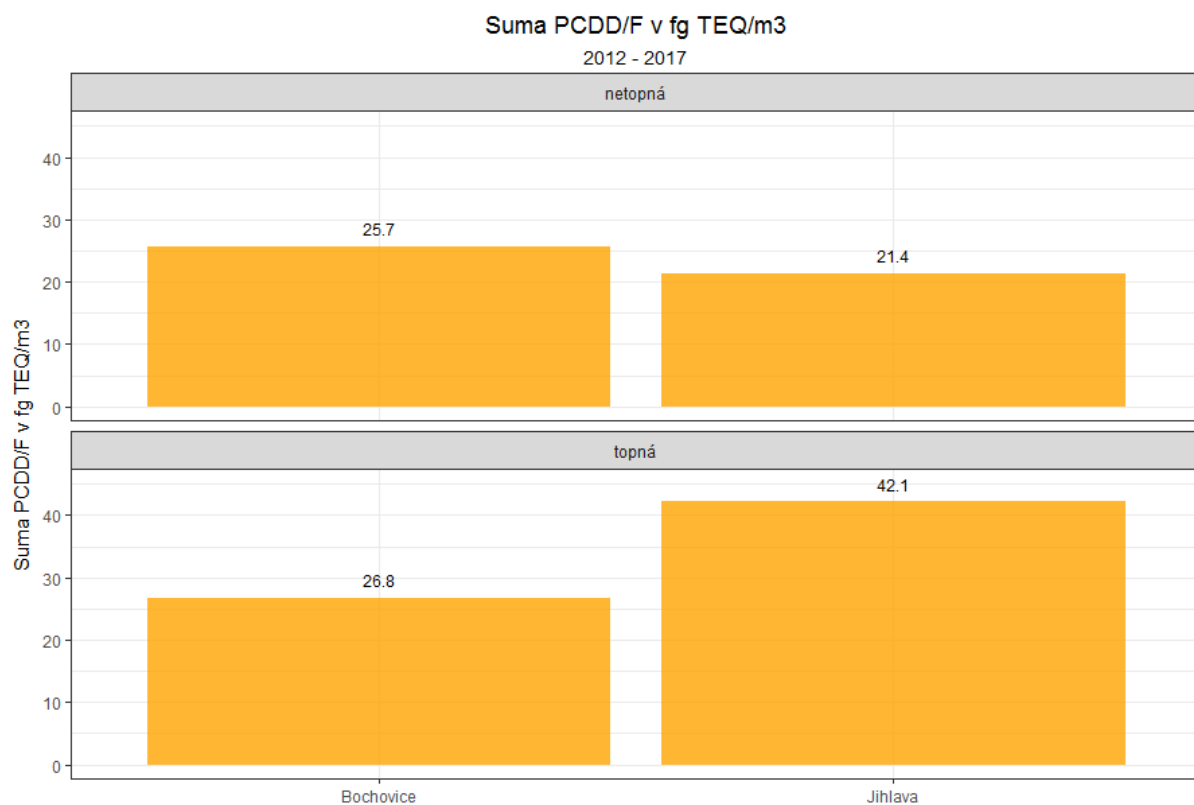
Odběr dioxinů je prováděn v projektu na dvou místech – v Jihlavě a Bochovicích, probíhají vždy 4x do roka, 2x v topné a 2x v netopné sezoně, v přibližně stejných termínech.

Imisní limit nebyl v ČR stanoven, vycházíme tedy z limitní koncentrace dané WHO, která byla odvozena na základě výpočtu rizika platné pro US EPA a kde hodnota 2,3,7,8-TCDD je 50 fg/m³. Průměrné hodnoty v jednotlivých kampaních a lokalitách zobrazuje Obr. 32.



Obr. 32 – Suma PCDD/F v fg TEQ/m³, Jihlava a Bochovice, 2012 – 2017

Z grafu je patrné, že hodnoty jsou s výjimkou sezóny 2013/2014 velmi podobné. Ani v jednom případě pak nebyla překročena hodnota 50 fg/m³.



Obr. 33 – Průměrná hodnota sumy PCDD/F v fg TEQ/m³ za 5 let, členění dle topné a netopné sezóny, Jihlava a Bochovice, 2012 – 2017

Pokud průměrné koncentrace PCDD/F rozdělíme na topnou (říjen – březen) a netopnou (duben – září) sezónu, dostaneme následující graf na Obr. 33. Z grafu vyplývá, že mezi topnou a netopnou sezónou nejsou zásadní rozdíly. Z toho vyplývá, že v obou lokalitách nedochází k nedokonalému spalování či spalování odpadu a obě lokality jsou zřejmě velmi dobře provětrávané.

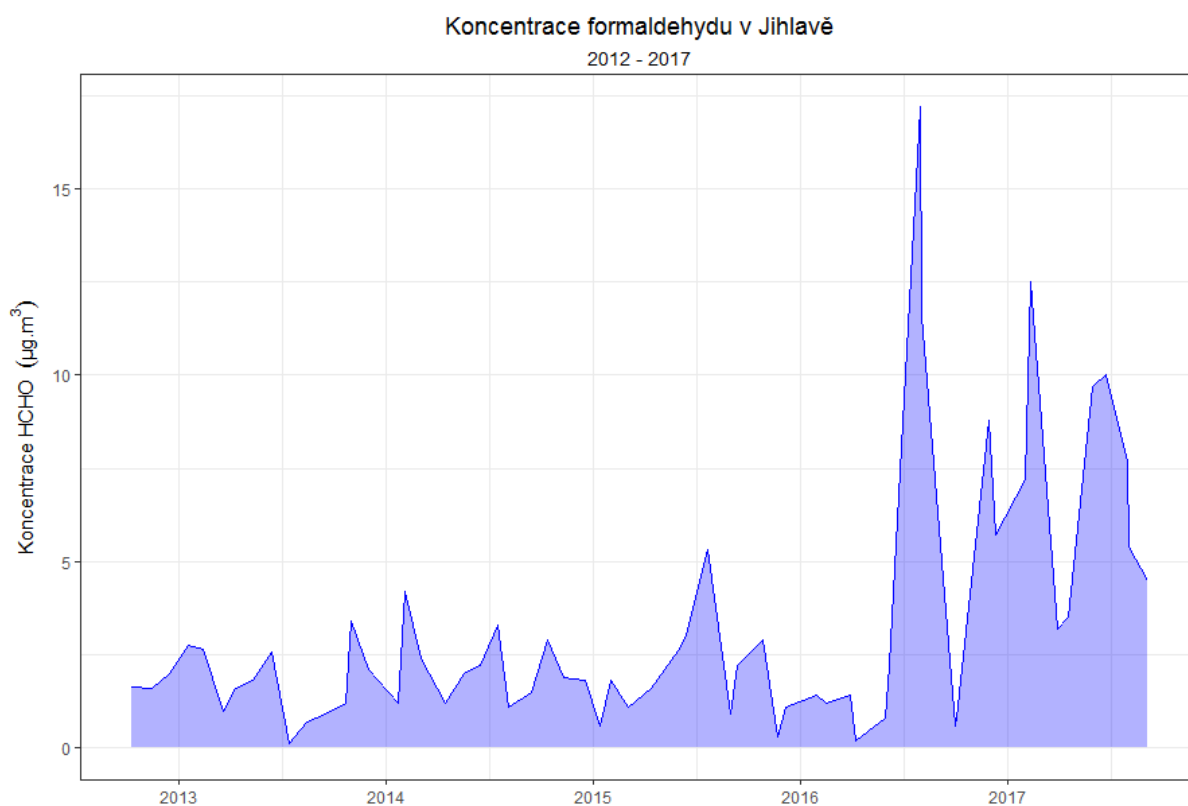
4.8 Formaldehyd HCHO

V životním prostředí je formaldehyd běžně přítomen, velká množství vznikají v troposféře oxidací uhlovodíků (jen z methanu cca 4×10^{11} kg ročně - pro srovnání, celková roční průmyslová výroba činí cca $3,5 \times 10^9$ kg), v menší míře rozkladem rostlinných zbytků a transformací chemikálií uvolňovaných z listů. Působením slunečního záření se formaldehyd rychle oxiduje na oxid uhličitý, reaguje také s hydroxylovými radikály [22].

Do prostředí se formaldehyd dostává především při výrobě, manipulaci a likvidaci. Důležitým zdrojem je spalování organického materiálu, problematické je jeho odpařování ze stavebního materiálu, dřevotřískového nábytku, koberců a hraček, kde je použit jako lepidlo. Formaldehyd je vysoce toxický pro všechny živočichy. Jedná se o mutagenní a karcinogenní látku (1. kategorie IARC). Člověk může být formaldehydu vystaven vdechnutím, požitím a kožním kontaktem. Při nízkých koncentracích dochází k podráždění sliznic horních cest dýchacích, při vyšších koncentracích se pak dostávají silné otoky, záněty plic, popřípadě smrt. Je možnou příčinou atopických ekzémů a různých alergických stavů [23].

4.8.1 Vývoj koncentrací formaldehydu v Jihlavě

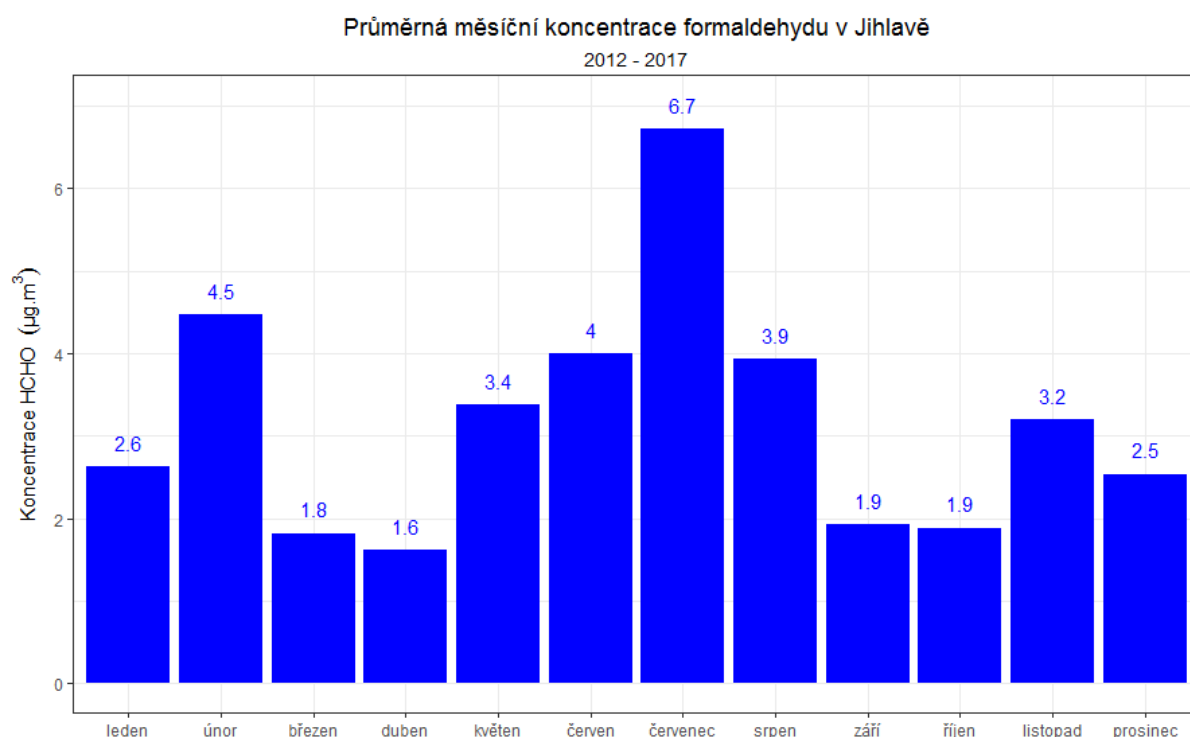
Koncentrace formaldehydu (HCHO) v Jihlavě byly měřeny vždy jeden den v měsíci, za jednotlivé kampaně tedy 12 odběrů. Vývoj měřených koncentrací zobrazuje Obr. 34.



Obr. 34 – Vývoj koncentrací formaldehydu v období 10/2012 – 09/2017, Jihlava

Z grafu je patrné, že až do poloviny roku 2016 byly koncentrace formaldehydu relativně nízké. Poté došlo k prvnímu výraznému nárůstu a zároveň naměření nejvyšší koncentrace (30. 7. 2016, hodnota $17,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). V podzimních měsících došlo opět k poklesu koncentrací. Avšak v zimě 2016/2017 se vyskytovaly delší období se zhoršenými rozptylovými podmínkami (viz technická zpráva z kampaně (2016/2017)). To se zřejmě projevilo v nárůstu koncentrací. V jarních měsících došlo opět k poklesu a v letních měsících při vyšších teplotách opět k nárůstu.

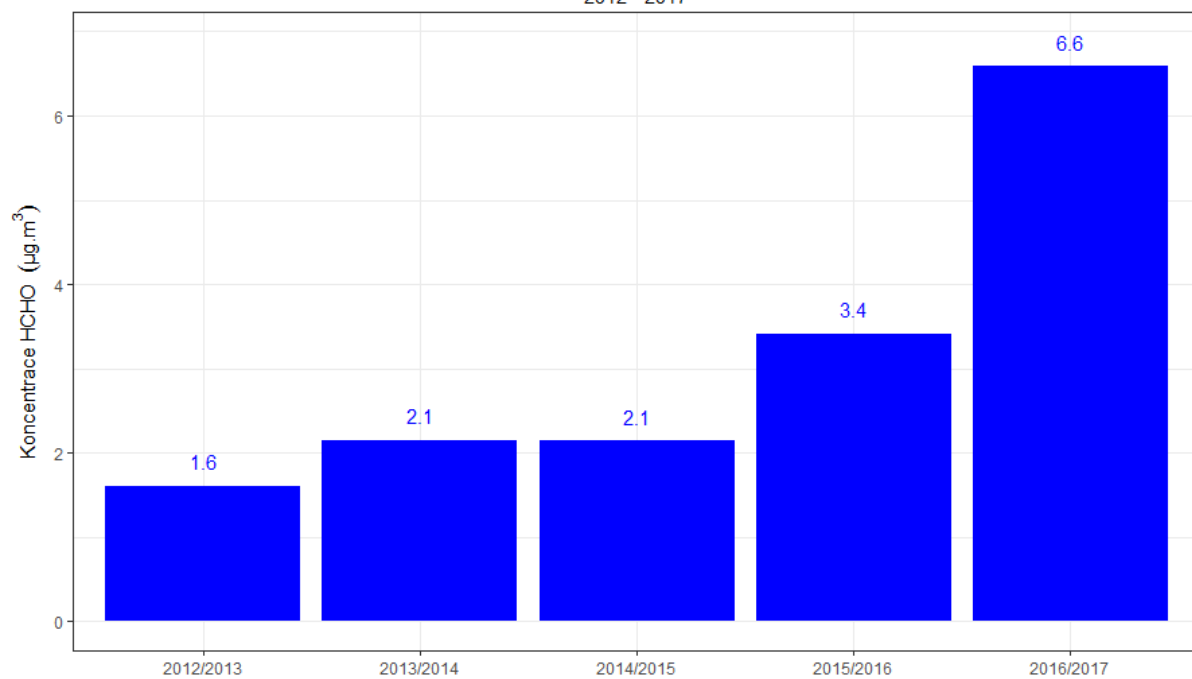
Tento trend se projevilo také v průměrných měsíčních hodnotách za všech 5 let měření (Obr. 35). Zvýšené koncentrace jsou měřeny v letních měsících (zejména červenec) a zimních měsících (únor). V létě může jít o důsledek těkání této látky z nátěrů či pryskyřic, v zimních měsících může jít o důsledek lokálního vytápění.



Obr. 35 – Průměrné měsíční koncentrace formaldehydu za 5 let, Jihlava, 10/2012 – 09/2017

Ze srovnání průměrných ročních koncentrací formaldehydu v jednotlivých kampaních je patrné, že koncentrace mírně rostou (Obr. 36). Může jít o důsledek lokálního ovlivnění.

Průměrná koncentrace formaldehydu v jednotlivých kampaních v Jihlavě
2012 - 2017



Obr. 36 - Průměrné roční koncentrace formaldehydu za jednotlivé kampaně, Jihlava, 10/2012 – 09/2017

5 Opatření ke zlepšení kvality ovzduší

Z hlediska přípravy a realizace opatření je potřeba vycházet z Programu zlepšování kvality ovzduší. Program zlepšování kvality ovzduší („PZKO“) zóny Jihovýchod CZ06Z [24] vydaná formou opatření obecné povahy jsou jedněmi ze základních podkladů pro činnost krajského úřadu na úseku územního plánování i ochrany ovzduší. Tato studie pak napomáhá identifikaci problémů a může tak pomoci ní být lépe směřováno opatření ke zlepšení kvality ovzduší. V následujících podkapitolách budou vyjmenovány základní opatření, která mohou v lokalitách, kde je limit pravděpodobně překračován (prioritní lokality), pomoci k dosažení podlimitní úrovně, v ostatních lokalitách mohou sloužit jako preventivní opatření k udržování podlimitní úrovně koncentrací škodlivin.

5.1 Lokální topeniště

Z kapitol věnovaných suspendovaným částicím PM_{10} a $PM_{2,5}$ a zejména také benzo[*a*]pyrenu vyplývá, že topná sezóna hraje zcela zásadní roli z hlediska nárůstu koncentrací těchto škodlivin. Velmi důležitou roli pak hraje také umístění – jestli je lokalita v inverzní poloze a hůře ventilovaná, nebo ne (viz zejména Ledec nad Sázavou).

Z tohoto důvodu je potřeba plošně prosazovat opatření uvedená v kapitole E.4.4 PZKO: *Opatření ke snížení vlivu stacionárních zdrojů provozovaných v domácnostech, případně v živnostenské činnosti na úroveň znečištění ovzduší.*

Příčemž jako prioritní by měly být vymezeny obce, kde měření prokázala možné překročení imisního limitu pro PM_{10} , $PM_{2,5}$ a benzo[*a*]pyren. Jedná se o obce:

- Pacov
- Lukavec
- Bystřice nad Pernštejnem
- Vír
- Žďár nad Sázavou
- Ždírec nad Doubravou
- Humpolec

Dále by jako prioritní měly být zařazeny obce velmi špatně provětrávané s pravděpodobným častým výskytem inverzí:

- Ledec nad Sázavou
- Světlá nad Sázavou
- Kamenice nad Lipou
- Golčův Jeníkov
- Pelhřimov

Tato opatření lze pochopitelně aplikovat i na další obce s významnou koncentrací lokálních topenišť na tuhá paliva a inverzní polohou.

Jako zcela zásadní se jeví realizace opatření **DB1** aktuálního PZKO: *Podpora přeměny topných systémů v domácnostech – Instalace a využívání nových nízkoemisních či bezemisních zdrojů energie*. V rámci tohoto opatření je doporučeno využívat veškeré možnosti (kotlíkové dotace, krajské dotace) k obměně starších kotlů na tuhá paliva za **kotle plynové nebo tepelná čerpadla**. Tyto kotle jsou účinné jak směrem k suspendovaným částicím, tak k benzo[*a*]pyrenu. Kotle na tuhá paliva (i moderní) budou vždy produkovat vyšší emise benzo[*a*]pyrenu.

Vzhledem k rozsahu možných variant přeměn topných systémů není limitujícím prvkem vlastní technická realizace, ale zajištění finančních prostředků pro tuto realizaci. Klíčovým aspektem realizace opatření je tedy dostatečně masivní dotační podpora, kterou zajistí zejména MŽP. Úlohou krajských a místních orgánů je distribuce finančních prostředků koncovým uživatelům, organizační zajištění, informační podpora a osvěta.

S tímto opatřením jdou ruku v ruce i další opatření PZKO. Jedná se zejména o opatření **DB3** *Rozvoj environmentálně příznivé energetické infrastruktury, rozšiřování sítí zemního plynu a soustav zásobování tepelnou energií*. Tímto opatřením by se opět podpořilo používání zemního plynu jako čistého topiva popř. napojení na CZT.

Zejména v obcích a oblastech, kde není možná podpora přechodu na plyn či chybí podpora přechodu na bezemisní systém vytápění (tepelná čerpadla) je vhodné aplikovat opatření **DB2** *Snížení potřeby energie*. Opatření je zaměřeno na využití potenciálu úspor při využívání energií v budovách v majetku krajů, měst a obcí a jejich organizací i na budovách v majetku státu a soukromých subjektů. Snížení spotřeby energie je přirozeně spojeno se snížením emisí z vytápění příslušných budov.

5.2 Doprava

Z výsledků měření na dopravních lokalitách vyplývá, že automobilová doprava je významným zdrojem znečišťování ovzduší. Významně se podílí především na imisní zátěži suspendovaných částic, a to třemi způsoby – přímými emisemi částic (z výfuků a z otěrů brzd a pneumatik), vnosem prachu z vozovek (tzv. resuspenze) a emisemi prekurzorů tzv. sekundárních částic (částice vzniklé z plynných polutantů), zejména NO_x. Zejména v případě měření koncentrací NO₂ je patrné, že dopravní lokality měří nejvyšší hodnoty (Obr. 14).

Opatření v dopravě by se tak mohla pozitivně projevit jednak ve snížení koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5}, a dále také v poklesu koncentrací NO₂. Pro snížení koncentrací suspendovaných částic je důležitá zejména plynulost dopravy. Jako zásadní se tedy jeví obchvaty měst a obcí bez křižovatek a semaforů, a dále telematická opatření pro co

nejplynulejší provoz v obcích. Koncentrace oxidů dusíku velmi dobře korelují s intenzitou dopravy, avšak vysoké koncentrace jsou měřeny pouze ve špatně provětrávaných „kaňonech“ zástavby. I pro snížení koncentrací NO_x je tedy zásadní opatření vymístění dopravy z obydlených (zastavěných) intravilánů obcí a umístění obchvatu do otevřené, dobře provětrávané oblasti.

Jako prioritní by tedy měly být obce, kde je vysoký podíl tranzitní dopravy, chybí obchvat obce, a provoz v obci není plynulý. Z proměřovaných obcí v rámci této studie se jedná zejména o:

- Havlíčkův Brod
- Velká Bíteš
- Pelhřimov
- Náměšť nad Oslavou
- Jihlava
- Třebíč

Pochopitelně jsou v kraji Vysočina i další města a obce, kde může vlivem dopravy docházet **lokálně** k navýšení koncentrací suspendovaných částic a NO₂. Pro tyto obce platí stejná doporučení.

Z PZKO lze tedy doporučit především tato opatření:

- **AB2 – Prioritní výstavba obchvatů měst a obcí** – cílem tohoto opatření je odvedení tranzitní dopravy, především nákladní, jež je významným zdrojem znečištění ovzduší, z prostoru obytné zástavby do extravilánu či periferních částí měst a obcí. Opatření se však netýká pouze tranzitní dopravy (tj. dopravy se zdrojem i cílem cesty mimo dotčené město/obec), ale zajistí také přenesení části vnitroměstské, cílové i zdrojové dopravy, čímž opět odlehčí centrálním částem města/obce. Zásadní význam má však budování obchvatů i ve vztahu k dalším opatřením dopravně-organizačního charakteru, jejichž účelem je snížení celkového objemu dopravy ve městě. Podstatnějšího účinku těchto opatření lze dosáhnout až v situaci, kdy budou zajištěny vhodné objízdné trasy. V prostoru vymezeném obchvatem pak je možné realizovat např. nízkoe emisní zóny, selektivní zákazy vjezdu atp.
- **AA2 – Ekonomická podpora (dotace) provozu veřejné hromadné dopravy** – v některých obcích dosahuje dotace veřejné hromadné dopravy celoročně až 100 %. Toto opatření je vhodné aplikovat celoročně, ne pouze během smogových situací. Nízké jízdné může přilákat část obyvatel, a sníží se tak počet aut a zvýší plynulost dopravy v obci. Na toto opatření dále navazují opatření **AB10 – Zvyšování kvality v systému veřejné hromadné dopravy** a **AB11 – Zajištění preference veřejné hromadné dopravy**.
- **AB7 – Nízkoe emisní zóny** – Nízkoe emisní zóny (NEZ) jsou vymezené části měst a obcí, do nichž je omezen vjezd vozidel, jejichž emise nedosahují požadované úrovně. Pravidla pro zřízení NEZ jsou ustanovena v zákoně č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší a v

navazujícím nařízením vlády. Toto opatření by mělo navazovat na stavbu obchvatů, kdy pro tranzitní dopravu a nevyhovující vozidla vznikne plnohodnotná objízdná trasa.

- **AB15 – Zvýšení plynulosti dopravy v intravilánu obcí** – Zaváděním tohoto opatření je možné dosáhnout zvýšení plynulosti vozidel v dopravním proudu, případně eliminace fáze jízdy vozidla, během které motor a katalyzátor nepracuje v optimálních podmínkách a produkce emisí je tedy vyšší. Cílem tohoto opatření je zlepšit kvalitu povrchu vozovky, případně i umožnit plynulejší jízdu lepší organizací dopravy, a tímto způsobem snížit zátěž obyvatelstva emisemi znečišťujících látek. Opatření zahrnuje také podporu implementace inteligentních dopravních systémů a telematických systémů (např. zelená vlna na světelných křižovatkách, informační panely s údaji o počtu volných parkovacích míst v kapacitních garážích a na záchytných parkovištích, proměnné informační panely apod.), přičemž velká míra informace se v dnešní době dostane ke koncovému uživateli přes aplikaci v mobilním telefonu.
- **AB16 – Úklid a údržba komunikací** – Velmi důležité opatření, kterému se v posledních letech věnuje zvýšená pozornost. Např. Vídeň provedla sérii opatření týkající se managementu posypu, posypového materiálu a včasného úklidu právě z důvodů omezení prašnosti v blízkosti komunikací, kde může k resuspenzi (znovuzvření). Komunikace jsou významným zdrojem resuspenze částic – zvíření prachu z vozovek, který tak přispívá k zvýšení celkové emisní zátěže částic. Z tohoto důvodu je zapotřebí částice z povrchů vozovek soustavně odstraňovat. Významným zdrojem prašnosti je také inertní posyp, který je používán zejména na chodnících a jiných pěších komunikacích. Odtud se postupně dostává na vozovku, kde je rozměňován a rozvířován koly projíždějících automobilů. Z tohoto důvodu je nutno vždy provést po zimě (a v lepším případě i během delších teplých období v zimních měsících) důkladné vyčištění všech komunikací od zimního posypu.

V rámci PZKO jsou uvedena i další opatření v dopravě, která se mohou podílet na zlepšení kvality ovzduší a lze je tedy využít jako preventivní opatření.

5.3 Průmyslové zdroje

Stacionární zdroje znečišťování mohou významně ovlivňovat kvalitu ovzduší zejména v případě emisí primárních a fugitivních částic PM_{10} , $PM_{2,5}$. Kraj Vysočina není významně zatížen průmysl, přesto se i v rámci měřených lokalit této studie vyskytla obec s místním ovlivněním průmyslového zdroje. Jedná se o obec Lukavec. Tato obec je zařazena rovněž jako prioritní obec v rámci PZKO a opatření **BB1 – Snížení vlivu stávajících průmyslových a energetických stacionárních zdrojů na úroveň znečištění ovzduší – Čištění spalin nebo odpadních plynů, úprava technologie**. Z měření v obci Lukavec vyplývá, že jsou zde měřeny jedny z nejvyšších koncentrací suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ v kraji Vysočina. Zároveň ze srovnání topné a netopné sezóny vyplynulo, že nejvyšší koncentrace jsou zde měřeny i mimo topnou sezónu.

Svůj významný vliv tedy bude mít průmyslový zdroj a s ním spojená logistika. Opatření spojená s tímto zdrojem mohou opět vycházet z PZKO:

- **BB1** – *Snížení vlivu stávajících průmyslových a energetických stacionárních zdrojů na úroveň znečištění ovzduší – Čištění spalin nebo odpadních plynů, úprava technologie.* Konkrétně se pak jedná o náhradu či rekonstrukce stacionárního zdroje nebo pořízení technologií a změny technologických postupů vedoucí ke snížení emisí TZL, PM₁₀, PM_{2,5}.
- **BD1** – *Zpříšňování/stanovování podmínek provozu*

Jako preventivní lze tato opatření použít i v dalších obcích s průmyslovými zdroji – např. Žďár n. Sázavou, Jihlava, Velké Meziříčí, Humpolec, Pelhřimov, Ždírec nad Doubravou.

5.4 Zemědělství a větrná eroze

Zemědělství je významným zdrojem suspendovaných částic PM₁₀ (Obr. 2). Na emisích se podílí jak polní práce (orba, sklizeň), tak nesilniční doprava (zemědělská vozidla a stroje). K tomu se přidává větrná eroze jako další zdroj vznosu částic půdy do ovzduší. I pro tento sektor jsou v rámci PZKO připravena opatření, konkrétně opatření **CB2** – *Snížení emisí TZL a PM10 – větrná eroze*. Opatření k ochraně zemědělských pozemků před větrnou erozí jsou možná buď organizační, agrotechnická nebo je možné využití ochranných větrolamů. Blíže jsou popsána v PZKO. Tato opatření mají charakter preventivních opatření.

6 Závěry

Studie shrnuje 5-ti letý projekt měření kvality ovzduší ve vybraných sídlech kraje Vysočina. Během těchto 5 let se pomocí kontinuálního měření naměřilo dostatečné množství dat pro vyhodnocení koncentrací škodlivin v jednotlivých lokalitách a srovnání s imisními limity. V případě jednorázových odběrů jsou výsledky pouze orientační, přesto mají svou informační hodnotu zejména v případě polycyklických aromatických uhlovodíků.

Z výsledků kontinuálního monitoringu vyplývá, že problém může vyvstat na Vysočině pouze s PM_{10} a $PM_{2,5}$. Imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM_{10} nebyl překročen na žádné lokalitě, v průměru nejvyšší hodnoty byly měřeny v lokalitách Lukavec a Pacov. V těchto dvou lokalitách lze na základě 5-ti let monitoringu konstatovat, že by zde mohlo docházet k překračování imisního limitu pro průměrnou denní koncentraci PM_{10} . Avšak i v některých dalších lokalitách se naměřené hodnoty tomuto imisnímu limitu blížily. Na zvýšených koncentracích PM_{10} v těchto lokalitách se může podílet významný průmyslový zdroj (Lukavec), doprava (Pacov) a lokální topeniště (Lukavec i Pacov).

Nadlimitní koncentrace z hlediska průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ pak byly naměřeny pouze v lokalitě Lukavec. Avšak v roce 2020 dojde ke zpřísnění imisního limitu na $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ [10] a pak by mohlo docházet k překročení tohoto imisního limitu i v dalších lokalitách, jako jsou Pacov, Ledec nad Sázavou, Kamenice nad Lipou, Pelhřimov, Golčův Jeníkov a Vír.

Významný vliv na koncentrace PM_{10} i $PM_{2,5}$ má topná sezóna. V průměru za 5 let a všechny hodnocené lokality navýšila topná sezóna koncentrace PM_{10} na Vysočině o 68 %, koncentrace $PM_{2,5}$ pak o 94 %. Topná sezóna tedy na Vysočině téměř zdvojnásobila koncentrace $PM_{2,5}$.

Koncentrace NO_2 se k limitu pro průměrnou roční koncentraci nepřiblížily. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny na dopravních lokalitách Velká Bíteš, Havlíčkův Brod, Jihlava nebo Pelhřimov. Maximální naměřená průměrná hodnota dosahovala pouze zhruba 2/3 imisního limitu (Velká Bíteš). Částečně se na koncentracích NO_2 podílela také topná sezóna. V průměru za 5 let a všechny hodnocené lokality navýšila topná sezóna koncentrace NO_2 na Vysočině o 40 %.

Koncentrace SO_2 jsou velmi nízké na celém území ČR a mimo Ústecký kraj dlouhodobě nepřekračují ani dolní mez pro posuzování. To potvrdila i měření na Vysočině, kde žádná z lokalit tuto mez nepřekročila (pro hodnocení stačí pouze legislativou minimální stanovený počet stanic [2]). Nejvyšší hodnoty 4. nejvyšší denní koncentrace SO_2 , ke které se vztahuje imisní limit, byly naměřeny v Lukavci, Humpolci a Pacově. V průměru za 5 let a všechny hodnocené lokality navýšila topná sezóna koncentrace SO_2 na Vysočině o 34 %.

Troposférický ozón byl dlouhodobě měřen pouze na v lokalitách Jihlava a Žďár nad Sázavou, pro srovnání byly doplněny lokality Košetice (AIM) a Jihlava (AIM). Nejvyšší koncentrace O_3 jsou měřeny v Košetících, nejnižší naopak v dopravou zatížené části Jihlavy, kde ozón rychle reaguje s dalšími látkami v ovzduší na jiné produkty. Imisní limit však nebyl na žádné z lokalit překročen.

Měření těkavých organických látek potvrdilo (v případě benzenu) model ČHMÚ, kde kromě Ostravska koncentrace nepřekračují ani dolní mez pro posuzování. To znamená, že na Vysočině není nutné tuto látku sledovat nad zákonem minimálně stanovené množství stanic [2]. Koncentrace měřených VOC často ani nedosáhly meze detekce analytické metody. Ani maximální naměřená hodnota ve Velkém Meziříčí nepřekračuje imisní limit. V průměru jsou nejvyšší hodnoty naměřeny v lokalitách Vír (měřilo se pouze 2 roky), Velké Meziříčí a Bystřice nad Pernštejnem.

Odběry PAH pouze čtyřikrát za rok v lokalitě nemají žádnou vypovídací hodnotu. Vzhledem k tomu, že hlavním zdrojem v ČR jsou lokální topeniště, záviselo nejvíce měření PAH na míře „topení“ v daný den. Jelikož se na lokalitách neprovádělo měření v jeden den, je srovnání velmi problematické. Obecně lze říct, že výrazně vyšší koncentrace byly měřeny v topné sezóně, mimo topnou sezónu byly koncentrace pouze zanedbatelné. Téměř veškeré koncentrace benzo[*a*]pyren lze tedy přisuzovat lokálním topeništím, což odpovídá celorepublikové emisní bilanci. V průměru za 5 let byly nejvyšší koncentrace benzo[*a*]pyrenu naměřeny v lokalitách Bystřice nad Pernštejnem, Velké Meziříčí a Vír. Vzhledem k velmi nízkému počtu vzorků není možné usuzovat, zda by zde opravdu k překročení imisního limitu došlo. Přesto je to minimálně varování a důvod k detailnějšímu prozkoumání těchto lokalit (dlouhodobější měření). Zejména v případě lokality Bystřice nad Pernštejnem šlo v některých případech o poměrně vysoké hodnoty koncentrací.

V obcích Bochovice a Jihlava byly rovněž měřeny persistentní organické polutanty (PCDD/F) a vyhodnoceny formou sumy toxického ekvivalentu v metru krychlovém vzduchu. Hodnoty jsou v obou lokalitách s výjimkou sezóny 2013/2014 velmi podobné. Ani v jednom případě pak nebyla překročena hodnota 50 fg/m³, což je limitní koncentrace daná WHO, která byla odvozena na základě výpočtu rizika platné pro US EPA.

Pouze v lokalitě Jihlava byly jednou měsíčně analyzovány koncentrace formaldehydu. Až do poloviny roku 2016 byly koncentrace formaldehydu relativně nízké, poté však došlo k několika měsícům se zvýšenými koncentracemi. Zvýšené koncentrace jsou měřeny v letních měsících (zejména červenec) a zimních měsících (únor). V létě může jít o důsledek těkání této látky z nátěrů či pryskyřic, v zimních měsících může jít o důsledek lokálního vytápění.

7 Citovaná literatura

- [1] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší ve znění pozdějších předpisů, 2012 - 2017, MŽP, 2012.
- [2] MŽP, Vyhláška č. 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích, ve znění pozdějších předpisů, 2012 - 2017, MŽP, 2012.
- [3] MŽP, „Stockholmská úmluva o persistentních organických polutantech (2001),“ [Online]. Available: https://www.mzp.cz/cz/stockholmska_umluva_polutanty.
- [4] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky,“ 1996 - 2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.
- [5] ČHMÚ, „Registr emisí a zdrojů znečištění ovzduší,“ 2010-2015. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emisnibilance_CZ.html.
- [6] M. VOJTÍŠEK, „O provozu vznětových motorů a aerosolech jimi produkováných v městských aglomeracích,“ *Konference ČAS 2010. Sborník konference.*, č. ISBN: 978-80-86186-25-2, 2010.
- [7] U. EPA, „Particulate Matter (PM) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/pm-pollution>.
- [8] J. Keder, „Rozbor výsledků kontinuálního měření spekter velikostí částic analyzátoru Grimm,“ v *Ovzduší 2007*, Brno, 2007.
- [9] EEA, „Air quality in Europe — 2016 report,“ 2016. [Online]. Available: https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016/at_download/file.
- [10] MŽP, „Zákon č. 369/2016 Sb., kterým se mění zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.sbirka.cz/POSL4TYD/NOVE/16-369.htm>.
- [11] USEPA, „Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/no2-pollution>.
- [12] P. WARNECK, *Chemistry of the natural atmosphere*, San Diego: Academic Press: ISBN 0-12-735632-0, 2000.

- [13] European Commission, „Position paper on air quality: nitrogen dioxide,“ 1997.
- [14] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky 1996 - 2015,“ 1 12 2016. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.
- [15] WHO, „Air quality guidelines for Europe, Second Edition,“ *WHO Regional Publications, European Series*, sv. No. 91, 2000.
- [16] ČHMÚ, „Znečištění ovzduší na území České Republiky,“ 2014. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html.
- [17] J. H. Seinfeld a S. N. Pandis, *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, New York: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-0-471-72017-1, 2006.
- [18] J. Fiala a D. Závodský, „Chemické aspekty znečištěného ovzduší – troposférický ozon,“ v *Kompendium ochrany kvality ovzduší*, Praha, 2003.
- [19] I. Colbeck a A. R. Mackenzie, „Air Pollution by photochemical oxidants,“ *Air Quality Monographs*, č. Elsevier. ISBN 0-444-88542-0, 1994.
- [20] IARC, „List of classifications by alphabetical order. Agents Classified by the IARC Monographs,“ [Online]. Available: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf>.
- [21] A. Bufka a MPO, „Malá spalovací zařízení na pevná paliva pro domácnosti,“ 2011. [Online]. Available: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/48322/54476/600290/priloha001.pdf>.
- [22] Wikipedie, „Formaldehyd,“ [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Formaldehyd>.
- [23] Arnika, „Formaldehyd,“ [Online]. Available: <http://arnika.org/formaldehyd>.
- [24] J. Bednář, „Kompendium ochrany kvality ovzduší, část 1: Meteorologie,“ *Ochrana ovzduší 2/2003*, 2003.
- [25] ČHMÚ, „Pětileté průměrné koncentrace podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb., §11, odst. 5 a 6,“ 2016. [Online]. Available: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/ozko/ozko_CZ.html.

8 Seznam zkratek použitých v dokumentu

AIM	automatizovaný imisní monitoring (AMS, AMS-SRS)
BaP, B(a)P	benzo[a]pyren
CZT	centrální zásobování teplem
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
HCHO	formaldehyd
ISKO	Informační systém kvality ovzduší
ISKOV	Informační systém kvality ovzduší kraje Vysočina
LAT	dolní mez pro posuzování
LV	limitní hodnota
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NMVOOC	nemetanické těkavé organické látky
NO ₂	oxid dusičitý
NO _x	oxidy dusíku, součet NO a NO ₂ (v ppb)
ORP	obec s rozšířenou působností
O ₃	přízemní (troposférický) ozón
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
PCDD	polychlorované dibenzo-p-dioxiny
PCDF	polychlorované dibenzo furany
PM _{2,5}	suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 2,5 μm
PM ₁₀	suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 10 μm
POPs	persistentní organické polutanty
REZZO	registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší
SSIM	státní síť imisního monitoringu
SVRS	Smogový varovný a regulační systém
TZL	tuhé znečišťující látky
UAT	horní mez pro posuzování
US EPA	United States Environmental Protection Agency – agentura ochrany životního prostředí spojených států amerických
UTC	světový koordinovaný čas
VMO	Velký městský okruh
VOC	těkavé organické látky
WHO	World health organization – světová zdravotnická organizace
ZÚ OVA	Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě