

Zdravotní dopady spalování uhlí

KŘIVOHLAVÁ L.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta biomedicínského inženýrství, Kladno
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva
Děkan: prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.
Vedoucí: prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr. h. c.

Prakt. Lék. 2020; 100(6): xxx-xxx

SOUHRN

Spalování uhlí v elektrárnách produkuje více prachových částic, oxidů síry, dusíku a těžkých kovů na jednotku vyrobené energie než jakýkoliv jiný zdroj paliva. Uhlí je také dominantním zdrojem emisí CO₂ souvisejících s výrobou elektřiny a podle Mezinárodní energetické správy je spalování uhlí odpovědné za více než 30 % průměrného globálního nárůstu teploty (od doby před průmyslovým obdobím).

Změna klimatu je dnes široce uznávána jako největší globální hrozba 21. století. Dle WHO se očekává, že mezi lety 2030 a 2050 způsobí klimatická změna přibližně 250 000 dalších úmrtí ročně, způsobených tepelným stresem, podvýživou, průjmem a malárií.

KLÍČOVÁ SLOVA

uhlí – znečištění ovzduší – změna klimatu

SUMMARY

Křivohlavá L. Health effects of coal combustion

Burning coal in power plants emits more particulate matter, sulfur dioxide, nitrogen oxides, and heavy metals per unit of energy than any other fuel source. Coal is also the largest contributor to the human-made increase of CO₂ in the atmosphere and according to the International Energy Administration, coal combustion is responsible for more than 30% of the average

global temperature increase (since preindustrial times). Climate change is now widely recognised as the biggest global threat of the 21st century. Between 2030 and 2050, climate change is expected to cause approximately 250 000 additional deaths per year, from heat stress, malnutrition, diarrhoea and malaria (according to the WHO).

KEYWORDS

coal – air pollution – climate change

ÚVOD

Každá fáze životního cyklu uhlí (těžba, likvidace kontaminované vody a zbytků, přeprava, mytí, spalování a likvidace odpadů po spalování) vytváří znečišťující látky, které ovlivňují lidské zdraví. Ukázalo se, že komunity, ve kterých dochází k těžbě nebo spalování uhlí, mají významné zdravotní dopady. Náklady na zdraví a změnu klimatu u uhlí nejsou vidět, jestliže jsou však zahrnuty náklady na zdravotnické systémy, uhlí je drahé palivo (1). Těžba uhlí zůstává hlavním průmyslovým odvětvím, které má pracovníky ohrožené rozvojem chronického plicního onemocnění. Kromě pneumokoniózy a progresivní fibrózy může být u horníků podceňován i vývoj emfyzému a obstrukční plicní choroby (nezávislý na kouření). U nově zaměstnaných těžařů uhlí jsou bronchitické příznaky spojeny s rychlým poklesem plicních funkcí do 2 let po zahájení práce (2). Dle vědeckých studií za posledních 30 let je u lidí žijících v těsné blízkosti uhelných elektráren vyšší míra všech příčin předčasné úmrtnosti, zvýšené riziko onemocnění dýchacích cest a rakoviny plic, kardiovaskulární chorob, horší zdravotní stav dětí a vyšší kojenecká úmrtnost. Zvýšené zdravotní riziko bylo spojeno s vystavením látkám znečišťujícím ovzduší z emisí elektrárny a spektru těžkých kovů a radioaktivních izotopů v uhelném popelu (3). Například analýza příspěvku uhelných elektráren na západním Balkáně k dopadům a nákladům na zdraví EU ukazuje na významné břemeno, pokud jde o předčasnou úmrtnost, bronchitidu a astmatické příznaky u dětí, přijetí do nemocnice a ztracené pracovní dny (4). Uhlí je také nejhorším znečišťujícím fosilním palivem na světě a spalování uhlí je proto důležitou příčinou znečištění i změny klimatu.

Změny klimatu se mohou projevovat střídáním extrémního počasí (např. sucho, povodně), hrozí ohrožení potravinové bezpečnosti a nedostatek vody, a to nejen v oblastech blízko rovníku (1, 4, 5, 10).

ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

Dle údajů ministerstva životního prostředí OECD odhaduje, že celkové náklady spojené se znečištěným ovzduším odpovídaly v České republice v roce 2016 hodnotě 6 % HDP. Česká republika se se znečištěným ovzduším potýká již dlouhodobě a v rámci Evropské unie se řadí mezi státy s nejhorší kvalitou ovzduší. Obdobně jako téměř v celé Evropě patří mezi hlavní negativa znečištění atmosféry prašným aerosolem (PM) a přízemním ozónem (O₃), jež dosahují nadlimitních koncentrací. V devadesátých letech 20. století došlo v České republice ke zřetelnému snížení emisí řady polutantů – oxidu siřičitého (SO₂), prašného aerosolu (PM) či oxidů dusíku (Nox); od roku 2000 do roku 2003 byl však klesající trend přerušen a naopak došlo k nárůstu koncentrací těchto znečišťujících látek (6). Problematikou zdravotních důsledků znečištění vzduchu se v České republice zabývalo mnoho autorů. Na příklad v roce 1988 vyšla publikace prof. Symona a Bencka *Znečištění ovzduší a zdraví*. V letech 1991–1996 (Program Teplice I) a mezi lety 1997 a 1999 (program Teplice II) probíhaly studie výzkumu znečištění vzduchu a jeho vlivu na člověka. V rámci Programu Teplice se také sledovalo, jak znečištěné ovzduší působí na výsledky těhotenství. V této oblasti výzkumu byly získány originální výsledky, které prokazují vliv respirabilních prachových částic a karcinogenních polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) na nepříznivé výsledky těhotenství, což se

projevuje nízkou porodní hmotností a nitroděložní růstovou retardací (IUGR). Pro vznik takového poškození je rozhodující období 1. měsíce těhotenství, pravděpodobně zejména období kolem početí. Dejme et al. (2000) prokázali zvýšení výskytu IUGR, jestliže koncentrace PM10 během 1. měsíce těhotenství překročila $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a v případě karcinogenních PAU u překročení koncentrací $15 \text{ ng}/\text{m}^3$. Takové průměrné měsíční koncentrace PM10 a PAU nejsou výjimečné v průmyslových oblastech a ve většině měst České republiky v zimním období. V období vysokého znečištění ovzduší v zimě 1993 a 1994 vykazovaly vzorky z Teplic významné zvýšení abnormální morfologie spermií, tvaru hlaviček spermií, spermií s abnormální strukturou chromatinu a snížení pohyblivosti spermií. To dokazuje, že expozice vysoce znečištěnému ovzduší může způsobit i pokles kvality semene. Dalším novým poznatkem bylo zjištění vlivu znečištěného ovzduší na aneuploidii spermií (změny počtu chromozomů s významnými klinickými důsledky) (7).

V evropském regionu WHO každoročně způsobuje znečištění venkovního ovzduší asi 500 000 předčasných úmrtí a znečištění ovzduší v domácnosti je odpovědné za přibližně 120 000 předčasných úmrtí. Sedm milionů dětí v Evropě žije v oblastech, kde znečištění ovzduší překračuje limity doporučené WHO a taková expozice může ovlivnit vývoj mozku a kognitivních funkcí (4). Globálně je většina znečištění ovzduší způsobena spalováním fosilních paliv (uhlí, nafty, benzínu, ropy a zemního plynu) pro výrobu elektřiny, vytápění, dopravu a průmysl. Energetické spalování fosilních paliv v zemích s vysokými a středními příjmy a spalování biomasy v zemích s nízkými příjmy představují většinu globálního znečištění ovzduší a vytvářejí 85 % dýchacího znečištění částicemi ve vzduchu a téměř všechny emise oxidu siřičitého a oxidu dusíku atmosféře. Rovněž jsou emitovány černý uhlík, polycyklické aromatické uhlovodíky, oxidy dusíku a síry, rtuť a těžké chemikálie, které vytvářejí přízemní ozon (O_3). Všechny tyto látky jsou spojeny s více nepříznivými zdravotními účinky (nejen) u dětí. Znečištění ovzduší ovlivňuje prakticky všechny země světa a všechny části společnosti; pouze jedna osoba z deseti žije ve městě, které splňuje pokyny WHO pro kvalitu ovzduší. Znečištění ovzduší v domácnostech je důležitým rizikovým faktorem pro odhadované 2,9 miliardy lidí na celém světě, zejména v zemích s nízkými a středními příjmy, kde se paliva na biomasu a uhlí běžně spalují pro vaření a vytápění. Celkem žijí přibližně 2 miliardy dětí v oblasti, které přesahují roční směrnici WHO pro jemné částice $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (koncentrace jemných částic, která představuje dlouhodobé nebezpečí vdechnutí). Asi 300 milionů dětí v současnosti žije v oblastech, kde znečištění venkovního ovzduší překračuje mezinárodní směrnice nejméně šestkrát (8). Při spalování uhlí se za kilowatthodinu generuje více částic, těžkých kovů, oxidu siřičitého a oxidu dusíku než při spalování zemního plynu nebo jiných paliv. Znečišťující látky vznikající při spalování uhlí přispívají k rozšíření patologie orgánových systémů a k podstatně větší úmrtnosti a nemocnosti ve srovnání s jinými zdroji paliva. Odhaduje se, že samotné emise částic (bez plynných polutantů) z uhelných elektráren jsou ve Spojených státech odpovědné až za 52 000 předčasných úmrtí ročně. Odhad pro Čínu je 670 000 předčasných ročních úmrtí a pro Indii 80 000 až 115 000. Znečištění ovzduší nyní postihuje většinu světové populace; nejvíce se akutní expozice vyskytují ve městech a pokles kvality ovzduší je nejvýraznější v rozvojových zemích (9).

Emise z evropských uhelných elektráren významně přispívají k zátěži způsobené znečištěním. Spalováním uhlí je způsobeno více než 18 200 předčasných úmrtí a více než 8500 nových

případů chronické bronchitidy a v celé EU je ztraceno více než 4 miliony pracovních dnů. Ekonomické náklady na poškození zdraví v Evropě se odhadují na 42,8 miliard eur ročně. Emisím uhlí v Německu je každoročně připisováno přibližně 2700 úmrtí a více než 600 000 ztracených pracovních dnů. Vnější náklady německých uhelných elektráren na lidské zdraví se odhadují na 2,3 až 6,4 miliardy eur ročně, které jsou způsobeny hlavně respiračními a kardiovaskulárními chorobami, které patří mezi nejdůležitější chronická onemocnění v Evropě. Elektrárny na uhlí v Polsku, Rumunsku a Německu jsou společně odpovědné na více než polovinu nákladů na zdravotnictví, přičemž Spolková republika je na druhém místě s Rumunskem. Velký dopad má také využívání uhlí v Bulharsku, Francii, Řecku, Velké Británii, Srbsku, České republice a v Turecku (10).

ZNEČIŠTĚNÍ PŮDY A VODY

Spalování uhlí v elektrárnách vytváří odpadní vedlejší produkty, zejména uhelný popel. Uhlenný popel obsahuje radioaktivní prvky, minerály a těžké kovy, jako je arsen, rtuť, kadmium a olovo. Přibližně 80 % popílku z uhlí je polétlavý dýchací popílek. Uhlenný popel se obvykle ukládá do nádrží, které obsahují směs jemného prášku a kalu, často se nacházejí v blízkosti obytných komunit. Ve Spojených státech se ročně vyprodukuje přibližně 140 milionů tun uhelného popela. Únik uhelného popela, jako byl ten v Kingstonu v Tennessee v roce 2008, může uvolnit do životního prostředí vysoké úrovně toxických prvků a radioaktivity. Výzkum zdokumentoval zvýšené zdravotní problémy u dětí, které bydlí poblíž nádrží na popel z uhlí. Společnost Kravchenko & Lierly uvádí, že úložiště uhelného popílku jsou nepřiměřeně často umístěna v blízkosti nízkopříjmových komunit a vyskytuje se zde kontaminovaná voda a půda, stejně jako vysoké úrovně PAU a rtuti, arsenu, kadmia, chromu, olova, niklu, zinku a dalších látek (9).

ZMĚNY KLIMATU

Je to asi 30 let, co se v prominentních vědeckých časopisech poprvé objevila varování o potenciálních obrovských dopadech na lidské zdraví v důsledku změn klimatu a dalších globálních změn v životním prostředí. Kroky k řešení těchto narůstajících hrozeb jsou celosvětově nedostatečné jak v měřítku, tak v rychlosti. Například příslibené národní příspěvky ke snížení emisí skleníkových plynů – stanovené v Pařížské dohodě o změně klimatu z roku 2015 – jsou prvním krokem, ale i když by byly plně implementovány (a to v žádném případě není jisté), je pravděpodobné, že průměrné globální teploty budou vyšší než 3 °C nad předindustriálními úrovněmi do konce století. S očekávanými vyššími úrovněmi zahřívání nad pevninou než nad oceány, doprovázenými změnami vzorců srážek, jsou dlouhodobé důsledky pro lidské zdraví dalekosáhlé (11).

Dle zprávy evropských vědeckých akademií lze rizika spojená s klimatickou změnou rozdělit na přímá a nepřímá. Mezi přímá rizika patří rostoucí teploty a opakované vlny veder, častější období sucha, častější záplavy, zvyšování mořské hladiny, zvýšené riziko požárů a další extrémní jevy počasí. Nepřímá rizika týkající se ekosystému zahrnují znečištění, vzestup alergenů, zhoršenou dostupnost vody a její kvalitu, problémy se zajištěním potravy a výživy či nebezpečí infekčních nemocí. Mezi nepřímá společenská rizika patří migrace, narušení infrastruktury a zdravotních služeb, ekonomický dopad, snížení produktivity práce a konflikty/války. Zdravotní dopady se projevují nejen vzestupem infekčních nemocí, ale i kardiovaskulárních, cerebrovaskulárních a respiračních onemocnění, včetně alergií,

dále vlivy na duševní zdraví, podvýživou a zraněními spojenými s ohrožením násilnostmi a zabitím apod. (4).

Výroba energie z uhlí lze přičíst 20 % všech evropských emisí skleníkových plynů (10). Globální problém s klimatem se dá vyřešit, pokud rychle vyřadíme emise CO₂ z využívání uhlí a zakážeme emise z nekonvenčních fosilních paliv (např. ropných břidlic a dehtových písků) přibližně do roku 2030. Odstranění dotací na fosilní paliva a podstatně rostoucí cena emisí uhlíku jsou základními požadavky pro čistou budoucnost bez emisí (12).

PŘÍMÝ VLIV CO₂

Spalování uhlí do atmosféry na jednotku tepelné energie přidává značné množství oxidu uhličitého (CO₂) více než spalování jiných fosilních paliv (13). Hladiny CO₂ v atmosféře jsou vyšší, než tomu bylo v posledních 400 000 letech. Během doby ledové se hladiny CO₂ pohybovaly kolem 200 ppm a během teplejších interglaciálních období se pohybovaly kolem 280 ppm. V roce 2013 překročily hladiny CO₂ poprvé v zaznamenané historii 400 ppm. Toto nedávné neustálé zvyšování CO₂ ukazuje pozoruhodně konstantní vztah se spalováním fosilních paliv a lze jej dobře vysvětlit na základě jednoduchého předpokladu, že asi 60 % emisí fosilních paliv zůstává ve vzduchu (14). Existuje potenciální zdravotní riziko chronické environmentální expozice zvýšenému CO₂ v okolí, zahrnující zánět, snížení kognitivních schopností vyšší úrovně, demineralizaci kostí, kalcifikaci ledvin, oxidační stres a endoteliální dysfunkci. Tento časný důkaz ukazuje na potenciální zdravotní rizika při expozicích CO₂ již od prahu 1000 ppm, který je již překročen v mnoha vnitřních prostředích se zvýšenou obsazeností místnosti a sníženou rychlostí větrání budov, což odpovídá některým odhadům koncentrací venkovního vzduchu ve městech před rokem 2100 (15). Při vystavení CO₂ v koncentracích od 500 do 5000 ppm byly patrné lineární fyziologické změny v oběhových, kardiovaskulárních a autonomních systémech. Experimentální studie na lidech naznačují, že krátkodobá expozice CO₂ počínaje 1000 ppm ovlivňuje kognitivní výkony, včetně rozhodování a řešení problémů (16).

Nepřetržitě vystavení zvýšenému atmosférickému CO₂ by mohlo být přehlíženým stresorem moderního a budoucího prostředí. Je zapotřebí dalšího výzkumu, aby se kvantifikovaly hlavní zdroje expozice CO₂, identifikovaly se strategie zmírňování, aby se zabránilo nepříznivým účinkům na zdraví a chránila se zranitelná populace a aby se plně porozumělo možným zdravotním účinkům chronického nebo přerušovaného vystavení vzduchu s vyššími koncentracemi CO₂ (15).

ZÁVĚR

Pouze z důvodů změny klimatu bychom měli co nejdříve ukončit spalování uhlí zejména pro výrobu elektřiny. Jeho kontraindikace se zhoršují, když zvažujeme jeho přímé nepříznivé dopady na veřejné zdraví během fáze těžby a zpracování, spalování, likvidace odpadu i přímý vliv CO₂ na zdraví. Tyto dopady mají nepřiměřené důsledky zejména pro populace, které již čelí dalším sociálně-ekonomickým nevýhodám. K tomuto ukončení těžby a spalování uhlí by mělo dojít do roku 2030. Z hlediska sociálních dopadů bude nutná podpora regionů a obyvatel na těžbě a zpracování uhlí závislých.

Konflikt zájmů: žádný.

Literatura

1. Castleden WM, Shearman D, Crisp G, Finch P. The mining and burning of coal: effects on health and the environment. *Med J Aust* 2011; 195(6): 333–335.
2. Santo TLH, Emphysema and chronic obstructive pulmonary disease in coal miners. *Curr Opin Pulm Med* 2011; 17(2): 123–125 [cit. 2020-10-18].
3. Kravchenko J, Lyerly KH. The Impact of Coal-Powered Electrical Plants and Coal Ash Impoundments on the Health of Residential Communities. *N C Med J* 2018; 79(5): 289–300 [cit. 2020-10-19].
4. EASAC. The imperative of climate action to protect human health in Europe [online]. Dostupné z: https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Climate_Change_and_Health/EASAC_Report_No_38_Climate_Change_and_Health.pdf [cit. 2020-07-17].
5. Sajjad A, et al. Climate Change and Its Impact on the Yield of Major Food Crops: Evidence from Pakistan. *Food* 2017; 6(6): 39.
6. Česalová K. Environmentální historie znečištění ovzduší na příkladu vybraných závažných situací ve světě (bakalářská práce, 2013), [online]. Dostupné z: https://geography.upol.cz/soubory/studium/bp/2013-geo/2013_Cesalova.pdf [cit. 2020-10-17].
7. Šrám RJ. Vliv znečištění ovzduší na zdraví obyvatel – Program Teplice [online]. Dostupné z: <https://www.sisyfos.cz/clanek/207-vliv-zneucisteni-ovzdusi-na-zdravi-obyvatel-program-teplice> [cit. 2020-09-22].
8. Perera F. Pollution from fossil-fuel combustion is the leading environmental threat to global pediatric health and equity: solutions exist. *Int J Environ Res Public Health* 2018; 15(1): 16 [online]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5800116/> [cit. 2020-07-17].
9. Hendryx M, Zullig KJ, Luo J. Impacts of coal use on health. *Annu Rev Public Health* 2020; 41: 397–415 [online]. Dostupné z: <https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-publhealth-040119-094104> [cit. 2020-07-17].
10. HEAL. Was Kohlestrom wirklich kostet (Gesundheitsfolgen und externe Kosten durch Schadstoffemissionen) [online]. Dostupné z: https://www.env-health.org/IMG/pdf/heal_coal_report_de.pdf [cit. 2020-07-17].
11. Haynes A, Scheelbeek P, Abbasi K. The health case for urgent action on climate change. *BMJ*. 2020; 368: m1103 [online]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7190277/> [cit. 2020-07-17].
12. Kharecha PA, Kutscher CF, Hansen JE, Mazria E. Options for near-term phaseout of CO₂ emissions from coal use in the United States. *Environ Sci Technol* 2010; 44(11): 4050–4062.
13. Hong BD, Slatick ER. Carbon dioxide emission factors for coal [online]. Dostupné z: https://www.eia.gov/coal/production/quarterly/co2_article/co2.html [cit. 2020-07-17].
14. NASA. Graphic: The relentless rise of carbon dioxide [online]. Dostupné z: https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/ [cit. 2020-07-17].
15. Jacobson TA, Kler JS, Hernke MT, et al. Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide. *Nat Sustain* 2019; 2: 691–701 [cit. 2020-07-18].
16. Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: a short review on human health and psychomotor performance. *Environ Int* 2018; 121(Pt 1): 51–56 [cit. 2020-07-18].

ADRESA PRO KORESPONDENCI:

MUDr. Lucie Křivohlavá

Praktik-Vysočina, s.r.o.

Masarykova 355, 594 70 Kamenice nad Lipou
e-mail: lucie@krivohlav.cz