

INFORMACE O ZDRAVOTNÍCH RIZICÍCH SPOJENÝCH S KVALITOU OVZDUŠÍ V ROCE 2019

1. Úvod

Při posuzování kvality venkovního ovzduší se v obecné rovině postupuje dvěma způsoby. Základem je srovnání s legislativně stanovenými imisními limity – na principu řízení kvality ovzduší. Výstupem je informace o překročení (formát ANO/NE) či frekvenci překračování imisních limitů na konkrétních měřicích stanicích a aproximace procentuálních odhadů zatížené plochy aglomerací či odhad počtu nadlimitně exponovaných obyvatel. Tyto výstupy jsou publikovány v ročenkách ČHMÚ v tabelární i grafické formě za jednotlivé roky a představují mimo jiné nutné výstupy pro podávání zpráv EU. Zároveň jsou jedním z podkladů pro detailnější hodnocení kvality ovzduší ve vztahu ke kvantifikaci zdravotních rizik.

Vliv znečišťujících látek z ovzduší závisí nejen na jejich schopnosti působit na zdraví, ale také na velikosti expozice, tedy na tom po jakou dobu a jak vysoké koncentraci látek jsou lidé vystaveni. Pro účely narůstajících požadavků na hodnocení zdravotních rizik je proto potřebná interpretace prostorové reprezentativnosti dat získávaných v síti stacionárních měřicích stanic. Využití výsledků prostorově ohraničených staničních měření nebo modelových zpracování zatížených významnými, a navíc obtížně kvantifikovatelnými nejistotami přináší problémy při odhadu expozice obyvatel znečišťujícím látkám. Jedním z možných východisek je kategorizace měřicích stanic, které lze rozdělit podle intenzity okolní dopravy a podílu dalších typů zdrojů (energetické zdroje, průmysl) znečišťování ovzduší na specifické typy městských lokalit. To umožňuje detailnější popis znečištění ovzduší ve městech včetně odhadu střední hodnoty a jejího trendu v ČR a zároveň i stratifikaci navazujícího hodnocení zdravotních rizik.

Primární 24hodinová data pro hodnocení kvality ovzduší převzatá převážně z databáze ISKO, byla následně zpracována v databázovém prostředí ISID a doplněna o krátkodobé hodnoty (hodinový průměr a osmihodinový klouzavý průměr) z tabelární ročenky ČHMÚ za rok 2019. Pro potřeby hodnocení zdravotních rizik byla tato data, pro nemožnost provázání s demografickými údaji, zpracována ve formě rozpětíových intervalů. A to pro jednotlivé látky (NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, As, Cd, Ni, benzen a BaP) pro celou Českou republiku, pro všechny městské stanice a pro vybrané typy městských lokalit (obytné bez dopravní zátěže, městské s dopravní zátěží a městské s průmyslovou zátěží). Uvedený postup nelze pro nedostatek údajů o kvalitě ovzduší použít pro odhad úrovně zátěže obyvatel malých sídel (< 5 000 obyvatel). Uváděné hodnocení rozptylových podmínek vychází ze zprávy ČHMÚ (KVALITA OVZDUŠÍ NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2019, Předběžné zhodnocení, leden 2020).

2. Odhad zdravotních rizik

Základní metodické postupy odhadu zdravotních rizik byly zpracovány zejména Americkou agenturou pro ochranu životního prostředí (US EPA) a Světovou zdravotní organizací (WHO). V České republice byly základní metodické podklady pro hodnocení zdravotních rizik vydány Ministerstvem zdravotnictví a Ministerstvem životního prostředí.

Zdravotní riziko vyjadřuje pravděpodobnost změny zdravotního stavu exponovaných osob. Při hodnocení zdravotních rizik se standardně postupuje ve čtyřech následných krocích.

Nejprve je identifikována **zdravotní nebezpečnost**, tedy to, zda je sledovaná látka, faktor nebo komplexní směs schopná vyvolat nežádoucí zdravotní účinek. Následuje odhad **dávkové závislosti** tohoto efektu, tedy jak se intenzita, frekvence nebo pravděpodobnost nežádoucích účinků mění s dávkou. Třetím a často nejsložitějším krokem v odhadu rizika je **odhad expozice**, to znamená, zda a do jaké míry je populace vystavena působení sledované látky či faktoru v daném prostředí. Na základě znalosti situace se při něm sestavuje expoziční scénář, tedy představa, jakými cestami a v jaké intenzitě a množství je konkrétní populace exponována dané látce a jaká je její dávka. Konečným krokem v odhadu rizika je **charakterizace rizika**. Znamená integraci poznatků vyplývajících ze všech výše zmíněných kroků, včetně zvážení všech nejistot, závažnosti i slabých stránek použitých podkladových materiálů. Cílem je dospět, pokud to dostupné informace umožňují, ke kvantitativnímu vyjádření míry konkrétního zdravotního rizika za dané situace. Tento postup, který bývá nejčastěji aplikován pro určitou konkrétní lokalitu a problém, byl použit pro následující hodnocení ovzduší v rámci dostupných podkladů pro Českou republiku. Výsledkem je hodnocení platné pouze pro území měst, protože pro hodnocení venkovských sídel nejsou k dispozici dostačující informace. Na druhou stranu by mělo variabilitu situace v těchto malých sídlech zahrnovat stanovené z rozpětí pro Českou republiku.

3. Hodnocené znečišťující látky

Ze sledovaných ukazatelů znečištění ovzduší byly do hodnocení zahrnuty suspendované částice frakce PM₁₀ a PM_{2,5}, oxid dusičitý a škodliviny s karcinogenním účinkem, pro které byla definována míra karcinogenního potenciálu – arsen (As), nikl (Ni), kadmium (Cd), benzen a benzo[*a*]pyren (BaP). V případě polycyklických aromatických uhlovodíků je benzo[*a*]pyren (BaP) považován za indikátor karcinogenního potenciálu hodnocené směsi.

4. Stručný souhrn informací o účinku hodnocených látek

Oxid dusičitý (NO₂)

V roce 2019 se hodnoty průměrných ročních koncentrací přírodního pozadí v ČR pohybovaly od 2,4 do 5,3 µg/m³. Roční koncentrace ve městech, resp. V obydlených oblastech se hodnota ročního průměru pohybuje, v závislosti na složení okolních spolupůsobících zdrojů, mezi 7 až 48 µg/m³. Maximální 1hodinové koncentrace ani v extrémně zatížených lokalitách nepřekročily 200 µg/m³. Roční imisní limit byl překročen pouze na jedné stanici, situace se, zvláště ve velkých městských aglomeracích v řádu jednotek mikrogramů ročního průměru mírně zlepšila.

Působení oxidu dusičitého (NO₂) je spojováno se zvýšením celkové, kardiovaskulární a respirační úmrtnosti. Je majoritně emitován při spalování, nejvyšší měřené hodnoty nalézáme v oblastech zatížených intenzivní dopravou a vytápěním. Jeho koncentrace vysoce korelují s ostatními primárními i sekundárními zplodinami. Nelze proto jasně stanovit, zda pozorované zdravotní účinky jsou důsledkem nezávislého vlivu NO₂ nebo spíše působením celé směsi látek, zejména aerosolu, uhlovodíků, ozónu a dalších látek. Objevuje se např. podezření na ovlivnění centrálního nervového systému. Hlavním účinkem krátkodobého působení vysokých koncentrací NO₂ je nárůst reaktivity dýchacích cest. Na základě působení na změny reaktivity u nejcitlivějších astmatiků je také odvozena doporučená hodnota WHO pro 1hodinovou koncentraci NO₂ (200 µg/m³). Nejvíce jsou oxidu dusičitému vystaveni obyvatelé velkých městských aglomerací významně ovlivněných dopravou. Pro děti znamená expozice vyšším hodnotám NO₂ zvýšené riziko respiračních onemocnění v důsledku snížené obranyschopnosti vůči infekci a snížení plicních funkcí.

Z hodnot zjištěných ročních průměrů vyplývá, že u obyvatel v dopravou zatížených oblastech, např. v pražské nebo brněnské aglomeraci, lze očekávat snížení plicních funkcí, zvýšení výskytu respiračních onemocnění, zvýšený výskyt astmatických obtíží a alergií, a to u dětí i dospělých. Přestože některé kvantitativní vztahy expozice a zdravotních účinků NO₂ (např. na celkovou, kardiovaskulární a respirační úmrtnost) již byly specifikovány, nelze jednoznačně stanovit míru překrývání těchto účinků s působením ostatních znečišťujících látek v ovzduší. Proto WHO doporučuje hodnotit zdravotní dopady znečištění ovzduší na základě vztahů pro aerosolové částice, ve kterých je vliv NO₂ i dalších znečišťujících látek zahrnut.

Pro roční průměrnou koncentraci je v doplňku směrnice WHO 2005 pro kvalitu ovzduší v Evropě uvedena doporučená hodnota 40 µg/m³. Z některých nedávných studií, zabývajících se vlivem NO₂ ve vnitřním prostředí na zdraví dětí a zejména astmatických osob vyplývá, že pro dlouhodobou zátěž by měla být tato doporučená koncentrace patrně ještě snížena, ale podle WHO pro takový krok zatím není k dispozici dostatek důkazů.

Aerosol

Odhad hodnoty lineárního trendu (příloha č. 1) dokládá, přes mírný nárůst v období 2017 až 2018 na 24 µg/m³, spíše klesající trend. Kvalita ovzduší v monitorovaných sídlech je významně ovlivňována meteorologickými podmínkami. Ty lze charakterizovat vyšší četností excesů a rychlých změn počasí zahrnujících dlouhodobější suchá období vysokých teplot, krátká období intenzivních srážek či zimní inverzní situace až plošného charakteru. Zimní období (topné sezóny) 2013 – 2019 lze stále považovat v kontextu dlouhodobého vývoje za velmi mírná. Znečištění ovzduší měst a městských aglomerací ovlivňuje zejména doprava, která je zde dominantním a v podstatě plošně působícím zdrojem znečištění ovzduší. Další spolupůsobící zdroje (teplárny, domácí vytápění, malé a střední průmyslové podniky) mají více lokální význam. Specifickou oblastí ČR je Moravskoslezský kraj (MSK) s dlouhodobě zvýšenými hodnotami škodlivin ve venkovním ovzduší. Zde mají zásadní význam emise z velkých průmyslových zdrojů a dálkový transport škodlivin. To potvrzují roční imisní charakteristiky suspendovaných částic frakce PM₁₀ a PM_{2,5}, které nejenom průmyslem zatížených oblastech ale i v městských dopravně exponovaných lokalitách MSK překračují jak doporučené hodnoty Světové zdravotnické organizace (WHO), tak i imisní limity. V roce 2019 se hodnoty přírodního pozadí průměrných ročních koncentrací frakce PM₁₀ v ČR pohybovaly od 7,4 do 14 µg/m³. Roční koncentrace frakce PM₁₀ na stanicích ve městech, resp. v obydlených oblastech byly mezi 11 až 38 µg/m³. Maximální 1hodinové koncentrace ale mohly v extrémně zatížených lokalitách v období nepříznivých rozptylových podmínek dosáhnout až několika set µg/m³. Roční imisní limit 40 µg/m³ nebyl v roce 2019 na žádné měřicí stanici překročen a 36 nejvyšší 24hodinová hodnota překročila 50 µg/m³ jen na sedmi stanicích. Proti roku 2018 se jedná u frakce PM₁₀ o výrazné zlepšení na úrovni 5 až 10 µg/m³ ročního průměru.

Účinek částic závisí na jejich velikosti, tvaru a chemickém složení. Velikost částic je rozhodující pro průnik a ukládání v dýchacím traktu. Větší částice jsou zachyceny v horních partiích dýchacího ústrojí. Částice frakce PM₁₀ (se střední hodnotou aerodynamického průměru 10 µm) se dostávají do dolních cest dýchacích. Částice označené jako frakce PM_{2,5} pronikají do průdušinek, nejjemnější submikronová frakce až do plicních sklípků. Účinky suspendovaných částic jsou ovlivněny také adsorpcí dalších znečišťujících látek na jejich povrchu.

Aerosolové částice obsažené ve vdechovaném vzduchu mají široké spektrum účinků na srdečně-cévní a respirační ústrojí. Dráždí sliznici dýchacích cest, mohou způsobit změnu struktury i funkce řasinkové tkáně, zvýšit produkci hlenu a snížit samočisticí schopnosti

dýchacího ústrojí. Tyto změny omezují přirozené obranné mechanismy a 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 oběhovému selháváním. Spolupodílí se vliv mnoha dalších individuálních faktorů, jako je stav imunitního systému organismu, alergická dispozice, expozice látkám v pracovním prostředí, kouření apod. Jednou z obranných funkcí dýchacích cest je pohlcování vdechnutých částic specializovanými buňkami, tzv. makrofágy. Při tom dochází k uvolňování látek, které navozují zánětlivou reakci v plicní tkáni a mohou přestupovat do krevního oběhu. Uvolňované regulační molekuly imunitního systému podporují tvorbu agresivních volných radikálů v bílých krvinkách a tím přispívají k tzv. oxidačnímu stresu. Ten ovlivňuje metabolismus tuků, vede k poškození stěn v tepnách a přispívá k rozvoji aterosklerózy. Dalším z mechanismů, které se podílí na rozvoji srdečních onemocnění, je ovlivnění elektrické aktivity srdce. Některé studie naznačují, že riziko akutní srdeční příhody je vyšší u diabetiků. Vzhledem k tomuto širokému spektru mechanismů systémového působení a i dalším účinkům jsou aerosolové částice považovány za nejvýznamnější environmentální faktor ovlivňující úmrtnost.

Aerosolové částice PM samostatně, stejně jako celá směs látek působících znečištění venkovního ovzduší, jsou zařazeny od roku 2013 Mezinárodní Agenturou pro výzkum rakoviny (IARC) Světové zdravotnické organizace (WHO), mezi prokázané lidské karcinogeny skupiny 1, přispívající ke vzniku rakoviny plic. Tento fakt se prozatím nijak neodrazil v doporučeních pro kvantitativní komplexní hodnocení vlivu znečištěného ovzduší.

- Krátkodobá expozice zvýšeným koncentracím aerosolových částic se podílí na nárůstu celkové nemocnosti i úmrtnosti, zejména na onemocnění srdečně-cévní a dýchací a na zvýšení počtu osob hospitalizovaných pro tato onemocnění, zvýšení kojenecké úmrtnosti, zvýšení výskytu respiračních symptomů jako je kašel a ztížené dýchání – zejména u astmatiků a na změnách plicních funkcí při spirometrickém vyšetření.
- Dlouhodobá expozice ovzduší znečištěnému aerosolem má za následek vyšší úmrtnost na choroby srdečně-cévní a respirační, včetně rakoviny plic a s tím související zkrácení délky života, zvýšení nemocnosti na onemocnění dýchacího ústrojí a výskytu symptomů chronického zánětu průdušek a snížení plicních funkcí u dětí i dospělých. Přibývá důkazů o vlivu expozice částicím na vznik diabetu II. typu, na neurologický vývoj u dětí a neurologické poruchy u dospělých.

Pro působení aerosolových částic v ovzduší nebyla zatím zjištěna bezpečná prahová koncentrace. Podle nedávného hodnocení epidemiologických studií nebylo možné nalézt žádnou takovou mez a zvýšená úmrtnost byla spojena i s velmi nízkými koncentracemi PM_{2,5}, např. 8,5 µg/m³. Předpokládá se, že citlivost jedinců v populaci má tak velkou variabilitu, že ti nejcitlivější jsou v riziku účinků i při velmi nízkých koncentracích. Při chronické expozici suspendovaným částicím frakce PM_{2,5} se redukce očekávané délky života začíná projevovat již od průměrných ročních koncentrací 5 µg/m³.

Zásadním ukazatelem zdravotních dopadů dlouhodobé expozice je odhad počtu předčasně zemřelých pro dospělou populaci nad 30 let věku s vyloučením vnějších příčin úmrtí (úrazy sebevraždy apod.). Tento ukazatel zahrnuje jak předčasnou úmrtnost pro jednotlivé příčiny úmrtí (kardiovaskulární nebo respirační onemocnění, rakoviny plic atd.), tak i úmrtí v důsledku krátkodobé expozice aerosolu.

Pro kvantitativní odhad zdravotních dopadů v důsledku dlouhodobé expozice suspendovaným částicím byla použita funkce koncentrace-účinek doporučená v závěrečné zprávě projektu Světové zdravotnické organizace HRAPIE. Doporučení pro hodnocení dlouhodobých účinků suspendovaných částic frakce PM_{2,5} vychází ze závěrů metaanalýzy třinácti různých kohortových studií provedených na dospělé populaci v Evropě a Severní Americe. Podle

autorů nárůst průměrné roční koncentrace jemné frakce suspendovaných částic PM_{2,5} o 10 µg/m³ zvyšuje celkovou úmrtnost exponované populace nad 30 let o 6,2 %. Relativní riziko (RR) je 1,062 (95 % CI 1,040, 1,083) na 10 µg/m³.

Pro hodnocení byly koncentrace frakce PM₁₀ přepočítány na základě odhadu průměrného zastoupení frakce PM_{2,5} ve frakci PM₁₀. Průměrný roční podíl suspendovaných částic frakce PM_{2,5} ve frakci PM₁₀, vypočítaný z hodnot souběžně měřených na 57 stanicích, se pohyboval od 55 % do 85 % se střední hodnotou 72,2 % v roce 2019. V tomto zpracování byla použita hodnota 75 % podílu frakce PM_{2,5} ve frakci PM₁₀, která odpovídá i dlouhodobému vývoji v České republice.

Arsen (As)

Hlavní cestou expozice arсенu je vdechování a příjem potravou a vodou. Arsen vstřebaný do organismu se ukládá zejména v kůži a jejích derivátech, jako jsou nehty a vlasy. Proniká placentární bariérou. Vylučován je převážně močí. Chronická otrava nejčastěji zahrnuje kontaktní alergické dermatitidy a ekzémy. Časté je postižení nervového systému (degenerace optického nervu, poškození vestibulárního ústrojí), trávicího ústrojí, cévního systému i krvetvorby. V epidemiologických studiích byla pozorována zvýšená úmrtnost na kardiovaskulární choroby. U exponovaných osob byly zjištěny chromosomální aberace periferních lymfocytů. Arseničnan sodný inhibuje reparaci DNA v buňkách lidské kůže a v lymfocytech. Anorganické sloučeniny arсенu jsou klasifikovány jako lidský karcinogen. Kritickým účinkem po expozici vdechováním je rakovina plic. Pro riziko jejího vzniku je odhadována jednotka rizika ze studií profesionálně exponovaných populací ve Švédsku a USA. Hodnota jednotkového rizika (riziko pro celoživotní expozici koncentraci 1 µg/m³) převzatá od Světové zdravotnické organizace je pro arzen odhadována na $1,50 \times 10^{-3}$.

Nikl (Ni)

Vdechování všech typů sloučenin niklu vyvolává podráždění a poškození dýchacích cest, různé imunologické odezvy včetně zvýšení počtu alveolárních mikrofágů a imunosupresi. Nikl proniká placentární bariérou, takže je schopen ovlivnit prenatální vývoj přímým působením na embryo. Studie na pokusných zvířatech svědčí o tom, že některé sloučeniny niklu vykazují široký rozsah karcinogenní potence. Nejsilnějším karcinogenem v těchto experimentech byl sulfid niklitý a sulfid nikelnatý. U člověka byla popsána akutní otrava tetrakarbonylniklem, alergická kožní reakce, astma (u zaměstnanců pracujících s niklem) a podráždění sliznic. Karcinogenní účinky byly prokázány epidemiologickými studiemi po inhalační expozici vysokým koncentracím niklu, neboť respirační trakt je cílovým orgánem, ve kterém dochází k retenci niklu s následným rizikem vzniku rakoviny dýchacího traktu. Sloučeniny niklu jsou na základě takových studií klasifikovány IARC jako prokázaný lidský karcinogen ve skupině 1, kovový nikl jako možný karcinogen ve skupině 2B. Hodnota jednotkového rizika převzatá od Světové zdravotnické organizace pro nikl je odhadována na $3,8 \times 10^{-4}$.

Kadmium (Cd)

je kov, jehož hlavním metabolickým rysem je mimořádně dlouhý biologický poločas, který má za následek prakticky nevratnou akumulaci kadmia v organismu, zejména v ledvinách a játrech. Ledviny jsou kritickým orgánem po chronickou expozici kadmium, která vede k jejich poškození a ohrožení funkcí. Kadmium způsobuje inhibici sulfhydrolýzových enzymů (vazbou na SH-skupinu), váže se v játrech na metaloproteiny, zasahuje do metabolismu sacharidů a inhibuje sekreci inzulínu. Kadmiové ionty jsou také účinnými blokátory kalciových kanálů, čímž dochází k přerušení šíření nervového vzruchu. Kadmium je toxické pro reprodukci (ohrožuje funkčnost a kvalitu spermií a poškozuje zárodečný epitel varlat), narušuje

metabolismus ostatních kovů, kostní tkáň, imunitní i kardiovaskulární systém. Inhalační expozice kadmium může způsobovat rakovinu plic u lidí a zvířat a poškození plodu. IARC klasifikovala kadmium a sloučeniny kadmia jako lidské karcinogeny skupiny 1. Hodnota jednotkového rizika převzatá od Světové zdravotnické organizace pro kadmium je odhadována na $4,9 \times 10^{-4}$.

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) - benzo[a]pyren (BaP)

PAU mají schopnost přetrvávat v prostředí, kumulují se v jeho složkách a v živých organismech, jsou lipofilní a řada z nich má toxické, mutagenní či karcinogenní vlastnosti. Patří mezi endokrinní disruptory, ovlivňují porodní váhu a růst plodu. Působí imunosupresivně, snížením hladin IgG a IgA. Ve vysokých koncentracích (převyšujících koncentrace nejen ve venkovním ovzduší, ale i v pracovním prostředí) mohou mít dráždivé účinky. PAU patří mezi nepřímo působící genotoxické sloučeniny. Vlivem biotransformačního systému organismu vznikají postupně metabolity s karcinogenním a mutagenním účinkem. Elektrofilní metabolity kovalentně vázané na DNA představují poté základ karcinogenního potenciálu PAU. V praxi je nejvíce používaným zástupcem PAU při posuzování karcinogenity benzo[a]pyren (BaP). BaP je z hlediska klasifikace karcinogenity od roku 2010 zařazen IARC do skupiny 1 – prokázaný karcinogen. Hodnota jednotkového rizika převzatá od Světové zdravotnické organizace je pro BaP $8,7 \times 10^{-2}$.

Benzen (C₆H₆)

Benzen má nízkou akutní toxicitu, při dlouhodobé expozici má účinky hematotoxické, genotoxické, imunotoxické a karcinogenní. Nejzávažnějším účinkem benzenu je jeho karcinogenní působení. Benzen je z hlediska klasifikace karcinogenity zařazen do skupiny 1 – prokázaný karcinogen (IARC 1987). Byly popsány nádory jater, prsu, nosní dutiny a leukémie. Přibývá studií, které uvádějí důkazy o vztahu mezi expozicí benzenu ze znečištěného ovzduší a vznikem akutní leukemie u dětí (IARC, 2010). Některé studie dokonce naznačují, že toto riziko by mohlo nastat již při nižších koncentracích než je současný imisní limit $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro benzen ve venkovním ovzduší, ale tyto studie zatím nejsou využitelné pro kvantitativní hodnocení. WHO definovalo pro benzen, na základě zhodnocení řady studií, jednotku karcinogenního rizika pro celoživotní expozici koncentrací $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v rozmezí $4,4 - 7,5 \times 10^{-6}$ (střední hodnota 6×10^{-6}). V těchto studiích byly osoby exponovány koncentracím o několik řádů vyšším, než se mohou vyskytnout ve venkovním ovzduší. Je proto možné, že extrapolace do oblasti nižších koncentrací neodpovídá reálné křivce účinnosti. Hodnota UCR doporučená WHO je experty EU považována za horní mez odhadu rizika, dolní mez hodnoty jednotky karcinogenního rizika byla s použitím sublineární křivky extrapolace odhadnuta na 5×10^{-8} . Tento rozsah hodnot UCR znamená, že riziko leukémie 1×10^{-6} by se mělo pohybovat v rozmezí roční průměrné koncentrace benzenu v ovzduší cca $0,2 - 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V tomto zpracování byla použita jednotka karcinogenního rizika 6×10^{-6} uváděná WHO. Při aplikaci této UCR vychází koncentrace benzenu ve vnějším ovzduší, odpovídající akceptovatelné úrovni karcinogenního rizika pro populaci 1×10^{-6} v úrovni koncentrace $0,17 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{rok}$.

Pozn: Hodnoty jednotkového rizika byly převzaty z internetových stránek WHO a z dalších zdrojů (US EPA, HEAST ...).

5. Expozice

Pro odhad expozice byl použit přístup, který uvažuje celoživotní expozici 24 hodin denně pro dospělého člověka o hmotnosti 70 kg, který vdechne 20 m^3 vzduchu za den. Jde

o screeningový přístup odpovídající hodnocení populace v obecné rovině. Hodnocení městské populace (města > 5 000 obyvatel) zahrnuje zhruba polovinu obyvatel ČR, tedy cca 5 mil.

6. Charakterizace rizik

V zásadě se při hodnocení rizik rozlišují dva typy účinků chemických látek. U látek, které nejsou podezřelé z účasti na karcinogenním působení se předpokládá tzv. **prahový účinek**. Toxické účinky těchto látek se projeví až po překročení kapacity fyziologických detoxikačních a reparačních obranných mechanismů organismu. Lze tedy identifikovat dávku škodlivé látky, která je pro organismus člověka ještě bezpečná a za normálních okolností nevyvolá nepříznivý efekt.

Ke kvantitativnímu vyjádření míry zdravotního rizika toxického nekarcinogenního účinku škodlivin je možno použít koeficient nebezpečnosti HQ (Hazard Quotient). Kvocient nebezpečnosti vyjadřuje poměr mezi zjištěnou nebo předpokládanou expozicí či dávkou a referenční dávkou, nebo mezi koncentrací v ovzduší a referenční koncentrací v případě standardního expozičního scénáře. Pokud se současně vyskytují látky s podobným systémovým toxickým účinkem je možno součtem kvocientů získat index nebezpečnosti (Hazard Index – HI). Kvocient nebezpečnosti vyšší než 1 je považován za reálné riziko toxického účinku. Druhým způsobem hodnocení je použití vztahů odvozených z epidemiologických studií, které zkoumají vztah mezi dávkou (expozicí) a účinkem u člověka. Tento přístup je používán např. u suspendovaných částic PM₁₀, kde současné znalosti neumožňují odvodit prahovou dávku či expozici a k vyjádření míry rizika se používá předpověď výskytu zdravotních účinků u exponovaných osob.

Při hodnocení karcinogenů se vychází z teorie **bezprahového působení**. Ta předpokládá, že neexistuje žádná koncentrace, pod kterou by působení dané látky bylo nulové, jakákoliv expozice znamená určité riziko a velikost tohoto rizika se zvyšuje se zvyšující se expozicí. Míru karcinogenního potenciálu dané látky vyjadřuje směrnice rakovinového rizika. Metody rizikové analýzy používají pro oblast velmi nízkých dávek extrapolace a předpokládají vztah lineární regrese mezi zvyšující se expozicí a celoživotním rizikem vzniku rakoviny. Proto je východiskem pro hodnocení celoživotní průměrná denní dávka a faktor směrnice rizika daný vztahem mezi dávkou a účinkem. Výsledkem je pak individuální celoživotní riziko. Reálné riziko je pravděpodobně nižší, protože směrnice rizika vychází z lineárního vícefázového modelu a je považována za horní hranici odhadu. Pokud předpokládáme celoživotní působení a odhadujeme navýšení rizika, můžeme karcinogenní riziko vypočítat také z koncentrace látky a jednotky rakovinového rizika. Dostaneme teoretické navýšení pravděpodobnosti vzniku nádorového onemocnění pro jednotlivce, které může způsobit daná úroveň expozice hodnocené látky nad výskyt v neovlivněné populaci.

Oxid dusičitý NO₂

Hodnocení vlivu oxidu dusičitého je zahrnuto v komplexním hodnocení suspendovaných částic. Grafické znázornění rozpětí ročních koncentrací (graf č. 1) ukazuje, že nejvíce jsou expozici NO₂ vystaveni obyvatelé městských lokalit významně ovlivněných dopravou, méně v průmyslových lokalitách.

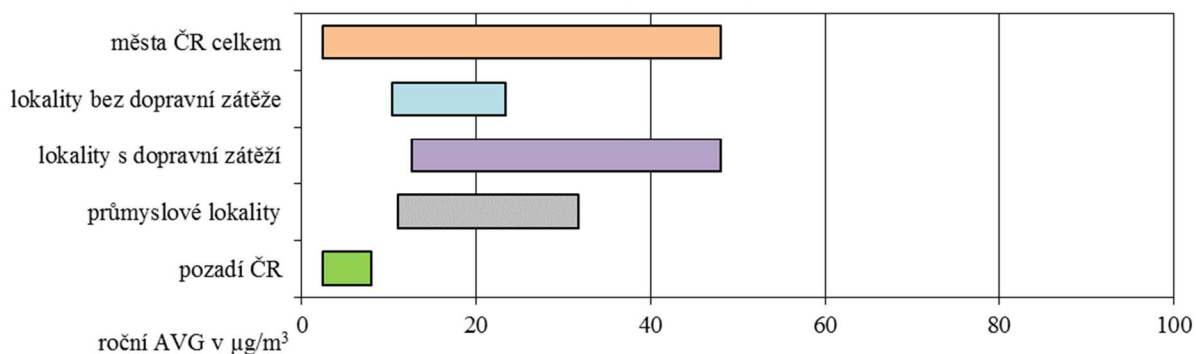
Z hodnot ročních aritmetických průměrů (tab. č. 2) vyplývá, že v místech bezprostředního ovlivnění intenzivní dopravou (nad 10 000 vozidel) lze v důsledku expozice zvýšeným okamžitým koncentracím oxidu dusičitého očekávat snížení plicních funkcí, zvýšený výskyt astmatických obtíží a alergií u dětské i dospělé populace. V městských lokalitách bez přímého

vlivu dopravy, průmyslu nebo velkých energetických zdrojů není oxid dusičitý zdrojem zdravotních rizik.

Tabulka č. 1. Rozpětí hodnot ročních průměrů NO₂ v roce 2019

roční průměry rok 2019	NO ₂ (μg/m ³)	
	min	max
ČR	2,4	48,1
města celkem	6,8	48,1
lokality bez dopravní zátěže	10,4	23,4
lokality s dopravní zátěží	12,6	48,1
průmyslové lokality	11,0	31,7

Rozpětí ročních průměrů NO₂ v období 2019, ČR a jednotlivé typy městských lokalit (16,5 μg/m³/rok ≈ odhad pro obytné lokality v sídlech)



Graf č. 1. Rozpětí ročních průměrů NO₂ v roce 2019 v ČR a v jednotlivých typech městských lokalit

Pozn.: Stanice s maximální hodnotou ročního průměru je ALEG (Legerova v Praze 2 – 48,1 μg/m³/rok)

Suspendované částice

Dlouhodobě zvýšené koncentrace suspendovaných částic se podílí na výskytu různých symptomů zhoršení stavu dýchacích cest, zvýšení nemocnosti i úmrtnosti. Právě úmrtnost bývá nejčastěji používána pro ilustrování negativních vlivů částic.

Tabulka č. 2. Rozpětí ročních průměrů PM₁₀ v roce 2019 v ČR a v jednotlivých typech městských lokalit a odhad navýšení předčasné úmrtnosti

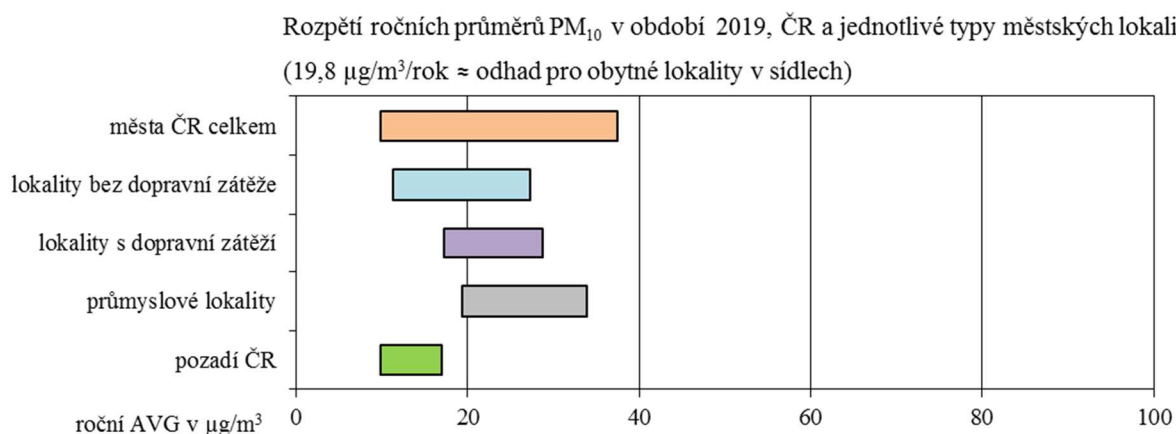
Roční aritmetické průměry rok 2019	PM ₁₀ (μg/m ³)		Odhad navýšení předčasné úmrtnosti (%) pro 75 % zastoupení frakce PM _{2,5} ve frakci PM ₁₀	
	min	max	min	max
ČR	7,4	38,1	0	11,5
Města celkem	11,3	38,1	0	11,5
Lokality bez dopravní zátěže	11,3	27,3	0	4,8
Lokality s dopravní zátěží	17,2	28,7	1,8	7,2
Průmyslové lokality	19,3	33,9	2,8	9,6

V tabulce č. 2. je uveden přehled rozmezí ročních koncentrací PM₁₀ a odhadu zvýšení celkové úmrtnosti. Za základ je vzata koncentrace PM₁₀ doporučovaná WHO – 20 μg/m³ (respektive 13,3 μg/m³ pro 75 % zastoupení frakce PM_{2,5}) při které by se s 95 % pravděpodobností úmrtnost neměla zvyšovat.

Odhad navýšení celkové předčasné úmrtnosti (počítáno pro 75 % podíl frakce $PM_{2,5}$), ke kterému přispěla expozice suspendovaným částicím frakce PM_{10} , se podle míry zátěže konkrétní lokality pohybuje od 0 % v čistých městských lokalitách po až $\approx 11,5$ % v oblastech zvláště intenzivně zatížených dopravou a průmyslem.

Na základě odhadu průměrné koncentrace suspendovaných částic frakce PM_{10} , v roce 2019 v městském extenzivně nezatíženém prostředí mimo MSK ($19,8 \mu g/m^3$), lze zhruba odhadnout, že v důsledku znečištění ovzduší touto škodlivinou byla celková úmrtnost navýšena o přibližně 3 % (při zohlednění průměrného 75 % zastoupení frakce $PM_{2,5}$ ve frakci PM_{10}) tj. přibližně o 3 100 osob. V pozadových lokalitách ČR bylo znečištění ovzduší aerosolem na úrovni hraničních hodnot (10 až $17 \mu g/m^3$).

Rozpětí koncentrací charakterizující míru znečištění suspendovanými částicemi frakce PM_{10} v různých typech městských lokalit popisuje graf č. 2.



Graf č. 2 Rozpětí ročních průměrů PM_{10} v roce 2019 v ČR a v typech městských lokalit

Pozn: Maximální hodnota ročního průměru frakce PM_{10} byla naměřena na stanici TVER (Veřňovice – $38,1 \mu g/m^3/rok$).

Doplněním výše uvedeného může být odhad počtu ztracených let života (tzv. YOLLS, Years of Life Lost) v důsledku znečištění ovzduší aerosolovými částicemi.

Vzhledem k dostupnosti demografických údajů ho lze provést pouze pro předcházející rok tj. rok 2018. Výpočet vychází z odhadu střední roční koncentrace PM_{10} v městských dopravou a průmyslem nezatížených oblastech, který v roce 2018 činil $24 \mu g/m^3$. Jako referenční hladina průměrné roční koncentrace bylo zvoleno $5 \mu g/m^3$ částic $PM_{2,5}$, což podle WHO představuje dolní interval koncentrací, ve kterém byly prokázány negativní zdravotní účinky jemných částic a na tuto hodnotu byly zaktualizovány všechny výpočty.

Podle provedeného odhadu činil v roce 2018 pro obyvatele ČR starší 30 let počet ztracených let života předčasným úmrtím následkem expozice znečištěnému ovzduší aerosolovými částicemi 80 600 let (tj. 760 let/100 000 obyvatel). Při akceptování značné míry zjednodušení lze výsledek interpretovat i tak, že každý obyvatel ČR starší 30 let v roce 2018 ztratil v průměru 2,8 dny života v důsledku předčasné úmrtnosti.

Tabulka č. 3 – počet roků ztráty života (zaokrouhлено na celá sta)

rok	rozsah	spodní hranice odhadu	střed	horní hranice odhadu
2012	ČR	28 500	84 600	143 200
2013	ČR	30 900	94 600	155 100
2014	ČR	29 400	84 500	147 400
2015	ČR	23 800	70 000	120 900
2016	ČR	24 400	62 100	109 100
2017	ČR	25 700	74 200	130 000

2018	ČR	27 900	80 600	141 00
------	----	--------	--------	--------

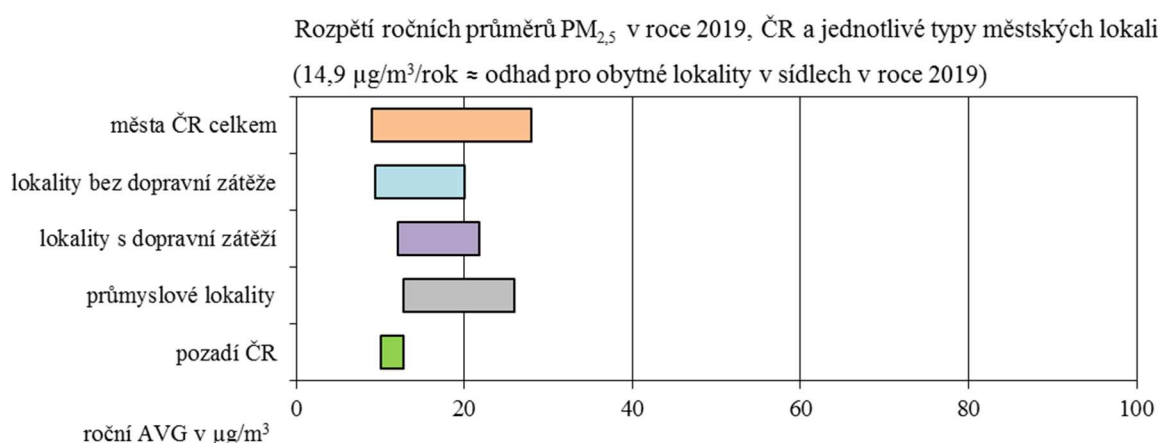
Poznámka: Počítáno pro městské oblasti nezatížené dopravou a průmyslem, odhad horní a spodní hranice vychází z funkce koncentrace-účinek doporučené v projektu Světové zdravotnické organizace HRAPIE RR= 1,062 (CI 95 % 1,40 - 1,083).

V tabulce č. 4. je přehled rozmezí ročních koncentrací PM_{2,5} a odhadu zvýšení celkové úmrtnosti. Základní koncentrace, při které by se s 95 % pravděpodobností úmrtnost neměla zvyšovat, je v tomto případě podle WHO průměrná roční koncentrace 10 µg/m³.

Tabulka č. 4. Rozpětí ročních průměrů PM_{2,5} v roce 2019 v ČR a v jednotlivých typech městských lokalit a odhad účinků

roční průměry rok 2019	PM _{2,5} (µg/m ³)		odhad navýšení celkové úmrtnosti v %	
	min	max	min	max
ČR	4,8	27,6	0	10,9
města celkem	9,4	27,6	0	10,9
lokality bez dopravní zátěže	9,4	20,0	0	6,2
lokality s dopravní zátěží	12,1	21,7	1,3	7,3
průmyslové lokality	12,8	26,0	1,7	9,9

Rozpětí koncentrací charakterizující míru znečištění suspendovanými částicemi frakce PM_{2,5} v různých typech lokalit popisuje graf č. 3.



Graf č. 3. 2019 - Rozpětí ročních průměrů PM_{2,5} v ČR a v jednotlivých typech městských lokalit

Pozn: Maximální městská hodnota ročního průměru frakce PM_{2,5} byla naměřena na stanici TVER (Věřňovice – 27,6 µg/m³/rok).

Odhad navýšení celkové předčasné úmrtnosti, ke kterému přispěla expozice suspendovaným částicím frakce PM_{2,5} se v roce 2019, podle míry zátěže konkrétní lokality, pohybovalo od 0 % v čistých městských lokalitách až po 10,9 % v oblastech zvláště intenzivně zatížených dopravou a průmyslem, případně dálkovým transportem. V roce 2019 byly v pozadových lokalitách ČR (4,8 až 10,1 µg/m³) měřeny zdravotně nevýznamné koncentrace suspendovaných částic frakce PM_{2,5}.

Přes mírné meziroční kolísání v letech 2012 až 2018 a mírný nárůst v letech 2017 a 2018, po výrazném poklesu v roce 2019 (vliv mimořádně příznivých rozptylových podmínek), trend ročních hodnot suspendovaných částic frakce PM₁₀ i frakce PM_{2,5} za posledních pět let, lze interpretovat jako klesající. Viz vývoj za období 1997 až 2019 na grafu

č. 1. v příloze č. 1 této zprávy. Městské prostředí ale stále, již od mírné zátěže dopravou spolu s lokalitami ovlivněnými průmyslem, představuje pro obyvatele zdravotní riziko.

Ozón

Přízemní ozón není do atmosféry emitován, ale vzniká fotochemickými reakcemi oxidů dusíku a těkavých organických látek. Znečištění ovzduší ozónem, které je typickou součástí tzv. letního smogu, může v teplém období roku dosahovat míry ovlivňující zdraví. Ozón má silně dráždivé účinky na oční spojivky a dýchací cesty a ve vyšších koncentracích způsobuje ztížené dýchání a zánětlivou reakci sliznic v dýchacích cestách. Zvýšeně citlivé vůči expozici ozonu jsou osoby s chronickými obstrukčními onemocněními plic a astmatem. Krátkodobá i dlouhodobá expozice ozónu ovlivňuje respirační nemocnost i úmrtnost. Chronická expozice ozónu zvyšuje četnost hospitalizací pro zhoršení astmatu u dětí a pro akutní zhoršení kardiovaskulárních a respiračních onemocnění u starších osob. Zvýšení denní maximální 8hodinové koncentrace o každých $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nad hladinu $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vede ke zvýšení celkové denní úmrtnosti o 0,3 %. Dopad na respirační úmrtnost u populace nad 30 let je odhadován na 1,4 % na každých $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ maximální denní průměrné 8hodinové koncentrace ozónu během období duben-září.

Oxid uhelnatý a oxid siřičitý

Znečištění ovzduší oxidem uhelnatým a oxidem siřičitým nepředstavovalo v roce 2019 v měřených sídlech významné zdravotní riziko, i když v případě oxidu siřičitého práh účinku pro 24hod. koncentraci nebyl epidemiologickými studiemi dosud zjištěn. Jen nárazově (celkem 14krát v roce 2019, z toho 7krát v Českém Těšíně) se vyskytly 24hodinové koncentrace oxidu siřičitého vyšší než $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Což představuje dvojnásobek cílové hodnoty doporučené WHO s vysokou mírou předběžné opatrnosti.

Bezprahově působící látky-arsen, nikl, kadmium a PAU (BaP)

Při hodnocení látek s karcinogenními účinky se vychází z teorie bezprahového působení. Ta předpokládá, že neexistuje žádná koncentrace, pod kterou by působení dané látky bylo nulové. Nelze zde tedy stanovit neúčinnou dávku a závislost dávky a účinku se vyjadřuje ukazatelem, vyjadřujícím míru karcinogenního potenciálu dané látky. Jde o pravděpodobnostní princip, kdy vyšší expozice neznamena závažnější poškození zdraví, ale vyšší pravděpodobnost jeho vzniku.

Ukazatel karcinogenního potenciálu se nazývá směrnice rakovinového rizika (Cancer Slope Factor – CSF, nebo Cancer Potency Slope – CPS). Jde o směrnici lineární závislosti vztahu mezi dávkou a účinkem, získanou matematickou extrapolací z vysokých dávek experimentálních, nebo vyskytujících se v pracovním prostředí, na nízké dávky reálné v životním prostředí.

Při hodnocení rizik z ovzduší se pro zjednodušení používá jednotka karcinogenního rizika (UCR), která je vztažena přímo ke koncentraci látky v ovzduší – viz. tabulka č. 1. V případě možného karcinogenního účinku je míra rizika vyjadřovaná jako celoživotní vzestup pravděpodobnosti vzniku nádorového onemocnění (Individual Lifetime Cancer Risk – ILCR) u jedince z exponované populace, tedy teoretický počet statisticky předpokládaných případů nádorového onemocnění na počet exponovaných osob nad výskyt v neovlivněné populaci. Za tzv. společensky únosnou míru karcinogenního rizika je v USA a zemích Evropské Unie obvykle považována hodnota 1×10^{-6} , což znamená zvýšení individuálního celoživotního

rizika onemocnění rakovinou o 1 případ na 1 000 000 exponovaných osob. Vzhledem k nejistotám ve výpočtu lze však považovat za akceptovatelnou řádovou úroveň rizika 10^{-6} . Z individuálního rizika a počtu osob v hodnocené populaci je možno odvodit populační riziko, které je vyjadřováno pro 1 rok. Hodnoty jednotkového rizika pro výpočet byly převzaty Air Quality Guidelines for Europe, 2th edition, z internetových stránek WHO a z dalších zdrojů (US EPA, HEAST).

Tabulka č. 5 - Vybrané škodliviny - použité hodnoty jednotkového rizika

Škodlivina	As	Ni	Cd	BENZ
Jednotka rizika	1,50E-03	3,80E-04	4,90E-04	6,00E-6
Škodlivina	BaP	BaA	BbF	BkF
Jednotka rizika	8,70E-02	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-05
Škodlivina	BghiP	DbahA	CRY	I123cdP
Jednotka rizika	1,00E-06	1,00E-03	1,00E-06	1,00E-04

Pozn: benzen (BENZ), Benzo[a]antracen (BaA), chrysen (CRY), benzo[b]fluoranten (BbF), benzo[j]fluoranthén (BjF), benzo[k]fluoranten (BkF), benzo[a]pyren (BaP), benzo[g,h,i]perylene (BghiP), dibenz[a,h]antracen (DbahA), indeno[1,2,3-c,d]pyren (I123cdP)

Pro Českou republiku a pro každý typ městské lokality bylo pro rok 2019 z ročních aritmetických průměrů z měřicích stanic vypočteno riziko odvozené z expozice jednotlivým látkám. Celkové karcinogenní riziko je součtem těchto dílčích rizik.

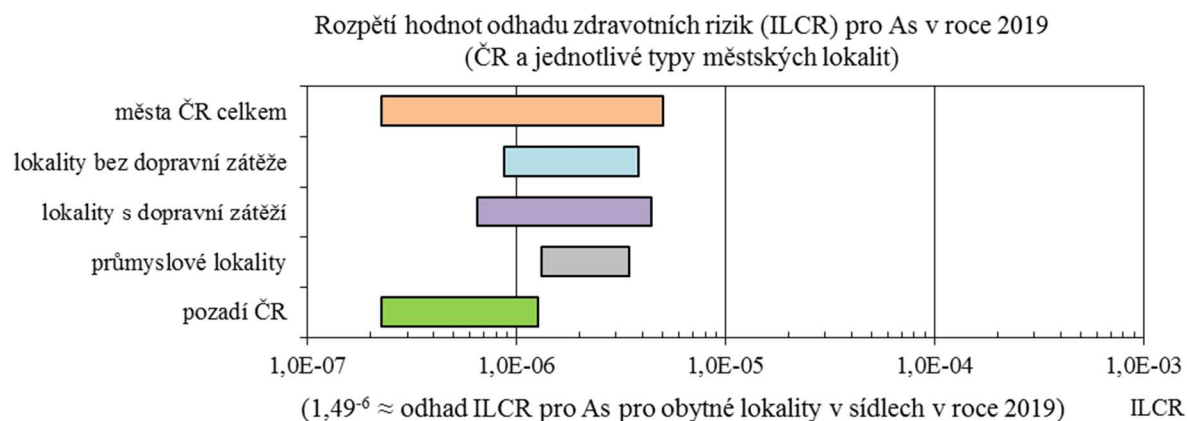
Arsen

Tabulka č. 6. Hodnoty individuálního a populačního rizika pro arsen

Arsen 2019	roční průměry (ng/m ³)		karcinogenní riziko (ILCR)		populační riziko	
	min	max	min	max	min	max
ČR (10,5 mil. obyvatel)	0,10	3,30	1,50E-07	4,95E-06	0,022	0,708
města (nad 5 tis. – 5,2 mil. ob.)	0,40	3,30	6,00E-07	4,95E-06	0,043	0,354
lokality bez dopravní zátěže	0,58	2,55	8,70E-07	3,83E-06	0,062	0,274
lokality s dopravní zátěží	0,43	2,94	6,45E-07	4,41E-06	0,046	0,315
průmyslové lokality	0,88	2,31	1,32E-06	3,47E-06	0,094	0,248

Pozn: Maximální hodnota v ČR byla naměřena na stanici SKLS ve Švermově u Kladna (3,3 ng/m³/rok). Hodnota reprezentuje vesnická a předměstská sídla, vyšší výskyt lokálních topenišť na pevná paliva.

Graf č. 4. Srovnání rozpětí teoretického odhadu pravděpodobnosti zvýšení počtu nádorových onemocnění z příjmu As z venkovního ovzduší v roce 2019 v ČR a pro jednotlivé typy městských lokalit



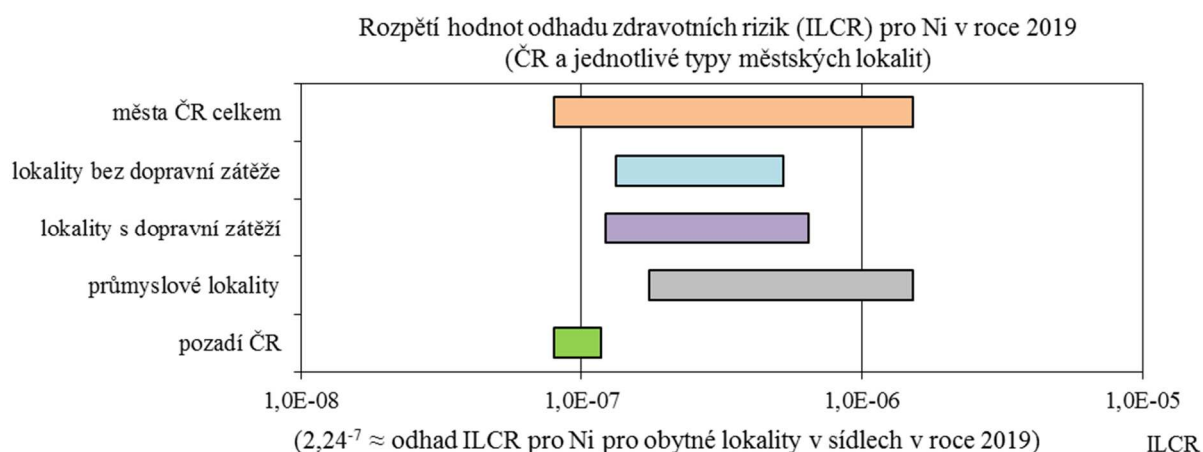
Individuální karcinogenní riziko odhadované na základě potenciální expozice koncentracím arsenu se v městských lokalitách pohybuje ve společensky přijatelném rozmezí od 2 případů na deset miliónů do pěti případů na milión obyvatel za 70 let. Populační riziko spočtené na základě odhadu střední hodnoty v sídlech v roce 2019 představuje na deset a půl miliónu obyvatel ČR 0,21 případu za 1 rok.

Nikl

Tabulka č. 7. Hodnoty individuálního a populačního rizika pro nikl

Nikl 2019	roční průměry (ng/m ³)		karcinogenní riziko (ILCR)		populační riziko	
	min	max	min	max	min	max
ČR (10,5 mil. obyvatel)	0,20	4,00	7,60E-08	1,52E-06	0,010	0,220
města (nad 5 tis. – 5,2 mil. ob.)	0,20	4,00	7,60E-08	1,52E-06	0,005	0,109
lokalita bez dopravní zátěže	0,35	1,38	1,33E-07	5,24E-07	0,010	0,037
lokalita s dopravní zátěží	0,32	1,70	1,22E-07	6,46E-07	0,009	0,046
průmyslové lokality	0,46	4,00	1,75E-07	1,52E-06	0,011	0,109

Individuální karcinogenní riziko odhadované na základě potenciální expozice koncentracím niklu se v městských lokalitách pohybuje ve společensky přijatelném rozmezí cca jednoho případu na 10 miliónů až jednoho případu na milión obyvatel za 70 let. Populační riziko spočtené na základě odhadu střední hodnoty v sídlech v roce 2019 představuje na deset a půl miliónu obyvatel ČR 0,02 případu za 1 rok.



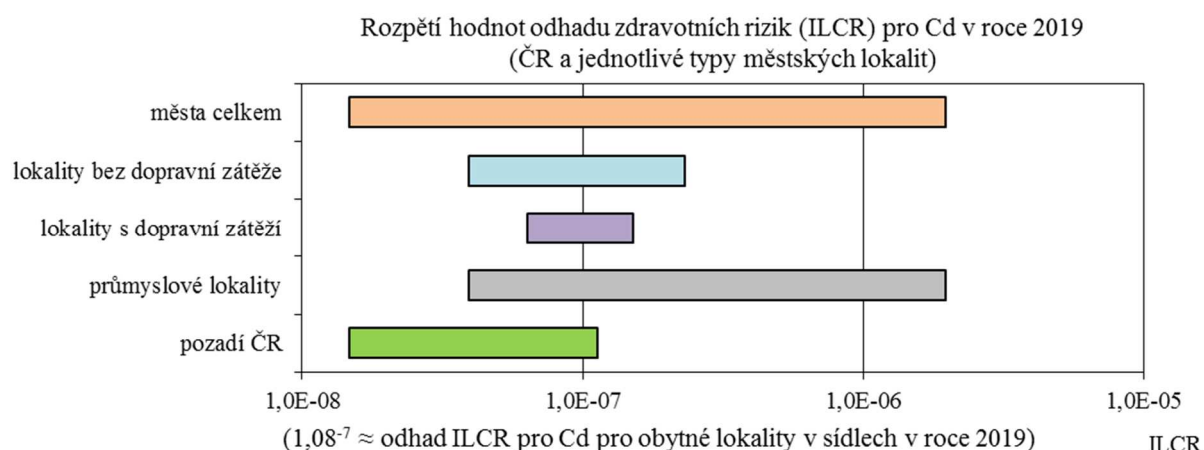
Graf č. 5. Srovnání rozpětí teoretického odhadu pravděpodobnosti zvýšení počtu nádorových onemocnění z příjmu Ni z venkovního ovzduší v roce 2019 v ČR a pro jednotlivé typy městských lokalit

Pozn: Maximální hodnota v ČR byla naměřena na stanici TOMH (Mariánské Hory v Ostravě - 4,0 ng/m³/rok).

Kadmium

Tabulka č. 8. Hodnoty individuálního a populačního rizika pro kadmium

Kadmium 2019	roční průměry (ng/m ³)		karcinogenní riziko (ILCR)		populační riziko	
	min	max	min	max	min	max
ČR (10,5 mil. obyvatel)	0,03	4,00	1,47E-08	1,96E-06	0,002	0,280
města (nad 5 tis. – 5,2 mil. ob.)	0,10	4,00	4,90E-08	1,96E-06	0,004	0,140
lokalita bez dopravní zátěže	0,08	0,47	3,92E-08	2,30E-07	0,003	0,016
lokalita s dopravní zátěží	0,13	0,31	6,37E-08	1,52E-07	0,005	0,011
průmyslové lokality	0,08	4,00	3,92E-08	1,96E-06	0,003	0,140



Graf č. 6. Srovnání rozpětí teoretického odhadu pravděpodobnosti zvýšení počtu nádorových onemocnění z příjmu Cd z venkovního ovzduší v roce 2019 v ČR a pro jednotlivé typy městských lokalit

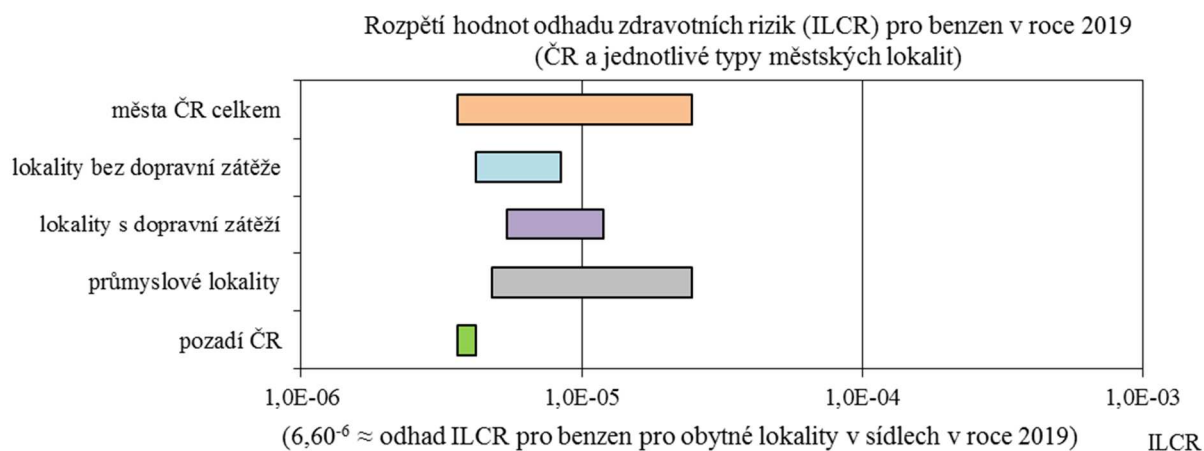
Pozn: Maximální hodnota v ČR byla naměřena na stanici LTAS (Tanvald - 4,00 ng/m³/rok).

Individuální karcinogenní riziko odhadované na základě potenciální expozice koncentracím kadmia se v městských lokalitách pohybuje ve zdravotně zanedbatelném přijatelném rozmezí od jednoho případu na 10 miliónů do dvou případů na milión obyvatel za 70 let. Populační riziko spočtené na základě odhadu střední hodnoty v sídlech v roce 2019 představuje na deset a půl miliónu obyvatel ČR 0,016 případu za 1 rok.

Benzen

Tabulka č. 9. Hodnoty individuálního a populačního rizika pro benzen

Benzen 2019	roční průměry (μg/m ³)		karcinogenní riziko (ILCR)		populační riziko	
	min	max	min	max	min	max
ČR (10,5 mil. obyvatel)	0,6	4,2	3,60E-06	2,52E-05	0,51	3,60
města (nad 5 tis. – 5,2 mil. ob.)	0,7	4,2	4,20E-06	2,52E-05	0,30	1,80
lokality bez dopravní zátěže	0,7	1,4	4,20E-06	8,40E-06	0,30	0,60
lokality s dopravní zátěží	0,9	2,0	5,40E-06	1,20E-05	0,39	0,85
průmyslové lokality	0,8	4,2	4,80E-06	2,52E-05	0,34	1,80



Graf č. 7. Srovnání rozpětí teoretického odhadu pravděpodobnosti zvýšení počtu nádorových onemocnění z příjmu benzenu z venkovního ovzduší v roce 2019 v ČR a pro jednotlivé typy městských lokalit

Pozn: Maximální hodnota v ČR byla naměřena na stanici TOPR (Přívoz v Ostravě - 4,2 μg/m³/rok).

Individuální karcinogenní riziko odhadované na základě potenciální expozice koncentracím benzenu se v městských lokalitách pohybuje ve zdravotně přijatelném rozmezí cca čtyř případů na milión až tří případů na 100 tisíc obyvatel za 70 let.

Populační riziko spočtené na základě odhadu střední hodnoty v sídlech v roce 2019 představuje na deset a půl miliónu obyvatel ČR 1 ≈ 1 případ za 1 rok.

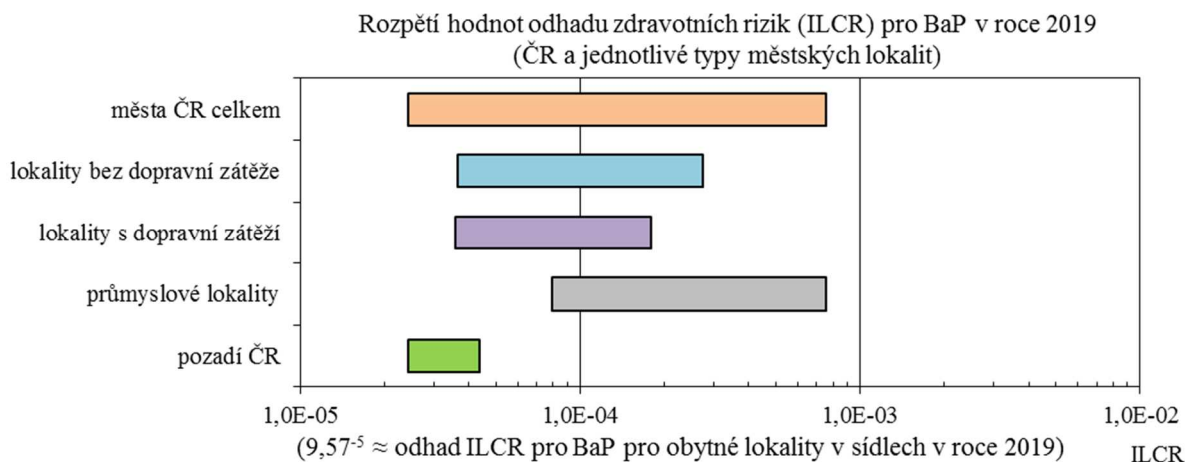
Benzo[a]pyren (BaP)

Tabulka č. 10. – Hodnoty individuálního a populačního rizika pro BaP (vypočteno pro 10,5 mil. obyvatel ČR a v případě městských lokalit pro 5,2 mil. obyvatel)

benzo[a]pyren (BaP) 2019	roční průměry (ng/m ³)		karcinogenní riziko (ILCR)		populační riziko	
	min	max	min	max	Min	max
ČR (10,5 mil. obyvatel)	0,3	8,7	2,61E-05	7,57E-04	3,72	108,1
města (nad 5 tis. – 5,2 mil. ob.)	0,4	8,7	3,48E-05	7,57E-04	2,49	54,1
lokality bez dopravní zátěže	0,4	3,1	3,48E-05	2,70E-04	2,49	19,3
lokality s dopravní zátěží	0,4	2,1	3,48E-05	1,83E-04	2,49	13,1
průmyslové lokality	0,9	8,7	7,83E-05	7,57E-04	5,59	54,1

Individuální karcinogenní riziko odhadované na základě potenciální expozice koncentracím PAU zastoupených BaP se v městských lokalitách pohybuje v rozmezí od cca 3 případů na 100 tisíc obyvatel do tří případů na deset tisíc obyvatel za 70 let. V průmyslem ovlivněných lokalitách je hodnota individuálního rizika vyšší než v ostatních městských lokalitách a představuje teoreticky od 1 do 8 případů na 10 tisíc obyvatel za 70 let.

Populační riziko BaP spočtené na základě odhadu střední hodnoty v sídlech v roce 2019 představuje na deset a půl miliónu obyvatel ČR přibližně sedm případů (6,8/rok).



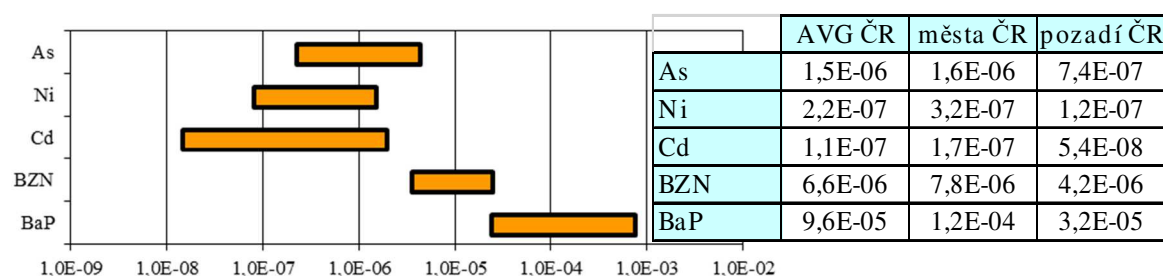
Graf č. 8. Srovnání rozpětí teoretického odhadu pravděpodobnosti zvýšení počtu nádorových onemocnění z příjmu BaP z venkovního ovzduší v roce 2019 v ČR a pro jednotlivé typy městských lokalit

Pozn: Maximální hodnota ročního průměru BaP v ČR byla naměřena na stanici TORO (Ostrava Radvanice - 8,7 ng/m³/rok).

Tabulka č. 11. – 2019 - Odhad celkového populačního rizika a populačního rizika pro jednotlivé látky (vypočteno pro 10,5 mil. obyvatel ČR a v případě městských lokalit pro 5,2 mil. obyvatel)

2019 - karcinogenní látky populační riziko	BaP		Arsen		Nikl		Kadmium	
	min	max	min	max	min	max	min	max
ČR (10,5 mil. obyvatel)	3,72	108,1	0,022	0,708	0,010	0,220	0,002	0,280
města (nad 5 tis. – 5,2 mil. ob.)	2,49	54,1	0,043	0,354	0,005	0,109	0,004	0,140
lokality bez dopravní zátěže	2,49	19,3	0,062	0,274	0,010	0,037	0,003	0,016
lokality s dopravní zátěží	2,49	13,1	0,046	0,315	0,009	0,046	0,005	0,011
průmyslové lokality	5,59	54,1	0,094	0,248	0,011	0,109	0,003	0,140
2019 - karcinogenní látky populační riziko	benzen		celkem					
	min	max	min	max				
ČR (10,5 mil. obyvatel)	0,51	3,60	4,26	112,91				
města (nad 5 tis. – 5,2 mil. ob.)	0,30	1,80	2,84	56,50				
lokality bez dopravní zátěže	0,30	0,60	2,87	20,23				
lokality s dopravní zátěží	0,39	0,85	2,94	14,32				
průmyslové lokality	0,34	1,80	6,04	56,40				

2019- Průměr za ČR a rozpětí odhadu pravděpodobnosti zvýšení počtu nádorových onemocnění (ILCR) z příjmu As, Ni, Cd, benzenu a BaP z venkovního ovzduší



Pozn.: Riziko $1,0E-03$ (dtto 10^{-3} , 1 z 1000) znamená pravděpodobnost zvýšení počtu nádorových onemocnění o 1 případ na 1 000 osob, $1,0E-07$ o 1 případ na 10 mil. osob atp.

Graf č. 9. - Srovnání rozpětí teoretického odhadu pravděpodobnosti zvýšení počtu nádorových onemocnění z příjmu As, Ni, Cd, benzenu a BaP z venkovního ovzduší v roce 2019 v ČR

Výše hodnocené látky s karcinogenním působením mohly v podmínkách ČR zvýšit riziko vzniku nádorového onemocnění za 70 let celoživotní expozice, podle typu lokality, o 1 až 8 případů na 10 tisíc obyvatel. Situace byla srovnatelná s rokem 2018.

Diskuze a nejistoty odhadu

Odhad zdravotních rizik je zatížen řadou nejistot, vyplývajících z použitých dat a postupů. Je to dáno tím, že řada vstupních dat je výsledkem aproximací a modelů, které doplňují chybějící data nutná pro vyhodnocení. Proto je jejich popis nedílnou součástí odhadu a je potřeba mít je na vědomí při jakémkoliv dalším používání uvedených závěrů. To platí např. pro oxidy dusíku. Provedený odhad rizika vybraných látek z ovzduší je zatížen následujícími nejistotami:

- Odhad předčasné úmrtnosti vychází ze studií, ve kterých byly pro charakterizaci znečištění ovzduší použity výsledky měření suspendovaných částic frakce $PM_{2,5}$. Tam, kde je k dispozici pouze informace o frakci PM_{10} , je podle doporučení WHO výpočet upraven podle národních podmínek. Ty vychází z vyhodnocení dlouhodobějšího souběžného měření frakcí PM_{10} a $PM_{2,5}$. Z dat za období 2006 až 2019 je možno odvodit, že střední hodnota zastoupení frakce $PM_{2,5}$ ve frakci PM_{10} je přibližně 75 %. **Pro Českou republiku tedy lze pro odhad navýšení předčasné úmrtnosti pro zvýšení hmotnostní koncentrace frakce PM_{10} o každých $10 \mu g/m^3$ používat faktor 4,65 % (místo 3,1 %) a adekvátně lze odvodit i spodní koncentrační hranici PM_{10} na úrovni $13,3 \mu g/m^3$.**
- Karcinogenní riziko hodnocené pomocí jednotek rizika odvozených lineární extrapolací z působení vysokých koncentrací nemusí odpovídat nízkým expozičním koncentracím, které se vyskytují ve venkovním ovzduší. Přesto je standardně používáno s vědomím, že představuje horní mez odhadu rizika a reálné riziko je pravděpodobně nižší.
- Použitý screeningový expoziční scénář uvažuje nejnepríznivější variantu (horní mez), která předpokládá, že lidé jsou vystaveni hodnoceným koncentracím celých 24 hodin. Tento přístup může nadhodnocovat míru rizika z venkovního ovzduší. Ve speciálních případech, kdy hodnocení celoživotní expozice z venkovního ovzduší (70 let) vychází z odhadu skutečné střední doby pobytu lidí ve venkovním prostředí (2 hodiny/24 hodin), je zapotřebí vynásobit uváděné hodnoty koeficientem 0,083. Při tomto přístupu ovšem chybí v expozičním scénáři expozice z vnitřního prostředí.
- Jako expoziční koncentrace je brána střední hodnota z koncentrací změřených na stacionárních stanicích charakterizujících určitý definovaný typ městské lokality/kategorie, kterou ale není možno provázat s konkrétním počtem obyvatel, kteří jsou takto exponováni.
- Nejistota provázející nemožnost odhadnout rizika pro všechny potenciální karcinogenní látky v ovzduší (pro absenci dat a vztahů).

7. Závěr

Odhad zdravotních rizik, na kterých se podílí expozice znečišťujícími látkami z venkovního ovzduší za rok 2019, byl zpracován pro látky, u kterých ve městech dochází k překročení stanovených imisních limitů, tj. pro oxid dusičitý, suspendované částice PM₁₀ a PM_{2,5}. Hodnocení PM₁₀ zahrnuje i účinky NO₂, protože tyto dvě znečišťující látky působí společně a nelze kvantifikovat pouze vliv NO₂. Samostatnou částí hodnocení zdravotních rizik je pravděpodobnostní odhad navýšení rizika vzniku nádorového onemocnění, vycházející z konceptu bezprahového působení. Toto hodnocení se zpracovává pro vybrané látky s možným karcinogenním účinkem (arsen, nikl, kadmium, benzen a suma karcinogenních polycyklických aromatických uhlovodíků – PAU, reprezentovaná benzo[a]pyrenem).

Zdravotní riziko se interpretuje jako pravděpodobnost změny zdravotního stavu exponovaných osob. Výpočet vychází z metodických postupů hodnocení rizik americké Agentury pro ochranu životního prostředí (US EPA) a Světové zdravotnické organizace (WHO) a používá vztahy publikované těmito organizacemi na základě rozsáhlého počtu epidemiologických studií a odborných prací z experimentální toxikologie.

Při hodnocení zdravotních rizik se standardně postupuje ve čtyřech následných krocích. Nejprve je identifikována **zdravotní nebezpečnost**, tedy to, zda je sledovaná látka, faktor nebo komplexní směs schopná vyvolat nežádoucí zdravotní účinek. Následuje odhad **dávkové závislosti** tohoto efektu, tedy jak se intenzita, frekvence nebo pravděpodobnost nežádoucích účinků mění s dávkou. Třetím a často nejsložitějším krokem v odhadu rizika je **odhad expozice**, to znamená, zda a do jaké míry je populace vystavena působení sledované látky či faktoru v daném prostředí. Konečným krokem v odhadu rizika je **charakterizace rizika**. Znamená integraci poznatků vyplývajících ze všech výše zmíněných kroků, včetně zvážení všech nejistot, závažnosti i slabých stránek použitých podkladových materiálů. Cílem je dospět, pokud to dostupné informace umožňují, ke kvantitativnímu vyjádření míry konkrétního zdravotního rizika za dané situace.

Tento postup, který bývá nejčastěji aplikován pro určitou konkrétní lokalitu a problém, byl použit pro toto hodnocení ovzduší v rámci dostupných podkladů pro Českou republiku. Protože pro hodnocení venkovských sídel nejsou k dispozici dostačující informace je zpracovaný odhad platný **pouze pro městské obyvatelstvo**. Na druhou stranu by mělo být rozpětí existujících hodnot v těchto malých sídlech zahrnuto v hodnocení České republiky jako celku.

Primární 24hodinová data pro hodnocení kvality ovzduší byla převzata převážně z databáze ISKO, následně byla zpracována v databázovém prostředí ISID a doplněna o hodnocení krátkodobých hodnot (hodinový průměr a osmihodinový klouzavý průměr) z tabelární ročenky ČHMÚ za rok 2019. Data byla zpracována ve formě rozpětíových intervalů pro jednotlivé látky (NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, As, Ni, Cd, benzen a BaP), a to jak pro celou Českou republiku (zahrnuje všechny městské měřicí stanice), tak pro vybrané typy městských lokalit (městské obytné bez dopravní zátěže, městské s dopravní zátěží a městské s průmyslovou zátěží).

I při uvědomění si poklesu, zvláště v případě suspendovaných částic o 5 až 10 µg/m³ ročního průměru, nejpravděpodobněji způsobeného dlouhodobějšími obdobími sucha a zvýšených teplot v létě, se stav zásadně nemění. Kvalita ovzduší v monitorovaných sídlech je významně ovlivňována meteorologickými podmínkami. Ty se mohou projevovat vyšší četností excesů a rychlých změn počasí zahrnujících dlouhodobější suchá období vysokých teplot, krátká období intenzivních srážek či zimní inverzní situace až plošného charakteru. Navíc je možno zimy v období 2013 – 2019 považovat v kontextu dlouhodobého vývoje za velmi mírné.

Znečištění ovzduší měst a městských aglomerací stále ovlivňuje zejména doprava, která je zde dominantním a v podstatě plošně působícím zdrojem znečištění ovzduší. Další spolupůsobící zdroje (energetické zdroje, CZT, domácí vytápění, malé a střední zdroje, průmysl) mají více lokální význam. Specifickou oblastí je Moravskoslezský kraj (MSK) s dlouhodobě zvýšenými hodnotami škodlivin ve venkovním ovzduší, kde mají zásadní význam emise z průmyslových zdrojů a dálkový transport škodlivin.

Konkrétně z odhadu zdravotních rizik v roce 2019 vyplývá následující:

Suspendované částice frakce PM₁₀ a PM_{2,5}

Odhad zdravotních rizik suspendovaných částic vychází z odborných podkladů, kde je uvedeno, že zvýšení průměrné roční koncentrace PM_{2,5} o 10 µg/m³ zvyšuje celkovou úmrtnost exponované populace průměrně o 6,2 %. V rámci úpravy tohoto výpočtu pro národní podmínky ČR pak zvýšení o každých 10 µg/m³ PM₁₀/rok nad 13,3 µg/m³ (při odhadu středního zastoupení frakce PM_{2,5} ve frakci PM₁₀ na úrovni 75 %) zvyšuje celkovou úmrtnost exponované populace o 4,65 %.

Z důvodů prozatím nedostatečného pokrytí území ČR měřeními frakce PM_{2,5} se při výpočtu zdravotních rizik vycházelo z měřených hodnot PM₁₀. Odhad vlivu znečištění ovzduší PM₁₀ na předčasnou úmrtnost populace (tj. na navýšení celkové úmrtnosti v ČR) se pohyboval od méně než 1 % v čistých oblastech až ≈ 11,5 % v oblastech zvláště intenzivně zatížených dopravou a průmyslem (nejvíce v průmyslově zatížené oblasti Ostravsko-Karvinska). V pozadových lokalitách ČR je znečištění ovzduší aerosolem na úrovni hraničních hodnot.

Celkový počet zemřelých obyvatel ČR v roce 2019 112,362 tisíc (ČSÚ 2019) tedy, po odečtení úmrtí způsobených úrazy a odečtení zemřelých mladších 30 let zahrnuje odhadované zvýšení předčasné úmrtnosti o cca 3 100 osob, které zemřely předčasně spolupůsobením expozice prachu frakce PM₁₀. Průběh hodnot má dlouhodobě kolísavý charakter, s maximem v roce 2003 a s minimem v roce 2019, a je významně závislý na meteorologických (rozptylových) podmínkách.

Odhad počtu ztracených let života (tzv. YOLLS, Years of Life Lost) v důsledku znečištění ovzduší aerosolovými částicemi bylo možno vzhledem k dostupnosti demografických údajů provést pouze pro předcházející rok tj. rok 2018. Podle provedeného odhadu činil v roce 2018 pro obyvatele ČR starší 30 let počet ztracených let života předčasným úmrtím následkem expozice znečištěnému ovzduší aerosolovými částicemi 80 600 let (tj. 760 let/100 000 obyvatel).

Látky s karcinogenním působením

Hodnocení jednotlivých látek:

Arsen – odhadované riziko se pohybuje v řádu jednotek případů na 10 miliónů obyvatel, ve více zatížených lokalitách se blíží hranici 5 případům z jednoho miliónu za 70 let. Jde tedy spíše o nízké zdravotní riziko. Jeho význam je dán skutečností, že se vždy jedná o emise z lokálně působících malých zdrojů nebo ze specifických zdrojů (velké průmyslové zdroje na Ostravsku).

Nikl – odhad rizika má rozmezí cca jednoho případu na 10 miliónů až jednoho případu na 1 milión za 70 let a jsou dlouhodobě na nízké postupně klesající úrovni. Opět se v případě nálezů zvýšených hodnot vždy jedná o emise z lokálně působících, malých, průmyslových, specifických zdrojů (ocelárny, galvanovny).

Kadmium – odhad rizika je na úrovni cca jednoho případu na 10 miliónů obyvatel za 70 let a jsou dlouhodobě nejnižší z hodnocených látek s karcinogenním působením. Specifickým případem jsou zvýšené hodnoty ze sklářské výroby v okolí Tanvaldu, kde mohou dosáhnout až hodnoty dvou případů na milión obyvatel za 70 let.

Benzen – odhad rizika je na úrovni cca čtyř případů na milión obyvatel za 70 let. V moravsko-slezských průmyslových oblastech mohou dosáhnout hodnot až tří případů na 100 tisíc obyvatel za 70 let.

PAU – největší navýšení rizika nádorového onemocnění dlouhodobě představuje expozice polycyklickým aromatickým uhlovodíkům (PAU), jejichž indikátorem je benzo[*a*]pyren. Z vypočtených hodnot pro jednotlivé typy městských lokalit lze velmi přibližně odhadnout, že vliv emisí PAU z dopravy, kombinovaný v některých lokalitách s emisemi z domácích topenišť, vede k navýšení zdravotních rizik o tři případy na 100 tisíc do třech případů na 10 tisíc obyvatel. V moravsko-slezských lokalitách ovlivněných velkými průmyslovými zdroji a dálkovým transportem je hodnota individuálního rizika vyšší než v ostatních městských lokalitách a představuje teoreticky 1 až 8 případů na 10 tisíc obyvatel za 70 let.

Výše hodnocené látky s karcinogenním působením mohly v roce 2019 v podmínkách ČR zvýšit riziko vzniku nádorového onemocnění při 70 leté celoživotní expozici, podle typu/kategorii lokality, o 1 až 8 případů na 10 tisíc obyvatel. Situace byla srovnatelná s roky 2017 a 2018.

8. Použitá literatura

- Air Quality Guidelines for Europe 2th edition, WHO Regional Office for Europe, WHO, Regional Publications, European Series, No. 91, WHO 2000
- WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants, WHO 2010
- Holgate S.T., Samet J.M., Koren H.S., Maynard R.L.: Air pollution and Health, Academic Pres, London, 1999
- WHO: WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide Global update 2005, Summary of risk assessment , Geneva 2006
- Hurley F et al.: Methodology for the cost-benefit analysis for CAFE. Volume 2: Heath Impact Assessment, European Commission 2005
- Pope C.A, Dockery D.W.: Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect- critical rewiev, Air and Waste Management Assoc., 2006, 56:709-742
- Pope C.A. et.all. Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution. Journal of the American medical Association, 2002, 287:1132-1141
- IARC Press Release N°221 17 October 2013: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths
- Samet, J. M.; Dominici, F.; Curriero, F. C.; Coursac, I.; Zeger, S. L. Fine Particulate Air Pollution and Mortality in 20 U.S. Cities, 1987–1994; N. Engl. J. Med. 2000, 343, 1742-1749.
- Bencko, V., Cikrt, M., Lener, J., Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka, Grada Publishing, Praha 1995
- RTECS R: Registry of Toxic Effects of Chemical Substances. National Institute for Occupational Safety and Health. CD-ROM. July 31, 2000. Englewood, Colorado: MICROMEDEX 2000.
- Risk assessment guidance for superfund Vol. I Human health evaluation Manual, Us EPA/540/1-89/002, December 1989.
- Metodický pokyn odboru ekologických rizik a monitoringu MŽP ČR k hodnocení rizik č.j. 1138/OER/94
- Manuál prevence v lékařské praxi díl VIII. Základy hodnocení zdravotních rizik, SZÚ Praha, 2000
- MZ ČR: Zásady a postupy hodnocení a řízení zdravotních rizik v činnostech odboru hygieny obecné a komunální, HEM-300-19.9.05/31639, 2005
- AN 17/05 Autorizační návod k hodnocení zdravotního rizika expozice chemickým látkám ve venkovním ovzduší, SZÚ 2015, <http://www.szu.cz/autorizace/autorizacni-navody-prohra> [říjen 2016]
- Toxicological Profile for Benzene. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology and Environmental Medicine/ ATSDR, 2007
- Addendum to the Toxicological Profile for Benzene. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology and Environmental Medicine. ATSDR 2015
- U.S.EPA: Integrated Risk Information System, Office of Research and Development, National Center for Enviromental Assessment, <http://www.epa.gov/iris/> [říjen 2016]

- WHO Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures, IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans; volume 92, 2010, ISBN 978 92 832 1292 8
- Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project (Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide), WHO Regional Office for Europe 2013
- WHO: Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP, Technical Report, WHO 2013
- European Commission, Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection: European Union Risk Assessment Report, Benzene, 2008.
- IARC Monographs on a review of human carcinogens: Chemical agents and related occupations. Volume 100F. A review of human carcinogens. IARC, Lyon, France. IARC, 2010. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100F/mono100F.pdf>. [říjen 2020]
- IARC Monographs on a review of human carcinogens: Outdoor Air Pollution. Volume 109. A review of human carcinogens. IARC, Lyon, France. IARC, 2016. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol109/mono109.pdf>. [říjen 2020]
- Development of an inhalation unit risk factor for cadmium, J. Haney Jr., Regulatory Toxicology and Pharmacology 77 (2016) 175e183).
- VINCETI, M. et al.: Leukemia risk in children exposed to benzene and PM10 from vehicular traffic: A case–control study in an Italian population. Eur J Epidemiol. 27.10:781–790. DOI 10.1007/s10654-012-9727-1, 2012. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3493667/> [říjen 2020]

Příloha č. 1:

Průběh odhadu hodnot navýšení celkové roční úmrtnosti o „předčasná úmrtí“ - střední hodnota a rozpětí hodnot v ČR v období 2007 až 2019

rok	2007	2008	2009	2010	2011
střední konc. PM ₁₀ v µg/m ³ v sídlech	23,7	23,0	23,9	25,2	27,2
Odhad počtu předčasných úmrtí a rozpětí odhadu	3 700 (0 - 18 700)	3 200 (0 - 12 500)	3 500 (0 - 14 600)	4 500 (0 - 24 400)	6 400 (0 - 16 100)
rok	2012	2013	2014	2015	2016
střední konc. PM ₁₀ v µg/m ³ v sídlech	26,0	26,6	25,5	23,9	21,0
Odhad počtu předčasných úmrtí a rozpětí odhadu	5 500 (0 - 17 200)	5 800 (0 - 15 200)	5 200 (700 - 13 400)	4 800 (0 - 11 900)	4 000 (0 - 11 262)
rok	2017	2018	2019		
střední konc. PM ₁₀ v µg/m ³ v sídlech	23,2	24,0	19,0		
Odhad počtu předčasných úmrtí a rozpětí odhadu	5 200 (0 - 12 984)	5 600 (0 - 13 280)	3 100 (0 - 10 920)		

Poznámky:

- Navýšení celkové úmrtnosti bylo počítáno z rozpětí měřených hodnot v ČR a z odhadu střední městské hodnoty pro Českou republiku. K odhadu průměrné městské hodnoty (městského pozadí) byla použita střední roční hmotnostní koncentrace vypočtená pro stanice charakterizující městské obytné zóny. Koncentrace byly zaokrouhleny na 1 desetinné místo.
- Hodnoty celkové roční úmrtnosti byly převzaty z podkladů ČSÚ.
- Při přepočtu účinků PM₁₀ bylo použito doporučení WHO, které dovoluje na základě použití odhadu střední hodnoty zastoupení frakce PM_{2,5} ve frakci PM₁₀ (v ČR na úrovni 75 %) úpravu používaných přepočtů.
- Navýšení počtu předčasných úmrtí pro hodnoty ročního průměru PM₁₀ ≤ 13,3 µg/m³ bylo hodnoceno jako 0.

Příloha č. 2

Průběhy ročních hodnot PM₁₀, PM_{2,5}, BaP, Ni, As od roku 1997 v obytných městských lokalitách a odhad hodnoty lineárního trendu

