

KE VLIVU ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ NA ÚMRTNOST V ČESKÉ REPUBLICE

TOWARDS THE EFFECTS OF AIRBORNE POLLUTION ON MORTALITY-RATES IN THE CZECH REPUBLIC

VLADIMÍRA PUKLOVÁ, MICHALA LUSTIGOVÁ, HELENA KAZMAROVÁ, BOHUMIL KOTLÍK

Státní zdravotní ústav, Praha

SOUHRN

Nejvýznamnějším zdravotním dopadem dlouhodobé expozice jemným aerosolovým částicím v ovzduší je předčasná úmrtnost a snižování naděje dožití. Pokusili jsme se přispět k odhadu počtu ztracených let života (YLL) a zkrácení naděje dožití v důsledku expozice obyvatel Česka aerosolovým částicím. Využili jsme k tomu imisní databázi vedenou v rámci Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ČR ve vztahu k životnímu prostředí ve Státním zdravotním ústavu. Výpočet byl proveden pro dva scénáře: pro stávající situaci ve srovnání s hladinou přirozeného pozadí $PM_{2.5}$ a pro případ 5% snížení střední roční koncentrace aerosolových částic frakce PM_{10} v sídlech. Podle odhadu činí podíl předčasných úmrtí v důsledku expozice částicím 6,9 % všech úmrtí (95% konfidenční interval CI 95% 2,6–12,7 %). Počet ztracených let života v důsledku znečištění ovzduší aerosolovými částicemi je odhadován na 95 719 (CI 95% 33 356–166 406) let, zkrácení naděje dožití pak o 8,6 (CI 95% 2,9–15,5) měsíce pro muže a 8,4 (CI 95% 2,8–15,1) měsíce pro ženy. Za předpokladu snížení střední koncentrační hladiny aerosolových částic frakce PM_{10} v sídlech o 5 % by bylo možno ušetřit 530 (CI 95% 190–890) předčasných úmrtí neboli 6850 (CI 95% 2440–11 570) let života.

Klíčová slova: ovzduší – znečištění, expozice aerosolovým částicím, předčasná úmrtnost, naděje dožití, Česká republika

SUMMARY

The most important health impact of long-term exposure to airborne fine particulate matter (PM) is premature mortality and reduced life expectancy. We have attempted to contribute to the assessment of the years of life lost (YLLs) and decreased life expectancy due to exposure of the Czech population to this pollutant, utilizing the concentration database maintained by the Environmental Health Monitoring System at the National Institute of Public Health. The evaluation was performed using two scenarios: the current situation against natural background $PM_{2.5}$ levels and the decrease of PM_{10} mean annual concentration in the municipalities by 5%. The estimated proportion of premature deaths due to air pollution represented 6.9% (CI 95% 2.6–12.7%) of the total death count. The number of YLLs was assessed to 95,719 (CI 95% 33,356–166,406), reduction of life expectancy was estimated by 8.6 (CI 95% 2.9–15.5) months in men and 8.4 (CI 95% 2.8–15.1) months in women. Assuming that the mean annual PM_{10} concentration in the municipalities has declined by 5%, a total of 530 (CI 95% 190–890) premature deaths could be prevented, statistically calculated as a total of 6,850 (CI 95% 2,440–11,570) life years.

Key words: airborne pollution, exposure to airborne particulate matter, premature deaths, life expectancy, Czech Republic

Úvod

V posledních dvou desetiletích je ve vyspělých zemích intenzivně zkoumána otázka vlivu krátkodobé i chronické expozice znečištěnému ovzduší na zdraví obyvatel. Jednou z nejvýznamnějších a současně nejdiskutovanějších znečišťujících látek ve venkovním ovzduší jsou aerosolové částice. Škála jejich účinků je široká, postihují zejména respirační a kardiovaskulární ústrojí, ale zasahují i do řady dalších procesů a funkcí v organismu. Bylo prokázáno, že expozice jemným aerosolovým částicím frakce $PM_{2.5}$ vyvolává prostřednictvím reaktivních volných kyslíkových radikálů zánětlivou reakci. Ta může vzniknout lokálně v plicích, anebo mohou radikály a prozánětlivé cytokiny přecházet do krevního oběhu; velmi jemné částice kromě toho pronikají do krevního oběhu přímo (1). Obojí je pak příčinou systémové zánětlivé odpovědi organismu, dochází k oxidačnímu stresu. Ten hraje kritickou úlohu v patologii mnoha

onemocnění, jako je ateroskleróza, kardiovaskulární a nádorová onemocnění, diabetes, revmatoidní artritida, neurodegenerativní onemocnění, urychlené stárnutí a další. Výzkumy naznačují, že v důsledku expozice jemným částicím dochází ke zvýšení srdečního tepu a krevního tlaku, nárůstu hladiny fibrinogenu a krevních koagulačních faktorů, k vazokonstrikci, cévní endoteliální dysfunkci apod. (1). Následky těchto jevů mohou být například myokardiální ischemie nebo zvýšená náchylnost k tvorbě plátů na cévních stěnách. Znečištění ovzduší tak urychluje vývoj aterosklerózy a zhoršuje její následky, zvyšuje též riziko trombózy, která může mít za následek akutní koronární syndrom (1). Znečištění ovzduší může vést k opakovaným infekcím dýchacích cest a následným chronickým respiračním symptomům spojeným se zkrácenou nadějí dožití (2). Citlivými skupinami obyvatelstva jsou pravděpodobně starší lidé a lidé s nízkým socio-ekonomickým statusem. Již existující zdravotní obtíže, jako například chronic-

ké plicní onemocnění, onemocnění srdce a věnčitých tepen a poruchy srdeční činnosti, mohou zvyšovat riziko úmrtí v důsledku znečištění ovzduší (1). Některé studie naznačují, že citlivou skupinou jsou rovněž lidé trpící diabetem; u diabetiků může být riziko akutní srdeční příhody v důsledku expozice aerosolovým částicím až 2krát vyšší než u lidí bez diabetu (3). Kromě vlivu na kardiopulmonální systém je v souvislosti s úmrtností prokazován vliv jemných aerosolových částic také na vznik nádorového onemocnění plic.

Tzv. krátkodobou úmrtností v důsledku znečištění ovzduší se rozumí úmrtnost následkem krátkodobě zvýšených koncentrací aerosolových částic v ovzduší. Je prokazována studii časových řad neboli testováním vztahu denních koncentrací a úmrtnosti s latencí několika dní. Takový dopad akutní expozice znečištěnému ovzduší je někdy nazýván pojmem „harvesting“, z anglického sklídit, pokácet. Tzv. dlouhodobá úmrtnost, zkoumaná mnohaletými kohortovými studii, vystihuje účinek dlouhodobé expozice aerosolovým částicím, která přispívá k chronickým zdravotním obtížím vedoucím ke zkrácení naděje dožití. Tedy také úmrtí, jež nastala v období nízkých koncentrací částic, mohou být atributivní znečištěnému ovzduší. Krátkodobá úmrtnost představuje jen malý zlomek v celém dynamickém působení znečištěného ovzduší na předčasnou úmrtnost.

Aplikací výsledků epidemiologických studií s cílem kvantifikovat dopady expozice aerosolovým částicím v ovzduší na zdraví se zabývala řada autorů (4, 5, 6, 7, 8 a další) a také evropské programy jako APHEA (Air Pollution and Health: A European Approach), APHEIS (Air Pollution and Health, a European Information System) nebo CAFE (Clean Air for Europe). Obvykle je v souvislosti s dlouhodobou expozicí odhadován počet předčasných úmrtí a počet ztracených let života a také zkrácení naděje dožití v důsledku expozice jemným aerosolovým částicím v ovzduší. V této práci jsme se snažili přispět k odhadu uvedených ukazatelů pro obyvatele České republiky.

Metodika

Odhad zdravotních dopadů v důsledku chronické expozice aerosolovým částicím jsme zpracovali pro dospělou populaci nad 30 let, v souladu s epidemiologickou

studií, ze které byla převzata funkce expozice–účinek, viz dále. Údaje o obyvatelstvu byly čerpány z veřejně dostupných statistik ČSÚ, jednak počet (exponovaných) obyvatel nad 30 let jako střední stav obyvatelstva k 1. 7. 2010 a dále údaje o intenzitě úmrtnosti bez vnějších příčin smrti (MKN10, dg. S00-T98) v roce 2010.

Pro odhad expozice byla použita imisní databáze vedená od roku 1997 v rámci Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ČR ve vztahu k životnímu prostředí ve Státním zdravotním ústavu. Databáze obsahuje údaje z měřicích stanic provozovaných zdravotními ústavu a z vybraných stanic řízených ČHMÚ.

Na základě poznatků o vyšší variabilitě expozice polutantům v rámci sídel nežli mezi sídly byl vypracován systém kategorizace lokalit (9). Lokality umístění měřicích stanic v sídlech zahrnutých do databáze SZÚ pro hodnocení zdravotních dopadů znečištěného ovzduší byly rozděleny do kategorií podle jejich charakteru a zdrojů znečištění (tab. 1), od kategorie lokalit s nízkou zátěží (lokální topeniště, nízký stupeň dopravní zátěže) po kategorie lokalit zatížených výrazně dopravou i průmyslovými zdroji. Bohužel, distribuce jednotlivých kategorií lokalit, a tedy příslušně exponovaných obyvatel v rámci sídel není známa. Pro odhad vlivu znečištění ovzduší aerosolovými částicemi na úmrtnost byla proto použita střední hodnota získaná na stanicích zařazených do kategorií 2–5. Lokality v tomto rozsahu kategorií dobře charakterizují typické prostředí sídel – obytné zóny s běžnými zdroji znečištění a s nízkou až vysokou dopravní zátěží (tab. 1). Do výpočtu nebyly zahrnuty lokality velmi silně zatížené dopravou a lokality silně ovlivněné průmyslem. Střední roční koncentrace PM_{10} pro posouzení dlouhodobého vlivu znečištění ovzduší byla získána za období let 2008 až 2010 a činila $24,2 \mu g/m^3 PM_{10}$.

Funkce expozice–účinek

Tato funkce vyjadřuje nárůst pravděpodobnosti výskytu zdravotního účinku spojený s daným nárůstem koncentrací polutantu. Pro odhad účinku aerosolových částic na celkovou úmrtnost bez vnějších příčin byla převzata z americké kohortové studie ACS (10) $RR = 1,06$ (pozorovaná pro frakci $PM_{2,5}$) při nárůstu koncentrace

Tab. 1: Kategorie městských lokalit podle charakteru zátěže (podle H. Kazmarové a kol. (9))

Kategorie	Charakterizace lokality
1	Městská pozadová bez významných zdrojů (parky, sportoviště apod.)
2	Městská obytná s lokálními zdroji REZZO 3, doprava do 2 tis. vozidel/24 hod.
3	Městská obytná bez lokálních zdrojů, dálkové vytápění, doprava do 2 tis. vozidel/24 hod.
4	Městská obytná s lokálním i dálkovým vytápěním, doprava 2–5 tis. vozidel/24 hod.
5	Městská obytná s lokálním i dálkovým vytápěním, doprava 5–10 tis. vozidel/24 hod.
6	Městská obytná s lokálním i dálkovým vytápěním, doprava nad 10 tis. vozidel/24 hod.
7	Městská obytná s více než 10 tis. vozidel/24 hod., uliční kaňony, tranzitní komunikace (hot spots)
8	Městská průmyslová s významným vlivem průmyslu, doprava do 10 tis. vozidel/24 hod.
9	Městská průmyslová s významným vlivem dopravy (10–25 tis. vozidel/24 hod.)
10	Městská průmyslová s velmi výrazným vlivem dopravy (nad 25 tis. vozidel/24 hod.)

o $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tato funkce byla doporučena Joint UNECE/WHO-ECEH Task Force on Health Aspects of Long Range Transboundary Air Pollution, 2004, a byla použita v řadě evropských studií (např. 6, 8), nebo programem CAFE (11) a APHEIS (12). Dolní a horní odhad vlivu na úmrtnost byl proveden pro 95% konfidenční interval relativního rizika RR CI 95% 1,02–1,11.

Zdravotní dopady byly ve studii ACS prokázány pro koncentrace aerosolových částic frakce $\text{PM}_{2,5}$. Frakce PM_{10} jsou však dosud měřeny v daleko širším měřítku, což vyvolává potřebu koncentrační údaje převést. Použili jsme konverzní koeficient $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10} = 0,75$, který zachycuje měnící se podíl jemných částic frakce $\text{PM}_{2,5}$ na obsahu měřených částic frakce PM_{10} s dostatečnou bezpečností před podhodnocením.

Volba referenční koncentrace, pod kterou není vliv aerosolových částic uvažován, je velmi významná pro výsledky odhadu vlivu znečištěného ovzduší na úmrtnost. Vzhledem k tomu, že se zatím nepodařilo zjistit koncentraci aerosolových částic, která by byla bez účinku, je s ohledem na nejcitlivější skupiny obyvatel možné použít nulovou koncentraci. Protože tento scénář je silně konzervativní, někteří autoři se přiklánějí k použití hladiny tzv. přírodního pozadí. Jiní počítají s bazální hladinou znečištění, danou např. stávající legislativou nebo doporučenými hodnotami Světové zdravotnické organizace (WHO), anebo počítají s procentním snížením koncentrací částic. V této studii jsme odhad vlivu znečištění ovzduší aerosolovými částicemi na úmrtnost provedli pro dvě varianty:

- Zvolená referenční hladina průměrné roční koncentrace je $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ částic $\text{PM}_{2,5}$, neboť podle WHO (13) dolní interval koncentrací, ve kterém byly prokázány negativní zdravotní účinky jemných částic, koresponduje de facto s hodnotou požadované koncentrace $3\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedná se o poměrně konzervativní scénář, použitý rovněž například Röösli a kol. (7) pro Švýcarsko nebo Künzli a kol. (4) pro Rakousko, Francii a Švýcarsko; výsledky jsou interpretovány jako dopady stávající úrovně znečištění ovzduší.
- Průměrnou střední roční expozici obyvatel sídel částicím PM_{10} v městském prostředí se podaří snížit o 5 %; výsledky jsou interpretovány jako profit v případě snížení zátěže ze znečištěného ovzduší.

Pro odhad počtu předčasných úmrtí E v důsledku znečištění ovzduší aerosolovými částicemi byl použit základní vztah, uvedený např. v práci B. Ostra (14):

$$E = AF \cdot B \cdot P, \quad [1]$$

kde AF – podíl účinku na zdraví atributivního znečištěného ovzduší (atributivní frakce),

B – úmrtnost bez vnějších příčin pozorovaná v populaci,

P – počet exponovaných obyvatel.

V daném případě bude platit:

$$AF = (\text{RR} - 1) / \text{RR} \quad [2]$$

$$\text{RR} = e^{(\ln \text{RR} \cdot \Delta C)}, \quad [3]$$

kde RR – jednotkové relativní riziko,

ΔC – změna velikosti expozice.

Pro analýzu počtu ztracených let života (YLLs, years of life lost) v důsledku znečištění ovzduší aerosolovými částicemi byly použity zkrácené úmrtnostní tabulky pro 5leté věkové skupiny a každé pohlaví zvlášť za rok 2010 (předpoklad podobných měr úmrtnosti v rámci věkové skupiny). Na základě dat o úmrtnosti byla spočtena naděje dožití e_x pro 5leté věkové skupiny mužů a žen za hypotetického předpokladu neexistence úmrtí v důsledku vnějších příčin. Počet ztracených let života YLL ve věkové skupině x a pro dané pohlaví x byl pak vypočten podle vztahu:

$$\text{YLL}_x = E_x \cdot e_x, \quad [4]$$

kde E_x – počet atributivních případů pro věk x a pohlaví x,

e_x – očekávaná délka života při eliminaci vnějších příčin úmrtí pro věk x a pohlaví x.

Pro odhad snížení naděje dožití byla vypočtena hypotetická míra úmrtnosti (bez vnějších příčin) s odstraněním vlivu znečištění ovzduší jemnými částicemi, a to adjustováním míry úmrtnosti v každé věkové skupině příslušným RR. Na základě této míry úmrtnosti byla prostřednictvím funkcí úmrtnostních tabulek vypočtena hypotetická očekávaná délka života bez vlivu úmrtí v důsledku vlivu aerosolových částic e_x^g . Rozdíl mezi očekávanou délkou života a očekávanou délkou života bez vlivu aerosolových částic byl získán přes všechny věkové skupiny a představuje průměrnou ztrátu naděje dožití v důsledku znečištění jemnými aerosolovými částicemi.

Výsledky

Podle provedeného odhadu činil počet předčasných úmrtí v důsledku znečištění ovzduší aerosolovými částicemi 7379 (CI 95% 2572–12 829) případů, což představuje 6,9 % všech zemřelých v ČR (CI 95% 2,6–12,7 %). Počet ztracených let života v důsledku znečištění ovzduší aerosolovými částicemi je odhadován na 95 719 (CI 95% 33 356–166 406) let, tj. 910 let/100 000 obyvatel (CI 95% 317–1582/100 000). Přestože porovnávat výsledky jednotlivých odhadů vlivu znečištění ovzduší na úmrtnost je velmi obtížné z důvodu případných metodických odlišností, lze konstatovat, že tento odhad koresponduje s odhadem provedeným pro ČR a rok 2000 v rámci programu CAFE 90 640 ztracených let (15).

Za předpokladu snížení průměrné expozice obyvatel částicím PM_{10} o 5 % by bylo ušetřeno zhruba 530 (CI 95% 190–890) předčasných úmrtí neboli 6850 (CI 95% 2440–11 570) let života. Kdybychom chtěli získat podobné hodnoty, k jakým došli autoři odhadu CAFE programu (15) pro rok 2020 po předpokládaném zavedení EU legislativy na ochranu ovzduší (tzn. návrhu směrnice Evropského parlamentu a Rady o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu (COM(2005)447)) v České republice, museli bychom počítat s 25% snížením průměrné expozice aerosolovým částicím na národní úrovni.

Odhad ztráty naděje dožití v důsledku znečištění ovzduší aerosolovými částicemi činí 8,6 (CI 95% 2,9–15,5) měsíce pro muže a 8,4 (CI 95% 2,8–15,1) měsíce

pro ženy; prediktivní odhady na počátku tisíciletí provedené v rámci programu CAFE pro českou populaci činily 7,2 měsíce pro rok 2010 a 5,7 měsíce pro rok 2020 (16).

Diskuse

Jednou z četných nejistot odhadu dopadů znečištěného ovzduší na zdraví je stanovení expozice. V podobných studiích bývají zdrojem environmentálních dat jednak imisní charakteristiky – průměry ročních hodnot koncentrací získaných na existujících měřicích stanicích (např. 6, 12) –, jednak emisní modely rozptylu v síti o kroku x kilometrů (např. 7, 4). Velmi významnou je zde i hodnota nejistoty stanovení hmotnostních koncentrací obou zájmových frakcí (PM_{10} a $PM_{2,5}$), daná nejednotností odběrových postupů a použitou volbou separace založené výhradně na hmotnosti částic. V této práci jsme využili výsledky měření sítě stacionárních stanic v sídlech. Střední koncentrace z měřicích stanic určitého typu, charakteristického pro prostředí sídel, samozřejmě představuje silné zjednodušení distribuce koncentrací vyznačujících se vysokou variabilitou a jen vzdáleně může přiblížit neznámou individuální expozici. Nicméně, jak uvádějí odborníci na danou problematiku (např. Martuzzi a kol. (17)), tento přístup ve studiích dopadů znečištěného ovzduší je konzistentní s přístupem použitým epidemiologickými studiemi, ve kterých jsou funkce expozice–účinek zjišťovány rovněž na základě průměrných koncentračních hodnot.

Měřicí stanice, z nichž byly použity údaje pro odhad, jsou umístěny v sídlech o velikosti zhruba od 15 000 obyvatel. Necelých 40 % obyvatel ČR však žije v menších sídlech o velikosti do 5000 obyvatel. O kvalitě ovzduší v menších sídlech není k dispozici mnoho informací. Tato sídla jsou často umístěna ve špatně provětrávaných údolích, jsou vytápěna lokálními topeništi na pevná paliva, v nichž je často spalován i domácí odpad, řada z nich je umístěna kolem dopravně zatížených silnic. Podle studie provedené v letech 2002/2003 ve třech malých českých obcích (18) lze průměrnou úroveň znečištění aerosolovými částicemi frakce PM_{10} v řadě malých sídel považovat za srovnatelnou s velkými městy. Průměrnou koncentrační hladinu aerosolových částic charakteristickou pro městské prostředí tak lze s určitou mírou nejistoty přisuzovat také prostředí menších sídel, byť sezonní průběh se v obou prostředích může významně lišit.

Velikost expozice $24,2 \mu\text{g}/\text{m}^3 PM_{10}$, použitá pro odhad, koresponduje s hodnotou střední koncentrace pro ČR $25,3 \mu\text{g}/\text{m}^3 PM_{10}$, uvedenou v odborné zprávě Evropského tematického centra pro znečištění ovzduší a zmírňování klimatických změn (ETC/ACM) (19). Tato hodnota byla získána modelováním imisních hodnot ze stanic zahrnutých v imisní databázi AirBase v síti 1×1 km jako počtem exponovaných obyvatel vážená expozice za rok 2009. Poněkud vyšší je tzv. průměrný expoziční indikátor, získaný jako tříletý průměr koncentrací $PM_{2,5}$ za období 2007–2009 z požadových městských měřicích stanic v ČR (s vyloučením dopravně a průmyslově zatížených stanic), uvedený v odborné zprávě Evropské agentury pro životní prostředí EEA (20).

Velikost účinku na jednotkovou změnu velikosti expozice jsme převzali z americké kohortové ACS studie,

stejně jako mnozí jiní autoři (6, 8, 11). Diskutovanou otázkou je, zda je možno přenést tento vztah z americké populace na evropskou, vzhledem k možnému vlivu odlišného životního stylu, klimatických podmínek, způsobu bydlení apod. Také složení aerosolových částic, určující jejich vlastnosti, jakož i míra spolupůsobení jiných složek znečištění než aerosolových částic mohou být odlišné. Optimálně by funkce expozice–účinek měla být odvozena v rámci stejné populace, pro jakou je odhad prováděn. Zatím však k zavedení funkce pro evropské podmínky není dostatek poznání, jakož ani pro přehodnocení stávajícího přístupu k odhadu zdravotních dopadů znečištěného ovzduší (21).

Z epidemiologických studií není také zcela jasné, zda se pozorovaná zvýšená úmrtnost týká pouze určitých podskupin obyvatel, definovaných věkem, profesí, socio-ekonomickým statusem nebo zdravotním stavem (a to s relativně větší ztrátou očekávané délky života), anebo zda se riziko být malé ztráty délky života týká všech jedinců v populaci; pak by ovšem počet atributivních úmrtí byl podle Rabla (22) logicky roven celkovému počtu úmrtí v populaci. Donedávna také nebylo jasné, zda dostčuje provádět odhady nejistot pouze prostřednictvím intervalu spolehlivosti funkce expozice–účinek, či zda mají být kvantifikovány další zdroje nepřesností. Optimální je hodnocení nepřesností odhadů pomocí pravděpodobnostních metod Monte Carlo. Tyto skutečnosti komplikují pokusy o kvantifikování zdravotních dopadů ze znečištěného ovzduší vzhledem k nejistotám při jejich interpretaci pro účely politických rozhodnutí.

Z dosud provedených studií, např. v rámci programu ExternE, vyplývá, že dopady na zdraví činí přes 90 % kvantifikovatelných nákladů v důsledku znečištění ovzduší, přičemž většina těchto nákladů jde na vrub úmrtnosti (23). Pro vyjádření ekonomických ztrát v důsledku předčasné úmrtnosti byl původně používán postup násobení počtu atributivních úmrtí cenou statistického života (VSL). Komunita odborníků, zabývající se ekonomickými dopady znečištění ovzduší, však preferuje vyčíslení dopadů pomocí počtu ztracených let života (např. 24). Pro předčasná úmrtí v důsledku znečištění ovzduší není vhodné použití hodnoty statistického života, neboť tato úmrtí jsou pravděpodobně spojena s daleko menším počtem ztracených let než nehody (typicky 30–40 let), z nichž je hodnota statistického života odvozena. Lepší řešení spočívá ve vyjádření průměrné změny očekávané délky života a hodnoty roku života (VOLY). Hodnoty ztracených let života bylo použito také v rámci projektu EC ExternE (25), který vyvinul metodiku monetárního hodnocení externích nákladů na energetiku, tedy i v důsledku znečištění ovzduší na zdraví.

Doc. Kříž ve své práci z roku 2011 (26) dává podnět k diskusi o ceně roku života ve vztahu k preventivním aktivitám. Jeho návrhy na vyjádření hodnoty roku života (roční náklady na hemodialýzu pro jednoho pacienta, odvození hodnoty roku života z HDP) se týkají produktivního života bez nemoci. V případě zkrácení naděje dožití, resp. ztracených let života v důsledku znečištění ovzduší však nelze s jistotou uvažovat o produktivních letech v plném zdraví, viz výše. Ve studii NEEDS (New Energy Externalities Development for Sustainability), která se zabývala odhady externích nákladů v důsledku znečištění ovzduší (27), byla metodou podmíněného

hodnocení zjišťována ochota platit (WTP) za snížení rizika předčasného úmrtí v důsledku znečištění ovzduší v devíti zemích Evropy, mimo jiné také v ČR (prostřednictvím Centra pro otázky životního prostředí UK). Užitek byl respondentům popisován nikoliv jako prodloužení života o několik (konkrétně tři a šest) měsíců na jeho sklonku, ale spíše v tom smyslu, že znečištění ovzduší celkově urychluje stárnutí. Podle autorů studie koncept hodnoty roku života zahrnuje také změnu kvality života před smrtí. Vzhledem k nereprezentativnímu vzorku obyvatel (pouze pro Prahu, nikoliv pro ČR, $n = 213$) nelze z této studie pro ČR odvodit specifickou hodnotu jednoho roku života. Nicméně spolu s daty z Maďarska a Polska byla v této studii vytvořena a doporučena hodnota jednoho roku života na základě ochoty platit prodloužení délky života pro nové členy EU, a to ve výši 33 000 eur. Vezmeme-li tuto hodnotu roku života zhruba ve výši 825 000 Kč, pak by finanční vyjádření ztráty let života v Česku v důsledku znečištěného ovzduší aerosolovými částicemi mohlo činit zhruba 79 mld. korun ročně.

Závěr

Provedený odhad dopadů znečištění ovzduší aerosolovými částicemi na úmrtnost a naději dožití obyvatel ČR v sobě nese značné nejistoty. Autoři však sdílejí názor, že přes potřebu nemalé generalizace, simplifikace a aplikace obtížně testovatelných předpokladů přináší tyto odhady, provedené podle uznávaných metodik doporučených nadnárodními organizacemi, užitečnou informaci pro využití výsledků výzkumu dopadů znečištění ovzduší v managementu zdravotních rizik.

Výsledky středního odhadu počtu ztracených let života v důsledku expozice obyvatel aerosolovým částicím korespondují spíše s odhadem provedeným na začátku tisíciletí v rámci evropského programu Clean Air for Europe pro rok 2000 nežli výhledově pro rok 2020. Kromě možných metodických odlišností odhadu může být příčinou zejména fakt, že po poklesu znečištění ovzduší v 90. letech minulého století koncentrace většiny znečišťujících látek od přelomu tisíciletí neklesají, jak bylo předpokládáno. Potvrzuje se také, že znečištění ovzduší znamená relativně malé riziko na úrovni jedince, nicméně vzhledem k širokému působení na všechny obyvatele má značné negativní důsledky pro veřejné zdraví.

LITERATURA

1. Brook RD, Franklin B, Cascio W, Hong Y, Howard G, Lipsett M, et al.; Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation*. 2004 Jun 1;109(21):2655-71.
2. Künzli N. The public health relevance of air pollution abatement. *Eur Respir J* [Internet]. 2002 Jul [cited 2012 Sep 5];20(1):198-209. Available from: <http://erj.ersjournals.com/content/20/1/198.full.pdf+html>.
3. O'Neill MS, Veves A, Zanobetti A, Sarnat JA, Gold DR, Economides PA, et al. Diabetes enhances vulnerability to particulate air pollution-associated impairment in vascular reactivity and endothelial function. *Circulation* [Internet]. 2005 Jun 7 [cited 2012 Sep 5];111(22):2913-20. Available from: <http://circ.ahajournals.org/content/111/22/2913.full.pdf+html>.
4. Künzli N, Kaiser R, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Filliger P, et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet*. 2000 Sep 2;356(9232):795-801.
5. Leksell I, Rabl A. Air pollution and mortality: quantification and valuation of years of life lost. *Risk Anal*. 2001 Oct;21(5):843-57.
6. Martuzzi M, Mitis F, Iavarone I, Serinelli M. Health impact of PM10 and ozone in 13 Italian cities. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2006.
7. Rösli M, Künzli N, Braun-Fahrländer C, Egger M. Years of life lost attributable to air pollution in Switzerland: dynamic exposure-response model. *Int J Epidemiol*. 2005 Oct;34(5):1029-35.
8. Orru H, Teinemaa E, Lai T, Tamm T, Kaasik M, Kimmel V, et al. Health impact assessment of particulate pollution in Tallinn using fine spatial resolution and modeling techniques. *Environ Health*. 2009 Mar 3;8:7.
9. Kazmarová H, Kotlík B, Mikešová M, Velická H, Vrbíková V, Hrušková H, et al. Zdravotní důsledky a rizika znečištění ovzduší: odborná zpráva za rok 2011. Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ČR ve vztahu k životnímu prostředí. Subsystem I [Internet]. Praha: SZÚ; 2011 [cit. 5. září 2012]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/odborne_zpravy/OZ_11/ovzdusi_2011.pdf.
10. Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*. 2002 Mar 6;287(9):1132-41.
11. Hurley F, Hunt A, Cowie H, Holland M, Miller B, Pye S, et al. Service contract for carrying out cost-benefit analysis of air quality related issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) programme. Methodology for the cost-benefit analysis for CAFE, v. 2. Health impact assessment [Internet]. Didcot: AEA Technology Environment; 2005 [cited 2012 Sep 5]. Available from: http://ec.europa.eu/environment/archives/cafe/pdf/cba_methodology_vol2.pdf.
12. Boldo E, Medina S, Le Tertre A, Hurley F, Mücke HG, Ballesster F, et al.; Aphis Group. Aphis: Health impact assessment of long-term exposure to PM(2.5) in 23 European cities. *Eur J Epidemiol*. 2006;21(6):449-58.
13. World Health Organization. WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment [Internet]. Geneva: WHO; 2006 [cited 2012 Sep 5]. Available from: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf.
14. Ostro B. Outdoor air pollution: assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Environmental burden of disease series, no. 5. Geneva: WHO; 2004.
15. Watkiss P, Pye S, Holland M. CAFE CBA: baseline analysis 2000 to 2020. Service contract for carrying out cost-benefit analysis of air quality related issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) programme. AEAT/ED51014/Baseline scenarios, issue 5 [Internet]. Didcot: AEA Technology Environment; 2005 [cited 2012 Sep 5]. Available from: http://www.cafe-cba.org/assets/baseline_analysis_2000-2020_05-05.pdf.
16. Amann M, Bertok I, Cofala J, Gyarfas F, Heyes C, Klimont Z, et al. Baseline scenarios for the Clean Air for Europe (CAFE) programme: final report. CAFE scenario analysis report, no. 1 [Internet]. Laxenburg: IIASA; 2005 [cited 2012

- Sep 5]. Available from: http://ec.europa.eu/environment/archives/cape/activities/pdf/cape_scenario_report_1.pdf.
17. Martuzzi M, Krzyzanowski M, Bertollini R. Health impact assessment of air pollution: providing further evidence for public health action. *Eur Respir J Suppl.* 2003 May;40:86s-91s.
 18. Kotlík B, Kazmarová H, Kvasničková S, Keder J. Kvalita ovzduší na českých vesnicích - stav v roce 2003 (malá sídla). *Ochr Ovzduší.* 2005;17(1):26-8.
 19. De Smet P, Horálek J, Kurfürst P, Schreiberová M, De Leeuw F. European air quality maps of ozone and PM10 for 2009 and their uncertainty analysis. ETC/ACM Technical paper 2011/11 [Internet]. Bilthoven: ETC/ACM; 2011 [cited 2012 Sep 5]. Available from: http://acm.eionet.europa.eu/reports/docs/ETCACM_TP_2011_11_AQMaps2009.pdf.
 20. Air quality in Europe - 2011 report. EEA Technical report, no. 12/2011 [Internet]. Copenhagen: EEA; 2011 [cited 2012 Sep 5]. Available from: <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2011>.
 21. Barrett K, de Leeuw F, Fiala J, Larssen S, Sundvor I, Fjellsbø L, et al. Health impacts and air pollution - an exploration of factors influencing estimates of air pollution impact upon the health of European citizens. ETC/ACC technical paper 2008/13 [Internet]. Bilthoven: ETC/ACC; 2008 [cited 2012 Sep 5]. Available from: http://acm.eionet.europa.eu/docs/ETCACC_TP_2008_13_HealthImpact_AirPoll.pdf.
 22. Rabl A. Interpretation of air pollution mortality: number of deaths or years of life lost? *J Air Waste Manag Assoc.* 2003 Jan;53(1):41-50.
 23. Desaiques B, Rabl A, Ami D, Kene BM, Masson S, Salomon M, et al. Monetary value of a life expectancy gain due to reduced air pollution: lessons from a contingent valuation in France. *Revue d'économie politique* [Internet]. 2007 [cited 2012 Sep 5];117(5):675-98. Available from: <http://www.cairn.info/revue-d-economie-politique-2007-5-page-675.htm>.
 24. Rabl A, Nathwani J, Pandey M, Hurley F. Improving policy responses to the risk of air pollution. *J Toxicol Environ Health A.* 2007 Feb 1;70(3-4):316-31.
 25. Bickel P, Friedrich R, editors. ExternE: externalities of energy: methodology 2005 update [Internet]. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2005 [cited 2012 Sep 5]. Available from: http://www.externe.info/externe_2006/.
 26. Kříž J. Prevence a ekonomika. *Hygiena.* 2011;56(3):89-94.
 27. Desaiques B, Ami D, Bartczak A, Braun-Kohlová M, Chilton S, Czajkowski M, et al. Economic valuation of air pollution mortality: A 9-country contingent valuation survey of value of a life year (VOLY). *Ecol Indic.* 2011;11(3):902-10.

Došlo do redakce: 23. 5. 2012

Přijato k tisku: 5. 9. 2012

RNDr. Vladimíra Puklová

Státní zdravotní ústav

Šrobárova 48

100 42 Praha 10

E-mail: puklova@szu.cz