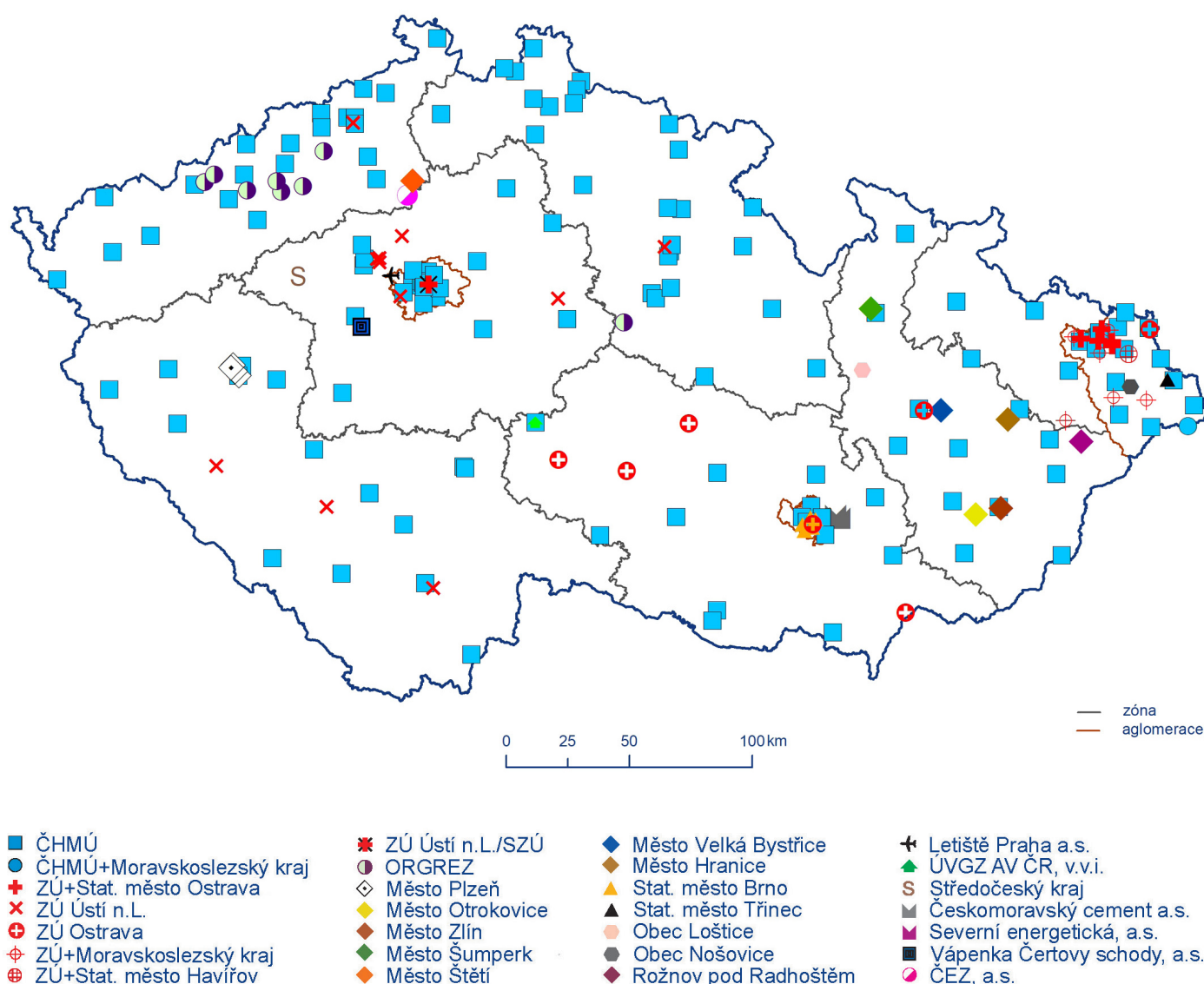


# I. ÚVOD

Znečištěné ovzduší má prokazatelně nepříznivé účinky na lidské zdraví. Znečišťující látky mohou způsobit širokou škálu zdravotních problémů od méně závažných až po vážná onemocnění a zvyšují zátěž imunitního systému, což může vést k předčasné úmrtnosti. To vyvolává také značné ekonomické dopady, protože rostou náklady na zdravotní péči a snižuje se produktivita ve všech hospodářských odvětvích kvůli zvýšení pracovní neschopnosti. Znečišťující látky nepříznivě působí i na vegetaci, mohou ovlivnit její růst a způsobit snížení výnosů zemědělských plodin

a lesů. Jsou i příčinou eutrofizace a acidifikace půdních a vodních ekosystémů a následné změny druhové skladby a úbytku rostlinných a živočišných druhů. Řada znečišťujících látek má schopnost se v prostředí kumulovat, negativně ovlivňovat ekosystémy a přecházet do potravního řetězce. Znečišťující látky jsou přenášeny v atmosféře a mohou tak ovlivňovat kvalitu ovzduší jak v nejbližším okolí samotného zdroje znečištění, tak ve vzdálenějších oblastech. Dále mají některé z nich přímý nebo nepřímý vliv na klimatický systém Země. Nutné je zmínit i poškozování materiálů



Obr. I.1 Významné staniční síť sledování kvality venkovního ovzduší, 2023

a budov, často historického významu, působením znečišťujících látek v ovzduší. Snaha omezit působení těchto dopadů rovněž vyvolává ekonomické náklady související nejen se sanací vzniklých škod, ale také s výzkumem zaměřeným na oblast kvantifikace znečištění i souvisejících externalit.

I přes řadu realizovaných opatření v minulých letech produkují jednotlivé typy zdrojů takové množství emisí, které je v kombinaci s meteorologickými a rozptylovými podmínkami příčinou překračování imisních limitů některých škodlivých látek. V současnosti představují ze sledovaných znečišťujících látek největší problém suspendované částice a na ně vázané polycyklické aromatické uhlovodíky. V jarním a letním období jsou na řadě lokalit překračovány imisní limity přízemního ozonu.

Konkrétní podíl jednotlivých zdrojů na znečištění venkovního ovzduší je však v různých oblastech odlišný, záleží na skladbě emisních zdrojů v dané lokalitě, ale také na přenosu škodlivin z jiných oblastí. Míra znečištění ovzduší je objektivně zjišťována pomocí sítě měřicích stanic, které monitorují imisní koncentrace znečišťujících látek venkovního ovzduší v přízemní vrstvě atmosféry (Obr. I.1). Na základě pověření Ministerstva životního prostředí (MŽP) provozuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) Státní síť imisního monitoringu (SSIM), Informační systém kvality ovzduší ČR (ISKO) rutinně zpracovává naměřené imisní hodnoty ve formě tabelárních a grafických přehledů.

## I.1 Politický a legislativní rámec ochrany kvality ovzduší

Hlavními nástroji ochrany a zlepšení kvality ovzduší v rámci EU jsou Směrnice 2008/50/ES, o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu, Směrnice 2004/107/ES, o obsahu arsenu, kadmia, rtuti, niklu a polycyklických aromatických uhlovodíků ve vnějším ovzduší, Směrnice 2016/2284/EU, o snížení národních emisí některých látek znečišťujících ovzduší, a Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU, o průmyslových emisích (integrované prevenci a omezení znečištění). Jedná se také o Směrnici komise (EU) 2015/1480 ze dne 28. srpna 2015, kterou se mění několik příloh směrnic Evropského parlamentu a Rady 2004/107/ES a 2008/50/ES, kterými se stanoví pravidla pro referenční metody, ověřování údajů a umístění míst odběru vzorků při posuzování kvality vnějšího ovzduší.

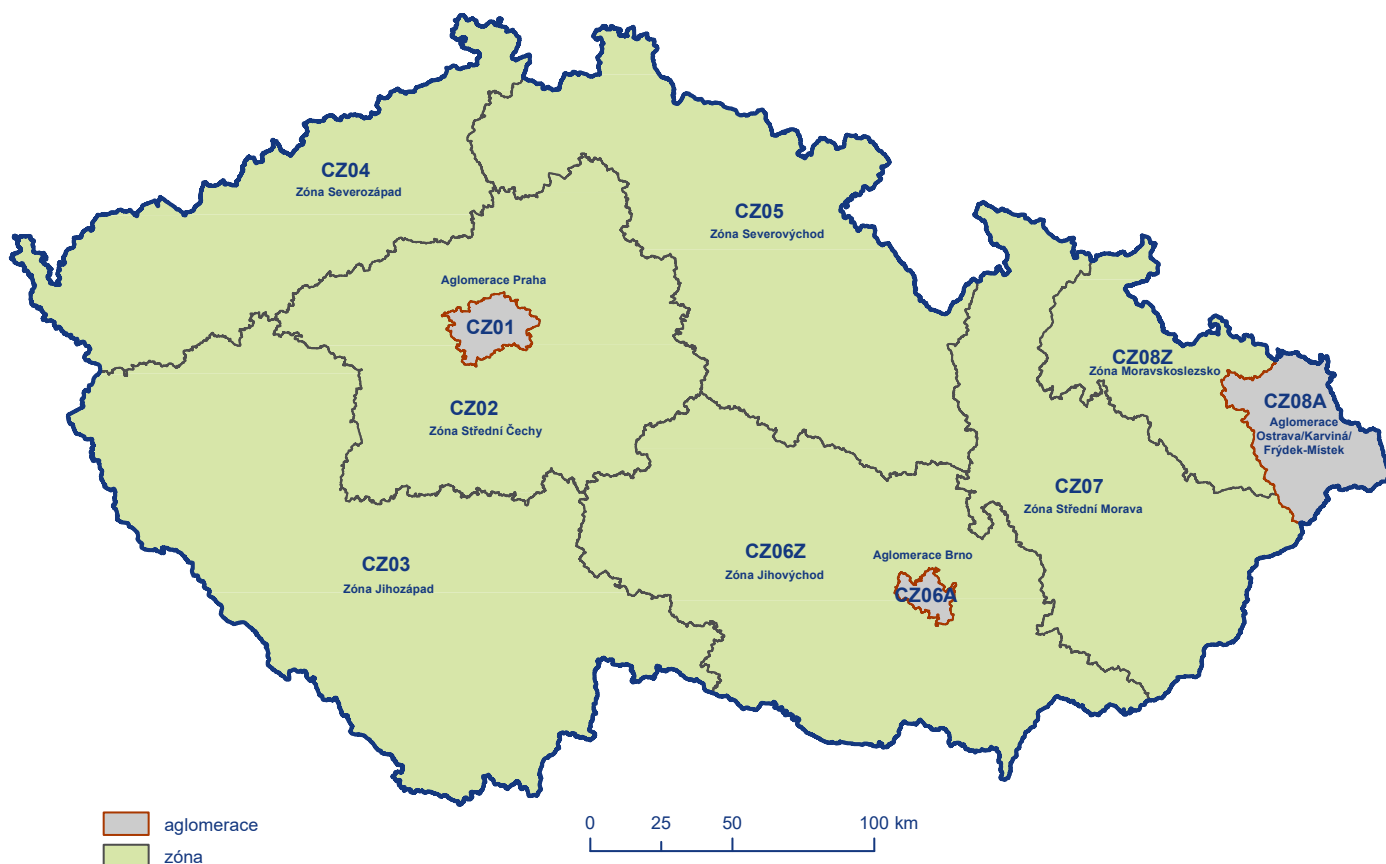
Z evropské legislativy vychází i národní legislativa, upravující hodnocení kvality ovzduší v ČR. Základní právní normou v ČR je zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění (dále „zákon o ochraně ovzduší“), který mimo jiné vymezuje zóny a aglomerace, na jejichž úrovni se hodnotí kvalita ovzduší. Zónou je území vymezené MŽP pro účely sledování a řízení kvality ovzduší; aglomerací je sídelní seskupení, v němž žije nejméně 250 000 obyvatel. Zákon o ochraně ovzduší stanovuje tři aglo-

merace a sedm zón (Obr. I.2). Podrobnosti pak dále specifikuje vyhláška č. 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích.

V případě, že je v zóně nebo aglomeraci překročen imisní limit, nebo v případě, že je v zóně nebo aglomeraci imisní limit překročen vícekrát, než je stanovený maximální povolený počet překročení hodnoty imisního limitu, je povinností MŽP ve spolupráci s příslušným krajským úřadem nebo obecním úřadem zpracovat do 18 měsíců od konce kalendářního roku pro danou zónu nebo aglomeraci program zlepšování kvality ovzduší (PZKO). Cílem programu je stanovit opatření k dosažení požadované kvality ovzduší v době co možná nejkratší. PZKO stanovují opatření zejména na regionální a lokální úrovni.

PZKO 2020+ pro jednotlivé zóny a aglomerace byly vydány ve Věstníku MŽP (MŽP 2020, MŽP 2021). V návaznosti na novelu zákona o ochraně ovzduší z roku 2018 (č. 172/2018 Sb.) nahrazují PZKO 2020+ předchozí programy zlepšování kvality ovzduší z roku 2016. PZKO 2020+ stanovují závazná opatření k dosažení imisních limitů. Tato opatření byla stanovena na základě analýzy příčin znečištění ovzduší a na základě imisní projekce vývoje kvality ovzduší se zohledněním existujících opatření. Kromě těchto závazných opatření stanovují PZKO 2020+ také tzv. Podpůrná opatření představující dobrou praxi při řízení kvality ovzduší na všech úrovních a ve všech součástech veřejné správy. PZKO společně s Národním programem snižování emisí ČR představují základní strategické dokumenty zlepšování kvality ovzduší (MŽP 2023).

Vláda ČR na svém zasedání 20. prosince 2023 schválila aktualizaci Národního programu snižování emisí České republiky (NPSE). Tento strategický dokument připravuje Ministerstvo životního prostředí kontinuálně již od roku 2004 a jeho hlavním účelem je zajistit snížení celkové úrovně znečišťování a znečištění ovzduší v ČR. Pracovní skupina, jejímž aktivním účastníkem byl také ČHMÚ, koordinovala jednání pracovních týmů pro jednotlivé zájmové sektory – zemědělství, dopravu, veřejnou energetiku a lokální vytápění domácností. V návaznosti na výstupy NPSE jsou navrhována opatření ke snížení emisí sledovaných znečišťujících látek. Opatření podle jejich povahy jsou rozdělena do tří skupin na opatření prioritní, podpůrná a průřezová. Rovněž jsou definovány způsoby a odhadnuty přínosy opatření ke snížení emisí pod úroveň emisních stropů, stanovených požadavky Směrnice 2016/2284/EU (viz kap. II.).



**Obr. I.2 Zóny a aglomerace pro posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění ovzduší podle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění**

## Koncepce imisních limitů

Znečišťující látky, které jsou sledovány a hodnoceny vzhledem k prokazatelně škodlivým účinkům na zdraví populace nebo na vegetaci a ekosystémy, mají stanoveny imisní limity, což jsou úrovně koncentrací, které by podle platné legislativy neměly být překračovány. Při hodnocení kvality ovzduší jsou především porovnávány zjištěné úrovně koncentrací s příslušnými imisními limity (Tab. I.1 a I.2), případně s přípustnými četnostmi jejich překročení. Stručná charakteristika znečišťujících látek, přehled jejich emisních zdrojů a jejich dopadů jsou uvedeny v Tab. I.5.

Hodnoty imisních limitů vycházejí z doporučených hodnot Světové zdravotnické organizace (WHO), kterou byly určeny na základě řady epidemiologických studií. V případě bezprahové působících látek jsou imisní limity odvozeny ze stanovených hodnot karcinogenního rizika (Tab. I.3 a I.4). V zájmu ochrany veřejného zdraví doporučuje WHO zachování úrovně znečišťujících látek v ovzduší dokonce na nižší úrovni, než pro kterou byly nepříznivé dopady na zdraví zdokumentovány. Nicméně tyto hodnoty vycházejí ze závěrů souvisejících se zdravotními dopady znečištění ovzduší a neberou v potaz otázky týkající se technické a ekonomické

proveditelnosti a další politické a sociální faktory. Z tohoto důvodu mohou být hodnoty imisních limitů stanovených legislativou vyšší, ale proces směřující ke splnění doporučených hodnot WHO musí být všeobecně podporován (WHO 2013).

Doporučené hodnoty pro kvalitu ovzduší z hlediska ochrany zdraví vydává WHO pravidelně od roku 1987 s cílem pomoci vládám a občanským společnostem snížit expozici osob znečištěnému ovzduší a jeho nežádoucím účinkům. Další doporučené hodnoty WHO pro kvalitu ovzduší byly publikovány v roce 2006 (WHO 2006). Tato globální aktualizace měla významný vliv na směrnice týkající se zmírnění znečištění ovzduší po celém světě. Od vydání doporučených hodnot v roce 2006 uplynulo více než 15 let. Od té doby došlo k výraznému nárůstu kvality a množství důkazů poukazujících na nežádoucí vliv znečištěného ovzduší na zdraví. Aktualizace doporučených hodnot WHO pro kvalitu ovzduší byla zahájena v roce 2016 na základě značného vědeckého pokroku a globálního významu těchto hodnot. V září 2021 vydala WHO nové doporučené hodnoty pro kvalitu ovzduší pro šest znečišťujících látek (tzv. klasické polutanty, tj.  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $SO_2$  a CO; Tab. I.3), pro které nejvíce pokročily poznatky o účincích jejich negativního vlivu na lidské zdraví (WHO 2021).

**Tab. I.1 Přehled imisních limitů (IL) vyhlášených pro ochranu zdraví lidí a povolený počet překročení limitní hodnoty, horních a dolních mezí pro posuzování podle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění, a vyhlášky č. 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích**

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		Hodnota imisního limitu [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
		Dolní mez pro posuzování	Horní mez pro posuzování	
<b>SO<sub>2</sub></b>	1 hodina	—	—	<b>350</b> max. 24× za rok
	24 hodin	<b>50</b> max. 3× za rok	<b>75</b> max. 3× za rok	<b>125</b> max. 3× za rok
<b>NO<sub>2</sub></b>	1 hodina	<b>100</b> max. 18× za rok	<b>140</b> max. 18× za rok	<b>200</b> max. 18× za rok
	kalendářní rok	<b>26</b>	<b>32</b>	<b>40</b>
<b>CO</b>	maximální denní 8h klouzavý průměr	<b>5 000</b>	<b>7 000</b>	<b>10 000</b>
<b>benzen</b>	kalendářní rok	<b>2</b>	<b>3,5</b>	<b>5</b>
<b>PM<sub>10</sub></b>	24 hodin	<b>25</b> max. 35× za rok	<b>35</b> max. 35× za rok	<b>50</b> max. 35× za rok
	kalendářní rok	<b>20</b>	<b>28</b>	<b>40</b>
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	kalendářní rok	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>20<sup>a)</sup></b>
<b>Pb</b>	kalendářní rok	<b>0,25</b>	<b>0,35</b>	<b>0,5</b>
<b>As</b>	kalendářní rok	<b>0,0024</b>	<b>0,0036</b>	<b>0,006</b>
<b>Cd</b>	kalendářní rok	<b>0,002</b>	<b>0,003</b>	<b>0,005</b>
<b>Ni</b>	kalendářní rok	<b>0,010</b>	<b>0,014</b>	<b>0,020</b>
<b>benzo[a]pyren</b>	kalendářní rok	<b>0,0004</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,001</b>
<b>O<sub>3</sub></b>	maximální denní 8h klouzavý průměr	—	—	<b>120<sup>b)</sup></b> 25× v průměru za 3 roky

a) V roce 2020 vstoupil v souvislosti s právními předpisy EU v platnost přísnější imisní limit 20  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  pro roční průměrnou koncentraci PM<sub>2,5</sub>. Do roku 2019 včetně platil imisní limit 25  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

b) V případě dodržení imisního limitu při maximálním počtu překročení v zóně nebo aglomeraci je třeba usilovat o dosažení nulového počtu překročení (doba průměrování je jeden rok).

**Tab. I.2 Imisní limity (IL) pro ochranu ekosystémů a vegetace dle zákona č. 201/2012 Sb., v platném znění**

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování		Hodnota imisního limitu [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
		Dolní mez pro posuzování	Horní mez pro posuzování	
<b>SO<sub>2</sub></b>	rok a zimní období (1. 10. – 31. 3.)	8	12	20
<b>NO<sub>x</sub></b>	kalendářní rok	19,5	24	30
<b>O<sub>3</sub></b>	AOT40, vypočten z 1h hodnot v období květen–červenec <sup>a)</sup>	—	—	<b>[<math>\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}</math>]</b>
				18 000 <sup>b)</sup> průměr za 5 let

a) AOT40 znamená součet rozdílů mezi hodinovou koncentrací větší než 80  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (= 40 ppb) a hodnotou 80  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  v dané periodě užitím pouze hodinových hodnot změřených každý den mezi 8:00 a 20:00 SEČ.

b) V případě dodržení imisního limitu v zóně nebo aglomeraci ve výši 18 000  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$  je třeba usilovat o dosažení imisního limitu ve výši 6 000  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$  (doba průměrování je jeden rok).

Tab. I.3 Doporučené hodnoty WHO pro ochranu lidského zdraví (WHO 2000, WHO 2006, WHO 2021)

	Doba průměrování	Doporučená hodnota platná do roku 2020	Doporučená hodnota platná od roku 2021
<b>PM<sub>10</sub></b>	kalendářní rok	20 µg·m <sup>-3</sup>	15 µg·m <sup>-3</sup>
	24 hodin <sup>c)</sup>	50 µg·m <sup>-3</sup>	45 µg·m <sup>-3</sup>
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	kalendářní rok	10 µg·m <sup>-3</sup>	5 µg·m <sup>-3</sup>
	24 hodin <sup>c)</sup>	25 µg·m <sup>-3</sup>	15 µg·m <sup>-3</sup>
<b>benzo[a]pyren<sup>a)</sup></b>	není stanovena		
<b>NO<sub>2</sub></b>	kalendářní rok	40 µg·m <sup>-3</sup>	10 µg·m <sup>-3</sup>
	24 hodin <sup>c)</sup>		25 µg·m <sup>-3</sup>
	1 hodina	200 µg·m <sup>-3</sup>	200 µg·m <sup>-3</sup>
<b>O<sub>3</sub></b>	maximální denní 8h klouzavý průměr <sup>c)</sup>	100 µg·m <sup>-3</sup>	100 µg·m <sup>-3</sup>
	hlavní sezona <sup>d)</sup>		60 µg·m <sup>-3</sup>
<b>benzen<sup>a)</sup></b>	není stanovena		
<b>Pb</b>	kalendářní rok	0,5 µg·m <sup>-3</sup>	
<b>Cd<sup>a, b)</sup></b>	není stanovena		
<b>As<sup>a)</sup></b>	není stanovena		
<b>Ni<sup>a)</sup></b>	není stanovena		
<b>SO<sub>2</sub></b>	24 hodin <sup>c)</sup>	20 µg·m <sup>-3</sup>	40 µg·m <sup>-3</sup>
	10 minut	500 µg·m <sup>-3</sup>	500 µg·m <sup>-3</sup>
<b>CO</b>	15 minut	100 000 µg·m <sup>-3</sup>	100 000 µg·m <sup>-3</sup>
	1 hodina	30 000 µg·m <sup>-3</sup>	35 000 µg·m <sup>-3</sup>
	8 hodin	10 000 µg·m <sup>-3</sup>	10 000 µg·m <sup>-3</sup>
	24 hodin <sup>c)</sup>		4 000 µg·m <sup>-3</sup>

a) Jedná se o karcinogenní látky pro lidský organismus. Nelze proto stanovit bezpečnou úroveň látky. Doporučená hodnota WHO není stanovena. Více informací o rizicích vzniku rakoviny viz WHO (2000). WHO u bezprahové působících látek stanovuje pouze hodnotu jednotkového rizika (UCR). Hodnota UCR pro celoživotní riziko při expozici 1 µg·m<sup>-3</sup>: pro benzen  $6 \times 10^{-6}$ , pro benzo[a]pyren  $8,7 \times 10^{-2}$ , pro Cd  $4,9 \times 10^{-4}$ , pro Ni  $3,8 \times 10^{-4}$ , pro As  $1,5 \times 10^{-3}$ .

b) Doporučená hodnota kadmia ve venkovním ovzduší k zabránění dalšího nárůstu tohoto prvku v zemědělských půdách je 0,005 µg·m<sup>-3</sup>.

c) Stanoveno jako 99. percentil.

d) Průměr z denních maximálních 8hodinových koncentrací O<sub>3</sub> za šest po sobě jdoucích měsíců s nejvyšší šestiměsíční klouzavou průměrnou koncentrací O<sub>3</sub>.

Tab. I.4 Doporučené hodnoty WHO pro ochranu vegetace (WHO 2000)

	Doba průměrování	Vegetace	Doporučená hodnota
<b>NO<sub>x</sub></b>	kalendářní rok		30 µg·m <sup>-3</sup>
	24 hodin		75 µg·m <sup>-3</sup>
<b>SO<sub>2</sub></b>	rok a zimní období	zemědělské plodiny	30 µg·m <sup>-3</sup>
	rok a zimní období	lesy a přírodní vegetace	20 µg·m <sup>-3</sup>
	kalendářní rok	lišejníky	10 µg·m <sup>-3</sup>
<b>O<sub>3</sub></b>	AOT40, vypočten z 1h hodnot v období květen–červenec	zemědělské plodiny	6 000 µg·m <sup>-3</sup>
	AOT40, vypočten z 1h hodnot v období duben–říjen	lesy	20 000 µg·m <sup>-3</sup>
	AOT40, vypočten z 1h hodnot v období květen–červenec	přírodě blízké ekosystémy	6 000 µg·m <sup>-3</sup>

V prosinci 2019 se Evropská komise v Zelené dohodě pro Evropu (EC 2019) zavázala zlepšit kvalitu ovzduší a sladit normy EU pro kvalitu ovzduší s doporučeními Světové zdravotnické organizace (WHO 2021). Na základě této dohody probíhá revize směrnice o kvalitě ovzduší. Návrh revidované směrnice spojuje stávající směrnice kvality vnějšího ovzduší 2008/50/ES a 2004/107/ES. Cílem této revize je od roku 2030 progresivně zpřísnovat imisní limity v souladu s vědeckými poznatky a nejnovějšími doporučeními WHO, ale také pravidelně revidovat tyto hodnoty v souladu s aktuálními vědeckými důkazy a k roku 2050 dosáhnout nulového znečištění ovzduší, které již nebude škodlivé pro lidské zdraví a ekosystémy dle vize Akčního plánu EU: „Vstříc nulovému znečištění ovzduší, vod a půdy“ (EC, 2021). Dále tento návrh Revize směrnice upravuje právní rámec pro monitoring kvality ovzduší (mj. zavádí povinnost monitorovat ultrajemné částice, černý uhlík a amoniak), upravuje strategické postupy zlepšování kvality ovzduší, přináší nová pravidla ohledně sankcí a zajišťuje veřejnosti možnost přezkoumat implementaci vybraných povinností revidované směrnice na národní úrovni a možnost kompenzace škody na zdraví způsobené úmyslným nebo nedbalým porušením vnitrostátních předpisů provádějící ustanovení revidované směrnice, požaduje lepší informovanost veřejnosti o kvalitě ovzduší a podporuje místní úřady při dosahování čistějšího ovzduší posílením monitorování, modelování a plánů kvality ovzduší (EC 2022; EP 2024).

## I.2 Cíle publikace

Ročenka „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2023“, společně s publikovanou datovou ročenkou „Souhrnný tabelární přehled“ (ČHMÚ 2024a) a s metodickým materiálem „Systém sběru, zpracování a hodnocení dat“ (ČHMÚ 2024b) je uceleným přehledem informací o kvalitě ovzduší na území ČR v daném roce. Hodnocení kvality ovzduší vychází z naměřených údajů, shromažďovaných v rámci ISKO, za využití dalších podkladů a matematických nástrojů. Datová ročenka prezentuje verifikovaná naměřená imisní data a údaje o chemickém složení atmosférických srážek z jednotlivých lokalit včetně agregovaných údajů, grafická ročenka poskytuje komentované souhrnné informace v přehledných mapách, grafech a tabulkách.

Souhrnná a úvodní kapitola ročenky zahrnuje nejdůležitější informace o kvalitě ovzduší v daném roce a obecné informace k této problematice. Obsahem dalších kapitol je podrobné zpracování jednotlivých témat týkajících se produkce emisí znečišťujících látek, hodnocení kvality ovzduší na území ČR a situace v Evropě. Publikace obsahuje i informace o emisích skleníkových plynů a atmosférické depozici.

Ročenky kvality ovzduší jsou určeny orgánům a organizacím řešícím a řídícím problematiku životního prostředí a ochrany ovzduší v ČR, jakož i odborné a širší veřejnosti. Ročenky jsou veřejně přístupné na internetových stránkách ČHMÚ, [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz) a [info.chmi.cz](mailto:info.chmi.cz). Publikace je základním informačním dokumentem o kvalitě ovzduší v ČR, jejímž cílem je na základě dostupných dat a informací vyhodnotit stav ovzduší v širších souvislostech.

Ročenka prezentuje hodnocení kvality ovzduší v roce 2023 podle požadavků české legislativy v oblasti ochrany kvality ovzduší. V souladu se zákonem o ochraně ovzduší je hodnocení zaměřeno na vymezení území, kde jsou překračovány imisní limity pro ochranu zdraví a pro ochranu ekosystémů a vegetace (Tab. I.1 a Tab. I.2).

Tab. I.5 Stručná charakteristika, přehled hlavních emisních zdrojů a hlavních dopadů látek znečišťujících ovzduší

Znečišťující látka a její zdroje	Zdravotní dopady	Environmentální dopady
<p><b>Suspendované částice (atmosférický aerosol)</b>  Atmosférický aerosol jsou pevné a kapalné částice suspendované v ovzduší produkované přírodními i antropogenními zdroji. K přírodním zdrojům patří vulkanická činnost, větrem unášený prach a pyl a přírodní požáry. Největším antropogenním zdrojem primárních částic v ČR jsou domácnosti, polní práce a mobilní zdroje (silniční doprava a nesilniční vozidla). Suspendované částice mohou být primárního či sekundárního původu. Primární částice jsou do ovzduší emitovány přímo, sekundární částice v ovzduší vznikají procesem konverze plyn-částice (gas-to-particle conversion). Hlavními plynnými prekurzory sekundárních částic jsou <math>\text{SO}_2</math>, <math>\text{NO}_x</math>, <math>\text{NH}_3</math> a VOC (Pöschl 2011; EEA 2013).</p> <p>Velikostní rozsah atmosférického aerosolu zahrnuje pět velikostních řádů – od jednotek nm po stovky <math>\mu\text{m}</math>. Tuto škálu lze na základě podobných vlastností částic rozdělit na částice jemného (částice <math>\leq 2,5 \mu\text{m}</math>) a hrubého módu (částice <math>\geq 2,5 \mu\text{m}</math>). Jemné částice jsou produkty zejména nedokonalého spalování, hrubé částice vznikají mechanicky (Hinds 1999; Seinfeld, Pandis 2006). Jemné částice lze dále rozdělit na částice nukleačního, Aitkenova a akumulárního módu. Částice nukleačního módu (<math>&lt; 20 \text{ nm}</math>)<sup>1</sup> jsou emitovány do ovzduší přímo nebo v něm vznikají, pokud nejsou z atmosféry odstraněny procesem difuze, transformují se do částic Aitkenova módu. Částice aitkenova módu (20–100 nm) vznikají během spalovacích procesů (Finlayson-Pitts a Pitts 1999). Akumulační mód dosahuje velikostí 100 nm–2,5 <math>\mu\text{m}</math>, je tvořen transformovanými částicemi předchozích dvou módů (Seinfeld a Pandis 2006).</p> <p>Mobilní zdroje produkují částice 10–100 nm. Stacionární zdroje jsou původci částic v rozmezí 50–200 nm. Dálkovým transportem jsou přenášeny částice 100–1000 nm (Gu et al. 2011; Hinds 1999; Zhang et al. 2004; Zhou et al. 2005; Yue et al. 2008). Částice hrubého módu tvoří např. částice půdy, mořská sůl, částice z průmyslových a zemědělských činností. Jejich vysoká sedimentační rychlost určuje krátký čas setrvání v atmosféře v rozsahu několika hodin až dní. Z atmosféry jsou odstraňovány suchou depozicí a srážkami (Hinds 1999; Tomasi a kol. 2017; Seinfeld a Pandis 2006).</p> <p>Legislativní úprava stanovuje emisní limity pro hmotnostní koncentraci částic velikostní frakce <math>\text{PM}_{10}</math> (částice o průměru <math>\leq 10</math> mikrometrů) a <math>\text{PM}_{2,5}</math> (částice o průměru <math>\leq 2,5</math> mikrometrů).</p> <p>Hmotnost částic (zejména ultrajemných <math>&lt; 100 \text{ nm}</math>) ve standardně měřeném velikostním spektru <math>\text{PM}_{10}</math> a <math>\text{PM}_{2,5}</math> je v porovnání s jejich počty zanedbatelná. Proto je pro některá hodnocení vlivu aerosolových částic (zdravotní dopady, vliv na klima) využíváno měření počtu částic a jejich velikostní distribuce (Tuch et al. 1997; Stanier et al. 2004).</p>	<p>Suspendované částice mají široké spektrum účinků na srdečně-cévní a respirační ústrojí. Dráždí dýchací cesty, omezují obranné mechanismy a usnadňují vznik infekce, vyvolávají zánětlivou reakci v plicní tkáni, přispívají k oxidačnímu stresu a tím i k rozvoji aterosklerózy, ovlivňují elektrickou aktivitu srdce a od roku 2013 jsou zařazeny mezi prokázané lidské karcinogeny (IARC 2015). Účinek závisí na velikosti, tvaru a složení částic. Krátkodobé zvýšení denních koncentrací částic <math>\text{PM}_{10}</math> se podílí na nárůstu celkové nemocnosti i úmrtnosti, zejména na onemocnění srdce a cév, na zvýšení počtu osob hospitalizovaných pro onemocnění dýchacího ústrojí, zvýšení kojenecké úmrtnosti, zvýšení výskytu kašle a ztíženého dýchání zejména u astmatiků (SZÚ 2015).</p> <p>Dlouhodobě zvýšené koncentrace mohou mít za následek snížení plicních funkcí, zvýšení nemocnosti na onemocnění dýchacího ústrojí, výskyt symptomů chronického zánětu průdušek a zkrácení délky života zejména z důvodu vyšší úmrtnosti na choroby srdce a cév u starých a nemocných osob a na respirační nemoci včetně rakoviny plic (SZÚ 2015). Pro působení aerosolových částic v ovzduší nebyla zatím zjištěna bezpečná prahová koncentrace.</p>	<p>Ovlivňují radiační bilanci Země, formování oblaků a srážek, dohlednost. Mají přímý (rozptýl přichozího slunečního záření) a nepřímý (jako kondenzační jádra v oblacích ovlivňují odraz záření od oblaků) vliv na radiační bilanci Země. Atmosférické aerosoly odrážejí a/nebo absorbují sluneční záření a tak přispívají k ochlazení či oteplování klimatického systému Země (IPCC, 2013).</p> <p>Částice mají vliv na zvířata jako na lidi; ovlivňují rostlinný růst a ekosystémové procesy; mohou poškodit a pošpinit budovy (EEA 2013).</p>

1 Velikostní rozsah pro jednotlivé módy se mohou v literatuře lišit a to zejména pro velikostní rozsah nukleačního módu. Pro zpracování a hodnocení je v následujících textech použita velikost nukleačního módu dle Young and Keeler (2007).

Znečišťující látka a její zdroje	Zdravotní dopady	Environmentální dopady
<p><b>Benzo[a]pyren</b> Benzo[a]pyren, který se v ovzduší vyskytuje převážně navázan na částice, je vhodným markerem znečištění ovzduší PAH. Důvodem je jeho stabilita a relativně konstantní příspěvek ke karcinogenní aktivitě směsi PAH vázaných na částicích (EC 2001a). Mezi hlavní zdroje benzo[a]pyrenu v ČR patří vytápění domácností.</p>	<p>PAH představují skupinu látek, z nichž řada má toxické, mutagenní či karcinogenní vlastnosti, patří mezi endokrinní disruptory (látky poškozující funkci žláz s vnitřní sekrecí) a působí imunosupresivně. Ovlivňují růst plodu; prenatální expozice PAH souvisí s výrazně nižší porodní váhou (Choi et al. 2006) a pravděpodobně také s negativním ovlivněním kognitivního vývoje malých dětí (Edwards et al. 2010). Samotný benzo[a]pyren je klasifikován jako prokázaný lidský karcinogen (IARC 2020).</p>	<p>PAH mají schopnost bioakumulace, mohou přecházet do potravního řetězce (Brookes et al. 2013, EEA 2013).</p>
<p><b>Oxidy dusíku</b> Jako oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) jsou označovány oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>). Více než 90 % antropogenních emisí NO<sub>x</sub> představují emise NO. Hlavním antropogenním zdrojem NO<sub>x</sub> v ČR jsou mobilní zdroje (silniční doprava a nesilniční vozidla, veřejná energetika a výroba tepla, použití anorganických dusíkatých hnojiv a domácnosti).</p>	<p>Z hlediska vlivu na lidské zdraví lze za nejvýznamnější formu považovat NO<sub>2</sub> (WHO 2005). NO<sub>2</sub> postihuje především dýchací systém. Hlavním efektem krátkodobého působení vysokých koncentrací NO<sub>2</sub> je nárůst reaktivity dýchacích cest a z toho vyplývající nárůst obtíží astmatiků (Samet et al. 2000). Expozice NO<sub>2</sub> snižuje plicní funkce a zvyšuje u dětí riziko respiračních onemocnění v důsledku snížené obranyschopnosti vůči infekci (EEA 2013, Peel et al. 2005). Působení NO<sub>2</sub> je spojováno také se zvýšením celkové, kardiovaskulární a respirační úmrtnosti (Stieb et al. 2003, Samoli et al. 2003), ale je obtížné oddělit účinky dalších, současně působících látek, zejména aerosolu (WHO 2005), uhlovodíků, ozonu a dalších (Brauer et al. 2002).</p>	<p>NO<sub>x</sub> přispívají k acidifikaci a eutrofizaci půd a vod. Vysoké koncentrace NO<sub>x</sub> mohou poškodit rostliny. NO<sub>x</sub> jsou prekurzory přízemního ozonu a částic (EEA 2013, Brookes et al. 2013).</p>
<p><b>Přízemní ozon</b> Ozon (O<sub>3</sub>) je sekundární znečišťující látka bez vlastního emisního zdroje, vzniká jako součást fotochemického smogu. Vzniká za účinku slunečního záření soustavou reakcí zejména mezi NO<sub>x</sub>, VOC a kyslíkem (EEA 2013). Ozon může být transportován na velké vzdálenosti, kumulovat se a dosáhnout vysokých koncentrací daleko od míst svého vzniku (Brookes et al. 2013).</p>	<p>Hlavní účinek ozonu na lidský organismus je dráždivý. Dráždí oční spojivky, nosní sliznice a průdušky. Krátkodobé studie ukazují, že koncentrace O<sub>3</sub> mohou mít nepříznivé účinky na funkci plic vedoucí k jejich zánětu a respiračním problémům (EEA 2013). Ve vyšších koncentracích dojde drážděním dýchacích cest k jejich zúžení a ztíženému dýchání. Zvýšeně citlivé vůči ozonu jsou osoby s chronickými obstrukčními onemocněními plic a astmatem. Vyšší koncentrace ozonu jsou spojovány se zvýšením denní úmrtnosti (WHO 2005).</p>	<p>Poškozuje vegetaci, ovlivňuje rostlinný růst a zapříčiňuje ztrátu výnosů zemědělských plodin, jeho působením může dojít k poškození lesních ekosystémů a snížení biodiverzity (EEA 2013).</p>
<p><b>Benzen</b> Benzen je v ovzduší přítomen zejména v důsledku antropogenní činnosti. Emise benzenu jsou do ovzduší vnášeny výfukovými plyny i odpařováním z palivových systémů vozidel. Významné množství emisí benzenu vzniká při spalování pevných paliv v domácnostech, dále při plošném použití organických rozpouštědel nebo při těžbě paliv.</p>	<p>Benzen patří mezi karcinogenní látky pro člověka (IARC 2020). Při vysokých koncentracích může mít hematotoxické, genotoxické a imunotoxické účinky (SZÚ 2015).</p>	<p>Schopnost bioakumulace; může poškodit listy zemědělských plodin a způsobit smrt rostlin (EEA 2013).</p>
<p><b>Olovo</b> Většina olova obsaženého v atmosféře pochází z antropogenních emisí. Mezi hlavní zdroje v ČR patří výroba železa a oceli, silniční doprava (otěry pneumatik a brzd), domácnosti a veřejná energetika a výroba tepla.</p>	<p>Při dlouhodobé expozici lidského organismu se projevují účinky na biosyntézu hemu, nervový systém a krevní tlak. Expozice olovem představuje riziko i pro vyvíjející se plod, může negativně ovlivnit vývoj mozku a následně ovlivnit duševní vývoj (Černá 2011; EEA 2013). Z hlediska karcinogenity pro člověka je olovo zařazeno do skupiny 2B – možné karcinogenní účinky (IARC 2020).</p>	<p>Olovo se může hromadit v tělech organismů (bioakumulace) jako jsou ryby, a může přecházet do potravního řetězce (Brookes et al. 2013, EEA 2013).</p>
<p><b>Kadmium</b> Kadmium je navázáno převážně na částice s aerodynamickým průměrem do 2,5 μm (EC 2001b). Mezi hlavní zdroje v ČR patří domácnosti (vytápění, ohřev vody, vaření), veřejná energetika a výroba tepla, výroba železa a oceli a výroba skla.</p>	<p>Dlouhodobá expozice kadmium ovlivňuje funkci ledvin. Může také negativně ovlivnit dýchací soustavu; mezi důsledky vlivu kadmia patří i rakovina plic (WHO 2000).</p>	<p>Schopnost bioakumulace (EEA 2013).</p>



Znečišťující látka a její zdroje	Zdravotní dopady	Environmentální dopady
<p><b>Arsen</b> Arsen se vyskytuje převážně v částicích s aerodynamickým průměrem do 2,5 µm (EC 2001b). Mezi hlavní zdroje v ČR patří domácnosti (vytápění, ohřev vody, vaření), veřejná energetika a výroba tepla a výroba olova a skla.</p>	<p>Vysoké koncentrace způsobují poškození nervového systému (SZÚ 2015a). Kritickým účinkem dlouhodobého vdechování arsenu je rakovina plic (EC 2001b; WHO 2000).</p>	<p>Schopnost bioakumulace; snížení růstu a výnosů rostlin rostoucích na půdách s obsahem arsenu (EEA 2013).</p>
<p><b>Nikl</b> Nikl se vyskytuje v částicích v několika chemických sloučeninách, které se liší svou toxicitou pro lidské zdraví i ekosystémy. Mezi hlavní zdroje v ČR veřejná energetika a výroba tepla a spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví a domácnosti.</p>	<p>Může ovlivnit dýchací soustavu a obranyschopnost člověka (WHO 2000; EEA 2013). Sloučeniny niklu jsou klasifikovány jako prokázaný lidský karcinogen, kovový nikl a jeho slitiny jako možný karcinogen (IARC 2020).</p>	<p>Nikl může znečišťovat půdy a vodu.</p>
<p><b>Oxid siřičitý</b> Oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>) je emitován do ovzduší při spalování paliv s obsahem síry. Mezi hlavní zdroje SO<sub>2</sub> v ČR patří veřejná energetika a výroba tepla a vytápění domácností.</p>	<p>Má dráždivé účinky na oči a dýchací soustavu. Vysoké koncentrace SO<sub>2</sub> mohou způsobit respirační potíže. Zánět dýchacích cest způsobuje kašel, vylučování hlenu, zhoršení astmatu a chronické bronchitidy a zvyšuje náchylnost k infekcím dýchacích cest. Lidé trpící astmatem a chronickým onemocněním plic jsou k působení SO<sub>2</sub> zvláště citliví (EC 1997; WHO 2014).</p>	<p>SO<sub>2</sub> přispívá k acidifikaci prostředí. SO<sub>2</sub> přispívá i ke vzniku sekundárních suspendovaných částic, u kterých je prokázán negativní dopad na lidské zdraví (EEA 2013).</p>
<p><b>Oxid uhelnatý</b> Oxid uhelnatý (CO) je plyn, který vzniká v důsledku nedokonalého spalování fosilních paliv. V ČR je největším zdrojem emisí CO vytápění domácností, silniční doprava, spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví (železo a ocel) a výroba železa a oceli.</p>	<p>Váže se na krevní barvivo (hemoglobin) lépe než kyslík, a dochází tak ke snížení kapacity krve pro přenos kyslíku. Prvními subjektivními příznaky otravy jsou bolesti hlavy, poté zhoršení koordinace a snížení pozornosti. Nejvíce citliví k působení CO jsou opět lidé s kardiovaskulárním onemocněním (EEA 2013). Toxické účinky CO se projeví nejvíce v orgánech a tkáních s vysokou spotřebou kyslíku, jako je mozek, srdce a kosterní svalstvo. Nebezpečný je také pro vyvíjející se plod (WHO 2000).</p>	<p>CO může přispívat ke vzniku přízemního ozonu (EEA 2013, Brookes et al. 2013).</p>
<p><b>Volatilní organické látky</b> Volatilní organické látky (VOC) jsou definovány jako organické látky (s výjimkou metanu), které se mohou za normálních atmosférických podmínek teploty a tlaku vypařovat (při teplotě 20 °C má tlak par 0,01 kPa a více) (Zákon o ovzduší č. 201/2012 Sb.; Thurston 2008). Ovlivňují oxidační vlastnosti atmosféry, jsou prekurzory přízemního ozonu a sekundárních organických aerosolů (Hoerger et al. 2015). VOC jsou tvořeny velkým množstvím látek, v roce 2021 jich bylo dle US EPA evidováno 97 (David, Niculescu, 2021). Vzhledem k jejich vysokému počtu jejich setrvání v atmosféře kolísá od hodin (reaktivní sloučeniny VOC) až po měsíce (málo reaktivní VOC). Z atmosféry jsou odstraňovány zejména reakcemi s radikály (hydroxylové, halogenové), nitráty, přízemním ozonem a fotolytickými reakcemi. Tyto procesy jsou závislé nejen na druhu VOC, ale i na lokalitě, ročnímu období a denní době. Přírodním zdrojem VOC jsou rostliny, antropogenní aktivity produkující VOC jsou zejména používání motorových vozidel a rozpouštědel (Reimann et al. 2018).</p>	<p>Expozice parám VOC může působit několik zdravotních komplikací, od podráždění očí, bolesti hlavy, po respirační potíže. Některé VOC mohou být karcinogenní. Negativní účinky na zdraví člověka se projevují intenzivněji zejména ve vnitřních prostorách (EPA 2023, Zhou et al. 2023).</p>	<p>VOC ovlivňují životní prostředí prostřednictvím svého zapojení do reakcí podporující vznik přízemního ozonu (Zhou et al. 2023).</p>

Znečišťující látka a její zdroje	Zdravotní dopady	Environmentální dopady
<p><b>Elementární uhlík</b> Elementární uhlík (EC) je produktem nedokonalého spalování organických materiálů (uhlí, oleje, benzínu, dřeva a biomasy) (Schwarz et al. 2008). EC je emitován do ovzduší pouze přímo (primární částice). Kromě termínu EC je používán také termín černý uhlík (BC). Černý a elementární uhlík v podstatě označují stejný komponent atmosféry. Zatímco EC obsahuje pouze uhlík, BC může obsahovat kromě EC i organické příměsi (Chow et al. 2009; Husain et al. 2007; Petzold et al. 2013). Používání terminologie pro označení elementárního a černého uhlíku se liší v pojetí charakteru této látky. Termín EC definuje těkavé vlastnosti, označení černý uhlík (BC) popisuje absorpční vlastnosti napříč spektrem viditelných vlnových délek (Seinfeld, Pandis 2006).</p>	<p>EC je součástí jemné frakce aerosolových částic (<math>PM_{2,5}</math>). Z hodnocení zdravotních dopadů <math>PM_{2,5}</math> na lidské zdraví vyplynulo, že variabilitu epidemiologických výsledků nelze vysvětlit pouze proměnlivostí koncentrací <math>PM_{2,5}</math> v prostoru. Příčinou mohou být právě více toxikologicky aktivní složky <math>PM_{2,5}</math> (Luben et al. 2017). EC (resp. BC) oproti OC lépe prostupuje do lidského těla a zhoršuje onemocnění srdce a plic (Na, Cocker 2005).</p>	<p>BC silně absorbuje sluneční záření a významně přispívá k oteplení klimatického systému Země (Bachmann 2009).</p>
<p><b>Organický uhlík</b> Organický (OC) uhlík vzniká při nedokonalém spalování, produkci biogenních částic (viry, bakterie, pyl, houbové spory a všechny druhy fragmentů z vegetace) a resuspenzí prachu spojené s dopravou (Schwarz et al. 2008). OC je jak primární, tak i sekundární částice tj. může vznikat reakcemi plynných organických prekurzorů.</p>	<p>OC je součástí jemné frakce aerosolových částic (<math>PM_{2,5}</math>). Organické částice (včetně organického uhlíku), jež mohou obsahovat mimo jiné frakce polycyklických organických uhlovodíků (PAH), jsou studovány pro jejich karcinogenitu a mutagenní účinky (Seinfeld, Pandis 2006; Satsangi et al. 2012).</p>	<p>OC rozptyluje sluneční záření, což má ochlazující účinek na klimatický systém Země (IPCC 2013).</p>