

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

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

## 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 provětrávatelností 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
<b>Bochovice</b>	ne	ne	ano	ano	ne	ne
<b>Bystřice n.P.</b>	ano	ano	ano	ano	ne	ano
<b>Golčův Jeníkov</b>	ne	ano	ano	ano	ne	ano
<b>Havl.Brod</b>	ano	ano	ne	ano	ne	ne
<b>Hrotovice</b>	ne	ano	ano	ano	ne	ne
<b>Humpolec</b>	ne	ano	ano	ano	ne	ne
<b>Chotěboř</b>	ano	ano	ano	ano	ne	ne
<b>Jihlava</b>	ano	ano	ne	ano	ne	ne
<b>Kamenice n.L.</b>	ne	ano	ne	ano	ne	ne
<b>Lukavec</b>	ano	ano	ano	ne	ne	ano
<b>Mor. Budějovic</b>	ano	ano	ano	ano	ne	ne
<b>Nové M.n.M.</b>	ne	ano	ano	ano	ne	ne
<b>Náměšť n.O.</b>	ano	ano	ano	ano	ne	ne
<b>Okříšky</b>	ano	ano	ano	ano	ne	ne
<b>Pacov</b>	ano	ano	ano	ano	ne	ne
<b>Pelhřimov</b>	ano	ano	ano	ne	ano	ne
<b>Rozsochy *</b>	ne	ano	ano	ano	ne	ne
<b>Světlá n. S. *</b>	ne	ano	ano	ano	ne	ne
<b>Telč</b>	ne	ano	ano	ano	ne	ne
<b>Třebíč</b>	ne	ano	ne	ano	ne	ne
<b>V. Bíteš</b>	ano	ano	ano	ano	ne	ne
<b>V. Meziříčí</b>	ne	ano	ano	ne	ano	ano
<b>Žďár n.S.</b>	ano	ano	ano	ne	ano	ne
<b>Ždírec n.D.</b>	ano	ano	ano	ano	ne	ne
<b>Ledeč n.S. **</b>	ano	ano	ano	ne	ano	ano
<b>Vír **</b>	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 **PM<sub>10</sub>** a **PM<sub>2,5</sub>**
- Oxidy dusíku – NO, **NO<sub>2</sub>** a NO<sub>x</sub>
- Oxid siřičitý – **SO<sub>2</sub>**
- 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).

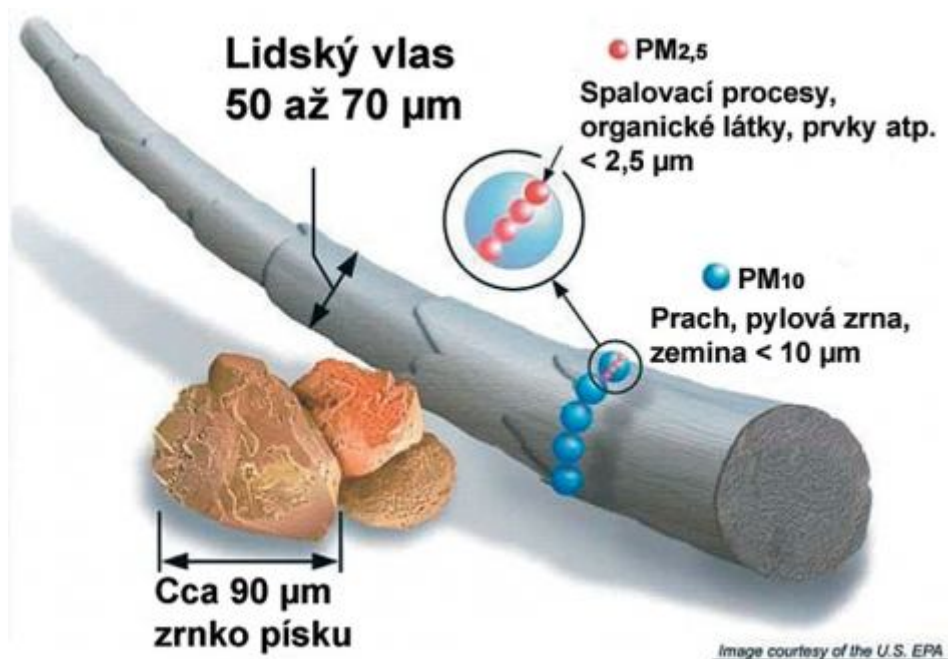
V Jihlavě a v Bochovicích (jediná neplynofikovaná obec ve výběru) byly navíc speciálně odebírány a stanovovány polychlorované dibenzo-*p*-dioxiny a polychlorované dibenzofurany (PCDD/F), které spadají do kategorie persistentních organických polutantů (POPs). Dioxiny nemají žádný užitek a nebyly nikdy 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 PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>

Z hlediska platné legislativy [1] jsou v ovzduší sledovány dvě velikostní frakce suspendovaných částic. Jedná se o hrubší frakci PM<sub>10</sub> (suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 10 µm) a jemnější frakci PM<sub>2,5</sub> (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 PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> 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 PM<sub>10</sub> 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<sub>2,5</sub> platí imisní limit pouze pro průměrnou roční koncentraci.

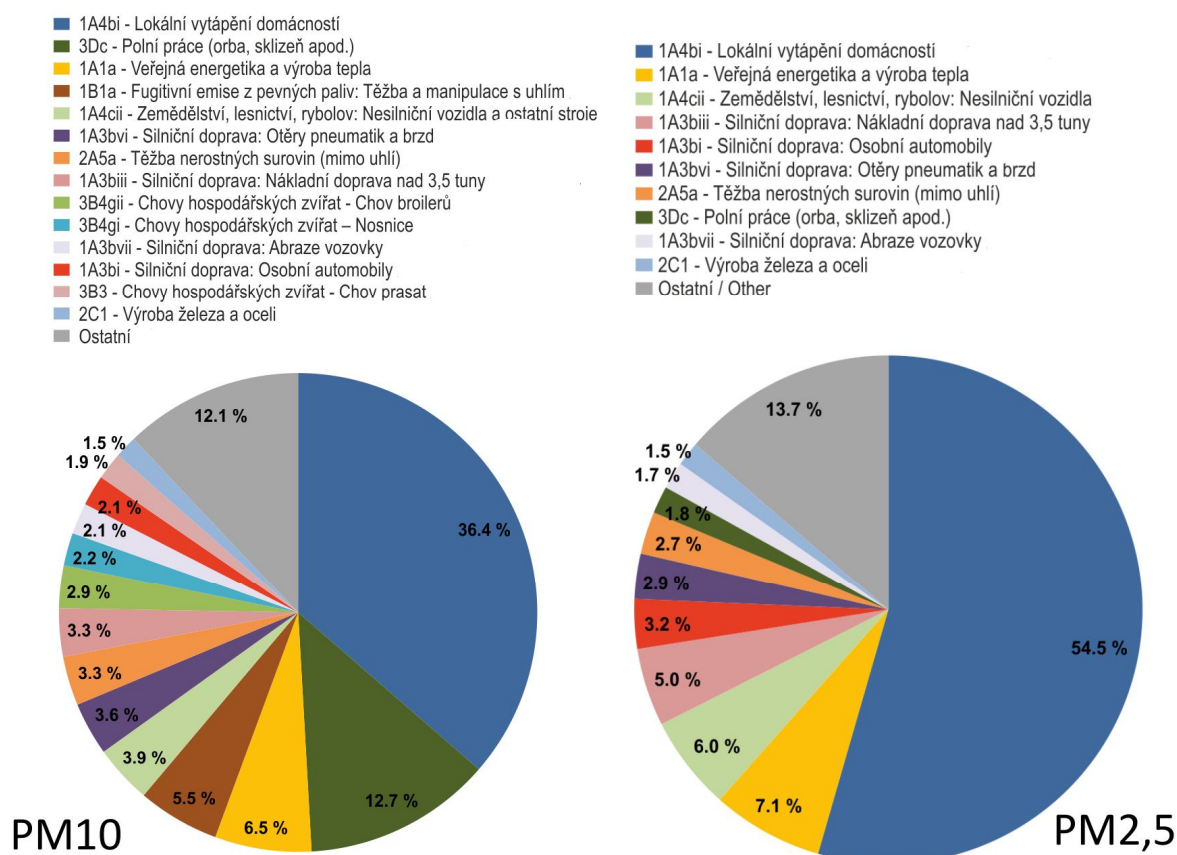
Tab. 2 – Imisní limity platné pro suspendované částice [1]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální povolený počet překročení
Suspendované částice PM <sub>10</sub>	24 hodin	50 µg.m <sup>-3</sup>	35 za kalendářní rok
Suspendované částice PM <sub>10</sub>	1 kalendářní rok	40 µg.m <sup>-3</sup>	
Suspendované částice PM <sub>2,5</sub>	1 kalendářní rok	25 µg.m <sup>-3</sup>	

Pozn. S účinností od 01. 01. 2020 bude imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM<sub>2,5</sub> zpřísněn na hodnotu 20 µg.m<sup>-3</sup>.

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 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> a VOC procesem nazývaným konverze plyn-částice. Z důvodu různorodosti emisních zdrojů mají suspendované částice různé chemické složení a různou velikost.

Emisní inventury částic PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> prováděné podle současných metodik zahrnují pouze emise produkované primárními zdroji. Ve srovnání s emisemi jiných znečišťujících látek jsou emise PM<sub>x</sub> 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 PM<sub>10</sub> (vlevo) a PM<sub>2,5</sub> (vpravo) v ČR v roce 2015 [4]



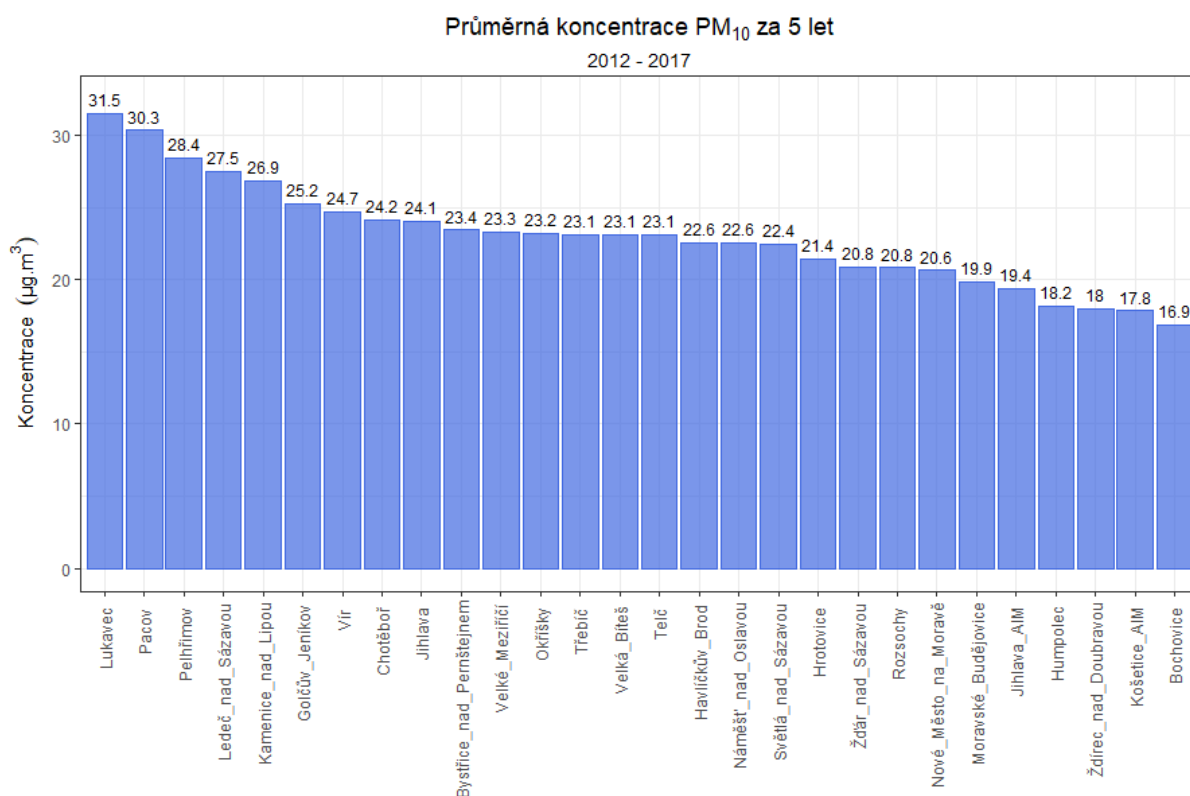
**Mezi hlavní zdroje emisí PM<sub>x</sub> v roce 2015 patřil sektor 1A4bi-Lokální vytápění domácností, který se podílel na znečišťování ovzduší v celorepublikovém měřítku látkami PM<sub>10</sub> 36,4 % a PM<sub>2,5</sub> 54,5 % (Obr. 2) [5].** Mezi další významné zdroje emisí PM<sub>10</sub> patří 3Dc-Polní práce, kde tyto emise vznikají při zpracování půdy, sklizni a čištění zemědělských plodin. Tento sektor představoval 12,7 % emisí PM<sub>10</sub>. 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 PM<sub>10</sub> podílely 5,4 % a na emisích PM<sub>2,5</sub> 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 PM<sub>10</sub>**

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 PM<sub>10</sub>.

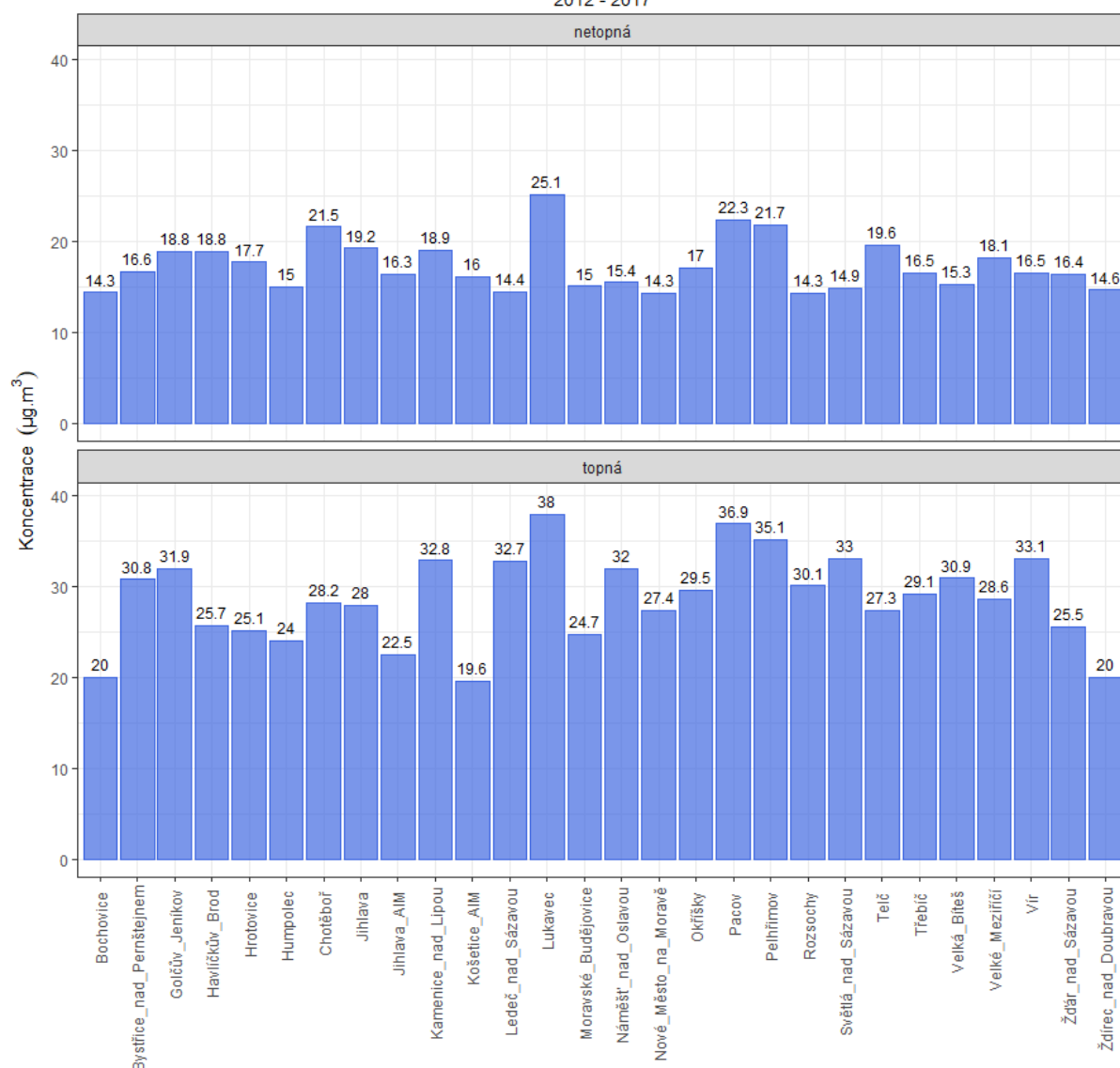


**Obr. 3 – Průměrná koncentrace PM<sub>10</sub> za 5 let, lokality ISKOV, AIM Jihlava a Košetice, 10/2012 – 09/2017**

Z grafu na Obr. 3 je patrné, že v průměru nejvyšších hodnot dosahují lokality Lukavec a Pacov, následují lokality Pelhřimov, Ledeč nad Sázavou (měřilo se pouze 2 roky) a Kamenice nad Lipou. Žádná z lokalit by však nepřekročila imisní limit pro průměrnou roční koncentraci PM<sub>10</sub> (40 µg·m<sup>-3</sup>). Naopak nejnižší hodnoty byly dlouhodobě měřeny v lokalitách Bochovice a Košetice. V Lukavci a Pacově byly měřeny téměř dvojnásobné hodnoty koncentrací PM<sub>10</sub> 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 PM<sub>10</sub> v topné a netopné sezóně za 5 let  
2012 - 2017



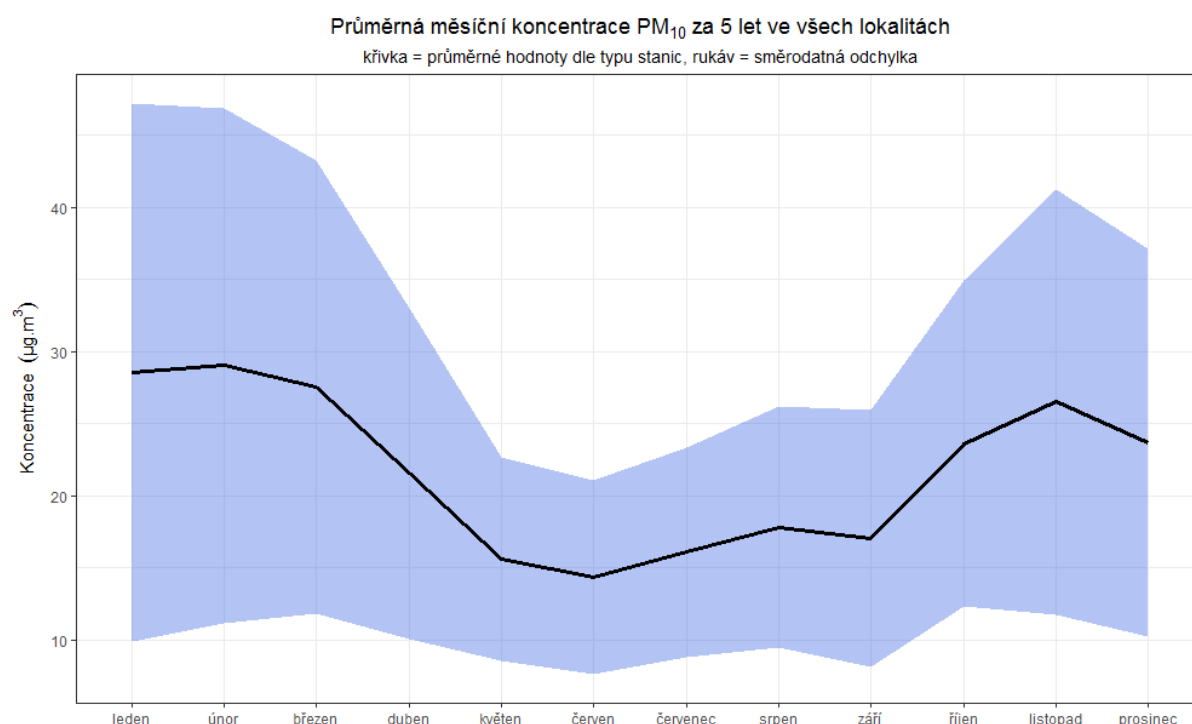
Obr. 4 - Průměrná koncentrace PM<sub>10</sub> za 5 let v topné a netopné sezóně, lokality ISKOV, AIM Jihlava a Košetice, 10/2012 – 09/2017

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<sup>-3</sup> v Košeticích až po 18,4 µg·m<sup>-3</sup> 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 PM<sub>10</sub> 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 PM<sub>10</sub> 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<sub>10</sub> 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<sub>10</sub> než v netopné sezóně. Podobná situace může nastávat také v lokalitě Vír, Světlá nad Sázavou či Náměšť nad Oslavou.

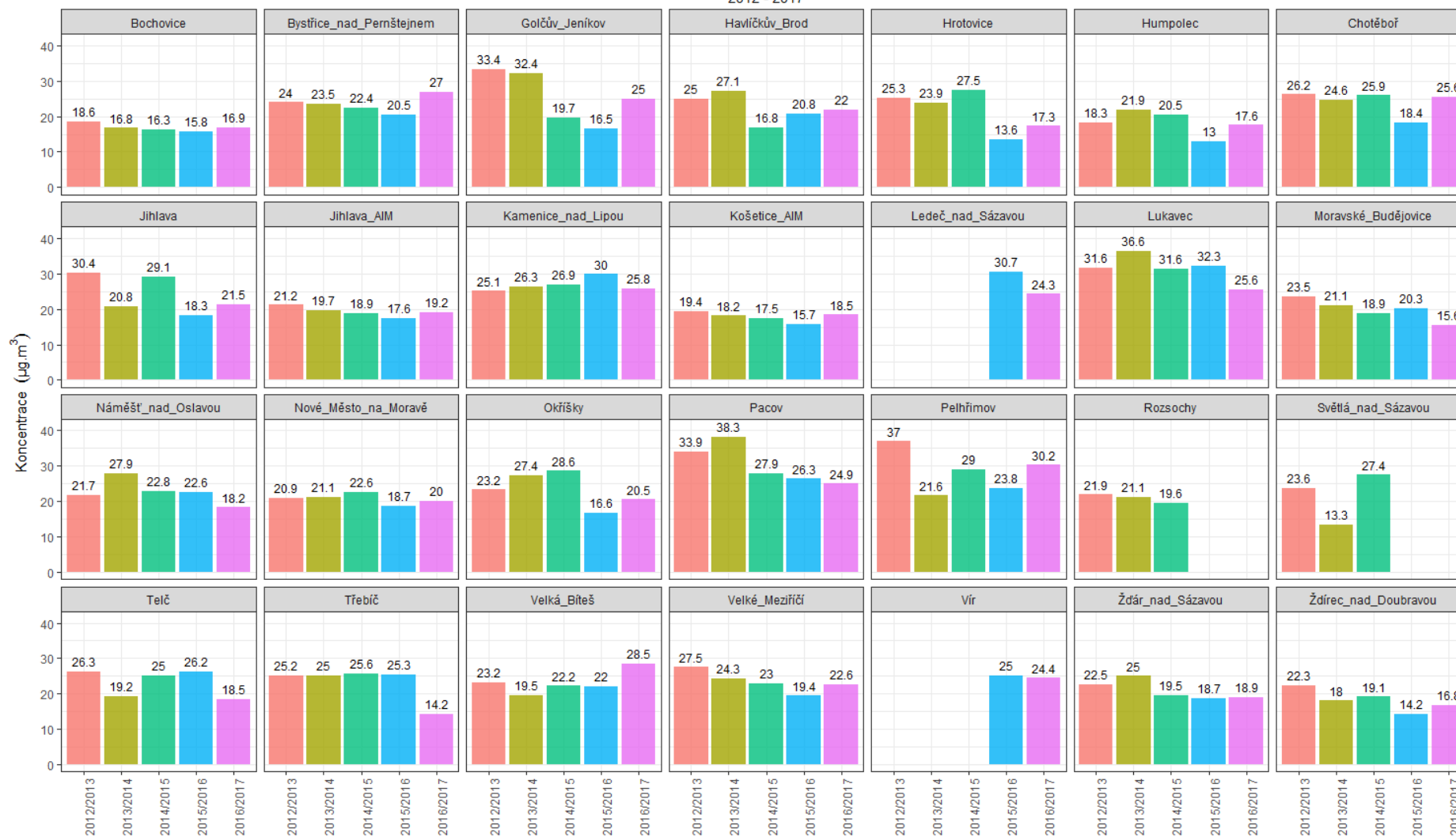
Průměrný chod měsíčních koncentrací PM<sub>10</sub> na Vysočině pak zobrazuje následující Obr. 5. Černá křivka zobrazuje průměrnou hodnotu pro každý měsíc, vypočtenou ze všech měřících lokalit za všech 5 let měření. Modrá plocha (rukáv) zobrazuje směrodatnou odchylku.



**Obr. 5 – Průměrný vývoj měsíčních koncentrací PM<sub>10</sub> 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<sub>10</sub> 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.

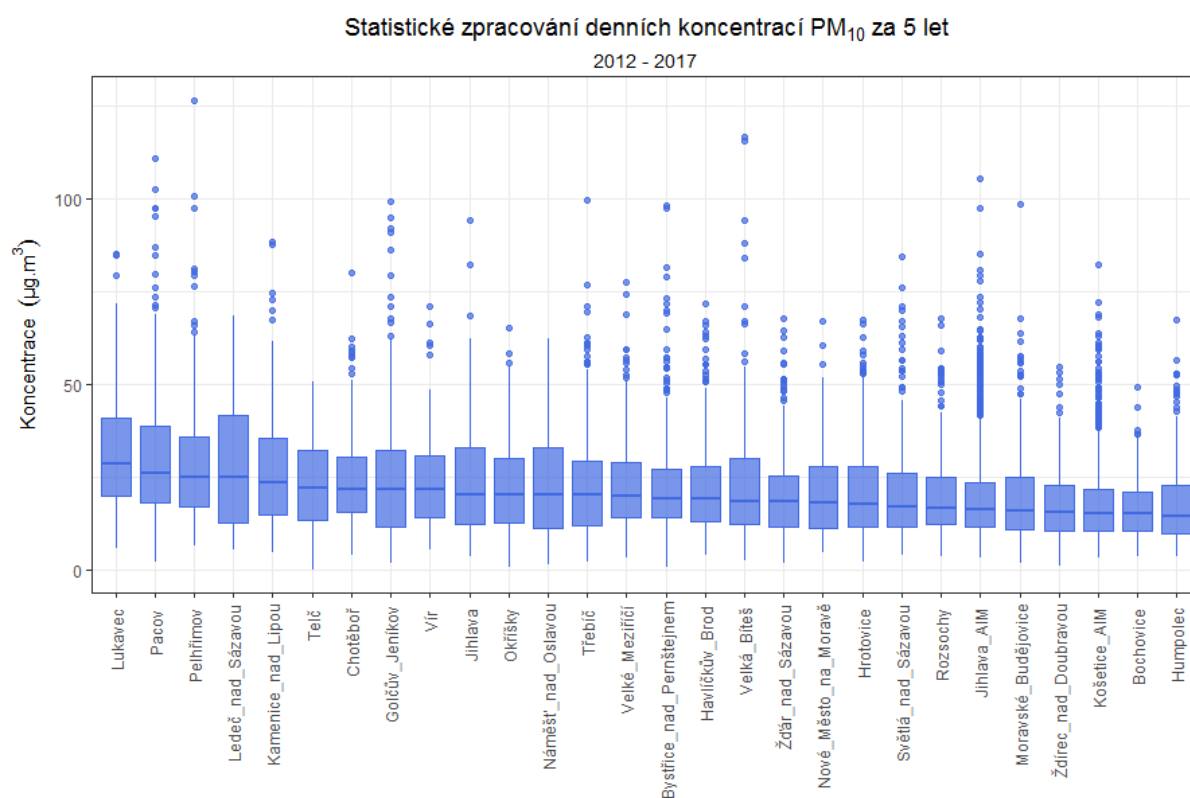
Průměrná roční koncentrace PM<sub>10</sub> v jednotlivých kampaních a typech lokalit  
2012 - 2017



Obr. 6 – Průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> na všech měřících lokalitách v jednotlivých ročních kampaních (vždy říjen – září), Vysočina, 2012 - 2017

#### 4.1.2 Průměrná denní koncentrace PM<sub>10</sub> a srovnání s imisním limitem

Suspendované částice PM<sub>10</sub> 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 PM<sub>10</sub> 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 PM<sub>10</sub> 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.

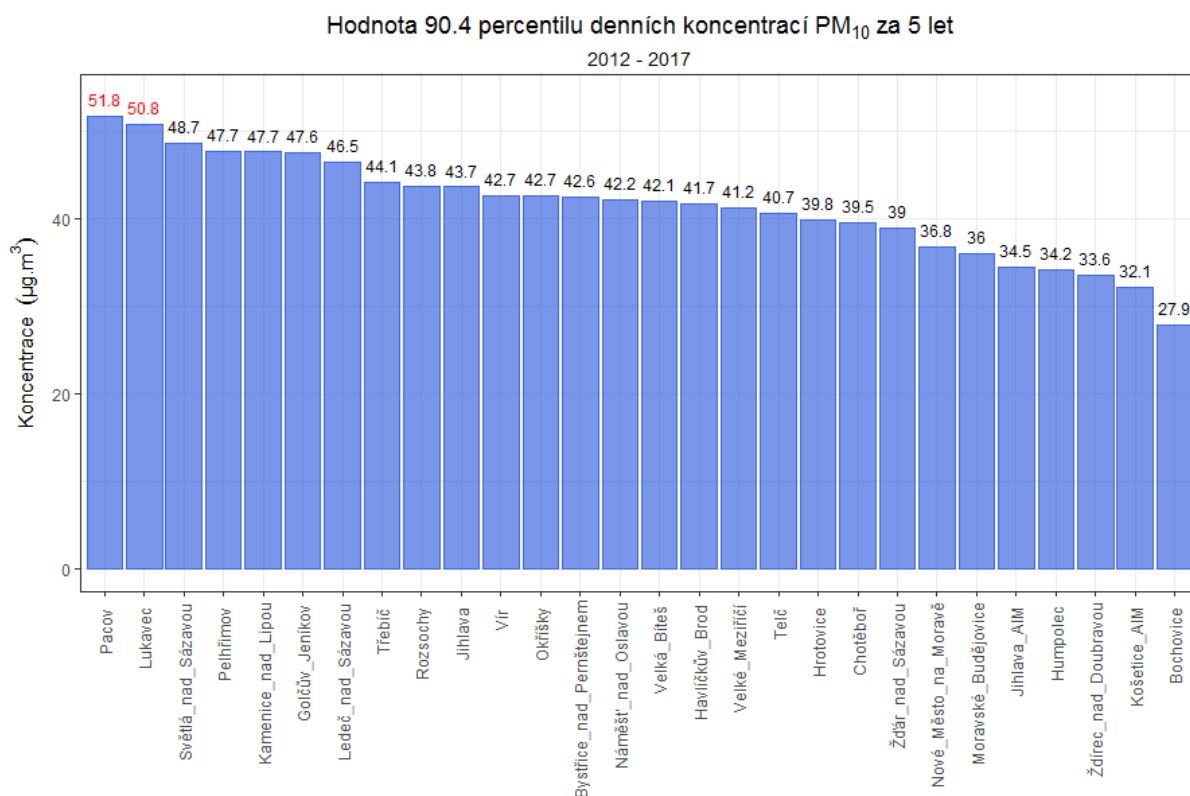
Rovněž je dobře patrný výskyt odlehlých hodnot. V případě mediánu koncentrací PM<sub>10</sub> vychází lokalita Humpolec nejlépe, lépe než Bochovice. Avšak z hlediska průměru je horší (Obr. 3). To je způsobeno právě vyšším počtem odlehlých hodnot, navíc odlehlé hodnoty jsou

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 PM<sub>10</sub> (např. Pelhřimov, Velká Bíteš, Pacov). Tyto odlehlé hodnoty mohou mít hodnotu až okolo 100 µg·m<sup>-3</sup> 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 PM<sub>10</sub> (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<sup>-3</sup>**, a za kalendářní rok může být 35x překročen. **Proto se vždy hodnotí 36. nejvyšší denní koncentrace PM<sub>10</sub> za kalendářní rok, a pokud je vyšší než 50 µg·m<sup>-3</sup>, 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 PM<sub>10</sub> 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 PM<sub>10</sub> (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 Ledec 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<sup>-3</sup>, 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 PM<sub>10</sub>.

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.

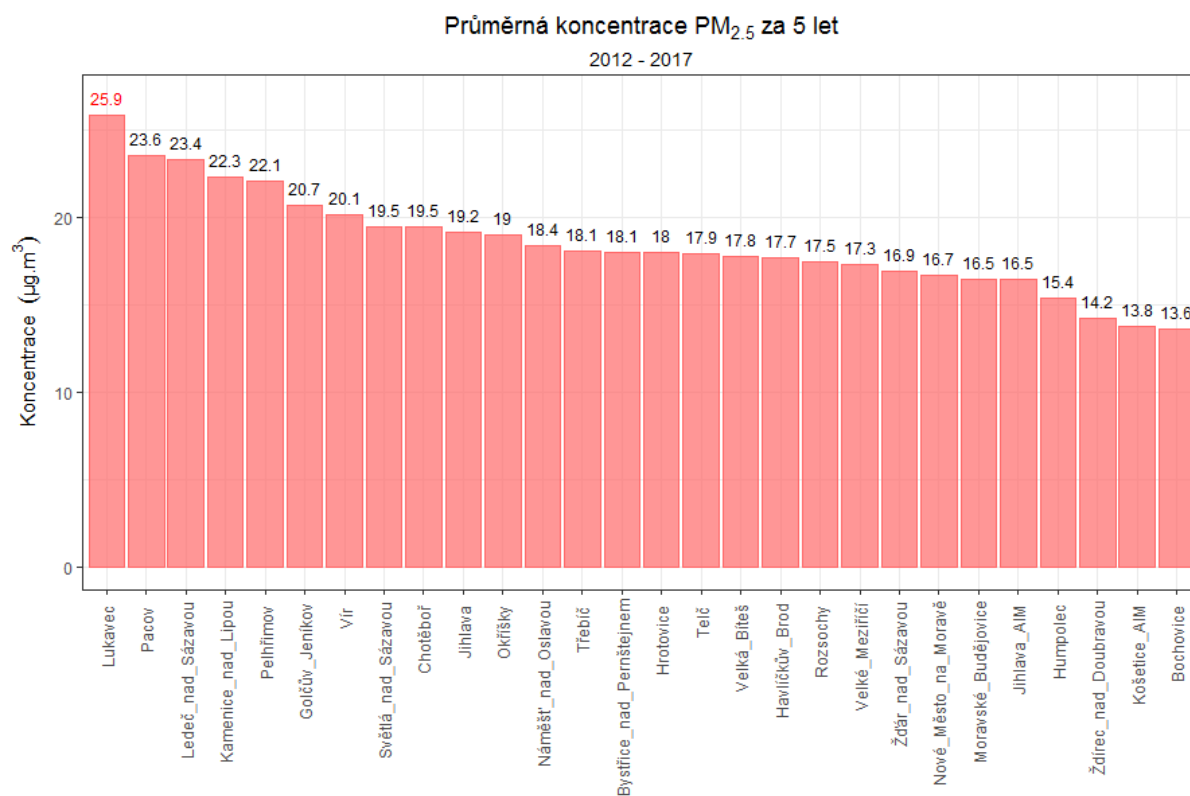


### 4.1.3 Průměrné roční koncentrace PM<sub>2,5</sub>

Částice PM<sub>2,5</sub> jsou „jemnější“ frakcí suspendovaných částic než PM<sub>10</sub>. Proto způsobují pro lidský organismus větší riziko, protože díky menšímu průměru se mohou dostat v lidském organismu dále a způsobit větší škody. Zatímco částice PM<sub>10</sub> deponují zejména v horních cestách dýchacích, částice PM<sub>2,5</sub> 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<sub>2,5</sub>.



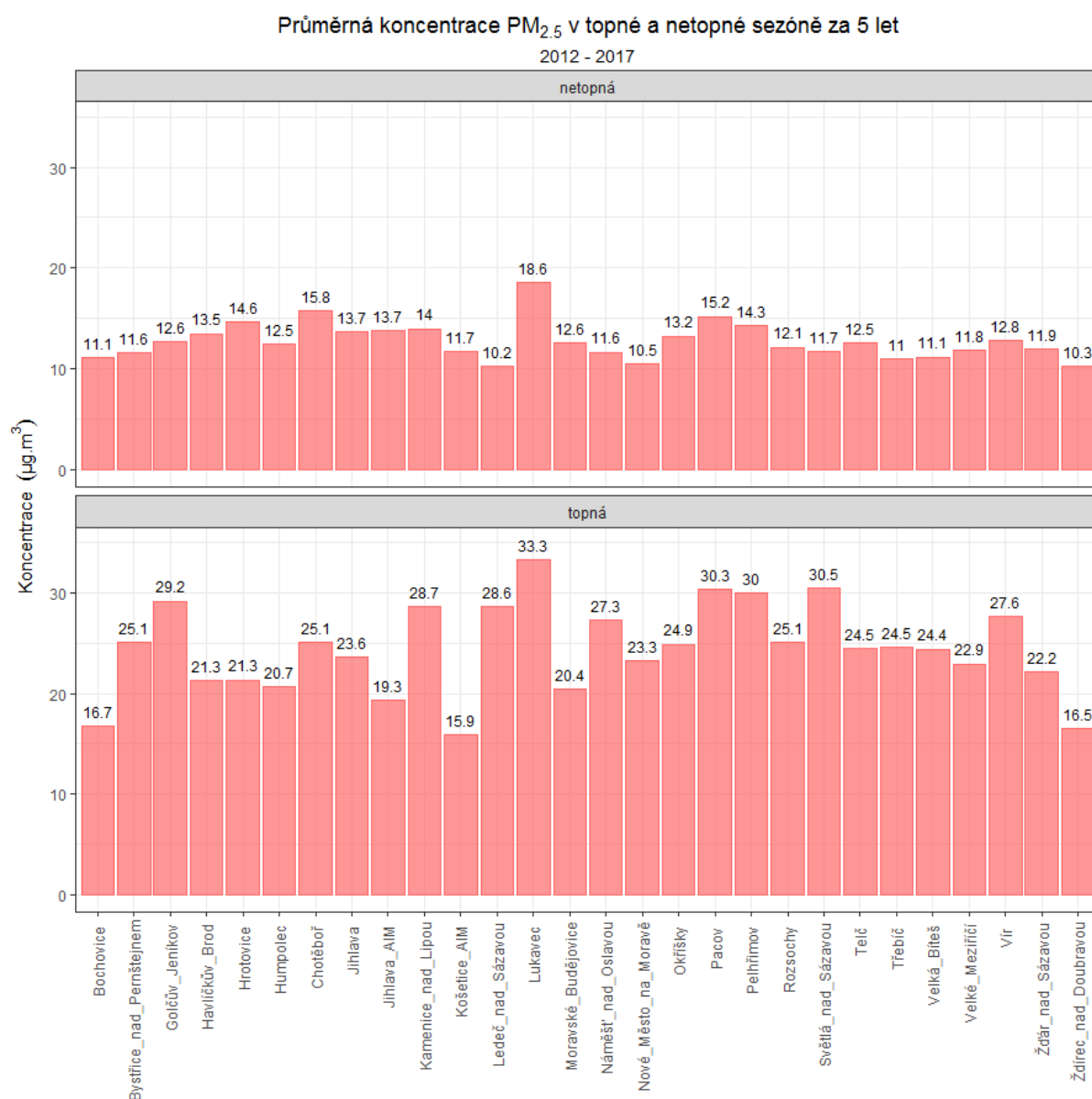
Obr. 9 – Průměrná koncentrace PM<sub>2,5</sub> za 5 let, lokality ISKOV, AIM Jihlava a Košetice, 10/2012 – 09/2017

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<sub>2,5</sub>** (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<sub>2,5</sub>, avšak po **zpřísnění tohoto limitu v roce 2020 na 20 µg·m<sup>-3</sup>** [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<sub>2,5</sub> 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.



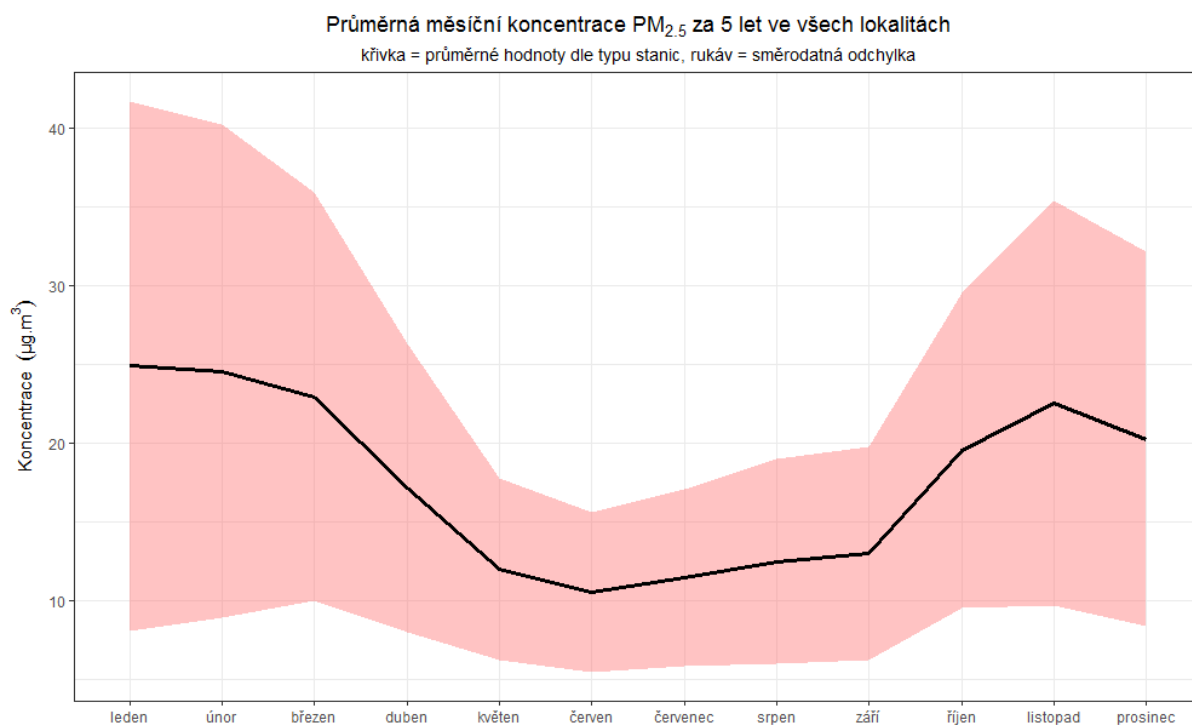
**Obr. 10 - Průměrná koncentrace PM<sub>2,5</sub> za 5 let v topné a netopné sezóně, lokality ISKOV, AIM Jihlava a Košetice, 10/2012 – 09/2017**

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 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. 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<sub>2,5</sub> 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<sub>2,5</sub> 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<sub>2.5</sub> v jednotlivých kampaních a typech lokalit  
2012 - 2017



Obr. 12 – Průměrné koncentrace PM<sub>2.5</sub> na všech měřících lokalitách v jednotlivých ročních kampaních (vždy říjen – září), Vysočina, 2012 - 2017

## 4.2 Oxid dusičitý NO<sub>2</sub>

Při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO<sub>2</sub>) [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 NO<sub>2</sub> [1]

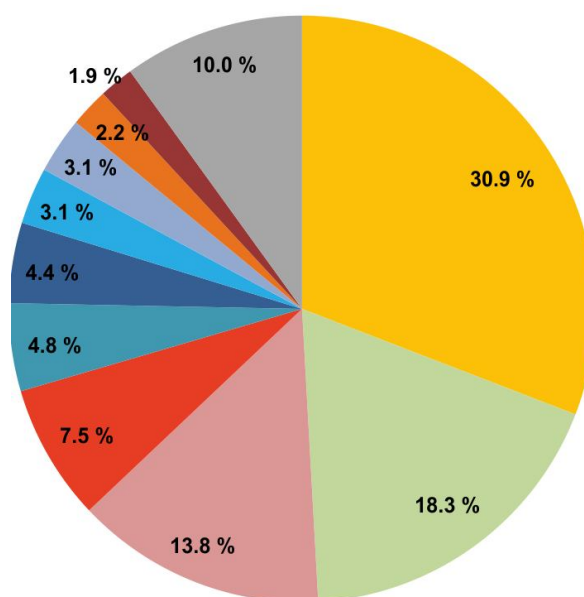
Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální povolený počet překročení
Oxid dusičitý NO <sub>2</sub>	1 hodina	200 µg.m <sup>-3</sup>	18 za kalendářní rok
Oxid dusičitý NO <sub>2</sub>	1 kalendářní rok	40 µg.m <sup>-3</sup>	

Z hlediska imisních limitů je na území ČR důležitý pouze imisní limit pro průměrnou roční koncentraci NO<sub>2</sub>. 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. NO<sub>2</sub> vzniká relativně rychle reakcí NO s přízemním ozonem nebo s radikály typu HO<sub>2</sub>, popř. RO<sub>2</sub> [12]. Řadou chemických reakcí se část NO<sub>x</sub> přemění na HNO<sub>3</sub>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, které jsou z atmosféry odstraňovány suchou a mokrou atmosférickou depozicí. Pozornost je věnována NO<sub>2</sub> z důvodu jeho negativního vlivu na lidské zdraví. Hraje také klíčovou roli při tvorbě fotochemických oxidantů.

V Evropě vznikají emise NO<sub>x</sub> 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 průr
- 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<sub>x</sub> v ČR v roce 2015 [5]

ve stacionárních zdrojích. Méně než 10 % celkových emisí NO<sub>x</sub> vzniká ze spalování přímo ve formě NO<sub>2</sub>. Přírodní emise NO<sub>x</sub> 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].

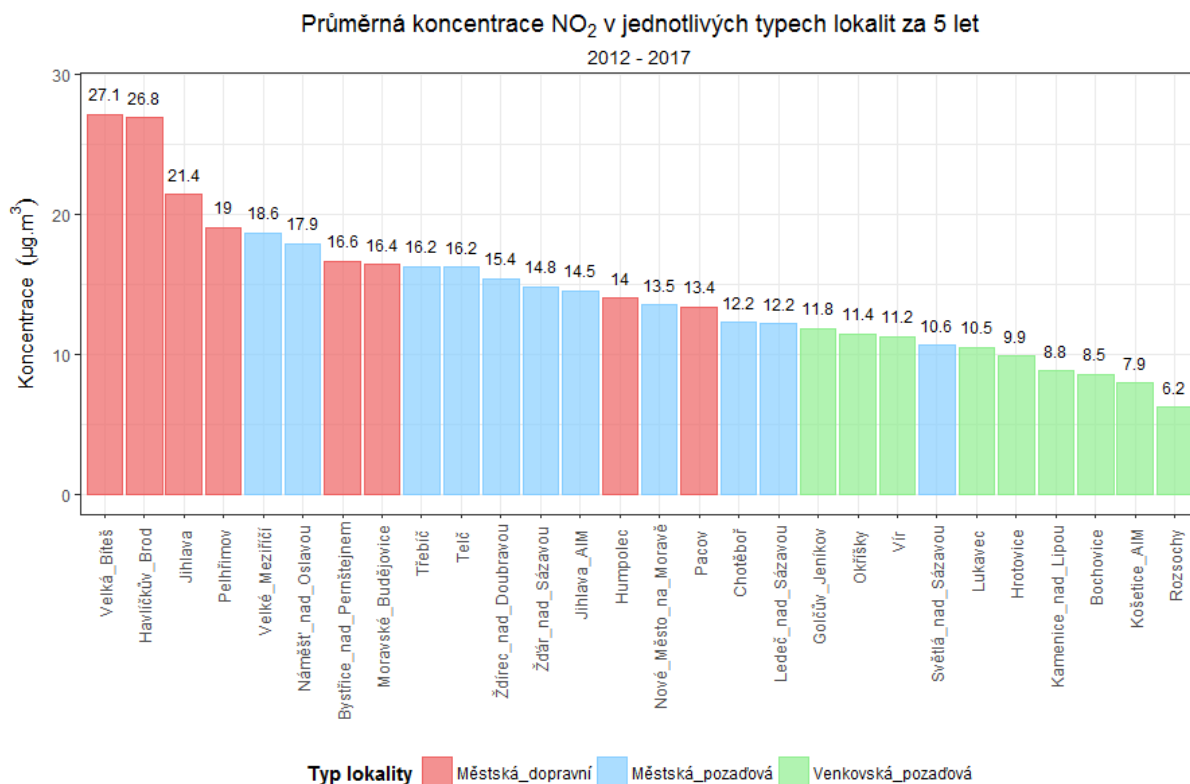
**Největší množství emisí NO<sub>x</sub> pochází z dopravy. Sektory 1A3biii-Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 t, 1A3bi-Silniční doprava: Osobní automobily a 1A4cii-Zemědělství, lesnictví, rybolov: Nesilniční vozidla a ostatní stroje se na celorepublikových emisích NO<sub>x</sub> v roce 2014 podílely 32 % (Obr. 13).** V sektoru 1A1a-Veřejná energetika a výroba tepla bylo do ovzduší vneseno 31,0 % emisí NO<sub>x</sub>. Klesající trend emisí NO<sub>x</sub> v období let 2007–2015 souvisí především s přirozenou obnovou vozového parku a se zavedením emisních stropů pro emise NO<sub>x</sub> ze zdrojů v sektoru 1A1a-Veřejná energetika a výroba tepla [14], [5].

Expozice zvýšeným koncentracím NO<sub>2</sub> ovlivňuje plicní funkce a způsobuje snížení imunity [15].

#### 4.2.1 Průměrné roční koncentrace NO<sub>2</sub>

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 NO<sub>2</sub>. 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 NO<sub>2</sub> za 5 let, lokality ISKOV, AIM Jihlava a Košetice, 10/2012 – 09/2017

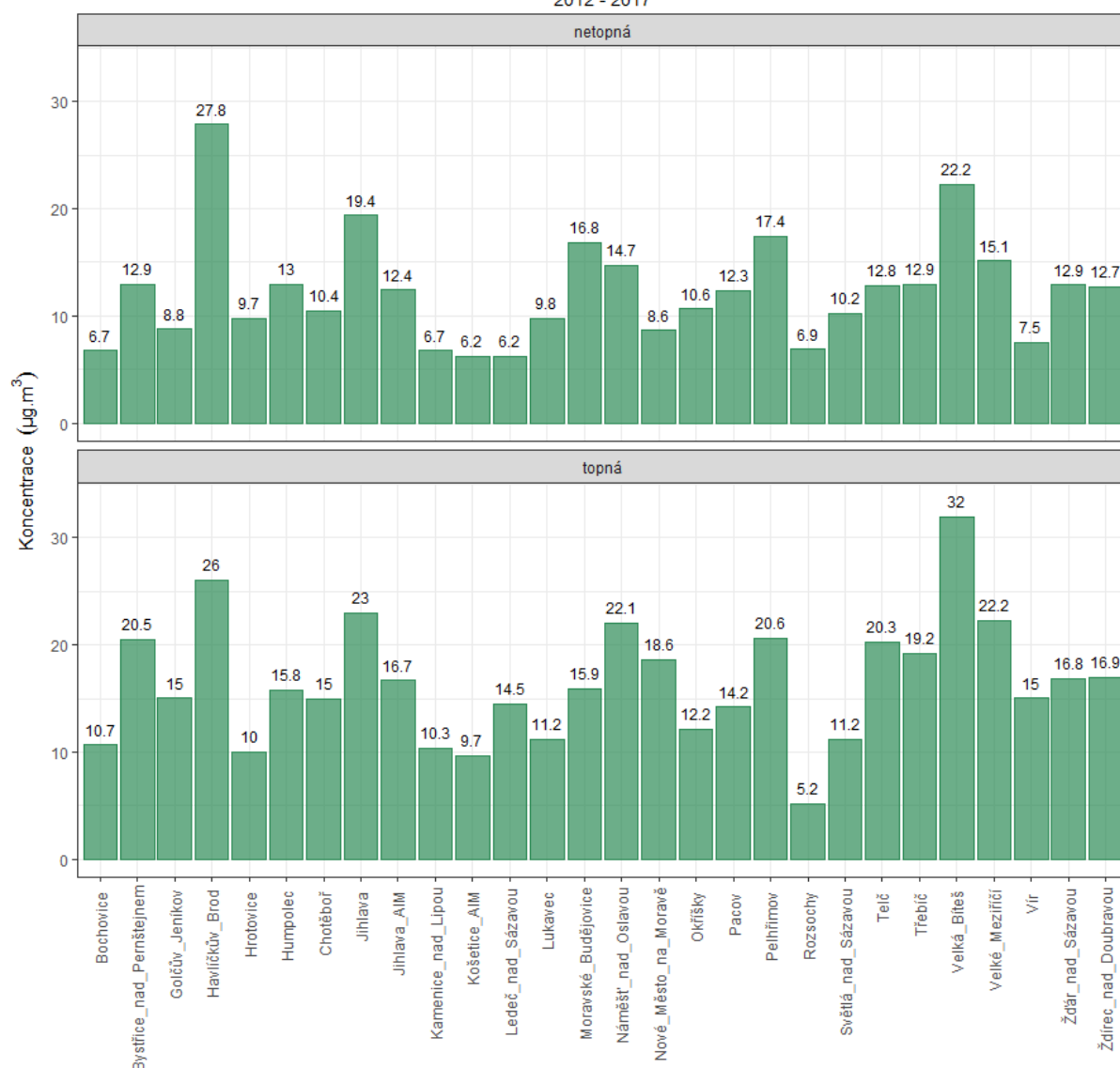
Z grafu na Obr. 14 je patrné, že nejvyšší hodnoty jsou měřeny na dopravních lokalitách ve větších městech (červené sloupce), naopak nejnižší koncentrace NO<sub>2</sub> jsou měřeny v menších obcích, neovlivněných dopravou (zelené sloupce). Vazba na ovlivnění dopravou je tak zcela zřetelná. V průměru nejvyšších 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 NO<sub>2</sub>.

Naopak nejnižší hodnoty byly dlouhodobě měřeny v lokalitách Rozsochy (měření probíhalo pouze 3 roky) a Košetice. V Lukavci, ve kterém byly naměřeny nejvyšší koncentrace PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>, byly naměřeny pouze nízké hodnoty koncentrací NO<sub>2</sub>. 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 NO<sub>2</sub> v topné a netopné sezóně za 5 let  
2012 - 2017



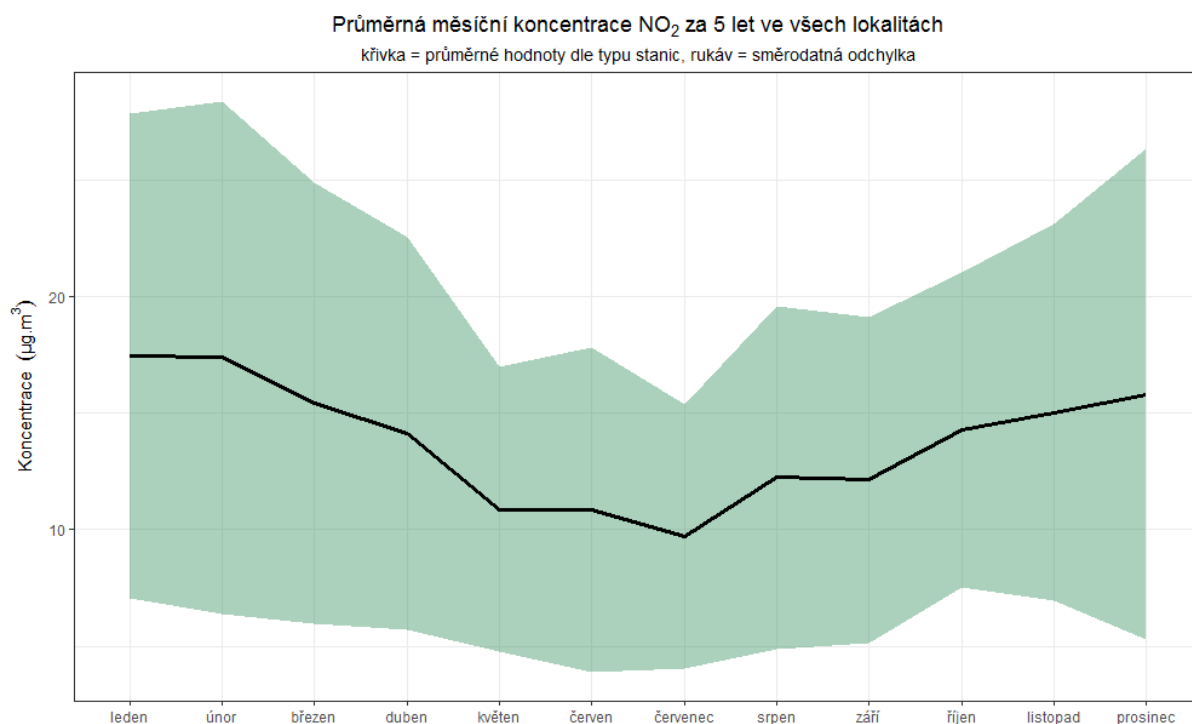
Obr. 15 - Průměrná koncentrace NO<sub>2</sub> za 5 let v topné a netopné sezóně, lokality ISKOV, AIM Jihlava a Košetice, 10/2012 – 09/2017

Oba grafy mají stejné měřítko. Z grafů tak vyplývá, že v topné sezóně jsou měřeny mírně vyšší koncentrace NO<sub>2</sub>. 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<sup>-3</sup> v Havlíčkově Brodě (mimo topnou sezónu byly měřeny vyšší koncentrace) až po 10 µg·m<sup>-3</sup> v Novém Městě na Moravě. Z relativního hlediska navýšila topná sezóna koncentrace NO<sub>2</sub> na Vysočině minimálně o -24 % (Rozsochy, koncentrace NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> o 40 %.

V případě Ledče nad Sázavou je patrné, že se **koncentrace NO<sub>2</sub> 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. 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 NO<sub>2</sub> 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.

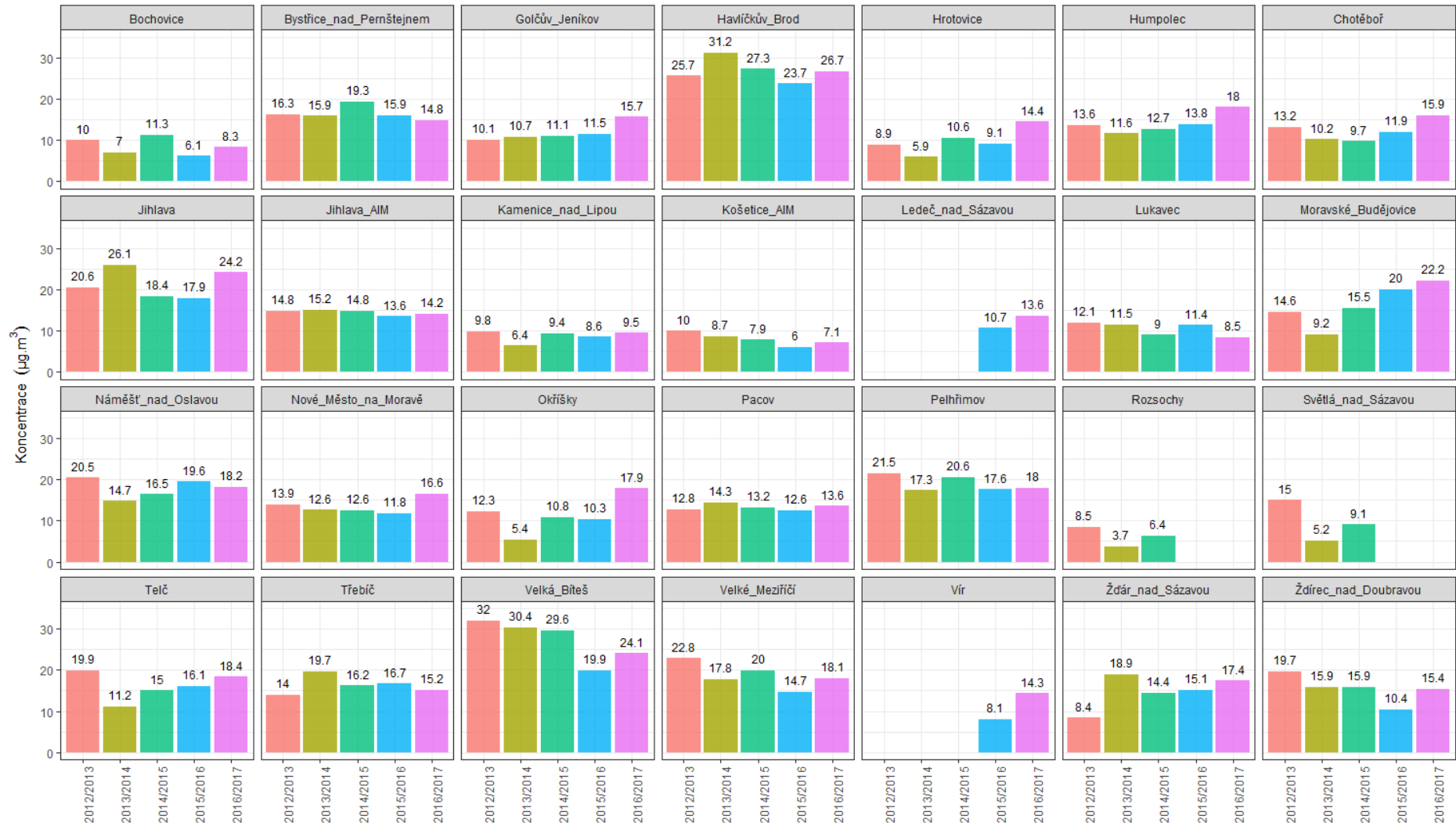


**Obr. 16 – Průměrný vývoj měsíčních koncentrací NO<sub>2</sub> na Vysočině vypočtený ze všech lokalit za 5 let**

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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> a těkavých organických látek (více viz kapitola o přízemním ozónu). S nastupující topnou sezónou v říjnu koncentrace opět vzrůstají.

Průměrná roční koncentrace NO<sub>2</sub> v jednotlivých kampaních a typech lokalit

2012 - 2017



Obr. 17 – Průměrné koncentrace NO<sub>2</sub> na všech měřicích lokalitách v jednotlivých ročních kampaních (vždy říjen – září), Vysočina, 2012 - 2017

### 4.3 Oxid siřičitý SO<sub>2</sub>

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 SO<sub>2</sub> [1]

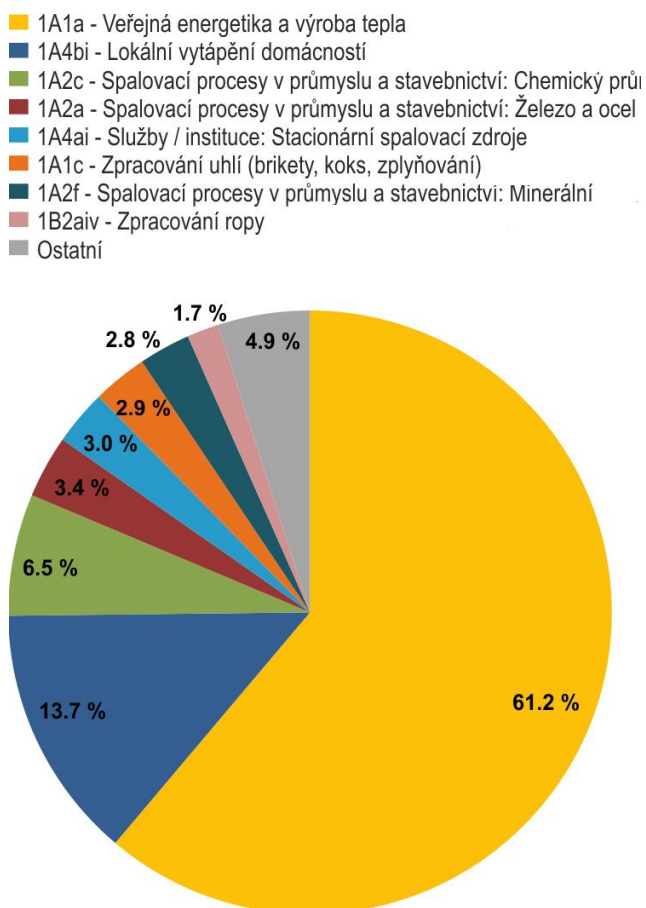
Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální povolený počet překročení
Oxid siřičitý SO <sub>2</sub>	1 hodina	350 µg.m <sup>-3</sup>	24 za kalendářní rok
Oxid siřičitý SO <sub>2</sub>	1 den	125 µg.m <sup>-3</sup>	3 za kalendářní rok

Z hlediska imisních limitů je na území ČR důležitý pouze imisní limit pro průměrnou denní koncentraci SO<sub>2</sub> 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 (SO<sub>2</sub>) je spalování fosilních paliv (uhlí a těžkých olejů) a tavení rud s obsahem síry. V atmosféře je SO<sub>2</sub> oxidován na sírany a kyselinu sírovou vytvářející aerosol jak ve formě kapiček, tak i pevných částic širokého rozsahu velikostí. SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> a ze sektoru 1A4bi-Lokální vytápění domácností 10,7 % (Obr. 18).

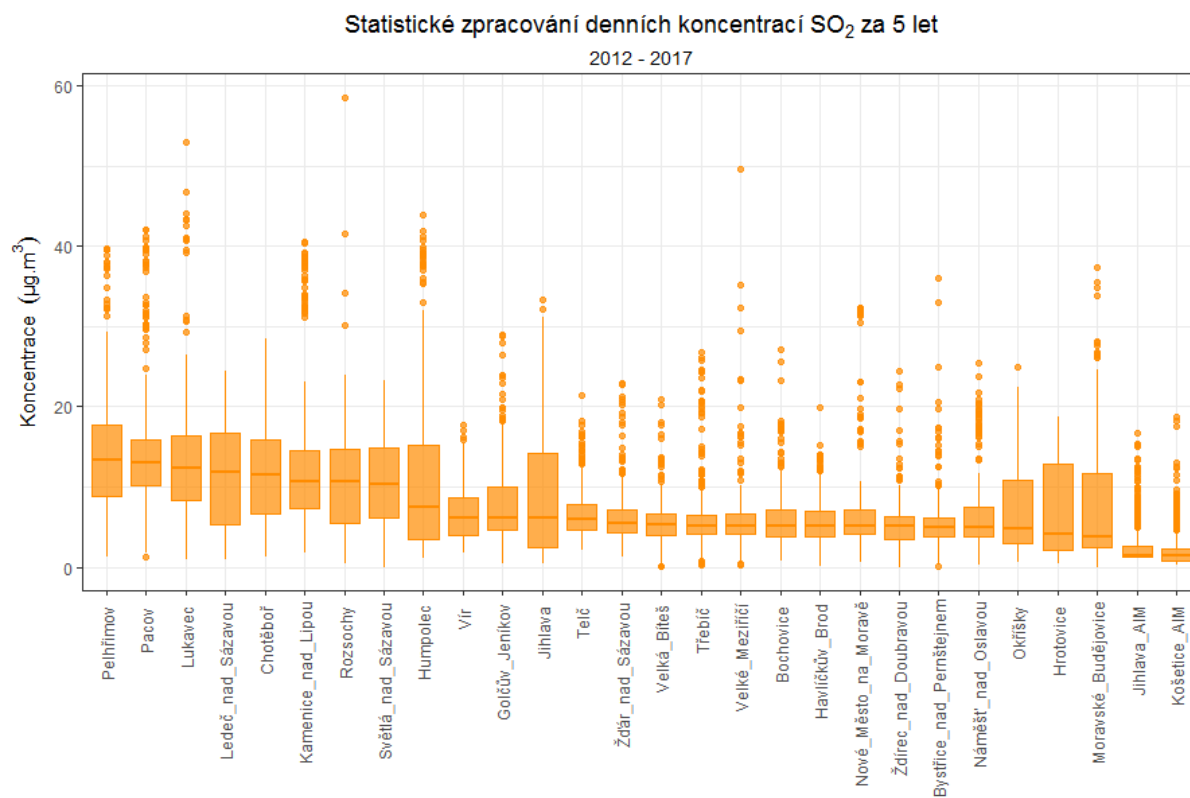
SO<sub>2</sub> má dráždivé účinky, při vysokých koncentracích může způsobit zhoršení plicních funkcí a změnu plicní kapacity [16].



Obr. 18 - Podíl sektorů NFR na celkových emisích SO<sub>2</sub> v ČR v roce 2015 [5]

### 4.3.1 Průměrná denní koncentrace SO<sub>2</sub> a srovnání s imisním limitem

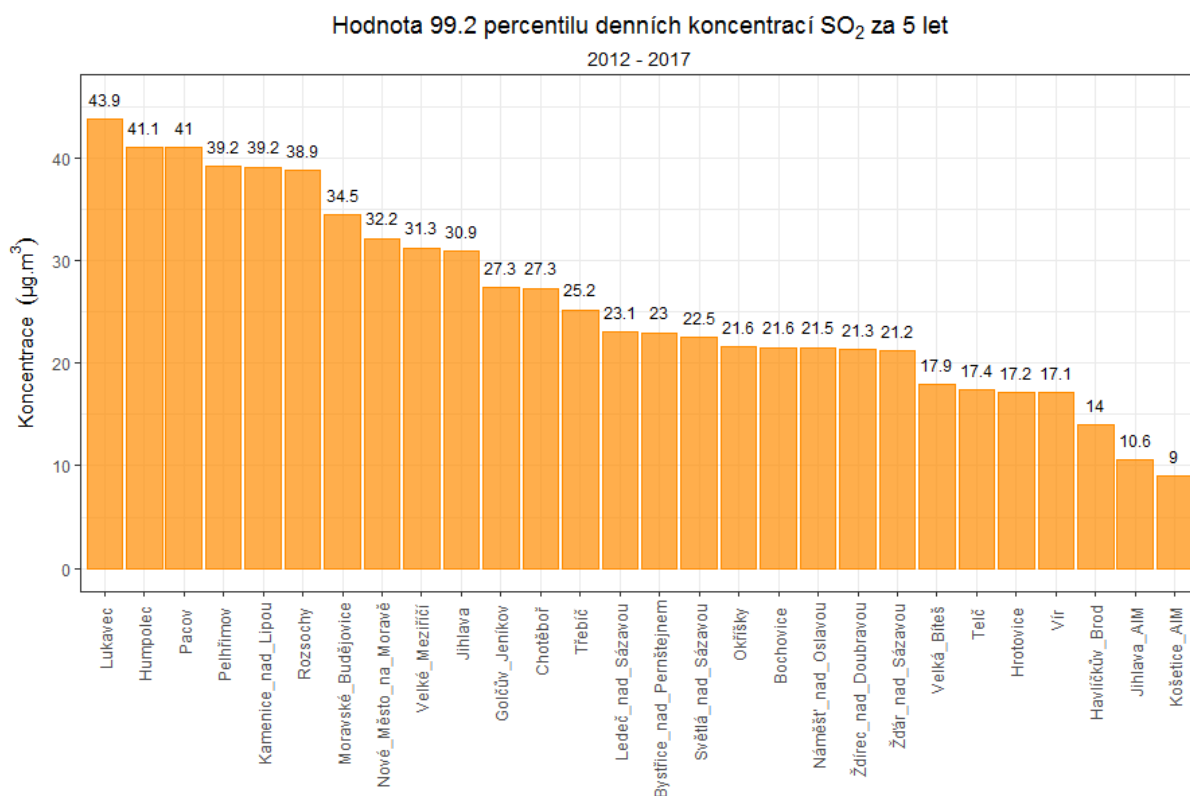
Oxid siřičitý má imisní limit pro průměrnou denní koncentraci. Proto je důležité mít povědomí o rozložení koncentrací SO<sub>2</sub> v jednotlivých dnech. Pro hodnocení je pak důležité statistické zpracování všech průměrných denních koncentrací pomocí krabicových grafů (Obr. 19, vysvětlení viz kapitola o PM<sub>10</sub>).



Obr. 19 – Statistické zpracování průměrných denních koncentrací SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> nebyl překročen. Navíc tato hodnota může být za kalendářní rok 3x překročena. **Proto se vždy hodnotí 4. nejvyšší denní koncentrace SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> v jednotlivých lokalitách ISKOV, 2012 – 2017

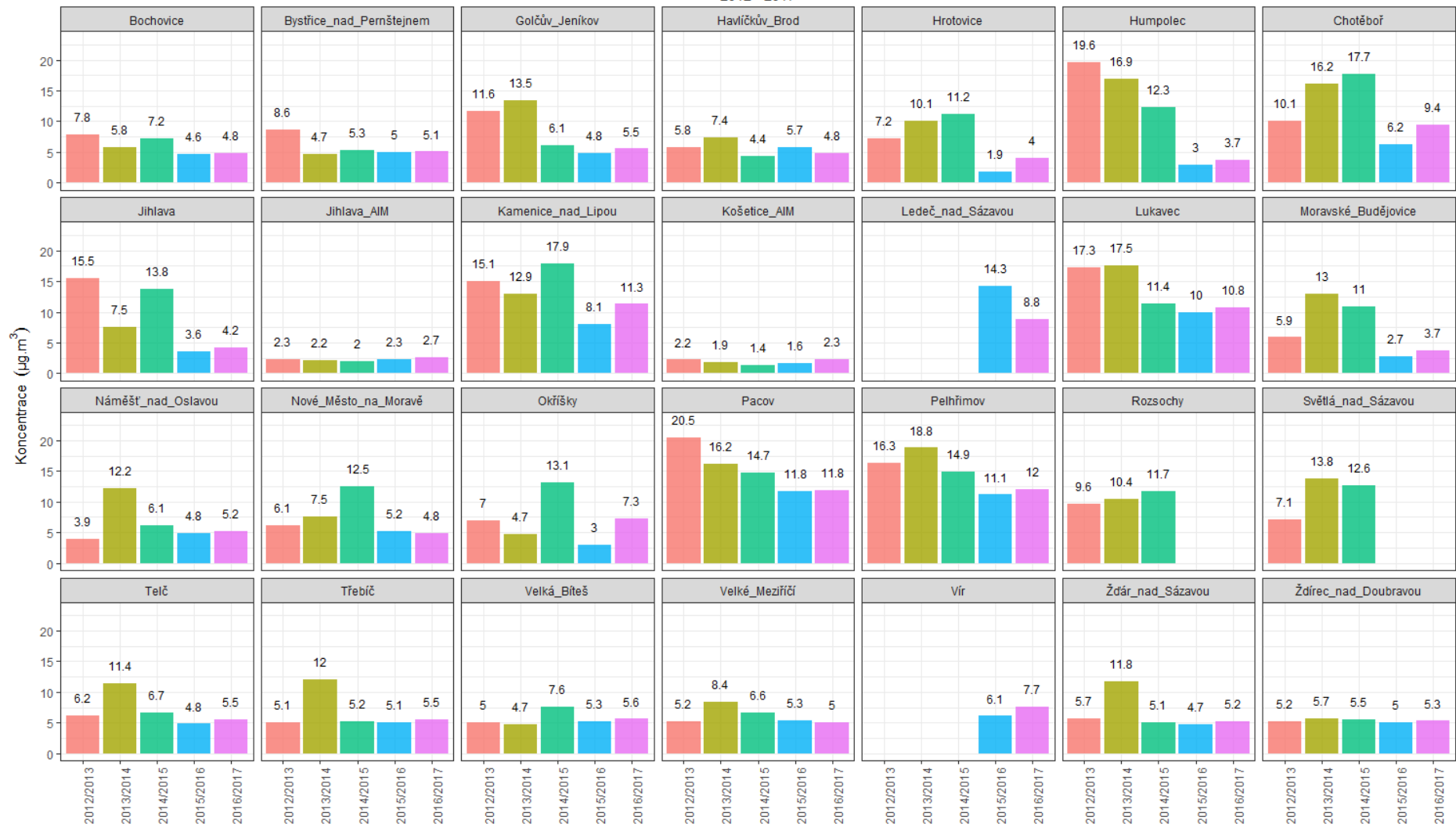
Z grafu na Obr. 20 vyplývá, že ani jedna z lokalit nepřekročila dolní mez pro posuzování. Oxid siřičitý tedy není na Vysočině problémem a není potřeba jej sledovat ve více než jedné lokalitě. Nejvyšší koncentrace byly naměřeny v lokalitách Lukavec, Humpolec a Pacov.

Absolutní rozdíl mezi topnou a netopnou sezónou se pohyboval od -3,4 µg·m<sup>-3</sup> v Golčově Jeníkově (mimo topnou sezónu byly měřeny vyšší koncentrace) až po 9,1 µg·m<sup>-3</sup> v Ledči nad Sázavou (měřilo se pouze 2 roky). Z relativního hlediska navýšila topná sezóna koncentrace SO<sub>2</sub> na Vysočině minimálně o -34 % (Golčův Jeníkov, koncentrace SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> o 34 %.

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

Průměrná roční koncentrace SO<sub>2</sub> v jednotlivých kampaních a typech lokalit

2012 - 2017



Obr. 21 – Průměrné koncentrace SO<sub>2</sub> na všech měřicích lokalitách v jednotlivých ročních kampaních (vždy říjen – září), Vysočina, 2012 - 2017

#### 4.4 Přízemní ozón O<sub>3</sub>

O<sub>3</sub> nemá v atmosféře vlastní významný zdroj. Jedná se o tzv. sekundární látku vznikající v celé řadě velmi komplikovaných nelineárních fotochemických reakcí [17]. Prekurzory O<sub>3</sub> jsou oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) a nemetanické těkavé organické látky (NMVOC), v globálním měřítku hrají roli i metan (CH<sub>4</sub>) a oxid uhelnatý (CO). Důležitou reakcí je fotolýza NO<sub>2</sub> 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 O<sub>3</sub>. Současně probíhá titrace O<sub>3</sub> oxidem dusnatým za vzniku NO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>. Pokud je při této reakci O<sub>3</sub> nahrazen radikály, jeho koncentrace v atmosféře rostou. Důležitou úlohu při těchto reakcích hraje zejména radikál OH.

NO<sub>x</sub> 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).

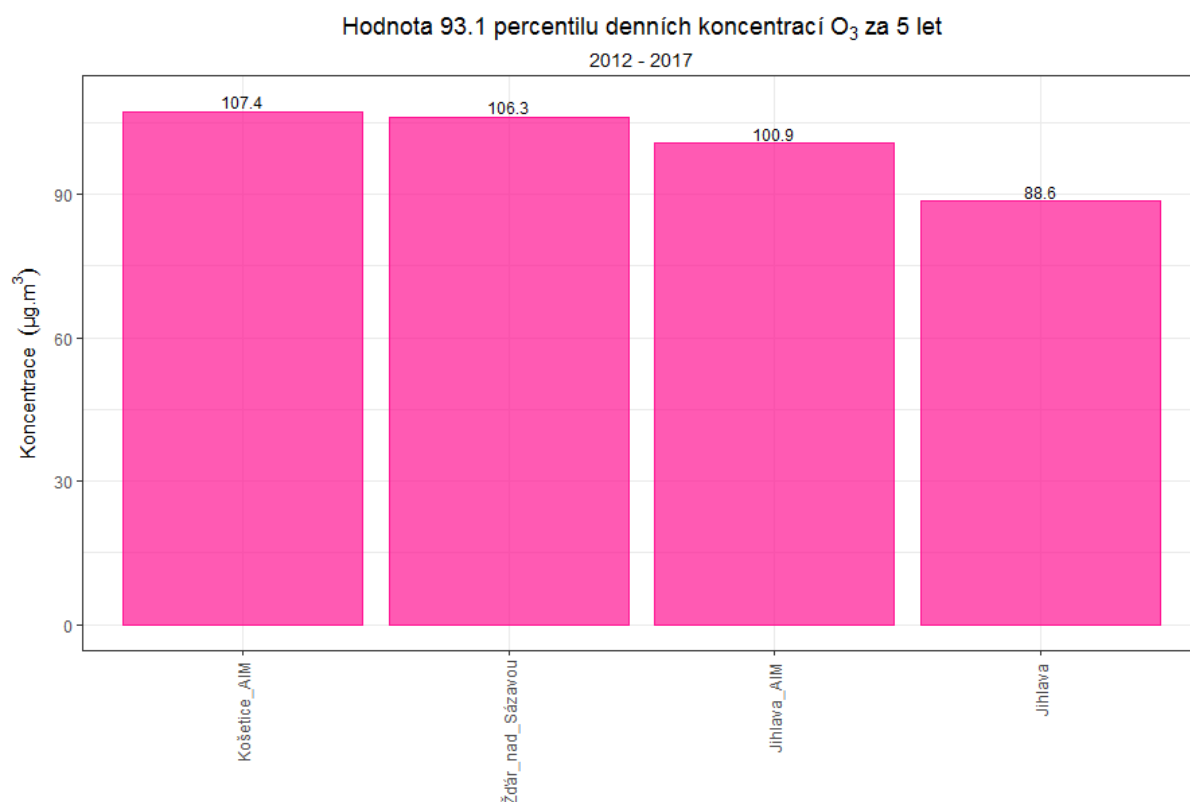
Při vzniku O<sub>3</sub> z prekurzorů nezáleží pouze na absolutním množství prekurzorů, ale i na jejich vzájemném poměru [18]. V oblastech, kde je režim limitovaný NO<sub>x</sub>, charakterizovaný relativně nízkými koncentracemi NO<sub>x</sub> a vysokými koncentracemi VOC, narůstají koncentrace O<sub>3</sub> s rostoucími koncentracemi NO<sub>x</sub>, zatímco se vzrůstajícími koncentracemi VOC se mění jen málo. Naopak v oblastech s režimem limitovaným VOC dochází k poklesu koncentrací O<sub>3</sub> s rostoucími koncentracemi NO<sub>x</sub> a nárůstu koncentrací O<sub>3</sub> s rostoucími koncentracemi VOC. Oblasti s vysokým poměrem NO<sub>x</sub>/VOC jsou typicky znečištěné oblasti okolo center velkých měst. Závislost vzniku O<sub>3</sub> na počátečních koncentracích VOC a NO<sub>x</sub> se často vyjadřují na diagramech ozonových isopleť. Jedná se o zobrazení maximální dosažené koncentrace ozonu jako funkce počáteční koncentrace NO<sub>x</sub> a VOC. Významnou roli při vzniku O<sub>3</sub> hrají nejen koncentrace prekurzorů, ale i meteorologické podmínky [19]. Imisní koncentrace O<sub>3</sub> 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 O<sub>3</sub> mohou zvyšovat i epizodicky v důsledku průniku stratosférického O<sub>3</sub> do troposféry a též při bouřkách. V poslední době se též zvyšuje význam dálkového přenosu O<sub>3</sub> v rámci proudění na severní polokouli do Evropy a Severní Ameriky ze zdrojových oblastí jihovýchodní Asie. O<sub>3</sub> 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

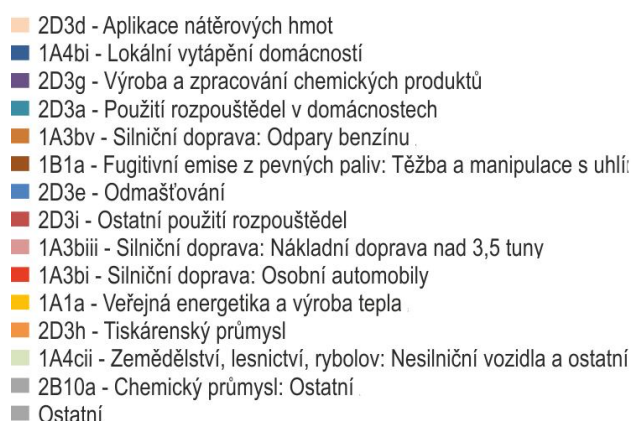
Legislativním zástupcem těkavých organických látek (VOC) je benzen. Antropogenní zdroje produkují více než 90 % celkových emisí do atmosféry. Hlavním emisním zdrojem jsou spalovací procesy, především mobilní zdroje, které představují cca 85 % celkových antropogenních emisí aromatických uhlovodíků, přičemž 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].

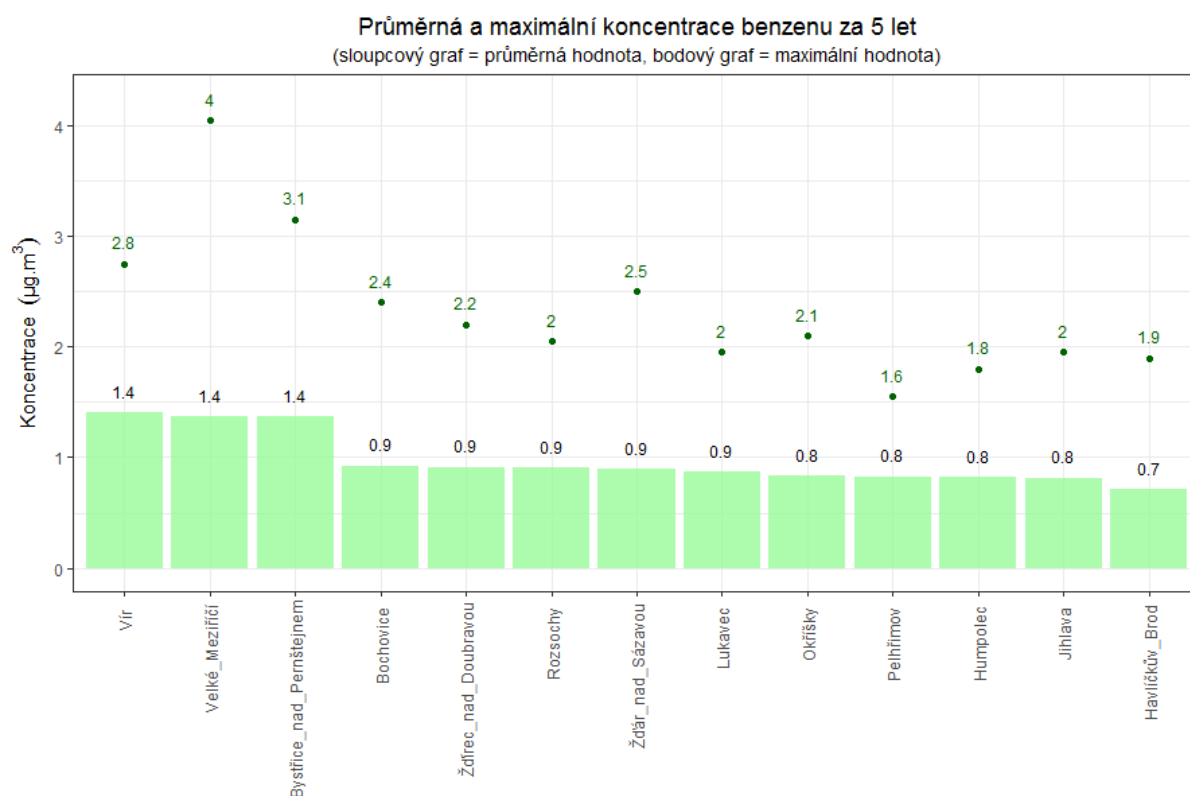


Obr. 23 - Podíl sektorů NFR na celkových emisích těkavých organických látek v ČR v roce 2015 [5]

#### 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.

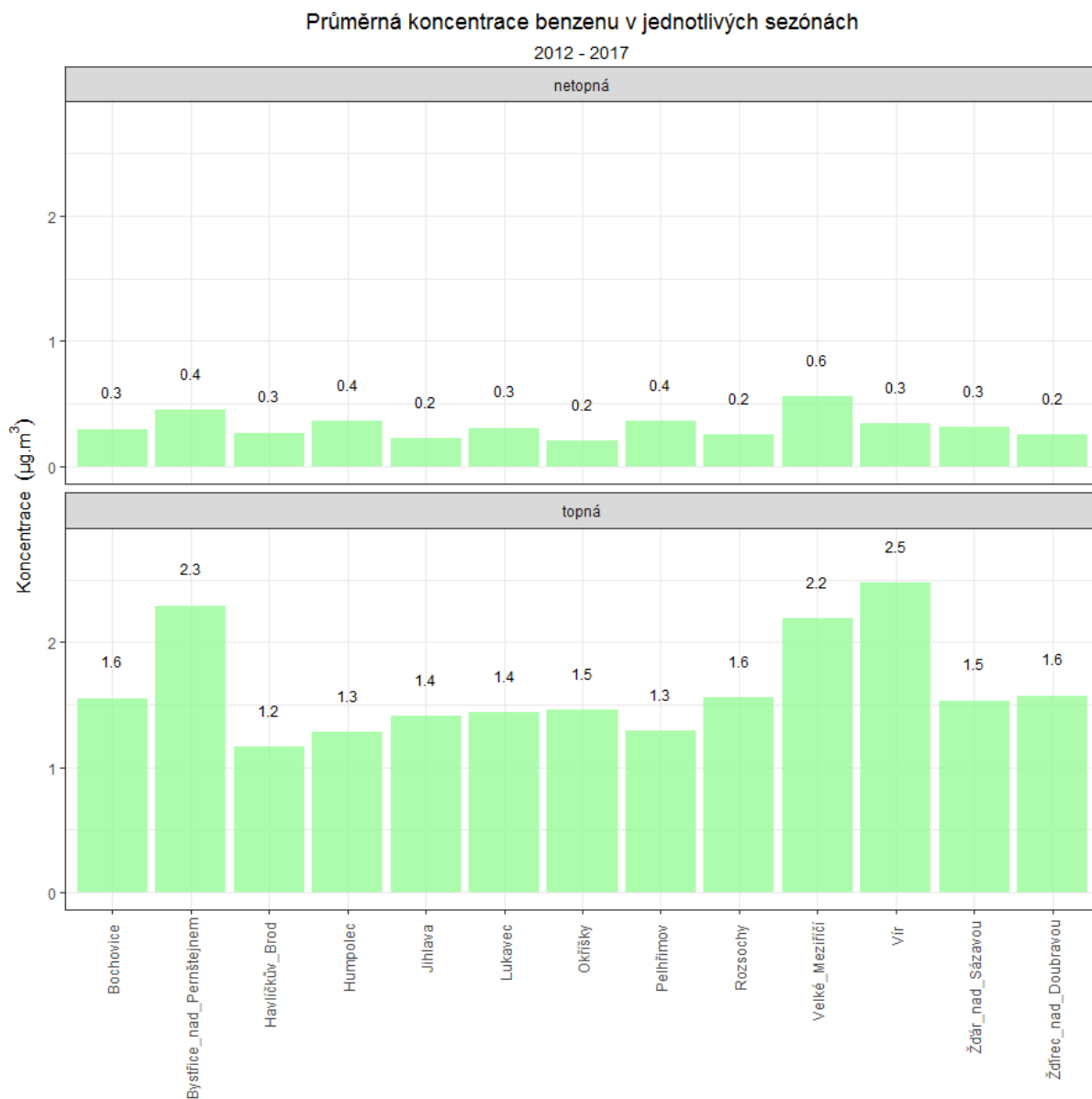
Hodnocení jednotlivých lokalit bude tedy probíhat na základě průměru za celých 5 let měření. Následující Obr. 24 zobrazuje tuto průměrnou koncentraci na všech lokalit ISKOV (sloupce), doplněné o maximální naměřené hodnoty (bodově). Lokality jsou v grafu seřazeny od nejvyšší po nejnižší hodnotu průměrné 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.

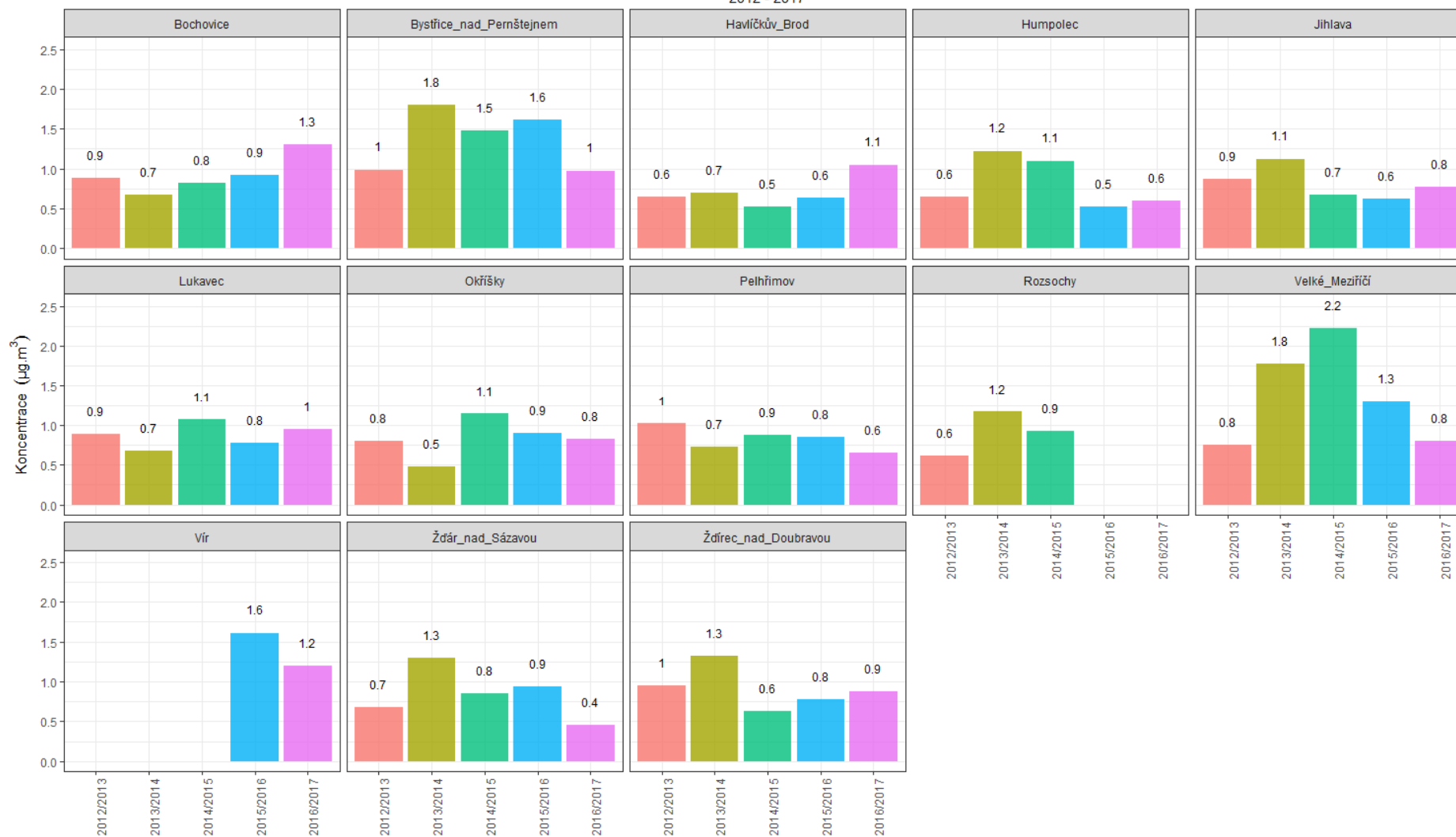


**Obr. 25 - Průměrná koncentrace benzenu za 5 let v topné a netopné sezóně, lokality ISKOV, 10/2012 – 09/2017**

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

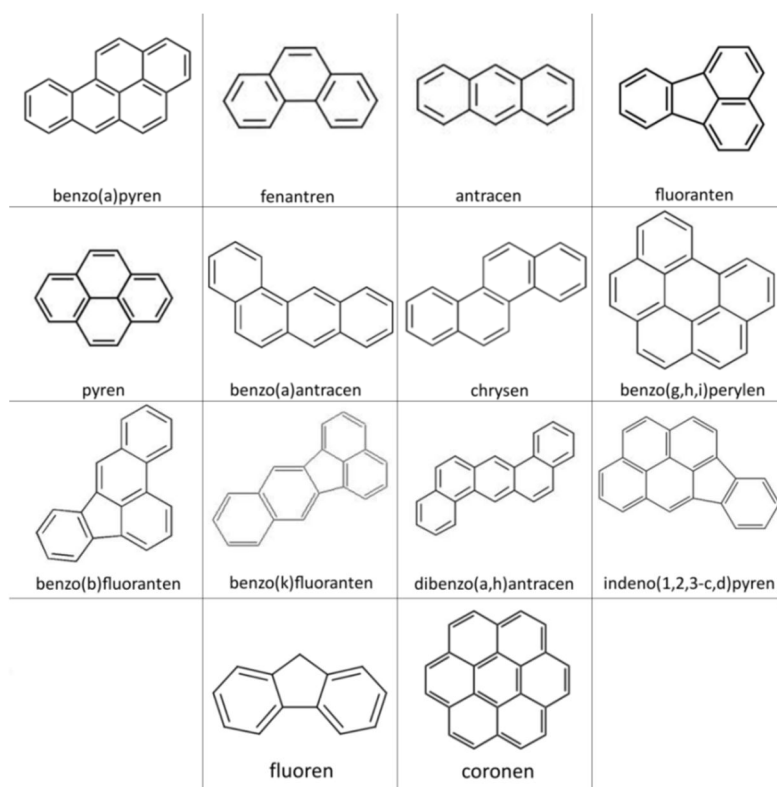
2012 - 2017



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  $\mu\text{m}$ , 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].

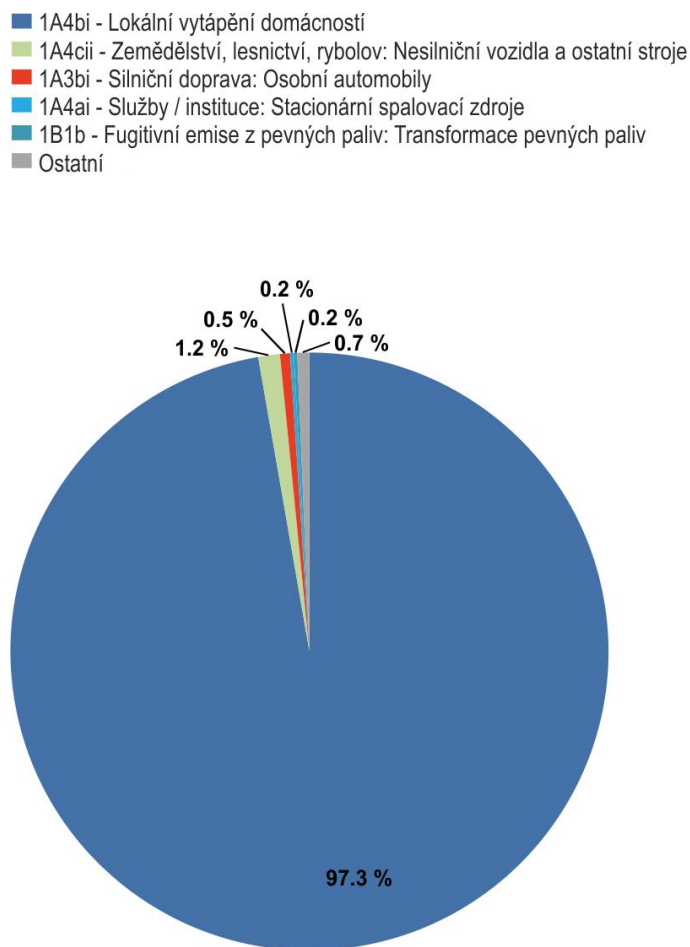
U benzo[a]pyrenu, stejně jako u některých dalších PAH, jsou prokázány karcinogenní účinky na lidský organismus [20].

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.

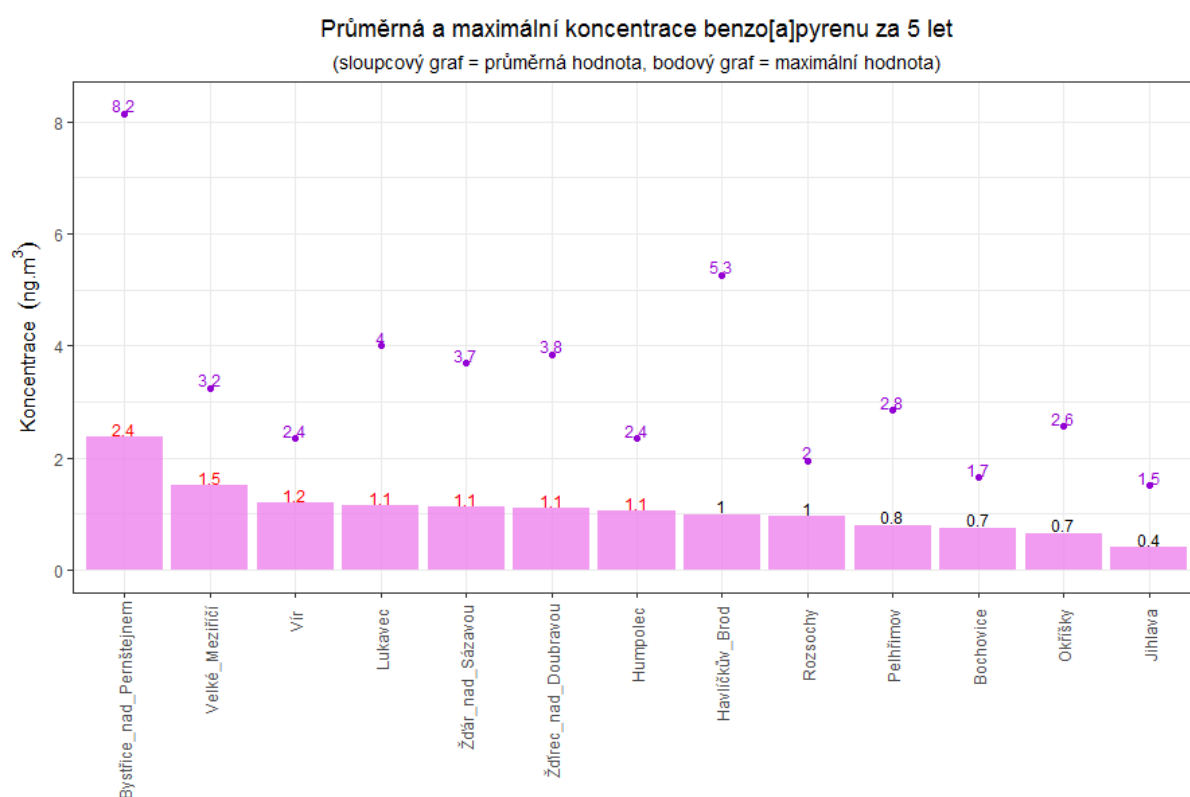


Obr. 28 - Podíl sektorů NFR na celkových emisích BaP v ČR v roce 2015 [5]

#### 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  $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ .

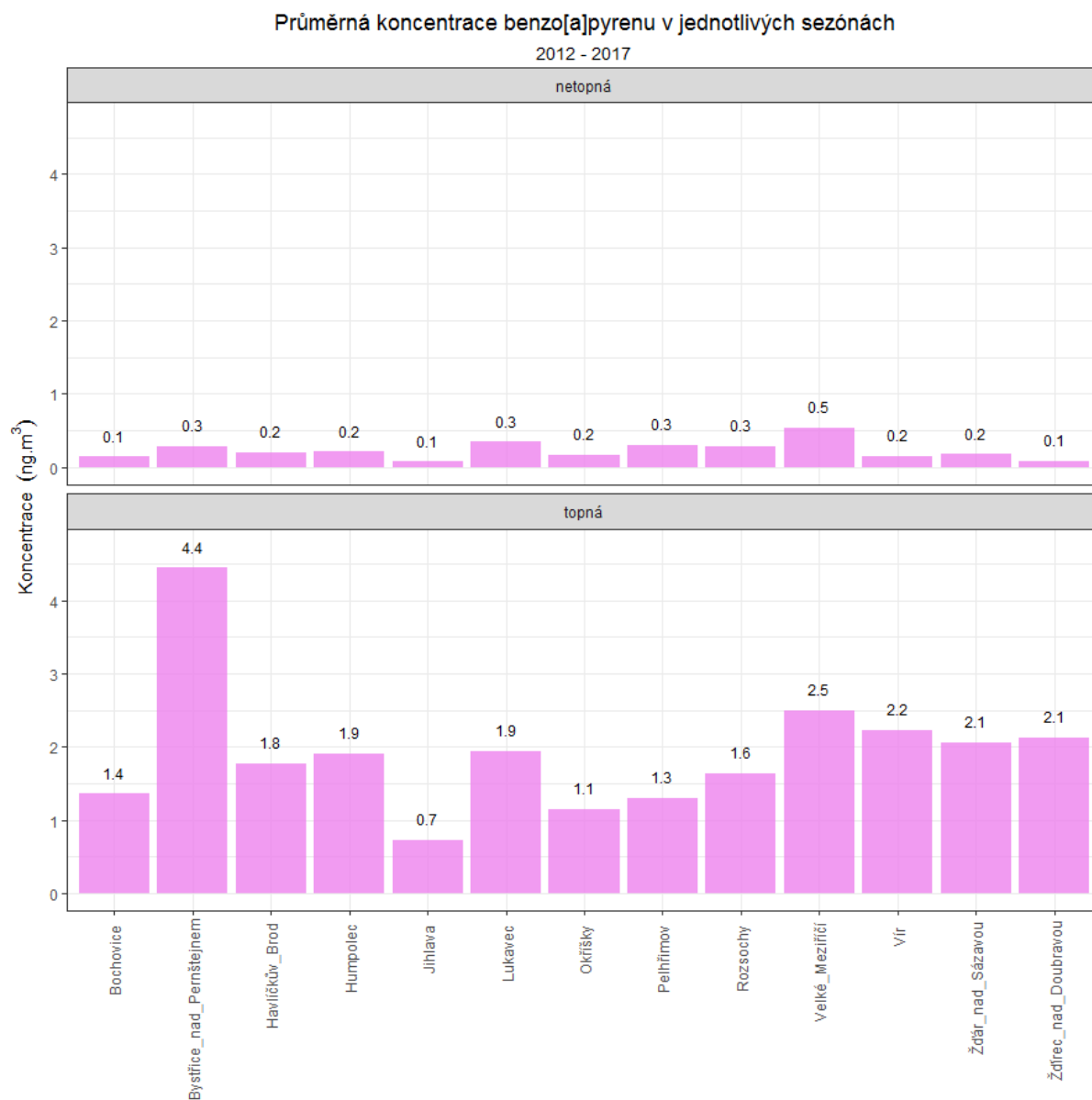


Obr. 29 – Průměrná koncentrace benzo[a]pyrenu za 5 let, lokality ISKOV, 10/2012 – 09/2017

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.

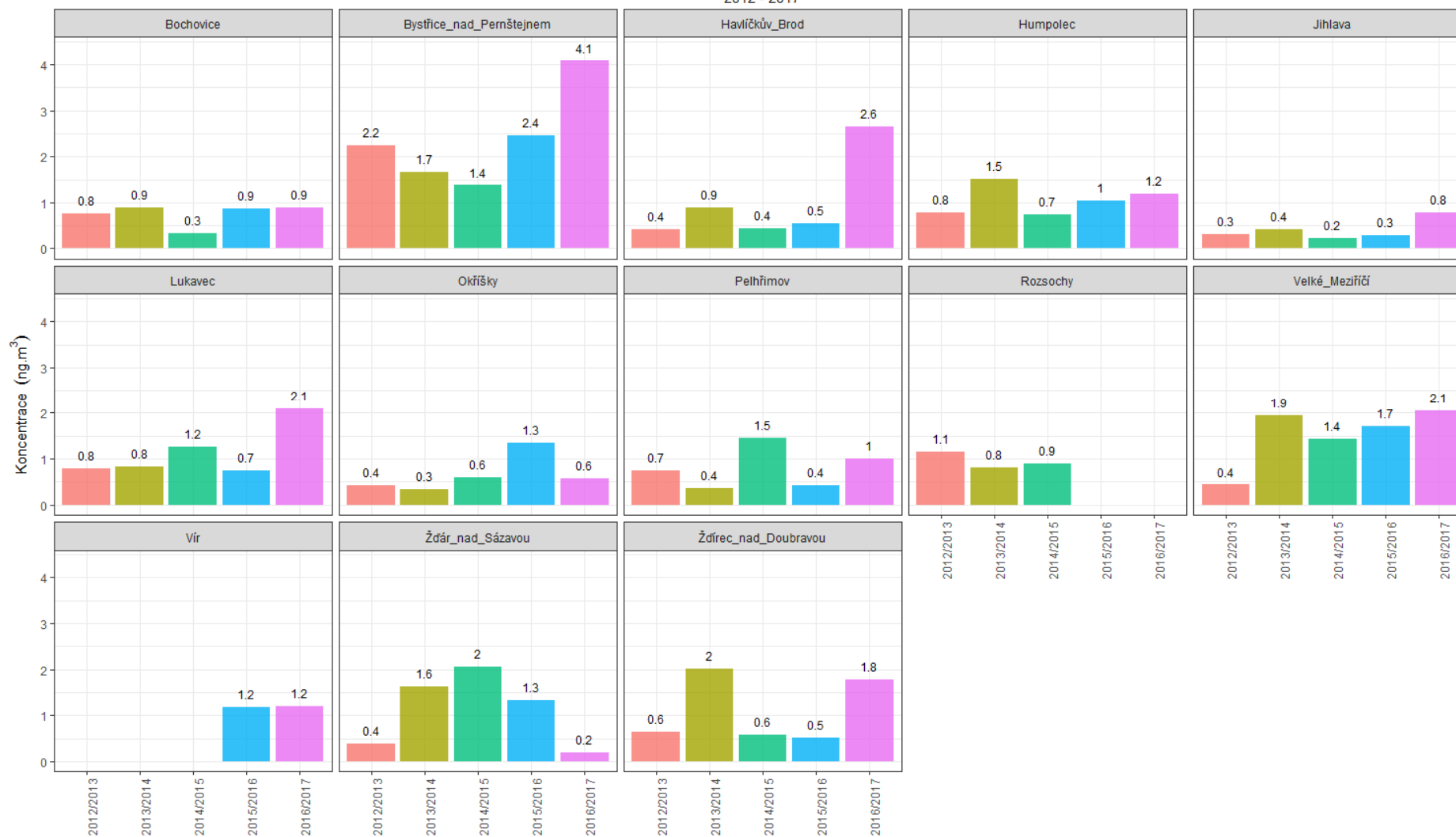


**Obr. 30 - Průměrná koncentrace benzo[a]pyrenu za 5 let v topné a netopné sezóně, lokality ISKOV, 10/2012 – 09/2017**

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 Mezitříčí, 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 odlehklých 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.

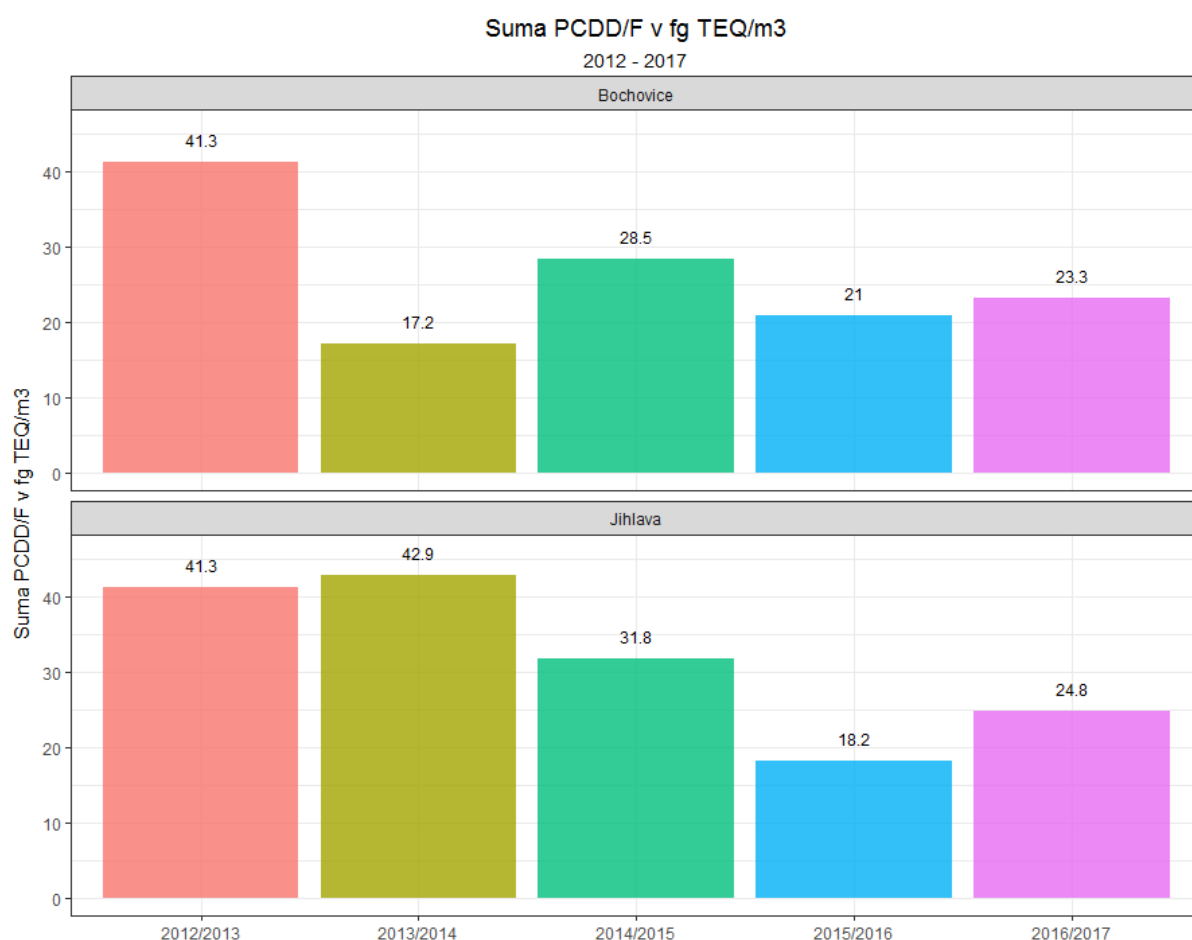
1. Rozpustnost ve vodě  $WS$  ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Čím je její hodnota nižší, tím je látka hydrofobnější a lipofilnější, tím má větší tendenci kumulovat se v půdním prostředí a v živých organismech.
2. Těkání vyjádřené hodnotou Henryho konstanty ( $H$  v  $\text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$ ). 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.

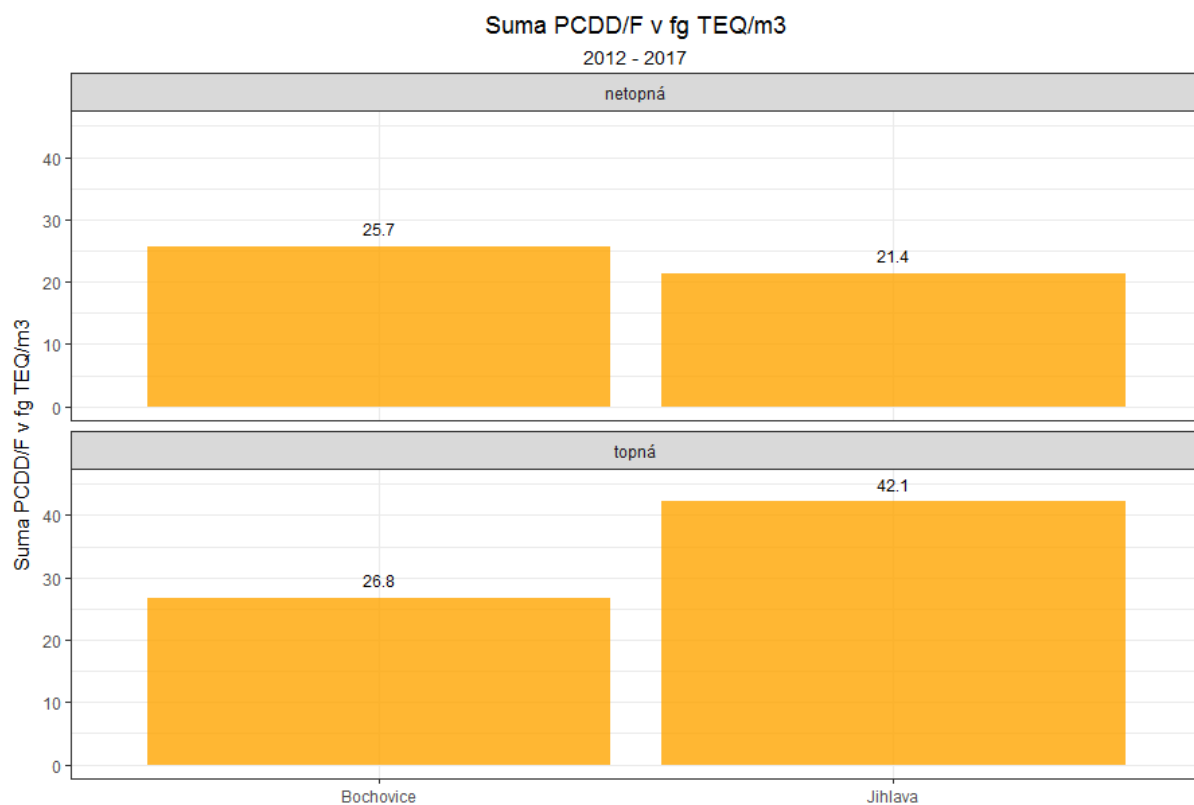
Odběr dioxinů je prováděn v projektu na dvou místech – v Jihlavě a Bochovicích, probíhají vždy 4x do roka, 2x v topné a 2x v netopné sezoně, v přibližně stejných termínech.

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/m<sup>3</sup>. Průměrné hodnoty v jednotlivých kampaních a lokalitách zobrazuje Obr. 32.



Obr. 32 – Suma PCDD/F v fg TEQ/m<sup>3</sup>, 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/m<sup>3</sup>.



**Obr. 33 – Průměrná hodnota sumy PCDD/F v fg TEQ/m<sup>3</sup> 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.

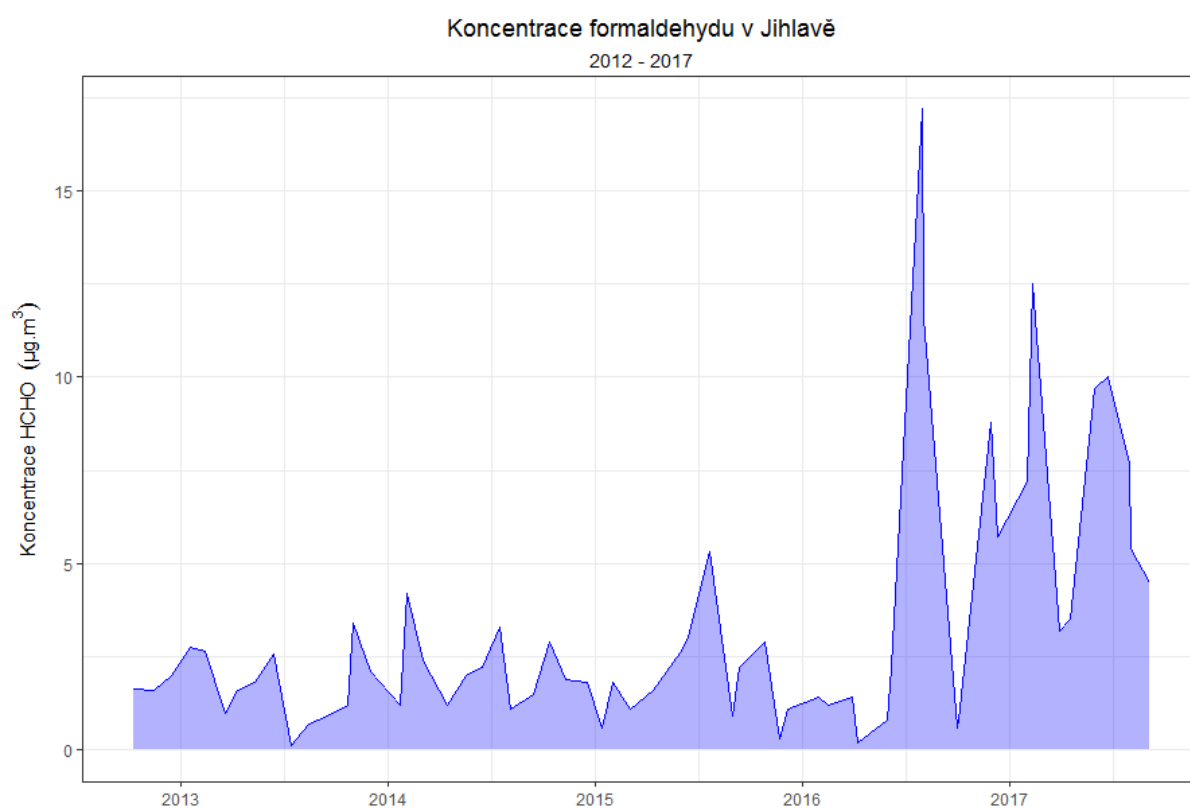
## 4.8 Formaldehyd HCHO

V životním prostředí je formaldehyd běžně přítomen, velká množství vznikají v troposféře oxidací uhlovodíků (jen z methanu cca  $4 \times 10^{11}$  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

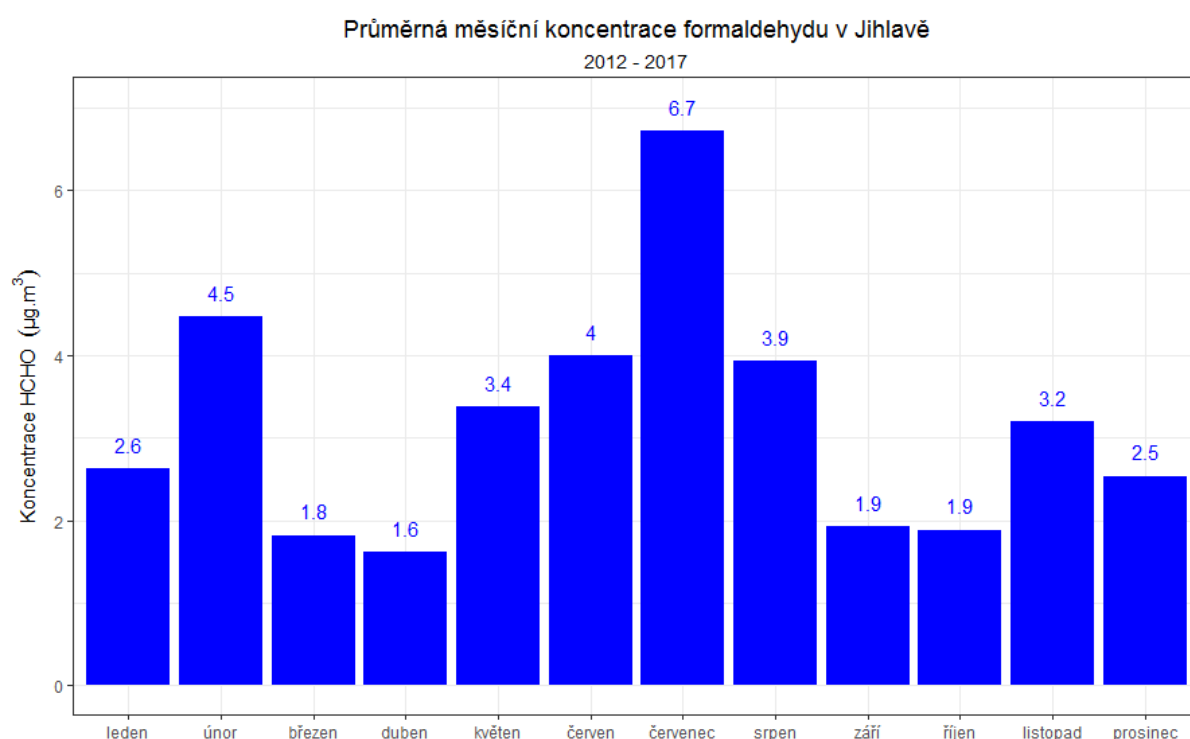
Koncentrace formaldehydu (HCHO) v Jihlavě byly měřeny vždy jeden den v měsíci, za jednotlivé kampaně tedy 12 odběrů. Vývoj měřených koncentrací zobrazuje Obr. 34.



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.

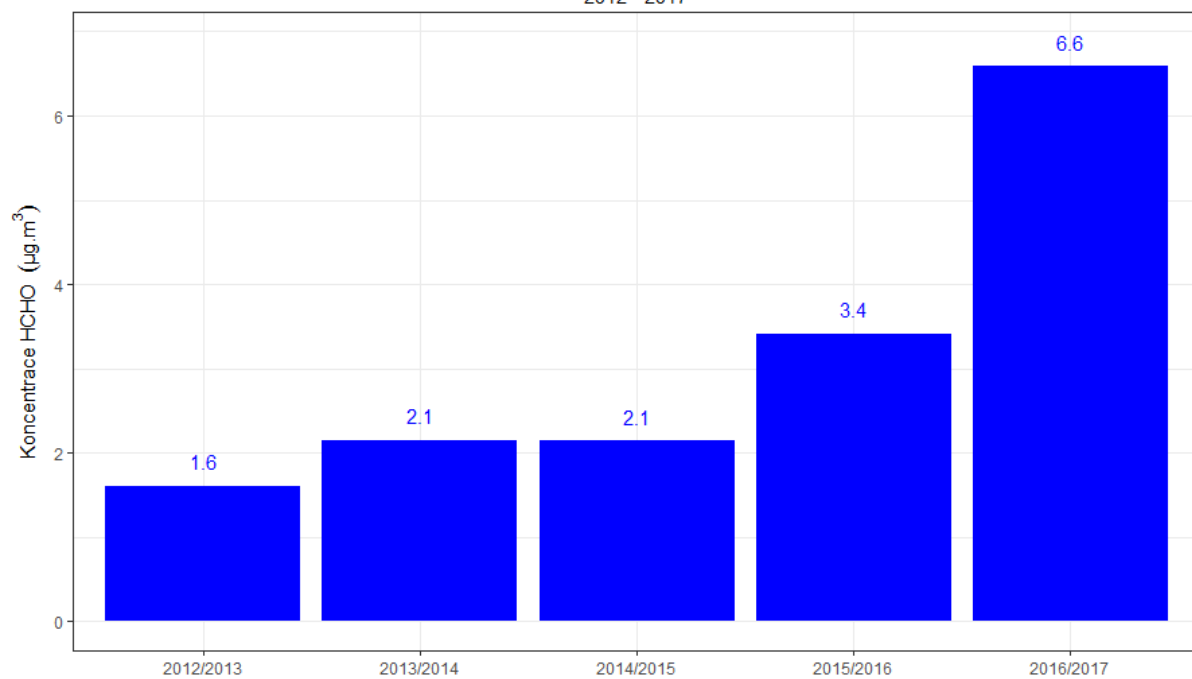
Tento trend se projevilo také v průměrných měsíčních hodnotách za všech 5 let měření (Obr. 35). Zvýšené koncentrace jsou měřeny v letních měsících (zejména červenec) a zimních měsících (únor). V létě může jít o důsledek těkání této látky z nátěrů či pryskyřic, v zimních měsících může jít o důsledek lokálního 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), vnošením prachu z vozovek (tzv. resuspenze) a emisemi prekurzorů tzv. sekundárních částic (částice vzniklé z plynných polutantů), zejména NO<sub>x</sub>. Zejména v případě měření koncentrací NO<sub>2</sub> 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 PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>, a dále také v poklesu koncentrací NO<sub>2</sub>. 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<sub>x</sub> 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 NO<sub>2</sub>. 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 chodnicích 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, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>.
- **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 PM<sub>10</sub> (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/m<sup>3</sup>, 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](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](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](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](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 (NO<sub>2</sub>) 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](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](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](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[ <i>a</i> ]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 <sub>2</sub>	oxid dusičitý
NO <sub>x</sub>	oxidy dusíku, součet NO a NO <sub>2</sub> (v ppb)
ORP	obec s rozšířenou působností
O <sub>3</sub>	přízemní (troposférický) ozón
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
PCDD	polychlorované dibenzo- <i>p</i> -dioxiny
PCDF	polychlorované dibenzo furany
PM <sub>2,5</sub>	suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 2,5 μm
PM <sub>10</sub>	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

2012 až 2017

# INFORMAČNÍ SYSTÉM KVALITY OVZDUŠÍ V KRAJI VYSOČINA

HODNOCENÍ ZDRAVOTNÍCH RIZIK





**Hodnocení zdravotních rizik  
„Projekt ISKOV“**

**Zadavatel:**

Název firmy: Krajský úřad Kraje Vysočina  
Sídlo firmy: Žižkova 57, 587 33 Jihlava, Česká republika  
IČO: 70890749

**Zpracovatel:**

**MUDr. Ivan Tomášek**

držitel osvědčení o autorizaci k hodnocení zdravotních rizik podle zákona č. 258/2000 Sb.,  
č. autorizované osoby 041/08

Osoba odborně způsobilá pro oblast posuzování vlivů na veřejné zdraví podle vyhlášky MZ ČR  
č.353/2004 Sb. (Č.j. 15776-OVZ-32.1-29.3.13, pořadové číslo osvědčení 1/2013).

E-mail: [Ivan.tomasek@zuova.cz](mailto:Ivan.tomasek@zuova.cz)

Telefon: (+420) 596 200 184

*Ostrava, říjen, 2017*

## OBSAH

Úvod a zadání.....	4
Podkladové materiály .....	4
Metodický přístup k hodnocení.....	4
Popis území zařazeného do hodnocení.....	5
Identifikace a charakterizace nebezpečnosti.....	6
Aerosol (PM <sub>10</sub> /PM <sub>2,5</sub> ) .....	6
Benzo[a]pyren .....	10
Benzen .....	11
Hodnocení expozice a charakterizace rizika.....	13
Hodnocení expozice.....	14
Kvantifikace zdravotního rizika z expozic aerosolu.....	19
Úmrtnost.....	22
Nemocnost.....	24
Kvantifikace karcinogenního rizika z expozic benzenu a benzo(a)pyrenu .....	30
Závěr .....	33
Nejistoty.....	35
Použité informační zdroje.....	36

## Úvod a zadání

Hodnocení zdravotních rizik je zpracováno pro projekt ISKOV. Předmětem je posouzení míry zdravotního rizika z expozic PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, benzenu a benzo(a)pyrenu, pro obyvatelstvo 28 obcí kraje Vysočina v letech 2012-2017.

## Podkladové materiály

*Skeřil R. 2017. Vyhodnocení imisní situace.*

*Naměřené hodnoty látek – průměrné roční koncentrace v jednotlivých sídlech a letech*

## Metodický přístup k hodnocení

Posouzení vlivu na zdraví platí pro běžné podmínky a nevztahuje se na případy mimořádných událostí nebo havárií. Uplatněné postupy vychází z metodik, jež jsou v současné době používány pro tento typ posouzení. Pro kvantifikaci karcinogenního rizika byla použita metodika US EPA (Americká agentura pro ochranu životního prostředí), která umožňuje stanovení zdravotního rizika ve vztahu k různým typům expozice. Tam, kde tento postup není možné uplatnit, bylo posouzení provedeno metodikou projektů HRAPIE (Health risks of air pollution in Europe) a CAFE (Clean Air for Europe), popřípadě srovnáním s doporučenou hodnotou WHO (NO<sub>2</sub>). Tato metodika umožňuje kvantifikovat riziko úmrtnosti a nemocnosti prostřednictvím expozičních vztahů, jež byly stanoveny na základě epidemiologických studií. Uvedené postupy posouzení jsou v souladu s odpovídající platnou českou legislativou.

Metoda posouzení vlivu na zdraví probíhá v následných krocích:

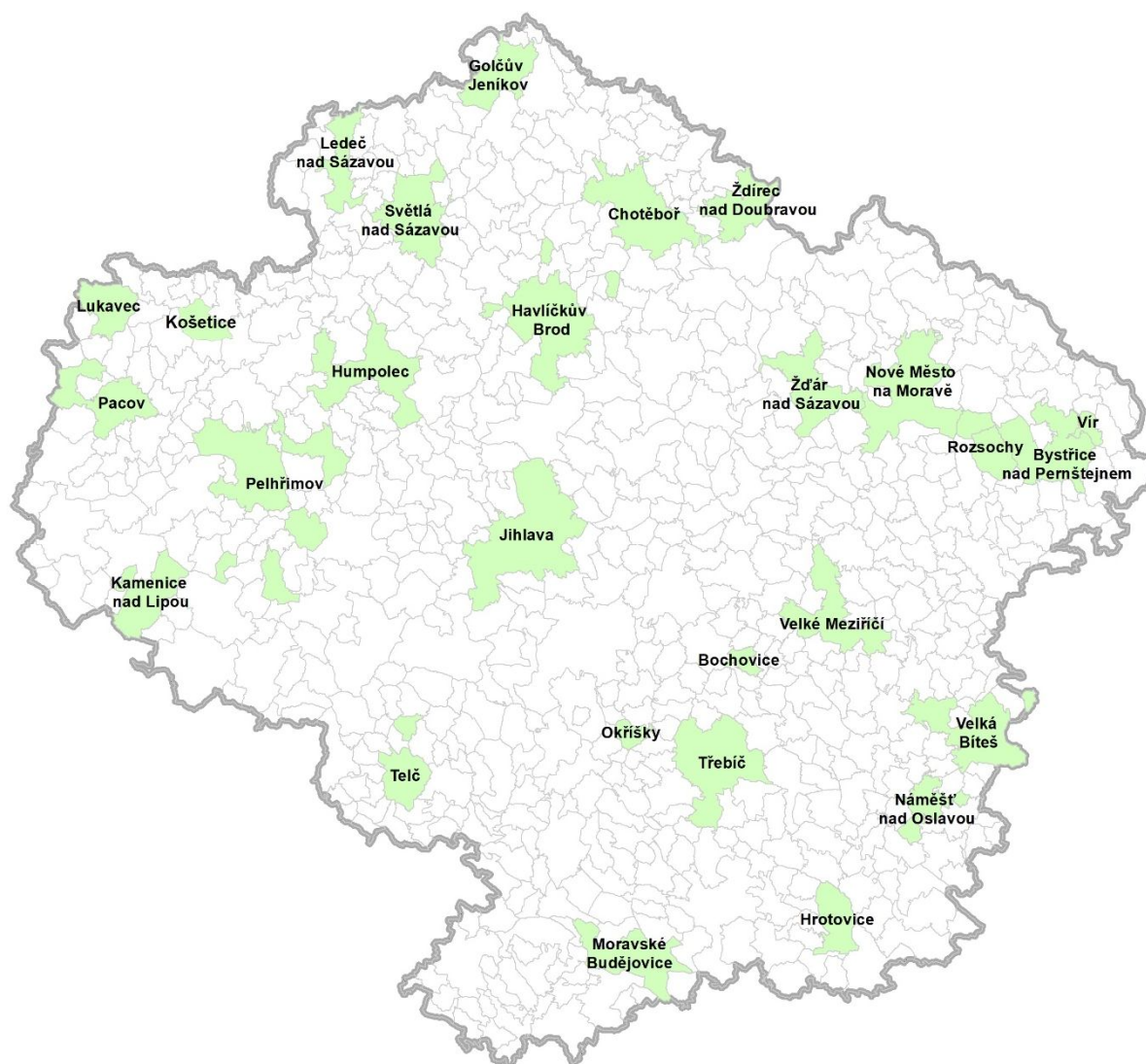
Identifikace a charakterizace nebezpečnosti – podstatou je stanovení nebezpečnosti látek na základě dostupných informací v literatuře a kvantifikace vztahu mezi dávkou a rozsahem škodlivého účinku. Cílem je získání základních parametrů pro charakterizaci rizika. V rámci charakterizace nebezpečnosti se zohledňují dva typy účinků - prahový (většinou pro nekarcinogenní látky – škodlivé účinky je možné očekávat až při překročení jisté expozice) a bezprahový (karcinogenní látky, aerosol – škodlivé účinky se mohou projevit při jakékoliv úrovni expozice). Smyslem této kapitoly je rovněž prezentovat odpovídající zdravotně zdůvodnitelné referenční hodnoty (tj. meze pro průměrnou celoživotní expozici, jejíž nepřekračování pravděpodobně nebude znamenat poškození zdraví lidí). Referenční hodnoty stanovené ve vztahu ke zdravotním účinkům nemusí být shodné s limitními hodnotami danými platnou legislativou (celospolečensky dohodnuté nejvyšší mezní koncentrace, jež zahrnují určitou úroveň rizika, která je však pro společnost akceptovatelná).

Hodnocení expozice a charakterizace rizika – posouzení intenzity, četnosti a trvání možné expozice (kontakt organismu s danou látkou). Toto posouzení spočívá především ve vytipování možných expozičních cest, velikosti a složení exponované populace (viz kapitola základní charakteristika příjemců rizik), expozičních scénářů a kvantifikaci expozice. Účelem charakterizace rizika je shrnout všechny dostupné údaje a informace získané v předchozích krocích hodnocení, které mohou přispět k posouzení míry a rozsahu rizika.

V ČR je metodika hodnocení zdravotních rizik předmětem autorizace dle zákona č. 258/2000 Sb. a odborné způsobilosti pro oblast posuzování vlivů na veřejné zdraví dle zákona č.100/2001 Sb., ve znění zákona č.93/2004 Sb. a vyhlášky MZ č. 353/2005.

## Popis území zařazeného do hodnocení

Měření probíhalo ve 28 sídlech kraje Vysočina. Sídla zařazená do projektu jsou znázorněna na obr. č. 1. Charakteristika těchto sídel je uvedena v tabulce č. 1.



Obrázek č. 1: Lokalizace sídel zařazených do projektu ISKOV

Tabulka č. 1: Charakteristika sídel zařazených do projektu ISKOV (převzato z internetového zdroje Informační systém kvality ovzduší v kraji Vysočina)

Lokality	Počet obyvatel k 1.1.2017	Vliv dopravy	Plynofikovaná oblast	Lokální zdroje	Výraznější zdroj další	Zaměření sledované lokality
Bochovice	154	!	✗	✓	✗	LT
Bystřice n.P.	8202	✓	✓	✓	✗	LT/PZ
Golčův Jeníkov	2639	!	✓	✓	✗	LT
Havlíčkův Brod	23145	✓	✓	✓	!	D/PZ
Hrotovice	1770	✓	✓	✓	✗	LT/PZ
Humpolec	10850	✓	✓	✓	✗	D/PZ
Chotěboř	9343	✓	✓	✓	✗	D/PZ
Jihlava	50559	✓	✓	!	✓	D/PZ
Kamenice n.L.	3791	!	✓	✓	✗	LT
Ledeč n. Sázavou	5151	!	✓	✓	✗	
Lukavec	988	!	✓	✓	✗	LT/PZ
Moravské Budějovice	7441	✓	✓	✓	✗	LT/D
Náměšť n. Osl.	4871	✓	✓	✓	✗	LT/PZ
Nové Město na Mor.	10110	!	✓	✓	✗	LT
Okřísky	2058	✓	✓	✓	✗	LT
Pacov	4871	✓	✓	✓	✗	D
Pelhřimov	16044	✓	✓	✓	!	D
Rozsochy	717	✓	✓	✓	✗	LT
Světlá n. Sáz.	6637	✓	✓	✓	!	LT/D
Telč	5410	!	✓	✓	✗	LT/D
Třebíč	36330	✓	✓	!	!	D/PZ
Velká Bíteš	5137	✓	✓	✓	✗	D
Velké Meziříčí	11593	✓	✓	✓	✗	D/PZ
Vír	711	!	✓	!	✗	
Žďár nad Sáz.	21160	✓	✓	✓	✓	D/PZ
Ždírec nad D.	3143	✓	✓	✓	!	LT/PZ

- ✗ ne  
! minimálně, bez většího významu  
✓ ano

Z tabulky je zřejmé, že do projektu je zařazeno spektrum sídel od městských oblastí přes venkovské oblasti až po pozadové oblasti. Jednotlivá sídla se liší jak počtem obyvatel, tak i charakterem zdrojů znečištění. Z tabulky číslo 1 je patrná kategorizace zdrojů v jednotlivých sídlech, provedená pro účely měření ovzduší. Počty obyvatel v jednotlivých sídlech kolísají od stovek po desítky tisíc ve velkých městech.

## Identifikace a charakterizace nebezpečnosti

### Aerosol ( $PM_{10}/PM_{2,5}$ )

Původcem aerosolu v ovzduší jsou přírodní i antropogenní zdroje (spalovací procesy, průmyslová výroba, doprava). Aerosol je do ovzduší emitován buď přímo (primární aerosol) nebo přeměnou plynných prekursorů (sekundární aerosol). Toxicita aerosolu je dána řadou faktorů, např. chemickým složením, velikostí a původem aj. Součástí aerosolu mohou být i různé další látky (např. těžké kovy, síra, karbon, minerální látky, organické látky, ale také pyl, bakterie, spory plísní aj.). Větší částice (např. ze spalování, eroze půdy, cest, abraze pneumatik a brzdových destiček automobilů aj.) o



aerodynamickém  $>10 \mu\text{m}$  sedimentují relativně rychle (minuty-hodiny) a jsou přenášeny na vzdálenosti v řádu kilometrů. Jemné částice o aerodynamickém průměru menší než  $2,5 \mu\text{m}$ , na jejichž vzniku se podílí také jiné plynné prekursorů (NO, SO<sub>2</sub>, VOC amoniak aj.), perzistují v atmosféře dlouho (dny – týdny) a mohou být přenášeny na vzdálenosti v řádu tisíců kilometrů.

V roce 2015 se střední roční hmotnostní koncentrace pro přírodní pozadí v ČR pohybovaly na úrovni  $15,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pro PM<sub>10</sub> a  $11,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pro PM<sub>2,5</sub>. SZÚ uvádí pro městské lokality se střední zátěží dopravy odhad střední hmotnostní koncentrace pro PM<sub>10</sub> 22-25,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a pro PM<sub>2,5</sub> 16,4-17,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . V případě dopravních Hot-spots pro PM<sub>10</sub> 26,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a pro PM<sub>2,5</sub> 19,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . SZÚ dále uvádí odhad střední hodnoty ve městech ČR pro PM<sub>10</sub>/PM<sub>2,5</sub> 22,3/18,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . (SZÚ, 2016).

Z hlediska možných zdravotních účinků částic je významná jejich velikost, složení a doba expozice. Částice s aerodynamickým průměrem větším než  $10 \mu\text{m}$  nepronikají hluboko do dýchacích cest a většinou jsou odstraněny z dýchacího traktu, než mohou způsobit závažnější zdravotní projevy. Částice s průměrem menším než  $10 \mu\text{m}$  pronikají do horních cest dýchacích a plic (PM<sub>10</sub>). Do plicních sklípků pronikají částice s průměrem menším než  $2,5 \mu\text{m}$ .

PM je vlastně směsí, jejíž složení hraje významnou úlohu ve vztahu k účinkům na zdraví. Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC) nedávno zařadila PM i znečištěné venkovní ovzduší jako celek do skupiny látek karcinogenních pro člověka (skupina 1) pro kritický účinek karcinomu plic ve vztahu k dlouhodobé expozici PM (IARC, 2013). Za karcinogenní účinek by právě mohly být odpovědné látky, které jsou součástí směsi PM-například polyaromatické uhlovodíky (PAU).

Krátkodobé i dlouhodobé expozice PM<sub>2,5</sub> vedou ke zvýšení úmrtnosti a nemocnosti na choroby kardiovaskulárního systému. S pokračujícím výzkumem však narůstá poznání dalších možných účinků na zdraví (vrozené vady, Alzheimerova nemoc a neurologická postižení, poruchy kognitivních funkcí u dětí, vliv na reprodukci, vznik diabetu u dospělé populace aj.), (WHO, 2013; Ruckerl et al., 2011).

Člověk může být exponován PM krátkodobě, v řádu hodin až dnů nebo dlouhodobě, po dobu jednoho roku nebo celého života. Závěry ukazují, že krátkodobé expozice vyvolávají rychlý nástup akutních účinků v řádu hodin a dnů následujících po expozici (zvýšený výskyt zánětlivých onemocnění plic, zvýšený výskyt příznaků onemocnění dýchacího systému-kašel, bronchitida, nepříznivý účinek na kardiovaskulární systém, zvýšené užívání léků u astmatiků, vzestup hospitalizace v důsledku zhoršení stávajících chronických onemocnění kardiovaskulárního a respiračního traktu, vzestup úmrtnosti). Dlouhodobé expozice se nepovažují jen za sumu krátkodobých expozic. Jejich účinky jsou rozsáhlejší a závažnější (vzestup onemocnění dolních cest dýchacích u dětí i dospělých, snížení plicních funkcí u dětí i dospělých, vzestup chronického obstrukčního bronchopulmonálního onemocnění, snížení očekávané délky života hlavně v důsledku kardiovaskulární úmrtnosti, úmrtnosti na onemocnění dýchacího systému a pravděpodobně i na zhoubné nádory plic), (WHO, 2013). Rovněž opakované expozice mohou vést k závažnějším zdravotním účinkům než jednorázové expozice.

Dělení účinků podle délky expozice je však ve skutečnosti jen čistě teoretickou záležitostí. Oba typy expozic totiž působí současně a účinky se vzájemně doplňují. Dlouhodobé expozice senzitivizují populaci ve vztahu ke krátkodobým účinkům, které se pak mohou následně projevit vznikem závažných

klinických stavů (infarkt, mozková mrtvice, oběhové selhání, arytmie aj.). Příhodnější se proto zdá označení „akutně chronické účinky“ ve vztahu ke všem typům expozic PM (Brook et al., 2010).

Hlavním biologickým mechanismem působení jemných částic je vyvolání oxidačního stresu prostřednictvím vzniku reaktivních kyslíkových radikálů (Brook et al., 2010). Kyslíkové radikály odpovídají nebo se spolupodílí na vzniku pestré multiorgánové patologie (např. zánětlivé změny v plicích, systémový zánět, poškození cévních stěn, arterioskleróza, diabetes a neurodegenerativní onemocnění). Dalším z mechanismů je narušení rovnováhy autonomního nervového systému (sympatikus/parasympatikus), které se může projevit zvýšením krevního tlaku, poruchami srdečního rytmu a vazokonstrikcí (zúžením cév). Uvádí se i působení samotných částic PM (nanočástice) a jejich složek (organické látky, kovy) na komponenty krve a cévní stěny, např. prokoagulační a trombogenní změny. Uvedené mechanismy působí většinou v komplexu (WHO, 2015).

Poslední poznatky dávají do souvislosti expozici PM<sub>2,5</sub> ve vztahu ke vzniku celé řady patologických stavů kardiovaskulárního systému jako je srdeční selhání (chorobný stav, při kterém je narušena čerpací funkce srdce), ischemická cévní mozková příhoda (způsobená ucpáním tepny krevní sraženinou), případně i dalších subklinických stavů se závažnými důsledky (např. vznik trombózy a poruch koagulace, zvýšení krevního tlaku, poškození cévní stěny, rozvoj arteriosklerózy, variabilita srdečního rytmu aj.). Poškození (fisura, ruptura) koronárního aterosklerotického plátu v koronárních artériích vede k výrazné protrombotické aktivitě, při které se uvolňuje řada faktorů, které podporují vznik trombu, nasedajícího po postiženou aterosklerotickou lézi. Tím dochází k částečné nebo úplné obstrukci postižené tepny s následnou ischemií myokardu v jejím povodí; není-li krevní průtok dostatečně rychle obnoven, začnou ischemické kardiomyocyty odumírat a vzniká srdeční infarkt (Ošťádal, 2012).

Pro působení částic PM<sub>10</sub> je charakteristická přítomnost jak jemných částic frakce do 2,5 μm, tak i hrubší frakce 2,5-10 μm. Poslední poznatky spojují zejména krátkodobé expozice částicím hrubé frakce PM<sub>2,5-10</sub> s účinky na dýchací a kardiovaskulární systém a s předčasnou úmrtností a dlouhodobé účinky této frakce s respirační nemocností a úmrtností. Účinky pro tuto frakci jsou pozorovány nezávisle na účincích PM<sub>2,5</sub>, vzhledem k různým místům působení těchto částic v dýchacím systému a tím i různým biologickým mechanismům jejich účinku. Kvantifikace tohoto rizika prozatím není dostatečně propracována, vzhledem k absenci příslušných zdravotně zdůvodnitelných referenčních hodnot.

Hrubší částice vyvolávají dráždění sliznice dýchacích cest. Toto dráždění se může projevit změnou struktury i funkce řasinkové tkáně, zvýšenou produkcí hlenu a sníženou samočisticí schopností dýchacího ústrojí. Tyto změny oslabují přirozené obranné mechanismy, usnadňují vznik infekce. Recidivující akutní zánětlivá onemocnění mohou vést ke vzniku chronického zánětu průdušek a chronické obstrukční nemoci plic s následným přetížením pravé srdeční komory a oběhovým selháváním. Chronický zánět může také vést ke karcinogenezi.

Rozvoj patologie je však individuální a ovlivňuje jej řada faktorů. Všeobecně WHO odhaduje, že znečištění životního prostředí (včetně znečištění ovzduší PM) může mít zhruba 20 % vliv na zdraví. Dalšími determinantami jsou genetické faktory (10-15 %), úroveň zdravotnictví (10-15 %) a způsob života (50 %). Mezi rizikové skupiny se řadí především lidé s existujícím plicním a srdečním onemocněním, lidé s diabetem, starší lidé a děti. Děti představují rizikovou skupinu vzhledem k větší citlivosti na inhalované znečišťující látky v důsledku vývoje plicní tkáně, imunitního systému a vyšší

pohybové aktivity. Děti s existujícím onemocněním plic (především astmatem) jsou ve větším riziku než děti bez tohoto onemocnění (WHO, 2005). Naopak nebylo potvrzeno, že by expozice PM<sub>10</sub> způsobovala vznik nových případů astmatu.

Současná znalost účinků PM na zdraví vychází z epidemiologických studií a jejich metaanalýz. Studie časových řad, které se zabývají účinky krátkodobých expozic, jsou realizovány ve velkých městech na rozsáhlých populačních souborech. Chybí informace o venkovských oblastech. Obvykle nezohledňují ani variabilitu PM mezi městy. Kohortové studie se zaměřují na zkoumání dlouhodobých účinků PM ve vztahu ke zdraví. Zkoumá se zdravotní stav určité kohorty a měření škodlivin v ovzduší v místě výskytu kohorty. Tyto studie nejsou reprezentativní pro celou populaci a jsou zatíženy nedostačenou znalostí expozice v rámci geografického území. V mnoha především starších studiích účinků chronických expozic není ani dostatečně zohledňován možný akutní účinek a nelze tudíž věrohodně stanovit, zdali se nejedná o kumulativní účinek akutních expozic (Shi et al., 2016).

Dlouhou dobu se předpokládalo, že vztah mezi dávkou PM a odpovědí organismu (tzv. CR funkce) je lineární nebo log-lineární. Nové poznatky však ukazují, strmější průběh funkce při nízkých koncentracích a pozvolnější průběh při velmi vysokých koncentracích (jak pro karcinogenní, tak i pro ostatní účinky), (WHO, 2015).

Z hlediska krátkodobých účinků studie uvádí nárůst denní úmrtnosti ve vztahu k denním hodnotám PM<sub>10</sub> v rozsahu 0,3-0,8 % na 10 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub>. WHO uvádí pro krátkodobé expozice PM<sub>10</sub> vztah zvýšení úmrtnosti o 0,5 % na každých 10 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub> (nad hodnotu 50 µg/m<sup>3</sup>), (WHO 2005). Pro dlouhodobé účinky WHO původně spojovala zvýšení koncentrace PM<sub>2,5</sub> o 10 µg/m<sup>3</sup> se vzestupem úmrtnosti v exponované populaci o 6 %. (WHO 2005). Tento vztah byl však nedávno aktualizován na základě studie HRAPIE. Zvýšení koncentrace PM<sub>2,5</sub> o 10 µg/m<sup>3</sup> je nyní spojováno se 6,2 % vzestupem úmrtnosti v exponované populaci (WHO 2013).

Ve směrnici pro vnější ovzduší WHO doporučuje dosažení cílové hodnoty (Guideline Value - GV WHO) pro průměrné roční koncentrace PM<sub>10</sub> 20 µg/m<sup>3</sup> a PM<sub>2,5</sub> 10 µg/m<sup>3</sup> a 24 hodinové koncentrace pro PM<sub>10</sub> 50 µg/m<sup>3</sup> a PM<sub>2,5</sub> 25 µg/m<sup>3</sup> (WHO, 2005). Doporučená hodnota průměrné denní koncentrace PM<sub>10</sub> však nepředstavuje bezpečnou mez z hlediska vlivu na zdraví (vzhledem k tomu, že PM<sub>10</sub> je považována za bezprahově působící škodlivinu), nýbrž v sobě zahrnuje jistou míru rizika, jež je považována za všeobecně akceptovatelnou.

Direktiva kvality ovzduší (Direktiva 2008/50/EC) Evropské unie stanovuje závazné limity PM<sub>10</sub> pro ochranu zdraví (denní mezní hodnota 50 µg/m<sup>3</sup> - může být překročena 35x za rok; roční mezní hodnota 40 µg/m<sup>3</sup>) a cílovou hodnotu pro PM<sub>2,5</sub> (roční mezní hodnota 25 µg/m<sup>3</sup>).

US EPA stanovila primární standardy (k ochraně lidského zdraví) pro PM<sub>2,5</sub> v případě ročních průměrných koncentrací 12 µg/m<sup>3</sup> a v případě denních koncentrací 35 µg/m<sup>3</sup> (US EPA, 2016).

V české národní legislativě je imisní limit pro PM<sub>10</sub> uveden v zákonu č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší a souvisejících předpisech. Imisní limit lze v tomto případě považovat za mez přijatelného rizika, nikoliv za bezpečný práh. Imisní limit pro krátkodobé (24 hod) koncentrace PM<sub>10</sub> je 50 µg/m<sup>3</sup> (aritmetický průměr). Jeho hodnota nesmí být překročena více než 35krát za kalendářní rok. Imisní limit pro

dlouhodobé (roční) koncentrace PM<sub>10</sub> je 40 µg/m<sup>3</sup> (aritmetický průměr). Imisní limit pro dlouhodobé (roční) koncentrace PM<sub>2,5</sub> je 25 µg/m<sup>3</sup> (aritmetický průměr) za kalendářní rok.

Poslední studie naznačují, že k účinkům na zdraví může docházet již při nižších hodnotách než GV WHO. Společně se změnou klasifikace karcinogenity IARC a narůstajícími důkazy účinků krátkodobých a dlouhodobých expozic na zdraví dojde k revizi AQG WHO v roce 2017. Ve stejném roce bude rovněž publikováno vědecké stanovisko US EPA ISA (Integrated Science Assessment) pro PM.

## **Benzo(a)pyren**

Benzo(a)pyren (BaP) je nejvýznamnějším představitelem polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU), rozsáhlé skupiny organických sloučenin, které jsou málo rozpustné ve vodě a vysoce rozpustné v tucích. PAU vznikají při pyrolytických procesech, zejména při nedokonalém spalování organického materiálu jak v průmyslu, tak v domácnostech (nedokonalé spalování uhlí a ropy, plynu, odpadů, motorová doprava, vaření a kouření tabáku). Dominantními zdroji PAU, zvláště BaP jsou koksozny. Z ostatních zdrojů jsou rovněž významné ocelárny, hliníkárny, doprava a lokální topeniště (WHO, 1998). Většina PAU adsorbuje v ovzduší na prachové částice. V ovzduší reagují PAU s ozónem, oxidy dusíku a oxidem siřičitým za vzniku nitro-PAU a dinitro-PAU. Hlavním zdrojem PAU pro expozici člověka je potrava. Část kontaminace pochází z atmosférické depozice PAU na obilí, ovoce a zeleninu.

Nejvýznamnější z polycyklických aromatických uhlovodíků je BaP. WHO udává, že průměrná koncentrace BaP v ovzduší ve velkých evropských městech se pohybuje v rozmezí 1-10 ng/m<sup>3</sup>, ve venkovských oblastech je menší než 1 ng/m<sup>3</sup> (WHO, 2000). Novější evropské údaje ukazují, že na většině území západní Evropy se průměrné roční koncentrace BaP pohybují pod limitní hodnotou EU (1 ng/m<sup>3</sup>). Nadlimitní koncentrace jsou všude tam, kde se v převážné míře využívají tuhá paliva k vytápění v domácích topeništích, v místech s hutním a koksárenským průmyslem a místech s dopravní zátěží. Uvedený stav je běžný v centrální a východní Evropě.

V roce 2013 se hodnota střední roční hmotnostní koncentrace BaP pro přírodní pozadí v ČR pohybovala na úrovni 0,36 ng/m<sup>3</sup>. SZÚ uvádí pro městské lokality se střední zátěží dopravy odhad střední roční hmotnostní koncentrace 1,12-2,03 ng/m<sup>3</sup>. SZÚ dále uvádí odhad střední hodnoty ve městech ČR pro BaP 1,27 ng/m<sup>3</sup> (SZÚ, 2016).

Nejběžnější cesta vstupu BaP do lidského organismu je přes respirační trakt. Z experimentů na zvířatech byla prokázána řada nepříznivých účinků expozic polycyklických aromatických uhlovodíků, např. imunotoxicita, genotoxicita, karcinogenita a reprodukční toxicita. Epidemiologické studie u pracovníků koksoven, výroben svítiplynu a hliníkáren prokázaly vliv inhalační expozice PAU (včetně BaP) na vznik rakoviny plic. BaP byl klasifikován jako prokázaný lidský karcinogen (IARC – skupina 1), (IARC, 2010). Hodnocení je založeno na řadě pádných důkazů z experimentů u mnoha živočišných druhů, potvrzujících karcinogenitu a podporovaných i konzistentními a koherentními mechanistickými důkazy z experimentálních a humánních studií, které jsou dostatečně biologicky věrohodné, aby bylo možné považovat BaP za látku karcinogenní pro člověka (IARC, 2010). BaP jako karcinogen nemá stanovenou žádnou bezpečnou úroveň expozice. WHO uvádí na základě výsledků epidemiologických studií u pracovníků koksoven jednotku karcinogenního rizika (UCR) v hodnotě 8,7 x 10<sup>-5</sup> vztaženou na 1 ng/m<sup>3</sup> vzduchu (WHO, 2000). V platné legislativě ČR (zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší) i EU

je jako imisní limit stanovena hodnota  $1 \text{ ng/m}^3$ . Imisní limit však lze považovat pouze za mez přijatelného rizika nikoliv za bezpečný práh.

## Benzen

Benzen ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) je těkavá, bezbarvá, vysoce hořlavá kapalina sladkého zápachu. Čichový práh pro benzen je  $1,5 \text{ ppm}$  ( $5 \text{ mg/m}^3$ ). V ovzduší se benzen vyskytuje ve formě par s dobou setrvání v rozmezí několika hodin až dní v závislosti na prostředí, klimatických podmínkách a koncentraci dalších škodlivin. Hlavním způsobem degradace benzenu v ovzduší je reakce s hydroxylovými radikály. Benzen může být z ovzduší odstraněn také deštěm. Hlavními zdroji benzenu v ovzduší jsou cigaretový kouř, spalování uhlí a ropy, spalování a evaporace benzínu obsahujícího benzen a petrochemický průmysl. Průměrná koncentrace benzenu v ovzduší ve venkovských oblastech je popisována okolo  $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  a v městských oblastech  $5 - 80 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (WHO, 2000). SZÚ uvádí odhad střední hodnoty ve městech ČR  $2 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (SZÚ, 2016).

Inhalace z ovzduší je hlavní cestou vstupu benzenu do lidského organismu. Příjem ostatními cestami je méně významný. Vyšší úrovně benzenu jsou potvrzeny v blízkosti benzínových stanic, průmyslových zdrojů a rušných komunikací. WHO uvádí, že denně je přijato 9 % benzenu z vnějšího ovzduší, 53 % z ovzduší interiérů, 30 % z ovzduší uvnitř automobilů a 8 % tvoří příjem z potravy (Fromme, 1995).

Po inhalační expozici se absorbuje zhruba 50 % přijatého benzenu (US EPA, 2002). Hlavním orgánem metabolismu benzenu jsou játra. Samotný benzen není toxickou látkou. Až prostřednictvím metabolické přeměny na oxid benzenu a především na jeho rozpadové produkty, zejména hydrochinon, p-benzochinon, katechol a mukoaldehyd, které mají schopnost interference s buněčnými strukturami, se stává toxickým pro lidský organismus (Snyder, 1996; Witz, 1996). Při přeměně vzniká i řada dalších látek - fenoly, S-fenylmerkapturová kyselina nebo kyselina mukonová. Metabolity jsou vylučovány močí.

Expozice benzenem ve vyšších dávkách se může projevovat akutními nebo chronickými účinky. Ke vzniku akutních účinků dochází po krátkodobé expozici vysokým dávkám benzenu, které se vyskytují jen v pracovním prostředí. Spektrum příznaků je rozmanité - od dráždění nebo pálení očí, závratí, dávení, zvracení až po dušnost. Velmi vysoké dávky mohou vést k bezvědomí a smrti. Chronické účinky ve vztahu k dlouhodobým expozicím benzenu jsou karcinogenita, genotoxicita, hematotoxicita.

Karcinogenita je považována za kritický účinek benzenu. Jedná se o látku s prokázanými karcinogenními účinky u člověka (US EPA, 1996; IARC, 1987; IARC, 2010). Mechanismus karcinogenního účinku, ve vztahu k expozici benzenu, není dodnes plně objasněn a je pravděpodobné, že se nejedná jen o jeden mechanismus, ale spíše souhru různých mechanismů. Rozhodující se jeví právě genotoxický účinek metabolitů. Na základě epidemiologických studií je inhalace benzenu v pracovním prostředí spojena s výskytem nádorů (ATSDR, 2007; IARC, 1982, 1987; US EPA, 1998) – leukémií (zhoubné nádorové onemocnění krvetvorné tkáně a lymfatických uzlin), lymfomů (nádory uzlin a jiné lymfatické tkáně) a myelomů (nádorové onemocnění určitého typu bílých krvinek – plazmatických buněk). Prokazatelně to je pro akutní myeloidní leukemii/akutní nelymfocytární leukemii (AML/ANLL). Pro jiné typy leukémií, lymfomů a myelomů se zatím nepodařilo spojení přesvědčivě dokázat: akutní lymfocytární leukémie (ALL), chronická lymfocytární leukémie (CLL), mnohočetný myelom MM, a non-Hodgkinův lymfom (NHL), (Baan et al., 2009).

Genotoxicita metabolitů benzenu byla prokázána v testech in vivo na savcích. Nebyl prokázán mutagenní účinek v testech in vitro na bakteriálních systémech a savcích buňkách (Smith, 1996; Whysner, 2004). Hlavním mechanismem je pravděpodobně vyvolání oxidativního stresu na buněčné úrovni s následným vznikem adduktů (úsek DNA, na který je kovalentní vazbou vázána karcinogenní látka) nebo poškození proteinů navázaných na DNA a mitotického aparátu, která vedou k poruchám DNA (zlomy), vzniku mitotických rekombinací, chromozomálních aberací, ať už v počtu (aneuploidie – chybění nebo nadbytek chromozómů) nebo struktuře chromozómů (translokace), (Smith, 1996; Whysner, 2004). Epidemiologické studie z pracovního prostředí potvrzují výskyt genotoxických změn, včetně chromozomálních abnormalit v lymfocytech pracovníků exponovaných benzenu.

Hematotoxicita při vyšších expozicích benzenu (v pracovním prostředí) ovlivňuje celou krevní řadu - vzniká aplastická anémie v důsledku útlumu kostní dřeně (poškození genomu pluripotentní kmenové buňky), ze které vznikají krevní elementy. Uvedené stavy vedou ke snížené schopnosti krvinek přenášet kyslík, snížení imunity a náchylnosti k infekcím, případně k nekontrolovatelnému krvácení s možností následného úmrtí. Při včasném záchytu, odstranění expozice a adekvátní léčbě se může jednat o reverzibilní stav.

Za senzitivní skupinu populace jsou považovány osoby s genetickým polymorfismem nebo deficitem linon oxidoreduktázy. U takovýchto osob může dojít ke vzniku chronických potíží již při nižších koncentracích benzenu v prostředí než u běžné populace. Významnou skupinou jsou rovněž děti, u nichž je krvetvorný systém stále ve vývinu a tudíž může být zvýšeně senzitivní k působení toxických látek.

US EPA stanovila hodnotu referenční koncentrace RfC  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pro celoživotní inhalační expozici benzenu ve vztahu k účinku sníženého počtu leukocytů ( $\text{PD} = \text{BMCL}_{\text{test}} (23000 \mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{adjustace na dobu expozice a pracovní prostředí} (7 \text{ dnů}/\text{týden}; 20 \text{ m}^3/\text{den}) = \text{BMCL}_{\text{adj}} (8200 \mu\text{g}/\text{m}^3) / \text{nejistota (UF 300)} = 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), (US EPA, 2000).

Z hlediska karcinogenity je benzen považován za látku s bezprahovým působením, proto nemá stanovenou žádnou bezpečnou úroveň expozice. Úroveň rizika v životním prostředí, která představuje akceptovatelné riziko pro běžnou populaci při celoživotní expozici, je odvozena ze studií s průměrným až vysokými koncentracemi benzenu v pracovním prostředí. Pro kritický účinek leukémie stanovila US EPA jednotku karcinogenního rizika  $\text{UCR} = 2,2-7,8 \times 10^{-6} / 1 \mu\text{g} \text{ benzenu} / \text{m}^3 \text{ vzduchu}$ . Všeobecně přijatelné karcinogenní riziko (tj. 1 případ leukémie na 1 milión osob, který se vyjadřuje zápisem  $1 \times 10^{-6}$ ) při celoživotní expozici pak odpovídá koncentraci benzenu v ovzduší  $0,13-0,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Karcinogennímu riziku 1 případu leukémie na 100 tisíc osob (vyjádřeno jako  $1 \times 10^{-5}$ ) pak odpovídá celoživotní expozice koncentrace benzenu v ovzduší  $1,3-4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Karcinogennímu riziku 1 případu leukémie na 10 tisíc osob (vyjádřeno jako  $1 \times 10^{-4}$ ) pak odpovídá celoživotní expozice koncentrace benzenu v ovzduší  $13-45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (US EPA, 2000).

Obdobně jako EPA i WHO stanovila jednotku karcinogenního rizika pro benzen ve volném ovzduší ve vztahu ke kritickému účinku vzniku leukémie při celoživotní expozici  $\text{UCR} = 6 \times 10^{-6} / 1 \mu\text{g} \text{ benzenu}/\text{m}^3 \text{ vzduchu}$ . Hodnota UCR představuje geometrický průměr jednotek rizika z epidemiologických studií v pracovním prostředí. Všeobecně přijatelnému karcinogennímu riziku ( $1 \times 10^{-6}$ ) pak odpovídá při celoživotní expozici koncentrace benzenu v ovzduší  $0,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Karcinogennímu riziku  $1 \times 10^{-5}$  pak

odpovídá celoživotní expozice koncentraci benzenu v ovzduší  $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Karcinogennímu riziku  $1 \times 10^{-4}$  pak odpovídá celoživotní expozice koncentraci benzenu v ovzduší  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Jak je patrné, rozdíl mezi jednotkami karcinogenního rizika US EPA a WHO je minimální (WHO, 2000).

Doposud se všeobecně přijímalo doporučení pracovní skupiny expertů Evropské komise z roku 1998, které vzhledem k nejistotám při stanovování jednotek karcinogenního rizika doporučilo, aby za UCR bylo považováno rozmezí, jehož horní mez by byla vyjádřena hodnotou karcinogenního rizika WHO UCR  $6 \times 10^{-6}$  a dolní mez hodnotou  $5 \times 10^{-8}$  (EC, 1998). To by znamenalo, že všeobecně přijatelné riziko ( $1 \times 10^{-6}$ ) by odpovídalo rozmezí roční průměrné koncentrace benzenu v ovzduší v intervalu cca 0,2–20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vzhledem k narůstajícím poznatkům možného spojení výskytu dětské leukemie ve vztahu k nízkým koncentracím benzenu v životním prostředí se však hodnocení karcinogenního rizika podle tohoto doporučení jeví v dnešní době jako sporné. Proto v tomto hodnocení zdravotních rizik je používána jednotka karcinogenního rizika WHO UCR  $6 \times 10^{-6}$ .

V české národní legislativě je v příloze zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší uveden imisní limit pro benzen  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (aritmetický průměr pro kalendářní rok), což odpovídá míře přijatelnosti karcinogenního rizika na úrovni 3 případů leukémie na populaci 100 tisíc obyvatel. Imisní limit lze v tomto případě proto považovat za mez přijatelného rizika nikoliv za bezpečný práh. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/69/ES, ze dne 16. listopadu 2000, stanovila roční mezní hodnotu  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (EP, 2000).

## Hodnocení expozice a charakterizace rizika

Podkladem k hodnocení expozice a charakterizace zdravotního rizika jsou průměrné roční imisní koncentrace látek vypočtené na základě 8 rovnoměrně rozložených měření pro každé sídlo a rok za období let 2012–2017. V době zpracování hodnocení zdravotních rizik měl autor k dispozici průměrné roční koncentrace látek vypočtené na základě měřících kampaní ve 4 letech. Hodnoty za poslední rok a vyhodnocení příslušné části projektu zabývající se imisním měřením bylo autorovi předáno těsně před termínem předání hodnocení zdravotních rizik.

Hodnocení je nepříznivě ovlivněno skutečností, že průměrná roční koncentrace je stanovena na základě nízkého počtu měření, který sice česká legislativa připouští, avšak takto získanou hodnotu lze považovat jen za orientační, protože neodráží variabilitu hodnot v průběhu roku (např. meteorologické faktory aj.). Metodika hodnocení zdravotních rizik neposkytuje exaktní výpočty rizika, ale odhady míry rizika, které jsou zatíženy nejistotou vycházející z podstaty výpočtu i komplexnosti problematiky. Tyto nejistoty je potřeba brát v úvahu zejména tehdy, pokud se klade důraz na vlastní hodnoty rizika místo porovnávání změn rizika. Autor proto doporučuje spíše porovnávat sídla mezi sebou na základě hodnot rizika nežli hodnotit úroveň dosaženého rizika v každém sídle.

S ohledem na tyto skutečnosti je hodnocení provedeno na základě hodnot průměrné koncentrace za pětileté období pro každé sídlo. Referenční hodnoty pro hodnocení zdravotních rizik jsou souhrnně uvedeny v tabulce č. 2.

Tabulka č. 2: Souhrnný přehled referenčních hodnot pro hodnocení zdravotních rizik

Období 2011-2015	Průměrné roční koncentrace			
	PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Benzen (µg/m <sup>3</sup> )	BaP (ng/m <sup>3</sup> )
GV WHO	10	20	-	-
UCR	-	-	6×10 <sup>-6</sup>	8,7×10 <sup>-5</sup>
LH	25	40	5	1

LH – Limitní hodnota (Zákon č. 201/2012 Sb.)

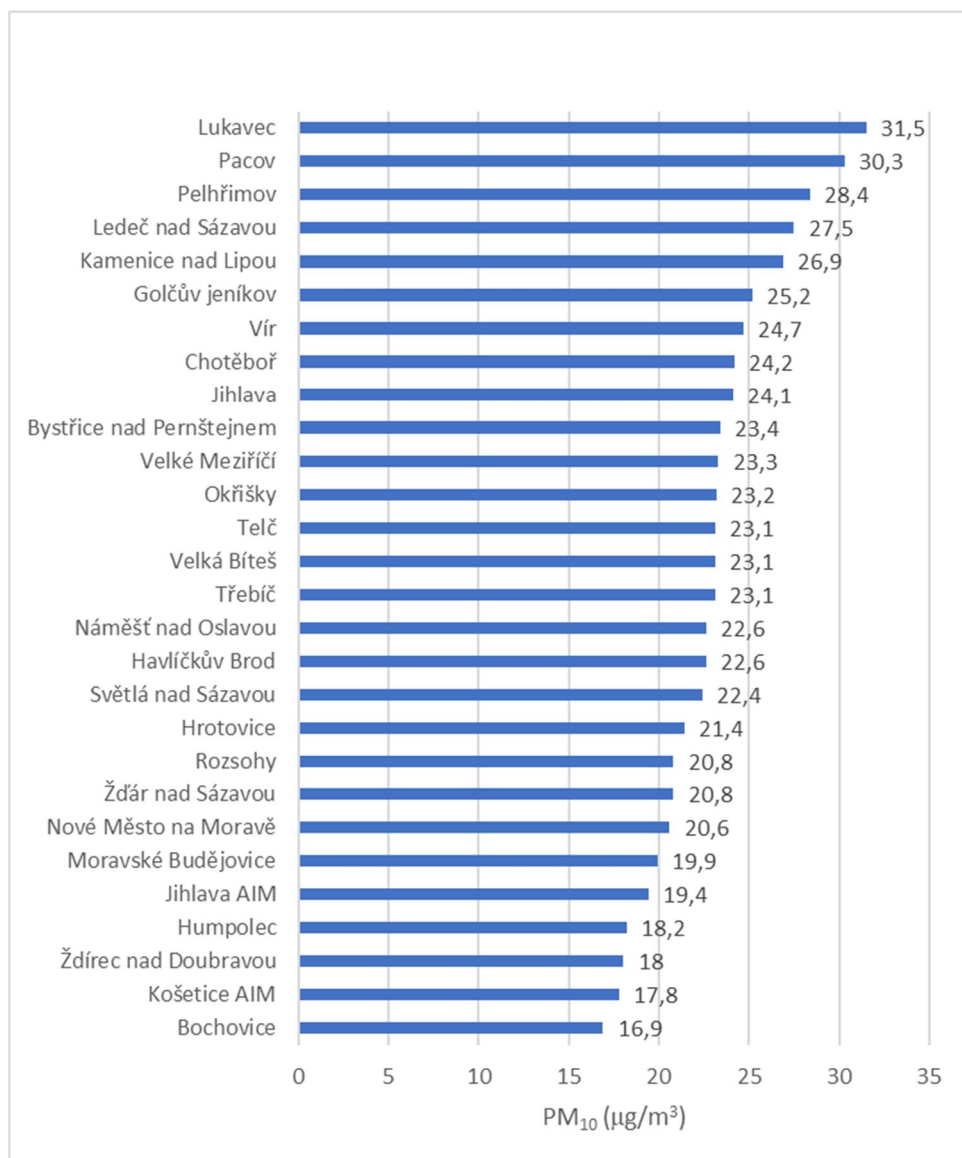
GV WHO – doporučená hodnota WHO (WHO, 2005)

UCR – jednotka karcinogenního rizika [(µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>] (WHO, 2000)

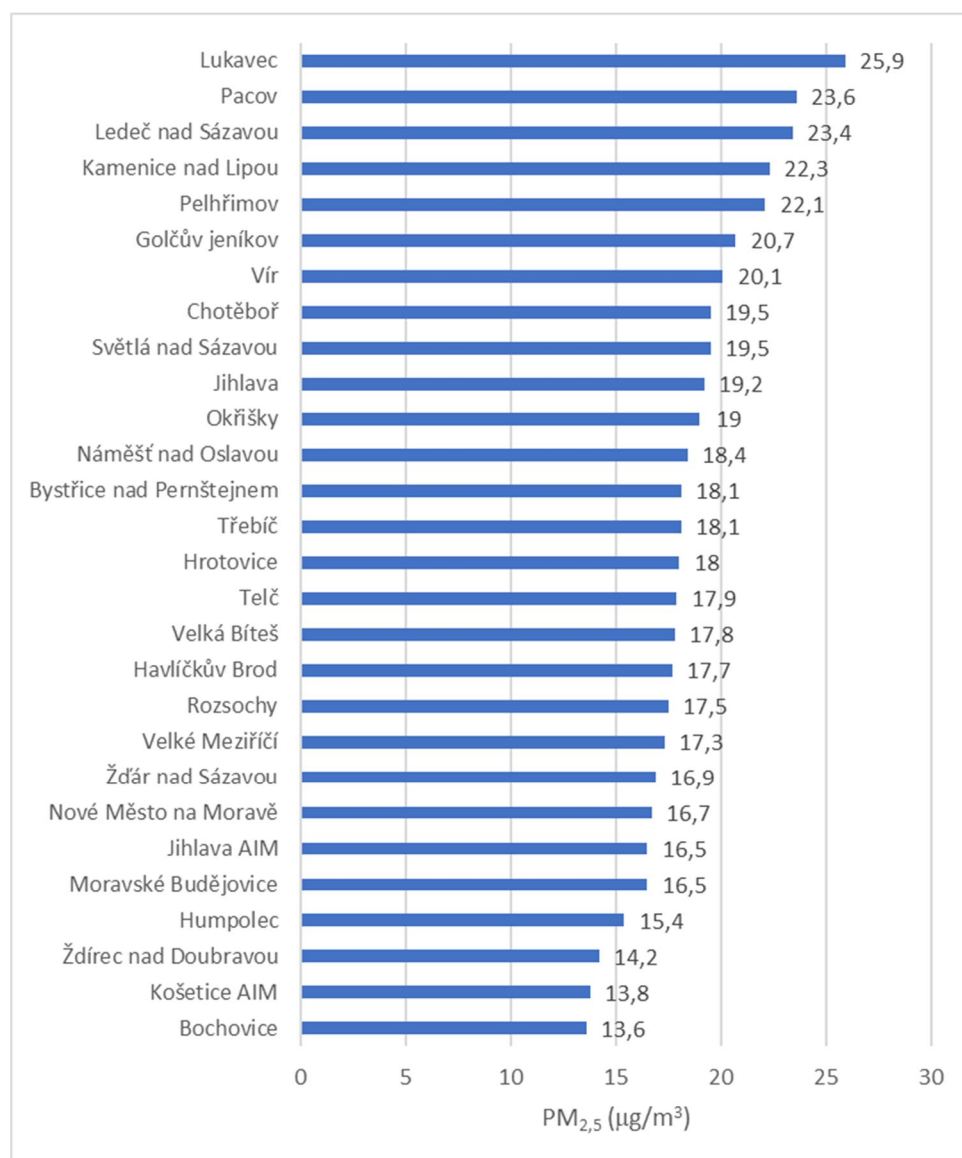
### Hodnocení expozice

Za expoziční hodnoty se považují průměrné koncentrace látek za pětileté období 2012-2017, vypočtené z průměrných ročních koncentrací látek vypočtených na základě kampaní v sídlech v jednotlivých letech. Vypočtené průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> za pětileté trvání projektu jsou uvedeny na obrázku č. 2. Vypočtené průměrné koncentrace PM<sub>2,5</sub> za pětileté trvání projektu jsou uvedeny na obrázku č. 3. Sídla jsou seřazena od nejvyšší po nejnižší průměrnou hodnotu pětiletého průměru.





Obrázek č. 2: Pětileté průměry PM<sub>10</sub> v sídlech (sídla srovnána sestupně podle úrovně hodnot)



Obrázek č. 3: Pětileté průměry PM<sub>2,5</sub> v sídlech (sídla srovnána sestupně podle úrovně hodnot)

Z tabulky č. 2 je patrné, že ve všech sídlech s výjimkou šesti sídel (Moravské Budějovice, Jihlava AIM, Humpolec, Ždírec nad Doubravou, Košetice, Bochovice) průměrná koncentrace za pětileté období pravděpodobně překročila doporučenou hodnotu WHO pro dlouhodobou koncentraci PM<sub>10</sub> GV<sub>WHO 1 rok</sub> = 20 µg/m<sup>3</sup>, která je doporučena WHO k ochraně zdraví. Průměrná koncentrace PM<sub>10</sub> za pětileté období v žádném sídle nepřekračuje limitní hodnoty PM<sub>10</sub> podle současné české legislativy v platném znění. Z uvedených hodnot však nelze dělat podrobnější závěry vzhledem k nejistotám měření (nepostihuje variabilitu výskytu látek v průběhu roku) v sídlech. Obecně lze konstatovat, že GV WHO představuje mez, jejíž dodržení znamená všeobecně přijatelné riziko. Překročení této meze je spojeno se zvýšením zdravotního rizika. Analogicky LH ČR představuje mez, jejíž dodržení je spojeno celospolečensky přijatelnou úrovní rizika, tj. úrovní, která je již spojována s vyšší mírou rizika, která je však ještě společností tolerována. Její překročení LH ČR znamená, že riziko se stává pro dotčenou populaci celospolečensky nepřijatelné.

Průměrná koncentrace  $PM_{2,5}$  za pětileté období pravděpodobně překračuje ve všech sídlech doporučenou hodnotu WHO pro dlouhodobé koncentrace  $PM_{2,5}$   $GV_{WHO} 1 \text{ rok} = 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , která je doporučena WHO k ochraně zdraví populace. Zdravotní riziko lze tedy považovat ve všech těchto sídlech za zvýšené. V jednom sídle (Lukavec) průměrná koncentrace  $PM_{2,5}$  za pětileté období pravděpodobně překračuje limitní hodnotu  $PM_{2,5}$  podle současné české legislativy v platném znění. V tomto sídle je možné zdravotní riziko z expozic  $PM_{2,5}$  pro populaci považovat za celospolečensky nepřijatelné.

Tabulky č. 3 a 4 ukazují o kolik byly překročeny doporučené hodnoty WHO pro  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  ve vztahu k pětiletým průměrům v obcích.

*Tabulka č. 3: Překročení průměrných hodnot  $PM_{10}$  za pětileté období oproti  $GV$  WHO (sídla uvedena v sestupném pořadí podle úrovně hodnot)*

sídlo	C	rozdíl oproti		sídlo	C	rozdíl oproti	
	$PM_{10}$	$GV$	WHO		$PM_{10}$	$GV$	WHO
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%
Lukavec	31,5	11,5	58	Telč	23,1	3,1	16
Pacov	30,3	10,3	52	Havlíčkův Brod	22,6	2,6	13
Pelhřimov	28,4	8,4	42	Náměšť nad Oslavou	22,6	2,6	13
Ledeč nad Sázavou	27,5	7,5	38	Světlá nad Sázavou	22,4	2,4	12
Kamenice nad Lipou	26,9	6,9	35	Hrotovice	21,4	1,4	7
Golčův Jeníkov	25,2	5,2	26	Žďár nad Sázavou	20,8	0,8	4
Vír	24,7	4,7	24	Rozsochy	20,8	0,8	4
Chotěboř	24,2	4,2	21	Nové Město na Moravě	20,6	0,6	3
Jihlava	24,1	4,1	21	Moravské Budějovice	19,9	-0,1	-1
Bystřice nad Pernštejnem	23,4	3,4	17	Jihlava AIM	19,4	-0,6	-3
Velké Meziříčí	23,3	3,3	17	Humpolec	18,2	-1,8	-9
Okříšky	23,2	3,2	16	Ždírec nad Doubravou	18	-2	-10
Třebíč	23,1	3,1	16	Košetice AIM	17,8	-2,2	-11
Velká Bíteš	23,1	3,1	16	Bochovice	16,9	-3,1	-16

Tabulka č. 4: Překročení průměrných hodnot  $PM_{2,5}$  za pětileté období oproti GV WHO (sídlu uvedena v sestupném pořadí podle úrovně hodnot)

sídlo	C $PM_{2,5}$	rozdíl oproti GV WHO		sídlo	C $PM_{2,5}$	rozdíl oproti GV WHO	
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%
Lukavec	25,9	15,9	159	Hrotovice	18,0	8,0	80
Pacov	23,6	13,6	136	Telč	17,9	7,9	79
Ledeč nad Sázavou	23,4	13,4	134	Velká Bíteš	17,8	7,8	78
Kamenice nad Lipou	22,3	12,3	123	Havlíčkův Brod	17,7	7,7	77
Pelhřimov	22,1	12,1	121	Rozsochy	17,5	7,5	75
Golčův Jeníkov	20,7	10,7	107	Velké Meziříčí	17,3	7,3	73
Vír	20,1	10,1	101	Žďár nad Sázavou	16,9	6,9	69
Světlá nad Sázavou	19,5	9,5	95	Nové Město na Moravě	16,7	6,7	67
Chotěboř	19,5	9,5	95	Moravské Budějovice	16,5	6,5	65
Jihlava	19,2	9,2	92	Jihlava AIM	16,5	6,5	65
Okříšky	19	9,0	90	Humpolec	15,4	5,4	54
Náměšť nad Oslavou	18,4	8,4	84	Ždírec nad Doubravou	14,2	4,2	42
Třebíč	18,1	8,1	81	Košetice AIM	13,8	3,8	38
Bystřice nad Pernštejnem	18,1	8,1	81	Bochovice	13,6	3,6	36

V případě  $PM_{10}$  byly GV WHO překročeny ve 22 sídlech o cca 3-58 %. V případě  $PM_{2,5}$  se překročení GV WHO pro  $PM_{2,5}$  o cca 36-159 % týká všech sídel. Tabulka překročení ukazuje, že významnějším problémem ve všech sídlech zařazených do projektu je znečištění ovzduší  $PM_{2,5}$  než  $PM_{10}$ . Za těchto okolností, s uvážením na nejistoty plynoucí ze způsobu získání dat, je pravděpodobné, že ani takové lokality jako jsou Košetice a Bochovice, které jsou považovány za lokality s požadovými koncentracemi v ČR, nejsou prosté vlivu na zdraví a nevyhovují doporučeným hodnotám WHO ve vztahu k  $PM_{2,5}$ .

Vzhledem k aktuálním poznatkům (IARC - PM i znečištěné ovzduší jako celek zařazeno do skupiny 1 látek s prokázanými karcinogenními účinky u člověka) je však potřeba zdůraznit, že ani doporučené hodnoty již nepředstavují bezpečnou mez z hlediska účinků na zdraví a obecně by se na PM mělo nahlížet jako na škodlivinu s bezprahovým účinkem jako v případě ostatních látek s karcinogenním účinkem. Doporučená hodnota již zahrnuje jistou míru rizika. V souladu s těmito poznatky je tedy žádoucí dosahovat maximálního možného snížení úrovně PM.

Vypočtené průměrné koncentrace benzenu a benzo(a)pyrenu za pětileté trvání projektu jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tabulka č. 5: Tabulka pětiletých průměrů benzenu a benzo(a)pyrenu v sídlech (sídla srovnána podle úrovně hodnot od nejvyšší po nejnižší)

benzen		Benzo(a)pyren	
sídlo	C ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	sídlo	C ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )
Vír	1,4	Bystřice nad Pernštejnem	2,4
Velké Meziříčí	1,4	Velké Meziříčí	1,5
Bystřice nad Pernštejnem	1,4	Vír	1,2
Bochovice	0,9	Lukavec	1,1
Ždírec nad Doubravou	0,9	Žďár nad Sázavou	1,1
Rozsochy	0,9	Ždírec nad Doubravou	1,1
Žďár nad Sázavou	0,9	Humpolec	1,1
Lukavec	0,9	Havlíčkův Brod	1
Okříšky	0,8	Rozsochy	1
Pelhřimov	0,8	Pelhřimov	0,8
Humpolec	0,8	Bochovice	0,7
Jihlava	0,8	Okříšky	0,7
Havlíčkův Brod	0,7	Jihlava	0,4

Z tabulky je patrné, že za pět let trvání projektu se průměrná roční koncentrace benzenu v sídlech pohybuje v rozmezí 0,7-1,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Žádná z uváděných hodnot nepřekračuje limitní hodnotu (LH = 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), platnou jak v ČR, tak i v EU.

V případě benzo(a)pyrenu se průměrná koncentrace za pětileté období pohybuje v sídlech na úrovni 0,4-2,4  $\text{ng}/\text{m}^3$ . Limitní hodnota (LH=1  $\text{ng}/\text{m}^3$ ), dle platné legislativy v ČR je dodržena ve 4 sídlech, dosažena ve dvou sídlech a překročena v 7 sídlech z celkového počtu 13 sídel, ve kterých probíhalo měření.

WHO nestanovila ve směrnici doporučené hodnoty pro benzo(a)pyren a benzen. Důvodem je, že se jedná o karcinogenní látky s bezprahovým mechanismem účinku, jejichž výskyt v ovzduší by měl být co nejnižší.

### **Kvantifikace zdravotního rizika z expozic aerosolu**

Odhad vlivu  $\text{PM}_{10}$  na zdraví (pro vybrané zdravotní ukazatele) je založen na výpočtu počtu případů úmrtí a onemocnění, ke kterým dojde vlivem zvýšení koncentrací aerosolu. Kvantifikace nemocnosti a úmrtnosti vychází z hodnot průměrných ročních koncentrací látek. Celková úmrtnost se kvantifikuje na základě hodnot expoziční koncentrace  $\text{PM}_{2,5}$ . Nemocnost se kvantifikuje pro jednotlivé ukazatele na základě expozičních hodnot  $\text{PM}_{10}$  nebo  $\text{PM}_{2,5}$ . Ke kvantifikaci se používají doporučené vztahy WHO (WHO, 2013; Holland, 2014) založené na hodnotách relativního rizika nebo odds ratio a výskytu, prevalenci nebo incidenci příslušného indikátoru. Tyto informace pocházejí z epidemiologických studií a velkých metaanalýz. Tyto vztahy vyjadřují zvýšení úmrtnosti a nemocnosti (počty případů, dnů apod.) u celé nebo jen určité části populace (specifických věkových skupin) za 1 rok, související se změnou koncentrace aerosolu o 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Přehled použitých vztahů uvádí tabulky 6 a 7.

Tabulka č. 6: Vztahy používané ke kvantifikaci úmrtnosti a nemocnosti ve vztahu k expozicím  $PM_{2,5}$  (WHO, 2013; Holland, 2014)

Indikátor	Vztahy účinku na $10 \mu\text{g}/\text{m}^3 PM_{2,5}$	Věková skupina	Výstup	Zdroj/poznámka
Celková předčasná úmrtnost	RR 1,062 (95 % CI 1,040-1,083)	30+	Počet úmrtí	Metaanalýza 13 evropských a amerických studií / lineární funkce
Hospitalizace pro kardiovaskulární onemocnění	RR 1,0091 (95 % CI 1,0017-1,0166)	Celá	Počet hospital.	Metanalýza z 10 evropských měst
Hospitalizace pro respirační onemocnění	RR 1,019 (95 % CI 0,9982-1,0402)	Celá	Počet hospital.	Výsledky ze 3 evropských měst
Dny s omezenou aktivitou	RR 1,047 (95 % CI 1,042-1,053)	Celá	Počet dnů	Studie z USA /odečítá se prevalence bronchitis u dětí a incidence astmatických symptomů u astmatických dětí

Tabulka č. 7: Vztahy používané ke kvantifikaci nemocnosti ve vztahu k expozicím  $PM_{10}$  (WHO, 2013; Holland, 2014)

Indikátor	Vztahy účinku na $10 \mu\text{g}/\text{m}^3 PM_{10}$	Populace	Výstup	Zdroj
Incidence chronické bronchitis u dospělých	RR 1,117 (95 % CI 1,040-1,189)	18+	Počet případů	Evropská studie
Prevalence bronchitis u dětí	OR 1.08 (95 % CI 0,98-1,19)	6-12	Počet dnů	Studie PATY
Incidence astmatických symptomů u astmatických. dětí	OR 1.028 (95 % CI 1.006-1,051)	5-19	Počet dnů	Metanalýza 36 studií u 51 populací (36 evropských)

Tyto vztahy se používají pro kvantifikaci rizika a umožňují získat představu o rozsahu a významnosti zdravotního účinku, i když existují výhrady k jejich použití, a to zejména proto, že mohou vycházet z malého počtu studií, mohou zahrnovat malých populací nebo realizovaných v odlišných geografických oblastech. Umožňují hodnotit jak krátkodobé, tak i dlouhodobé vlivy expozic aerosolů na zdraví. V případě indikátoru prevalence bronchitis u dětí není vztah statisticky významný, proto výsledky kvantifikace za pomoci tohoto vztahu je možné považovat pouze za orientační.

Vztahy jsou průběžně aktualizovány velkými mezinárodními organizacemi (zejména WHO) na základě aktuálních poznatků a výsledků epidemiologických studií nebo jejich metaanalýz. Rozdíly mezi staršími a novějšími hodnotami vztahů nebývají velké. Například v projekt CAFE se uvádí zvýšení celkové úmrtnosti populace starší 30 let o 6 % (2-11 %) na každých  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3 PM_{2,5}$  (Hurley et al., 2005) a novější projekt HRAPIE uvádí zvýšení celkové úmrtnosti populace starší 30 let o 6,2 % (4-8,3%) na každých  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3 PM_{2,5}$  (WHO, 2013; Holland, 2014). Tyto rozdíly však mohou hrát významnou roli až u větších populací (počet obyvatel 1 milion a výše).

WHO uvádí odhady základní frekvence výskytu (incidence, prevalence, výskyt případů nebo počty dnů aj.). Tyto odhady jsou použity k výpočtům a jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka č. 8: Základní frekvence výskytu nemocnosti (WHO, 2013; Holland, 2014).

Indikátor	Základní frekvence výskytu za 1 rok
Celková úmrtnost	-
Hospitalizace - CDV.	2816 případů/100000 obyvatel
Hospitalizace respirační	1228 případů/100000 obyvatel
Dny s omezenou aktivitou (RADs)	19 dnů/osoba
Incidence chronické bronchitis u dospělých	3,9 případů/1000 dospělých osob
Prevalence bronchitis u dětí	18,6 %
Incidence astmatických symptomů u astmatických. dětí	Prevalence těžké formy astmatu 4,9 %, denní incidence 17 %

Vlastní kvantifikace účinku je pak součinem koncentrace (s odečtem příslušných hodnot pro pozadí – pro PM<sub>2,5</sub> 5 µg/m<sup>3</sup> a PM<sub>10</sub> 10 µg/m<sup>3</sup>) frakce populace (se zohledněním věkové skupiny a rizika), míry incidence a příslušného vztahu koncentrace a účinku.

Výpočet úmrtnosti pomocí ukazatele ztracených let života (Years Of Life Lost – YOLL) podle posledních poznatků lépe charakterizuje účinek znečištění ovzduší ve vztahu k chronické úmrtnosti u populace nad 30 let věku. Tento ukazatel vychází z předpokladu, že expozice znečištěnému ovzduší může u některých populačních skupin (především citlivých populačních skupin, tj. děti, osoby s chronickým onemocněním dýchacího a kardiovaskulárního systému a starší osoby) vyvolat zdravotní obtíže, jež ve svém důsledku mohou vést až k předčasnému úmrtí a tímto pádem i ke zkrácení délky života. Výsledky obou metod (výpočet ukazatele úmrtnosti a YOLL) není možné porovnávat v důsledku rozdílné metodiky výpočtu. YOLL je vypočten podle následujícího vztahu: 0,0004 YOLL na osobu, rok a průměrnou koncentrací 1µg/m<sup>3</sup> (ExternE, 2005).

Pro kvantifikaci počtu zemřelých byla použita hodnota celkové standardizované úmrtnosti (na 100 tisíc osob) pro kraj Vysočina (celkem 618,2), která je převzata z publikace Zemřelí 2015 (ÚZIS, 2016).

Přesné údaje o populaci ve všech sídlech nejsou známy. Toto hodnocení je založeno na předpokladu, že věková struktura populace je shodná s věkovou strukturou obyvatelstva kraje Vysočina tak, jak je uváděna ve zdravotnické ročence kraje Vysočina 2013 (ÚZIS, 2014), kterou ve zjednodušené podobě uvádí tabulka č. 9.

Tabulka č. 9: Věková struktura obyvatelstva v kraji Vysočina (ÚZIS, 2014)

Věková skupina	proporce obyvatel
	%
5-19	14,8
6-12	6,76
18+	82,08
30+	66,7

Předpokládá se smíšená populace všech věkových skupin včetně citlivých skupin populace z hlediska vlivů znečištěného ovzduší na zdraví (dětí, starší osoby, chronicky nemocní).

Kvantifikace zdravotních rizik je provedena pro populaci každého sídla o velikosti 1000 osob.

## Úmrtnost

Kvantifikovaný odhad úmrtnosti v jednotlivých sídlech v procentech i počtech případů v dospělé populaci na 1000 obyvatel ve vztahu k expozičním hodnotám PM<sub>2,5</sub> ukazuje tabulka č. 10.

Tabulka č. 10: Předčasná úmrtnost u dospělé populace (30 let a více) ve vztahu k průměrným hodnotám PM<sub>2,5</sub> za pětileté období (na 1000 osob)

Předčasná úmrtnost					
sídlo	%	Počet případů	sídlo	%	Počet případů
Lukavec	12,96	0,53	Hrotovice	8,06	0,33
Pacov	11,53	0,48	Telč	8	0,33
Ledeč nad Sázavou	11,41	0,47	Velká Bíteš	7,94	0,33
Kamenice nad Lipou	10,73	0,44	Havlíčkův Brod	7,87	0,32
Pelhřimov	10,6	0,44	Rozsochy	7,75	0,32
Golčův Jeníkov	9,73	0,4	Velké Meziříčí	7,63	0,31
Vír	9,36	0,39	Žďár nad Sázavou	7,38	0,3
Světlá nad Sázavou	8,99	0,37	Nové Město na Moravě	7,25	0,3
Chotěboř	8,99	0,37	Moravské Budějovice	7,13	0,29
Jihlava	8,8	0,36	Jihlava AIM	7,13	0,29
Okříšky	8,68	0,36	Humpolec	6,45	0,27
Náměšť nad Oslavou	8,31	0,34	Ždírec nad Doubravou	5,7	0,24
Telč	8,31	0,34	Košetice AIM	5,65	0,23
Třebíč	8,24	0,34	Bochovice	5,39	0,22

Expozice PM<sub>2,5</sub> (průměrná hodnota za pětileté období) by mohla představovat zvýšení rizika předčasné úmrtnosti v dospělé populaci sídel o 5,39-12,96 % (tj. 0,29-0,53 případů v celkové populaci 1000 osob). Sídlly s odhadovanou nejnižší předčasnou úmrtností jsou Bochovice, Košetice, Ždírec nad Doubravou, Humpolec a Jihlava AIM (řazeno ve vzestupném pořadí). Naopak sídlly s nejvyšší odhadovanou předčasnou úmrtností jsou Pelhřimov, Kamenice nad Lipou, Ledec nad Sázavou, Pacov a Lukavec (řazeno ve vzestupném pořadí). Rozdíl v předčasné úmrtnosti mezi sídlem s nejnižší úmrtností (Bochovice) a nejvyšší úmrtností (Lukavec) ve vztahu k expoziční koncentraci PM<sub>2,5</sub> je 7,57 % což odpovídá přibližně počtu 0,31 úmrtí v celkové populaci 1000 osob.

Interpretace hodnot úmrtnosti je obtížná vzhledem ke skutečnosti, že míru jejich závažnosti je možné vyhodnotit pouze ve vztahu k referenčním hodnotám SZÚ, které jsou vztaženy ke specifickým kategoriím měřících míst v ČR. Předpokladem pro toto porovnání je kategorizace měřících míst podle metodiky SZÚ. V projektu jsou sídlly zařazena do vlastních kategorií podle převládajících zdrojů znečištění. Toto zařazení je pro účely měření sice dostatečné, avšak kategorie v projektu neodpovídají kategoriím SZÚ. Vzhledem k tomu, že se nepodařilo dodatečně spolehlivě kategorizovat měřící místa tak, aby odpovídala kategoriím SZÚ, nebylo možné porovnat hodnoty úmrtnosti v sídlech s příslušnými národními referenčními hodnotami.

Kolísání hodnot úmrtnosti v jednotlivých sídlech a letech v průběhu pětiletého období ukazuje tabulka č. 11.



Tabulka č. 11: Kolísání hodnot úmrtnosti v jednotlivých sídlech a letech v průběhu pětiletého období (sídlá uvedena v sestupném pořadí podle úrovně hodnot).

Pořadí	Období	úmrtnost	B	úmrtnost	C	úmrtnost	D	úmrtnost	E	úmrtnost
1	Golčův Jeníkov	14,81%	Lukavec	15,42%	Lukavec	12,83%	Ledeč nad Sázavou	14,08%	Pelhřimov	15,54%
2	Pacov	13,97%	Pacov	14,90%	Jihlava	12,09%	Lukavec	13,37%	Velká Bíteš	10,63%
3	Pelhřimov	13,71%	Golčův Jeníkov	14,01%	Světlá nad Sázavou	11,71%	Kamenice nad Lipou	12,31%	Lukavec	10,29%
4	Lukavec	13,62%	Náměst nad Oslavou	12,02%	Okříšky	11,29%	Vir	9,55%	Pacov	10,20%
5	Hrotovice	10,68%	Okříšky	11,17%	Hrotovice	11,15%	Třebíč	9,47%	Chotěboř	9,73%
6	Jihlava	10,65%	Kamenice nad Lipou	10,75%	Chotěboř	10,84%	Pacov	9,43%	Kamenice nad Lipou	9,59%
7	Kamenice nad Lipou	10,56%	Havlíčkův Brod	9,81%	Pelhřimov	10,84%	Telč	8,91%	Vir	9,22%
8	Velké Meziříčí	10,35%	Zdár nad Sázavou	9,58%	Pacov	10,80%	Pelhřimov	8,82%	Ledeč nad Sázavou	8,74%
9	Telč	10,11%	Třebíč	9,42%	Kamenice nad Lipou	10,47%	Velká Bíteš	7,79%	Golčův Jeníkov	8,59%
10	Havlíčkův Brod	9,86%	Hrotovice	9,03%	Telč	9,43%	Jihlava AIM	7,79%	Jihlava AIM	8,57%
11	Světlá nad Sázavou	9,71%	Bystrice nad Pernštejnem	8,90%	Třebíč	7,26%	Náměst nad Oslavou	7,57%	Bystrice nad Pernštejnem	8,56%
12	Chotěboř	9,64%	Chotěboř	8,71%	Velká Bíteš	8,63%	Moravské Budějovice	7,41%	Velké Meziříčí	8,24%
13	Třebíč	9,48%	Humpolec	8,12%	Nové Město na Moravě	8,27%	Havlíčkův Brod	7,38%	Jihlava	8,02%
14	Okříšky	9,09%	Moravské Budějovice	7,93%	Náměst nad Oslavou	8,06%	Bystrice nad Pernštejnem	6,86%	Nové Město na Moravě	7,74%
15	Zdár nad Sázavou	8,68%	Rozsochy	7,87%	Bystrice nad Pernštejnem	8,02%	Nové Město na Moravě	6,21%	Náměst nad Oslavou	7,56%
16	Moravské Budějovice	8,64%	Velké Meziříčí	7,71%	Velké Meziříčí	7,99%	Jihlava	6,14%	Telč	7,32%
17	Rozsochy	8,37%	Pelhřimov	7,08%	Košetice AIM	7,71%	Zdár nad Sázavou	6,00%	Okříšky	6,87%
18	Bystrice nad Pernštejnem	8,20%	Nové Město na Moravě	7,08%	Humpolec	7,15%	Chotěboř	5,82%	Havlíčkův Brod	6,57%
19	Velká Bíteš	8,06%	Jihlava	7,01%	Zdár nad Sázavou	7,06%	Golčův Jeníkov	5,66%	Hrotovice	6,40%
20	Náměst nad Oslavou	7,85%	Zdírlec nad Doubravou	6,25%	Rozsochy	7,03%	Velké Meziříčí	5,44%	Zdár nad Sázavou	5,80%
21	Zdírlec nad Doubravou	7,66%	Jihlava AIM	6,21%	Moravské Budějovice	6,78%	Okříšky	5,18%	Humpolec	5,62%
22	Jihlava AIM	7,64%	Velká Bíteš	6,05%	Jihlava AIM	6,56%	Bochovice	5,14%	Moravské Budějovice	5,35%
23	Humpolec	7,40%	Bochovice	5,94%	Golčův Jeníkov	6,16%	Zdírlec nad Doubravou	4,67%	Košetice AIM	5,17%
24	Nové Město na Moravě	7,01%	Telč	5,76%	Zdírlec nad Doubravou	5,99%	Hrotovice	3,91%	Zdírlec nad Doubravou	4,14%
25	Bochovice	6,61%	Košetice AIM	5,24%	Bochovice	5,46%	Humpolec	3,68%	Bochovice	3,82%
26	Košetice AIM	6,55%	Světlá nad Sázavou	3,86%	Havlíčkův Brod	5,38%	Košetice AIM	3,56%	Třebíč	3,57%
	Ledeč nad Sázavou	x	Ledeč nad Sázavou	x	Ledeč nad Sázavou	x	Rozsochy	x	Rozsochy	x
	Vir	x	Vir	x	Vir	x	Světlá nad Sázavou	x	Světlá nad Sázavou	x

Variabilita relativních hodnot pro ukazatel předčasné úmrtnosti v sídlech v jednotlivých letech je uvedena na příkladu Telče a Jihlavy. Objasnění této variability by mělo být předmětem zprávy se zaměřením na analýzu imisní situace. Z podstaty výpočtu je zřejmé, že ukazatel úmrtnosti úzce koresponduje s imisními hodnotami PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>. Obecně tedy platí, a to nejen v případě kvantifikace úmrtnosti, ale i ostatních indikátorů nemocnosti, že v případě jakýchkoliv pohybů imisních hodnot nahoru nebo dolů se bude podobným způsobem měnit i hodnota příslušného zdravotního ukazatele, tj. zvyšovat nebo snižovat. Hodnocení zdravotních rizik se analýzou imisní situace nezabývá, avšak taková analýza by měla být vždy nezbytnou součástí podkladů pro jeho vypracování.

Odhad ztráty let života (YOLL) je vyjádřen ve dnech na osobu a rok a letech na populaci za rok v dospělé populaci 1000 osob (nad 30 let věku) ve vztahu k expozičním hodnotám PM<sub>10</sub> v jednotlivých sídlech za pětileté období je uveden v tabulce č. 12.

Tabulka č. 12: Odhad ztráty let života(YOLL) v dospělé populaci (nad 30 let věku) ve vztahu k expozičním hodnotám PM<sub>10</sub> v sídlech (průměr za pětileté období) za 1 rok (na 1000 osob)

sídlo	YOLL	
	ve dnech na osobu	v letech na celou populaci
Lukavec	4,6	8,5
Pacov	4,4	8,1
Pelhřimov	4,1	7,6
Ledeč nad Sázavou	4,0	7,4
Kamenice nad Lipou	3,9	7,2
Golčův Jeníkov	3,7	6,8
Vír	3,6	6,6
Chotěboř	3,5	6,5
Jihlava	3,5	6,5
Bystřice nad Pernštejnem	3,4	6,3
Velké Meziříčí	3,4	6,3
Okříšky	3,4	6,2
Třebíč	3,4	6,2
Velká Bíteš	3,4	6,2
Telč	3,4	6,2
Havlíčkův Brod	3,3	6,1
Náměšť nad Oslavou	3,3	6,1
Světlá nad Sázavou	3,3	6,0
Hrotovice	3,1	5,7
Žďár nad Sázavou	3,0	5,6
Rozsochy	3,0	5,6
Nové Město na Moravě	3,0	5,5
Moravské Budějovice	2,9	5,3
Jihlava AIM	2,8	5,2
Humpolec	2,7	4,9
Ždírec nad Doubravou	2,6	4,8
Košetice AIM	2,6	4,8
Bochovice	2,5	4,5

Nejnižší ztráta života je spojena s vypočtenou průměrnou roční koncentrací PM<sub>10</sub> v Bochovicích (2,5 dne na osobu za rok, 4,5 let na populaci 1000 osob za rok), naopak nejvyšší ztráta života je spojena s průměrnou koncentrací PM<sub>10</sub> za pětileté období v Lukavci (4,6 dne na osobu za rok, 8,5 let na populaci 1000 osob za rok). Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Bochovice) a nejvyšší (Lukavec) hodnotou ztráty života (Bochovice) ve vztahu k expoziční koncentraci PM<sub>10</sub> je 2,1 dne na osobu za rok, respektive 4 roky na populaci 1000 osob za rok.

## Nemocnost

Kvantifikovaný odhad prevalence bronchitis u dětí (6-12 let) v populaci 1000 obyvatel v relativních i absolutních počtech ve vztahu k expozičním hodnotám PM<sub>10</sub> (průměrná hodnota za pětileté období) za 1 rok ukazuje tabulka č. 13.

Tabulka č. 13: Prevalence bronchitidy u dětí (6-12 let) ve vztahu k expozičním hodnotám PM<sub>10</sub> (průměr za pětileté období) za 1 rok (na 1000 osob)

Prevalence bronchitidy u dětí					
sídlo	%	počet dnů	sídlo	%	počet dnů
Lukavec	13,80	637	Telč	8,41	388
Pacov	13,03	601	Havlíčkův Brod	8,08	373
Pelhřimov	11,81	545	Náměšť nad Oslavou	8,08	373
Ledeč nad Sázavou	11,23	518	Světlá nad Sázavou	7,96	367
Kamenice nad Lipou	10,84	501	Hrotovice	7,31	338
Golčův Jeníkov	9,75	450	Žďár nad Sázavou	6,93	320
Vír	9,43	435	Rozsochy	6,93	320
Chotěboř	9,11	421	Nové Město na Moravě	6,80	314
Jihlava	9,05	418	Moravské Budějovice	6,35	293
Bystřice nad Pernštejnem	8,60	397	Jihlava AIM	6,03	278
Velké Meziříčí	8,53	394	Humpolec	5,26	243
Okříšky	8,47	391	Ždírec nad Doubravou	5,13	237
Třebíč	8,41	388	Košetice AIM	5,00	231
Velká Bíteš	8,41	388	Bochovice	4,43	204

V případě ukazatelů nemocnosti nejsou stanoveny referenční hodnoty, které by umožňovaly vyhodnocení jejich míry závažnosti.

Běžná prevalence zánětů průdušek u dětí (6-12 let) je 18,6 %. Pokud je tato prevalence aplikována na srovnatelnou populaci dětí v kraji Vysočina, pak se jedná u této populace o 4617 dnů s výskytem bronchitidy za rok. Expozice PM<sub>10</sub> (průměrná hodnota za pětileté období) by mohla představovat zvýšení rizika chronické respirační nemocnosti u dětí v sídlech o 4,43-13,8 % (tj. 204-637 dnů s příznaky u 68 dětí v populaci 1000 osob). Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Bochovice) a nejvyšší (Lukavec) hodnotou prevalence zánětů průdušek u dětí ve vztahu k expoziční koncentraci PM<sub>10</sub> je 9,37 %, což odpovídá přibližně 433 dnům s onemocněním v příslušné populační skupině dětí za rok.

Kvantifikovaný odhad incidence astmatických symptomů u astmatických dětí (5-19 let) v populaci 1000 osob relativních i absolutních počtech ve vztahu k expozičním hodnotám PM<sub>10</sub> (průměrná hodnota za pětileté období) za 1 rok ukazuje tabulka č. 14.

Tabulka č. 14: Incidence astmatických symptomů u astmatických dětí (5-19 let) ve vztahu k expozičním hodnotám PM<sub>10</sub> (průměr za pětileté období) za 1 rok (na 1000 osob)

Incidence astmatických symptomů u astmatických dětí					
sídlo	%	počet dnů	sídlo	%	počet dnů
Lukavec	5,72	26	Telč	3,48	16
Pacov	5,40	24	Havlíčkův Brod	3,35	15
Pelhřimov	4,89	22	Náměšť nad Oslavou	3,35	15
Ledeč nad Sázavou	4,65	21	Světlá nad Sázavou	3,30	15
Kamenice nad Lipou	4,49	20	Hrotovice	3,03	14
Golčův Jeníkov	4,04	18	Žďár nad Sázavou	2,87	13
Vír	3,91	18	Rozsochy	2,87	13
Chotěboř	3,78	17	Nové Město na Moravě	2,82	13
Jihlava	3,75	17	Moravské Budějovice	2,63	12
Bystřice nad Pernštejnem	3,56	16	Jihlava AIM	2,50	11
Velké Meziříčí	3,54	16	Humpolec	2,18	10
Okříšky	3,51	16	Ždírec nad Doubravou	2,13	10
Třebíč	3,48	16	Košetice AIM	2,07	9
Velká Bíteš	3,48	16	Bochovice	1,83	8

Expozice PM<sub>10</sub> (průměrná hodnota za pětileté období) by mohla představovat zvýšení rizika incidence astmatických symptomů u astmatických dětí v sídlech o 1,83-5,72 % (tj. 8-26 dnů s příznaky u 68 dětí v populaci 1000 osob) za rok. Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Bochovice) a nejvyšší (Lukavec) hodnotou incidence astmatických symptomů u astmatických dětí ve vztahu k expoziční koncentraci PM<sub>10</sub> je 3,89 %, což odpovídá přibližně 18 dnům v příslušné populační skupině dětí za rok.

Kvantifikovaný odhad Incidence chronické bronchitidy u dospělé populace (18 let a více) v populaci 1000 osob v relativních i absolutních počtech ve vztahu k expozičním hodnotám PM<sub>10</sub> (průměrná hodnota za pětileté období) za 1 rok ukazuje tabulka č. 15.

Tabulka č. 15: Incidence chronické bronchitis u dospělé populace (18 let a více) ve vztahu k expozičním hodnotám  $PM_{10}$  (průměr za pětileté období) za 1 rok (na 1000 osob)

Incidence chronické bronchitis u dospělé populace					
sídlo	%	počet případů	sídlo	%	počet případů
Lukavec	25,16	0,81	Telč	15,33	0,49
Pacov	23,75	0,76	Havlíčkův Brod	14,74	0,47
Pelhřimov	21,53	0,69	Náměšť nad Oslavou	14,74	0,47
Ledeč nad Sázavou	20,48	0,66	Světlá nad Sázavou	14,51	0,46
Kamenice nad Lipou	19,77	0,63	Hrotovice	13,34	0,43
Golčův Jeníkov	17,78	0,57	Žďár nad Sázavou	12,64	0,40
Vír	17,20	0,55	Rozsochy	12,64	0,40
Chotěboř	16,61	0,53	Nové Město na Moravě	12,40	0,40
Jihlava	16,50	0,53	Moravské Budějovice	11,58	0,37
Bystřice nad Pernštejnem	15,68	0,50	Jihlava AIM	11,00	0,35
Velké Meziříčí	15,56	0,50	Humpolec	9,59	0,31
Okříšky	15,44	0,49	Ždírec nad Doubravou	9,36	0,30
Třebíč	15,33	0,49	Košetice AIM	9,13	0,29
Velká Bíteš	15,33	0,49	Bochovice	8,07	0,26

Expozice  $PM_{10}$  (průměrná hodnota za pětileté období) by mohla představovat zvýšení rizika incidence chronické bronchitis u dospělé populace v sídlech o 9,13-25,16 %, tj. 0,29-0,81 případů u dospělé populace (na 1000 osob) za rok. Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Bochovice) a nejvyšší (Lukavec) hodnotou incidence chronické bronchitis u dospělé populace ve vztahu k expoziční koncentraci  $PM_{10}$  je 17,09 %, což odpovídá přibližně 0,55 případu v příslušné populační skupině dospělých osob za rok.

Nejnižší hodnoty prevalence bronchitis u dětí, incidence astmatických symptomů u astmatických dětí a incidence chronické bronchitis u dospělé populace ve vztahu k expozici  $PM_{10}$  (průměrná hodnota za pětileté období) mohou být dosahovány v Bochovicích Košetících AIM, Ždírci nad Doubravou, Humpolci a Jihlavě AIM (ve vzestupném pořadí). Naopak nejvyšší hodnoty těchto indikátorů ve vztahu k expozici  $PM_{10}$  mohou být dosahovány v Kamenici nad Lipou, Ledči nad Sázavou, Pelhřimově, Pacově a Lukavci. Výpočet ukazatelů vychází ze stejných expozičních hodnot (v tomto případě  $PM_{10}$ ). Pořadí sídel bude proto u těchto ukazatelů stejné a bude se měnit pouze jejich hodnota.

Kvantifikovaný odhad počtu dnů s omezenou aktivitou u celé populace (1000 osob) ve vztahu k expozičním hodnotám  $PM_{2,5}$  (průměrná hodnota za pětileté období) za 1 rok ukazuje tabulka č. 16.

Tabulka č. 16: Počet dnů s omezenou aktivitou u celé populace (1000 osob) ve vztahu k expozičním hodnotám  $PM_{2,5}$  (průměr za pětileté období) za 1 rok

Počet dnů s omezenou aktivitou v populaci			
sídlo	počet dnů	sídlo	počet dnů
Lukavec	1255	Hrotovice	837
Pacov	1084	Telč	780
Ledeč nad Sázavou	1146	Velká Bíteš	771
Kamenice nad Lipou	1064	Havlíčkův Brod	776
Pelhřimov	1004	Rozsochy	809
Golčův Jeníkov	970	Velké Meziříčí	720
Vír	931	Žďár nad Sázavou	756
Světlá nad Sázavou	943	Nové Město na Moravě	744
Chotěboř	891	Moravské Budějovice	746
Jihlava	867	Jihlava AIM	760
Okříšky	875	Humpolec	696
Náměšť nad Oslavou	839	Ždírec nad Doubravou	595
Třebíč	798	Košetice AIM	564
Bystřice nad Pernštejnem	789	Bochovice	572

Ve výpočtu byla odečtena nemocnost dětí dle příslušného metodického postupu

Expozice  $PM_{2,5}$  (průměrná hodnota za pětileté období) by mohla odpovídat počtu dnů s omezenou aktivitou u celé populace v sídlech v rozsahu 572-1255 dnů (na 1000 osob) za rok. Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Bochovice) a nejvyšší (Lukavec) hodnotou počtu dnů s omezenou aktivitou u celé populace ve vztahu k expoziční koncentraci  $PM_{2,5}$  je 683 dnů.

Kvantifikovaný odhad počtu případů hospitalizací z kardiovaskulárních a respiračních příčin u celé populace (1000 osob) v relativních i absolutních počtech ve vztahu k expozičním hodnotám  $PM_{2,5}$  (průměrná hodnota za pětileté období) za 1 rok ukazuje tabulka č. 17.

Tabulka č. 17: Počet případů hospitalizací z kardiovaskulárních (KV) a respiračních (RO) příčin u celé populace (1000 osob) ve vztahu k expozičním hodnotám PM<sub>2,5</sub> (průměr za pětileté období) za 1 rok

Počet případů hospitalizací z kardiovaskulárních a respiračních příčin v populaci				
sídlo	hospitalizace KV		hospitalizace RO	
	%	počet případů	%	počet případů
Lukavec	1,90	0,54	3,97	0,49
Pacov	1,69	0,48	3,53	0,43
Ledeč nad Sázavou	1,67	0,47	3,50	0,43
Kamenice nad Lipou	1,57	0,44	3,29	0,40
Pelhřimov	1,56	0,44	3,25	0,40
Golčův Jeníkov	1,43	0,40	2,98	0,37
Vír	1,37	0,39	2,87	0,35
Světlá nad Sázavou	1,32	0,37	2,76	0,34
Chotěboř	1,32	0,37	2,76	0,34
Jihlava	1,29	0,36	2,70	0,33
Okříšky	1,27	0,36	2,66	0,33
Náměšť nad Oslavou	1,22	0,34	2,55	0,31
Třebíč	1,19	0,34	2,49	0,31
Bystřice nad Pernštejnem	1,19	0,34	2,49	0,31
Hrotovice	1,18	0,33	2,47	0,30
Telč	1,17	0,33	2,45	0,30
Velká Bíteš	1,16	0,33	2,43	0,30
Havlíčkův Brod	1,16	0,33	2,41	0,30
Rozsochy	1,14	0,32	2,38	0,29
Velké Meziříčí	1,12	0,32	2,34	0,29
Žďár nad Sázavou	1,08	0,30	2,26	0,28
Nové Město na Moravě	1,06	0,30	2,22	0,27
Moravské Budějovice	1,05	0,29	2,19	0,27
Jihlava AIM	1,05	0,29	2,19	0,27
Humpolec	0,95	0,27	1,98	0,24
Ždírec nad Doubravou	0,84	0,24	1,75	0,21
Košetice AIM	0,80	0,23	1,67	0,21
Bochovice	0,78	0,22	1,63	0,20

Expozice PM<sub>2,5</sub> (průměrná hodnota za pětileté období) by mohla představovat u celé populace (na 1000 osob) zvýšení počtu případů hospitalizací v sídlech o 0,78-1,9 % (tj. o 0,22-0,54 případu) z kardiovaskulárních příčin a o 1,63-3,97 % z respiračních příčin (tj. o 0,20-0,49 případu) za rok. Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Bochovice) a nejvyšší (Lukavec) hodnotou hospitalizací ve vztahu k expoziční koncentraci PM<sub>10</sub> je 1,12 % (tj. přibližně 0,32 případu) pro hospitalizace z kardiovaskulárních příčin a 2,37 % (t. přibližně 0,29 případu) pro hospitalizace respiračních příčin v celé populaci za rok.

Celkově lze konstatovat, že počty hospitalizovaných osob dosahují nízkých hodnot (<1 na 1000 osob), a to pro všechna sídla.

## **Kvantifikace karcinogenního rizika z expozičních benzenů a benzo(a)pyrenů**

Karcinogenní riziko expozičních látek s karcinogenním účinkem je vyjádřeno pomocí bezrozměrného ukazatele celoživotního individuálního karcinogenního rizika - LICR (Lifetime individual cancer risk). Ukazatel LICR se vypočte na základě následujícího vztahu:

$$\text{LICR} = C * \text{UCR},$$

kde C je dlouhodobá expozice (průměrná roční koncentrace) látky a UCR je jednotka karcinogenního rizika, která vyjadřuje riziko na jednotku koncentrace ( $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) látky v ovzduší.

LICR je měřítkem rizika karcinogenního účinku látky po expozici vyjadřujícího pravděpodobnost vzniku nových nádorových onemocnění nad všeobecný průměr za celoživotní období. Karcinogenní riziko v řádu  $10^{-6}$  lze považovat za všeobecně přijatelné. Riziko v řádu  $10^{-5}$  -  $10^{-4}$  je zvýšené. Posuzuje se různě v závislosti na velikosti exponované populace a závažnosti důkazů o karcinogenitě, riziko v řádu  $10^{-3}$  a více je již považováno za vysoké a tudíž nepřijatelné.

APCR udává pravděpodobný počet nových případů novotvarů za rok v exponované populaci vzniklých vlivem expozičních hodnotených látek. Pro výpočet APCR je použit následující vztah:

$$\text{APCR} = \text{LICR} \times \text{počet osob v exponované populaci} / \text{průměrná délka života jedince v populaci (70 let)}.$$

Kvantifikovaný odhad karcinogenního rizika benzo(a)pyrenů v celé populaci (na 1000 osob) za 1 rok v každém ze 13 sídel, pro které byly k dispozici hodnoty expoziční (průměrná hodnota za pětileté období), ukazuje tabulka č. 18.



Tabulka 18: Kvantifikace karcinogenního rizika benzo(a)pyrenu u celé populace (1000 osob) za 1 rok ve vztahu k expozičním hodnotám BaP (průměr za pětileté období)

Karcinogenní riziko benzo(a)pyrenu				
sídlo	C	LICR	APCR	1 případ*
	ng/m <sup>3</sup>	bezrozm.	počet případů	rok
Bystřice nad Pernštejnem	2,4	2,09×10 <sup>-4</sup>	0,002983	335
Velké Meziříčí	1,5	1,31×10 <sup>-4</sup>	0,001864	536
Vír	1,2	1,04×10 <sup>-4</sup>	0,001491	670
Lukavec	1,1	9,57×10 <sup>-5</sup>	0,001367	731
Žďár nad Sázavou	1,1	9,57×10 <sup>-5</sup>	0,001367	731
Ždírec nad Doubravou	1,1	9,57×10 <sup>-5</sup>	0,001367	731
Humpolec	1,1	9,57×10 <sup>-5</sup>	0,001367	731
Havlíčkův Brod	1	8,70×10 <sup>-5</sup>	0,001243	805
Rozsochy	1	8,70×10 <sup>-5</sup>	0,001243	805
Pelhřimov	0,8	6,96×10 <sup>-5</sup>	0,000994	1006
Bochovice	0,7	6,09×10 <sup>-5</sup>	0,00087	1149
Okříšky	0,7	6,09×10 <sup>-5</sup>	0,00087	1149
Jihlava	0,4	3,48×10 <sup>-5</sup>	0,000497	2011

Všeobecně přijatelné karcinogenní riziko LICR≤1×10<sup>-6</sup>

Celospolečensky přijatelné riziko benzo(a)pyrenu LICR 8,7×10<sup>-5</sup> (odpovídá platnému imisnímu limitu)

Benzo(a)pyren – UCR = 8,7×10<sup>-5</sup>

LICR – Individuální karcinogenní riziko - bezrozměrná veličina

APCR – Populační karcinogenní riziko na 1000 obyvatel – počty případů nových novotvarů v populaci za rok

1 případ – doba, za kterou se v populaci objeví 1 případ zhoubného nádoru (při celoživotní expozici na úrovni hodnocených koncentrací)

Odhad karcinogenního rizika benzo(a)pyrenu v sídlech ukazuje na překračování všeobecně přijatelné meze karcinogenního rizika (LICR=1×10<sup>-6</sup>) ve všech sídlech. Celospolečensky akceptovatelná mez karcinogenního rizika daná platným imisním limitem (LICR=8,7×10<sup>-5</sup>) je překračována v 7 sídlech, ve kterých je toto riziko tudíž možné považovat za vysoké, celospolečensky neakceptovatelné. V ostatních sídlech je karcinogenní riziko benzo(a)pyrenu možné považovat sice za zvýšené, avšak celospolečensky akceptovatelné. Výskyt jednoho případu zhoubného nádoru ve vztahu k těmto expozicím benzenu lze v populaci sídel očekávat jednou za stovky až tisíce let. Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Jihlava) a nejvyšší (Bystřice nad Pernštejnem) hodnotou karcinogenního rizika ve vztahu k expoziční koncentraci benzo(a)pyrenu je šestinásobný.

Kvantifikovaný odhad karcinogenního rizika benzenu v celé populaci (na 1000 osob) za 1 rok v každém ze 13 sídel, pro které byly k dispozici hodnoty expozice (průměrná hodnota za pětileté období) ukazuje tabulka č. 19.

Tabulka 19: Kvantifikace karcinogenního rizika benzenu u celé populace (1000 osob) za 1 rok ve vztahu k expozičním hodnotám (průměr za pětileté období)

Karcinogenní riziko benzenu				
sídlo	C	LICR	APCR	1 případ
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	bezrozm.	počet případů	rok
Vír	1,4	$8,4 \times 10^{-6}$	0,00012	8333
Velké Meziříčí	1,4	$8,4 \times 10^{-6}$	0,00012	8333
Bystřice nad Pernštejnem	1,4	$8,4 \times 10^{-6}$	0,00012	8333
Bochovice	0,9	$5,4 \times 10^{-6}$	0,00008	12963
Ždírec nad Doubravou	0,9	$5,4 \times 10^{-6}$	0,00008	12963
Rozsochy	0,9	$5,4 \times 10^{-6}$	0,00008	12963
Žďár nad Sázavou	0,9	$5,4 \times 10^{-6}$	0,00008	12963
Lukavec	0,9	$5,4 \times 10^{-6}$	0,00008	12963
Okříšky	0,8	$4,8 \times 10^{-6}$	0,00007	14583
Pelhřimov	0,8	$4,8 \times 10^{-6}$	0,00007	14583
Humpolec	0,8	$4,8 \times 10^{-6}$	0,00007	14583
Jihlava	0,8	$4,8 \times 10^{-6}$	0,00007	14583
Havlíčkův Brod	0,7	$4,2 \times 10^{-6}$	0,00006	16667

Všeobecně přijatelné karcinogenní riziko  $\text{LICR} \leq 1 \times 10^{-6}$

Celospolečensky přijatelné riziko benzenu  $\text{LICR} 2,2 \times 10^{-5}$  (odpovídá platnému imisnímu limitu)

Benzen - UCR =  $6,00 \times 10^{-6}$

LICR – Individuální karcinogenní riziko - bezrozměrná veličina

APCR – Populační karcinogenní riziko na 1000 obyvatel – počty případů nových novotvarů v populaci za rok

1 případ – doba, za kterou se v populaci objeví 1 případ zhoubného nádoru (při celoživotní expozici na úrovni hodnocených koncentrací)

Odhad karcinogenního rizika benzenu v sídlech ukazuje, že v současnosti dochází k překračování meze všeobecné přijatelnosti rizika ( $\text{LICR} = 1 \times 10^{-6}$ ), avšak je dodržena mez celospolečensky akceptovatelného rizika daná platným imisním limitem (odpovídá  $\text{LICR} = 2,2 \times 10^{-5}$ ). Karcinogenní riziko současných expozic benzenu je proto možné hodnotit jako zvýšené, avšak celospolečensky přijatelné. Výskyt jednoho případu zhoubného nádoru v populaci ve vztahu k současným expozicím benzenu lze očekávat v řádu tisíců až desetitisíců let. Rozdíl mezi sídlem s nejnižší (Havlíčkův Brod) a nejvyšší (Vír) hodnotou karcinogenního rizika ve vztahu k expoziční koncentraci benzenu je dvojnásobný.

## Závěr

Bylo provedeno posouzení vlivu na zdraví vybraných škodlivin ( $PM_{10}/PM_{2,5}$ , benzen a benzo(a)pyren) pro obyvatele 28 sídel zařazených do projektu ISKOV. Hodnocení je provedeno na základě průměrné koncentrace látek za pětileté období 2012-2017 (expoziční hodnoty), které vychází z vypočtených průměrných ročních koncentrací látek pro jednotlivá sídla a roky na základě měření v kampaních. Hodnocení zdravotních rizik je provedeno na populaci 1000 osob, aby bylo možné vzájemné srovnání sídel.

Pro kvantifikaci účinků  $PM_{10}$  na nemocnost a úmrtnost byla použita metodika WHO s využitím vztahů úmrtnosti a nemocnosti (WHO, CAFE), odvozených z epidemiologických studií. Kvantifikace účinků  $NO_2$  ve vztahu k výskytu chronických respiračních onemocnění nebyla provedena, vzhledem k tomu, že hodnocení se provádí na základě srovnání s doporučenými hodnotami WHO, které jsou zároveň i limitními hodnotami dle české legislativy v platném znění. Toto srovnání je již provedeno v rámci zprávy zabývající se hodnocením imisní situace v sídlech. Riziko karcinogenních účinků benzenu a benzo(a)pyrenu bylo posouzeno klasickou metodikou US EPA. U populace na dotčeném území se předpokládá, že věková struktura i nemocnost a úmrtnost je shodná s populací kraje Vysočina.

Expoziční hodnoty  $PM_{2,5}$  překračují ve všech sídlech příslušnou doporučenou hodnotu WHO ( $PM_{2,5} GV_{WHO} 1 \text{ rok} = 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Zdravotní riziko pro obyvatele je proto možné považovat za zvýšené. V Lukavci expoziční hodnota  $PM_{2,5}$  překračuje i limitní hodnotu  $PM_{2,5}$  danou platnou českou legislativou. V tomto sídle je zdravotní riziko z expozičních  $PM_{2,5}$  pro populaci celospolečensky nepřijatelné.

V šesti sídlech (Moravské Budějovice, Jihlava AIM, Humpolec, Ždírec nad Doubravou, Košetice, Bochovice) expoziční hodnoty  $PM_{10}$  nepřekračují příslušnou doporučenou hodnotu WHO ( $PM_{10} GV_{WHO} 1 \text{ rok} = 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), která byla stanovena WHO k ochraně zdraví. V ostatních sídlech je doporučená hodnota WHO překročena a zdravotní riziko pro obyvatele je proto v těchto sídlech možné považovat za zvýšené. Ve všech sídlech je zdravotní riziko expozičních  $PM_{10}$  možné považovat za celospolečensky přijatelné, protože nedochází k překračování limitní hodnoty  $PM_{10}$  dané platnou českou legislativou.

V riziku se nachází zejména citlivé skupiny populace, kterými jsou astmatické děti, osoby s poruchami imunitního systému, kardiovaskulárním a respiračním onemocněním a starší lidé.

Ve sledované populaci sídel (na 1000 osob) expoziční hodnoty  $PM_{10}$  odpovídají zvýšení míry rizika:

- ztráty let života v dospělé populaci 2,5-4,6 dne na osobu za rok,
- prevalence zánětu průdušek u dětí (bronchitis) o 4,43-13,8 % (tj. 204-637 dnů s příznaky),
- incidence astmatických symptomů u astmatických dětí o 1,83-5,72 % (tj. 8-26 dnů s příznaky),
- incidence chronické bronchitis v dospělé populaci o 9,13-25,16 % (tj. 0,29-0,81 případu)

V téže populaci expoziční hodnoty  $PM_{2,5}$  odpovídají zvýšení míry rizika:

- předčasné úmrtnosti v dospělé populaci o 5,39-12,96 % (tj. 0,29-0,53 případu),
- hospitalizace z kardiovaskulárních příčin o 0,78-1,9 % (tj. o 0,22-0,54 případu),
- hospitalizace z respiračních příčin o 1,63-3,97 % (tj. o 0,20-0,49 případu)
- dnů s omezenou aktivitou o 572-1255 dnů.

Sídly s odhadovanou nejnižší nemocností a úmrtností ve vztahu k  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  jsou Bochovice, Košetice, Ždírec nad Doubravou, Humpolec a Jihlava AIM. Naopak sídly s nejvyšší odhadovanou úmrtností a nemocností jsou Pelhřimov, Kamenice nad Lipou, Ledec nad Sázavou, Pacov a Lukavec

Rozdíl mezi sídlem s nejnižší a nejvyšší odhadovanou hodnotou indikátoru nemocnosti a úmrtnosti představuje u:

- předčasné úmrtnosti 7,57 % (tj. cca 0,31 případu).
- ztráty let života 2,1 dne na osobu za rok,
- prevalence zánětu průdušek u dětí 9,37 % (tj. 433 dnů s příznaky),
- incidence astmatických symptomů u astmatických dětí 3,89 % (tj. 18 dnů s příznaky),
- incidence chronické bronchitidy v dospělé populaci 17,09 % (tj. 0,55 případu)
- dnů s omezenou aktivitou 683 dnů
- hospitalizace z kardiovaskulárních příčin 1,12 % (tj. 0,32 případu),
- hospitalizace z respiračních příčin 2,37 % (tj. 0,29 případu)

Karcinogenní riziko expozic benzo(a)pyrenu ve 13 sídlech je odhadnuto v rozmezí  $3,48 \times 10^{-5}$ – $2,09 \times 10^{-4}$  a překračuje mez všeobecně přijatelného rizika ( $LICR=1 \times 10^{-6}$ ). Ve všech těchto sídlech je proto karcinogenní riziko expozic benzo(a)pyrenu zvýšené. V sedmi sídlech dochází k překračování limitní hodnoty dané českou legislativou v platném znění (BaP  $LH=1 \text{ ng/m}^3$  odpovídá  $LICR=8,7 \times 10^{-5}$ ). V těchto sídlech je proto riziko expozic benzo(a)pyrenu možné považovat za celospolečensky nepřijatelné.

Karcinogenní riziko expozic benzenu ve 13 sídlech je odhadnuto v rozmezí  $4,2 \times 10^{-6}$ – $8,2 \times 10^{-6}$  a rovněž překračuje mez všeobecně přijatelného rizika ( $LICR=1 \times 10^{-6}$ ). Ve všech těchto sídlech je proto karcinogenní riziko expozic benzenu zvýšené. V žádném ze sídel však nedochází k překračování limitní hodnoty dané českou legislativou v platném znění (benzen  $LH=5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  odpovídá  $LICR=2,2 \times 10^{-5}$ ). Karcinogenní riziko expozic benzenu je proto možné považovat ve všech sídlech jako celospolečensky přijatelné.

I když jsou patrné rozdíly mezi sídly, nelze na základě hodnocení zdravotních rizik stanovit jejich příčinu. Na těchto rozdílech se může podílet řada faktorů (doprava, lokální vytápění, provětrávání území atd.), které se mohou a zjevně i budou lišit sídlo od sídla a jejichž vyhodnocení by mělo být provedeno v rámci jiné části projektu. Porovnání sídel s referenčními hodnotami SZÚ (střední roční hmotnostní koncentrace pro kategorie stanic v ČR a nárůst předčasné úmrtnosti) se nepodařilo z důvodu, že nebyla dosažena shoda na kategorizaci stanic, která je odlišná od kategorizace stanic v projektu ISKOV.

Závěrem lze všeobecně konstatovat, že expozice hodnocených látek a s ní spojená míra zdravotních rizik pro obyvatele v sídlech na Vysočině, zařazených do projektu ISKOV, ničím nevybočuje od ostatních sídel ve zbytku republiky. O tom, že situace není příznivá, svědčí například skutečnost, že dlouhodobé hodnoty  $PM_{2,5}$  ze stanice Košetice, která je považována za pozadovou stanici v ČR, překračují příslušnou doporučenou hodnotu WHO. Je proto odůvodněná potřeba dalšího sledování a dlouhodobého průběžného snižování výskytu těchto látek v ovzduší vhodně přijímanými opatřeními tak, aby míra zdravotních rizik pro obyvatele sídel klesala.

## Nejistoty

- expoziční koncentrací je průměrná hodnota expozice za pětileté období, vypočtená z průměrných ročních hodnot, vypočtených na základě 8 rovnoměrně rozložených měření (kampaní) v roce pro každé sídlo. Takto získaná hodnota expozice sice vyhovuje legislativě, ale plně nezohledňuje variabilitu imisní situace v jednotlivých dnech. Z tohoto ohledu je potřeba dosažené výsledky považovat jen za orientační a není možné z nich vyvozovat jednoznačné závěry. Do budoucna se doporučuje omezit množství sídel zařazených do projektu a zvýšit počet měření v těchto sídlech.
- Expoziční hodnoty ani hodnoty úmrtnosti nebylo možné srovnat s příslušnými referenčními hodnotami SZÚ pro ČR. K tomuto srovnání by bylo nutné kategorizovat měřící místa jinak, než je uváděno v projektu - podle metodiky SZÚ. Vzhledem k tomu, že se toto překategorizování nepodařilo spolehlivě provést, nemohlo být provedeno ani následné srovnání se zmíněnými národními referenčními hodnotami.
- Nejsou známy bližší informace o exponované populaci – například doba, kterou osoby stráví v expozičních pásmech, která může ovlivnit výslednou expozici. Není známa věková struktura obyvatelstva, proto se vychází z předpokladu, že věková struktura obyvatelstva v dotčené oblasti se proporcionálně neliší od věkové struktury obyvatelstva Hlavního města Prahy, převzaté ze zdravotnické ročenky.
- Metodika hodnocení zdravotních rizik uplatňovaná při posuzování vlivů na zdraví neposkytuje exaktní hodnoty rizika, ale odhady míry rizika. Jedná se o matematický model, který nemůže přesně vystihnout biologickou rozmanitost člověka, individuální rozdíly, rozdíly v expozici aj., které hrají významnou roli v tom, zda se účinek na zdraví projeví. WHO uvádí 1 milión osob jako optimální velikost populace pro tento typ hodnocení. Hodnocení populací s malým počtem obyvatel může zvyšovat nejistotu dosažených výsledků.
- Faktory účinku, na kterých je založeno hodnocení, vychází ze znalosti hodnot relativního rizika a prevalence. Jak relativní riziko, tak prevalence byly stanoveny na základě evropských metaanalýz a mezinárodních studií. Kvantifikace rizika pomocí takto definovaných vztahů pro hodnocení zdravotních rizik je zatížena nejistotami z hlediska jejich odvození i vlastního použití.
- Komplikovaný vliv současného působení škodlivin na zdraví není možné, při současném stavu znalostí, jednoznačně posoudit. Hodnocení se zabývá pouze vlivy expozic individuálních látek na zdraví.
- Nové poznatky naznačující strmější nárůst účinků při nižších koncentracích a pozvolnější nárůst při vyšších koncentracích; zdravotní účinky i při nižších koncentracích, než jsou doporučené hodnoty WHO; karcinogenní účinek aerosolu. Tyto poznatky prozatím nejsou zahrnuty v metodice hodnocení zdravotních rizik. K jejich zohlednění dojde až po revizi Směrnice pro venkovní ovzduší Světové zdravotnické organizace v roce 2017. V tomto hodnocení jsou aktuální poznatky slovně okomentovány.

## Použité informační zdroje

- Rückerl R, Schneider A, Breitner S, Cyrus J, Peters A (2011). Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhal Toxicol.*;23(10):555-92.
- WHO (2013) Health risk of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. World Health Organization, Regional office for Europe.
- IARC (2013). Scientific Publication No. 161 Air Pollution and Cancer Editors: Kurt Straif, Aaron Cohen, and Jonathan Samet ISBN 978-92-832-2161-6 ISSN 0300-5085  
<http://www.iarc.fr/en/publications/books/sp161/index.php>
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, et al (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*;121(21):2331-78.
- Ošťádal, P. (2012). Hypolipidemická léčba u akutního koronárního syndromu. *Interní medicína pro praxi*. 14(11)
- WHO (2005). *Air Quality Guideline Global Update 2005*.  
Dostupné z: <<http://www.euro.who.int/Document/E90038.pdf>>
- Shi, L., Zanobetti, A., Kloog, I., Coull, B. A., Koutrakis, P., Melly, S. J., & Schwartz, J. D. (2016). Low-concentration PM<sub>2.5</sub> and mortality: Estimating acute and chronic effects in a population-based study. *Environmental Health Perspectives*, 124(1), 46-52. doi:10.1289/ehp.1409111
- WHO (2015). WHO Expert Consultation: Available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs). Meeting report Bonn, Germany 29 September-1 October 2015.
- WHO (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution-REVIHAAP project: final technical report. World Health Organization Regional Office for Europe. Publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollutionrevihaap-project-final-technical-report.  
<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/airquality/>
- EP (2008). Směrnice evropského parlamentu a rady 2008/50/ES, ze dne 21. května 2008, o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu. *Úřední věstník L 152*, 11.6.2008, s. 0001 – 0044.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:CS:PDF>
- US EPA. 2016. Criteria Air pollutants. NAAQS Table. Dostupné z: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>
- Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší a související předpisy
- WHO (1998). Selected non-heterocyclic Polocyclic aromatic hydrocarbons. International Programme on chemical safety. Environmental Health Criteria 202. ISBN 92 4 157202 7. ISSN 0250-863X.  
Dostupné z: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc202.htm>
- WHO (2000). Regional Office for Europe. *Air quality guidelines for Europe. 2nd edition*.  
Dostupné z: <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>
- Holland M. (2014). Implementation of the HRAPIE Recommendations for European Air Pollution CBA work. Health Impact Assessment and Cost Benefit Analysis. EMRC. January 2014. Part of a subcontract to IIASA (the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria) for the Service Contract on Monitoring and Assessment of Sectorial Implementation Actions (ENV.C.3/SER/2011/0009) of DG-Environment of the European Commission.  
Dostupné z: <http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/CBA%20HRAPIE%20implement.pdf>

- IARC (2010). IARC Monographs on a review of human carcinogens: Chemical agents and related occupations. Volume 100F. A review of human carcinogens. IARC, Lyon, France. Dostupné z: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100F/mono100F.pdf>
- ÚZIS (2014). Zdravotnická ročenka kraje Vysočina 2013.
- ÚZIS (2016). Zemřelí 2015.
- Hurley F et al (2005). Methodology for the cost-benefit analysis for CAFE. Volume 2: Health Impact Assessment, European Commission.
- ExternE (2005). Externalities of Energy, Methodology 2005 Update, European Commission, Directorate-General for Research Sustainable Energy Systems, European Communities.
- SZÚ (2016). Česká republika 2015. Střední hmotnostní koncentrace pro hodnocené kategorie městských stanic. NRL pro venkovní ovzduší, Centra zdraví a životního prostředí, Státní zdravotní ústav v Praze.
- FROMME, H. (1995). Gesundheitliche Bedeutung der verkehrsbedingten Benzolbelastung der allgemeinen Bevölkerung [The significance of traffic-related benzene exposure for the general public]. Zentralblatt für Hygiene, 196: 481–494. ISSN: 1438-4639.
- US EPA (2002). Toxicological review of benzene (noncancer effects) [report no. EPA/635/R-02/001F]. Washington (DC): US Environmental Protection Agency. [cit 25 Jun 2012]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/iris/toxreviews/0276tr.pdf>.
- SNYDER, R., HEDLI, CC. (1996). An overview of benzene metabolism. Env Health Perspect. 104; 1165-71. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1469747/>
- Witz, G., Zhang, Z., Goldstein, BD. (1996). Reactive ring-opened aldehyde metabolites in benzene hematotoxicity. Environ Health Perspect. 104(Suppl 6): 1195-9. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1469733/>
- US EPA (1996). Proposed guidelines for carcinogen risk assessment. Federal Register 61(79):17960-18011. Dostupné z: [http://www.epa.gov/raf/publications/pdfs/propcra\\_1996.pdf](http://www.epa.gov/raf/publications/pdfs/propcra_1996.pdf)
- IARC (1987). Overall evaluations of carcinogenicity: an updating of IARC Monographs volumes 1 to 42. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum Suppl, 7: 1–440. PMID:3482203. Dostupné z: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/suppl7/>
- IARC (2010). IARC Monographs on a review of human carcinogens: Chemical agents and related occupations. Volume 100F. A review of human carcinogens. IARC, Lyon, France. Dostupné z: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100F/mono100F.pdf>.
- IARC (1982). Benzene. Some industrial chemicals and dyestuffs. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans [IARC monographs 29]. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 93–148. Dostupné z: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol29/volume29.pdf>
- ATSDR (2007). Toxicological profile for benzene update. 2007 [online]. Dostupné z: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=40&tid=14>. [cit 16.10.2012]
- US EPA (1998). Carcinogenic effects of benzene: An update [report no. EPA/600/P-97/001F]. Washington (DC): National Center for Environmental Assessment –Office of Research and Development. Dostupné z: <http://www.epa.gov/ncea/pdfs/benzenef.pdf> [cit 25.6.2012].
- BAAN, R., GROSSE, Y., STRAIF, K., SECRETAN, B., EL GHISSASSI, F., BOUVARD, V., BENBRAHIM-TALLAA, L., GUHA, N., FREEMAN, C., GALICHET, L., COGLIANO, V. (2009). On behalf of WHO International

- Agency for Research on Cancer Monograph Working Group. A review of human carcinogens-part F: Chemical agents and related occupations. *Lancet Oncology*, 10, pp.1143-1144.
- WHYSNER, J., REDDY, MV., ROSS, PM., MOHAN, M., LAX, EA. (2004). Genotoxicity of benzene and its metabolites. *Mutat Res.* 566(2): 99-130.
- Smith MT. (1996). The mechanism of benzene-induced leukemia: a hypothesis and speculations on the causes of leukemia. *Environ Health Perspect.* 104(Suppl 6): 1219–1225. PMID:9118896  
Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1469721/>
- US EPA (2000). Benzene. Integrated Risk Information System. Dostupné z: <http://www.epa.gov/iris/subst/0276.htm>
- EC (1998). Council Directive on Ambient Air Quality Assessment and Management, Working Group on Benzene. Position Paper. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/ppbenzene.pdf>
- EP (2000). Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/69/ES ze dne 16. listopadu 2000 o mezních hodnotách pro benzen a oxid uhelnatý v ovzduší. Úřední věstník L 313, 13.12.2000, s. 12.  
Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:05:32000L0069:CS:PDF>