

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI**

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie



Kristýna ČESALOVÁ

**Environmentální historie znečištění ovzduší na  
příkladu vybraných závažných situací ve světě**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Martin JUREK, Ph.D.

Olomouc 2013

## Bibliografický záznam

- Autor (osobní číslo):** Kristýna Česalová (R100624)
- Studijní obor:** Učitelství geografie pro SŠ (kombinace Ch-Z)
- Název práce:** Environmentální historie znečištění ovzduší na příkladu vybraných závažných situací ve světě
- Title of thesis:** Environmental history of air pollution on the example of selected serious situations in the world
- Vedoucí práce:** RNDr. Martin Jurek, Ph.D.
- Rozsah práce:** 57 stran

**Abstrakt:** Tato bakalářská práce se věnuje tématu antropogenního znečištění ovzduší v moderní historii. U několika závažných situací jsou popsány příčiny jejich vzniku, průběh, dopad na lidské zdraví a jejich důsledky. Vybranými případovými studii jsou průmyslové znečištění v pensylvánské Donoře, Velký londýnský smog, fotochemický smog v Los Angeles, havárie v Bhopálu a okyselení srážek ve Skandinávii. Následuje i stručná charakteristika poměrů znečištění ovzduší v České republice. Důraz u zmíněných environmentálních situací je kladen na jejich vliv na vývoj ochrany ovzduší ve světě.

**Klíčová slova:** znečištění ovzduší, Donora, Bhopál, smog, kyselý déšť, případová studie

**Abstract:** This Bachelor thesis deals with the topic of anthropogenic air pollution in modern history. Several serious situations are described in terms of the causes of their origin, their course, the impact on human health and their consequences. Selected case studies are the industrial pollution in Donora, Pennsylvania, the Great London Smog, photochemical smog in Los Angeles, the Bhopal disaster and acidification of precipitation in Scandinavia. A brief description of the conditions of air pollution in the Czech Republic follows. As for the aforementioned environmental situations, the emphasis is put on their influence on development of air conservation in the world.

**Keywords:** air pollution, Donora, Bhopal, smog, acid rain, case study

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Environmentální historie znečištění ovzduší na příkladu vybraných závažných situací ve světě* vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Martina Jurka, Ph.D. a veškerou použitou literaturu uvedla v seznamu literatury na konci práce.

Zároveň souhlasím s uložení práce v knihovně Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci a jejím zpřístupněním ke studijním účelům.

V Olomouci dne 10. 5. 2013

.....

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu své bakalářské práce, panu RNDr. Martinu Jurkovi, Ph.D., za cenné rady, podnětné připomínky a ochotu při odborných konzultacích, jež mi byly velice nápomocny.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Kristýna ČESALOVÁ**  
Osobní číslo: **R100624**  
Studijní program: **B1407 Chemie**  
Studijní obory: **Geografie**  
**Chemie pro víceoborové studium**  
Název tématu: **Environmentální historie znečištění ovzduší na příkladu vybraných závažných situací ve světě**  
Zadávací katedra: **Katedra geografie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je popsat vliv závažných situací antropogenního znečištění atmosféry na vývoj ochrany kvality ovzduší ve světě, a to na vybraných příkladech, které jsou dokumentovány v odborné literatuře (londýnský smog, fotochemický smog v Los Angeles, havárie v indickém Bhopálu, průmyslové znečištění v pennsylvánské Donoře, okyselení srážek ve Skandinávii apod.). Cílem bude popsat příčiny vzniku těchto závažných situací, jejich vliv na obyvatelstvo a jeho zdraví, reakci odpovědných orgánů včetně samotných znečišťovatelů a důsledky těchto environmentálních zkušeností pro obecnou ochranu kvality ovzduší, zejména v tvorbě legislativy.

Rozsah grafických prací: **Podle potřeb zadání**  
Rozsah pracovní zprávy: **5 000 - 8 000 slov**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

- Carle, D. (2006) Introduction to Air in California (California Natural History Guides). Berkeley: University of California Press.**  
**Davis, D. (2002) When Smoke Ran Like Water: Tales of Environmental Deception and the Battle Against Pollution. New York: Basic Books.**  
**Mannan, M.S. et al. (2005) The legacy of Bhopal: The impact over the last 20 years and future direction. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 18, 218-224.**  
**Obroučka, K. (2001) Látky znečišťující ovzduší. Ostrava: VŠB-TU.**  
**Schwartz, J.M., Hayward, S.F. (2007) Air Quality in America: A Dose of Reality on Air Pollution Levels, Trends, and Health Risks. Washington DC: The AEI Press.**  
**Whittaker, A. et al. (2004) Killer smog of London, 50 years on: particle properties and oxidative capacity. Science of the Total Environment 334-335, 435-445.**

Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Martin Jurek, Ph.D.**  
Katedra geografie

Datum zadání bakalářské práce: **24. dubna 2012**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2013**

L.S.

Prof. RNDr. Juraj Ševčík, Ph.D.  
děkan

Doc. RNDr. Zdeněk Szczyrba, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Olomouci dne 24. dubna 2012

# OBSAH

1 ÚVOD.....	8
2 CÍLE PRÁCE.....	9
3 METODIKA PRÁCE .....	10
3.1 Evaluace dostupné literatury .....	10
3.2 Metody zpracování.....	11
3.3 Volba popisovaných případových studií.....	11
4 VYBRANÉ SITUACE HISTORIE ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ VE SVĚTĚ.....	13
4.1 Průmyslové znečištění v pensylvánské Donoře .....	13
4.2 Velký londýnský smog.....	18
4.3 Fotochemický smog v Los Angeles .....	24
4.4 Havárie v indickém Bhopálu.....	30
4.5 Okyselení srážek ve Skandinávii .....	35
5 POMĚRY V ČR Z HLEDISKA ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ .....	40
5.1 Ostravsko .....	42
5.2 Ústecko.....	44
6 SROVNÁNÍ ZPRACOVANÝCH SITUACÍ .....	46
7 ZÁVĚR.....	48
8 SUMMARY .....	50
9 SEZNAM LITERATURY .....	51

# 1 ÚVOD

Čisté a zdravé ovzduší hraje klíčovou roli v zachování rovnováhy života na naší planetě. Živé organismy jsou na atmosféru bezprostředně vázány, neboť pro svou existenci nepostradatelně potřebují kyslík. Ovzduší má však značný vliv i na hydrosféru a pedosféru. Jelikož složení zemské atmosféry se následkem přírodních vlivů a lidské činnosti stále mění, je ovlivňována i kvalita vzduchu, který dýcháme. Zhoršená kvalita ovzduší, při níž polutanty dosáhnou koncentrací ohrožujících lidské zdraví či životní prostředí, bývá přitom výsledkem souhry několika faktorů.

Historie znečištění ovzduší a s ním spojených důsledků se datuje již od antických dob, kdy římský spisovatel Plinius mladší označil sirné výpary za příčinu úmrtí svého strýce. S rozvíjejícím se průmyslem a technikou se potom problematika znečišťování ovzduší, zejména antropogenního charakteru, stala mimořádně aktuální. Mezi první evidovaná opatření na ochranu ovzduší patřil zákaz používání uhlí k topení, vydaný v roce 1309 v Anglii. Důležitý předěl představovaly úvahy Johna Evelyny v 17. století, který za prapůvod veškerých zdravotních komplikací označil právě zhoršenou kvalitu ovzduší. Ve svém pamfletu *Fumifugium* z roku 1661 píše o Londýňanech: „*Nedýchají nic lepšího než špinavou mlhu a páchnoucí čoud, což vede k tisíci potížím, plíce jsou zaplaveny jedem a celé tělo slábne, a tak katar, úbytě, kašel a vyzáblost zachvacují v tomto městě více lidí než celém okolním světě dohromady*“ (Obroučka, 2001, s. 5–7).

Až výskyt několika závažných environmentálních situací ve 20. století však vnesl téma znečištěného ovzduší do povědomí širší veřejnosti. Tyto historické události a jejich tragické následky vedly k uvědomění si skutečného významu čistého ovzduší a potřeby jej náležitě chránit.



## 2 CÍLE PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je předložit ucelený přehled stěžejních situací antropogenního znečištění ovzduší v moderní historii ve světě. Budou popsány příčiny a okolnosti vzniku těchto vybraných událostí, jejich samotný průběh a dopady na zdraví obyvatelstva, případně na životní prostředí. Dále budou analyzovány důsledky těchto environmentálních incidentů, zejména reakce angažovaných subjektů a vliv na tvorbu legislativy v oblasti ochrany kvality ovzduší. Práce má za cíl představit uspořádanou kompilaci významných světových událostí znečištění ovzduší, jež jsou hojně dokumentovány v zahraniční odborné literatuře, v české se nicméně ve větším rozsahu nevyskytují. Pro srovnání je na konec zařazena i kapitola pojednávající o stavu znečištění ovzduší v České republice.

## 3 METODIKA PRÁCE

Následující podkapitoly se věnují zhodnocení použitých literárních a internetových zdrojů, postupu při samotném zpracovávání bakalářské práce a kritériím volby popisovaných událostí.

### 3.1 Evaluace dostupné literatury

Tato bakalářská práce vznikla především na základě rešerše odborných publikací a webových stránek relevantních institucí. V menší míře potom byly využity populárně naučné zdroje a novinové články popisující danou událost. Vzhledem k povaze tématu, jež je v české odborné literatuře spíše marginální, byla většina zpracovávaných materiálů v anglickém jazyce. Z česky psaných zdrojů bylo čerpáno doplňkově (s výjimkou kapitoly o České republice). Jeden materiál, nutný k objasnění konkrétní skutečnosti, byl dostupný pouze ve švédštině.

Jelikož jsou jednotlivé popisované situace znečištění ovzduší značně specifické, bylo třeba vyhledávat příslušné informace odděleně. Společnou rámcovou literaturou byla pouze publikace *When Smoke Ran Like Water: Tales of Environmental Deception and the Battle Against Pollution* (2002) od americké epidemioložky, toxikoložky a expertky na znečištění ovzduší Devry Davis. Použité odborné články byly brány z periodik např. *Environ Health*, *American Journal of Public Health*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *Environmental Science & Policy* či *Environmental History Review*. Uvedená periodika poskytla informace o příčinách a průběhu daných environmentálních situací a jejich dopadu na lidské zdraví. Důsledky pro ochranu kvality ovzduší a konkrétní číselné údaje byly čerpány převážně z webových stránek agentur / institutů ochrany životního prostředí – South Coast Air Quality Management District, California Air Resources Board, U. S. Environmental Protection Agency, Climate and Pollution Agency, Miljökontoret Borlänge kommun.

Mezi vědecké pracovníky zabývající se některou z událostí patří např. Broughton, Mannan, Schwartz, Hayward a Whittaker. Ke zpracování podkapitoly o

londýnském smogu byla hojně využita publikace, jejímž autorem je bývalý londýnský starosta Ken Livingstone. Obzvláště ke zpracování podkapitoly o průmyslovém znečištění v pensylvánské Donoře byly nápomocny novinové články dostupné na webových stránkách Department of Environmental Protection. Z českých zdrojů využitých při práci lze jmenovat Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), Ministerstvo životního prostředí a Českou informační agenturu životního prostředí (CENIA). Z autorů potom šlo o Obroučku, Miku, Tůmu, Hrušku a Kopáčka.

V neposlední řadě je třeba zmínit zkontaktování relevantních lidí a osobní komunikaci s nimi. Jednalo se o Jana Pýchu, pracovníka agentury AMI Communications, jež zastupuje společnost ArcelorMittal Ostrava, který pro potřeby práce poskytl interní data ostravské huti. Další osobou byla Anna Åberg, zaměstnankyně Odboru životního prostředí ve švédském Borlänge (Miljökontoret Borlänge kommun), jež ujasnila dílčí nejasnosti ve zpracovávaném materiálu.

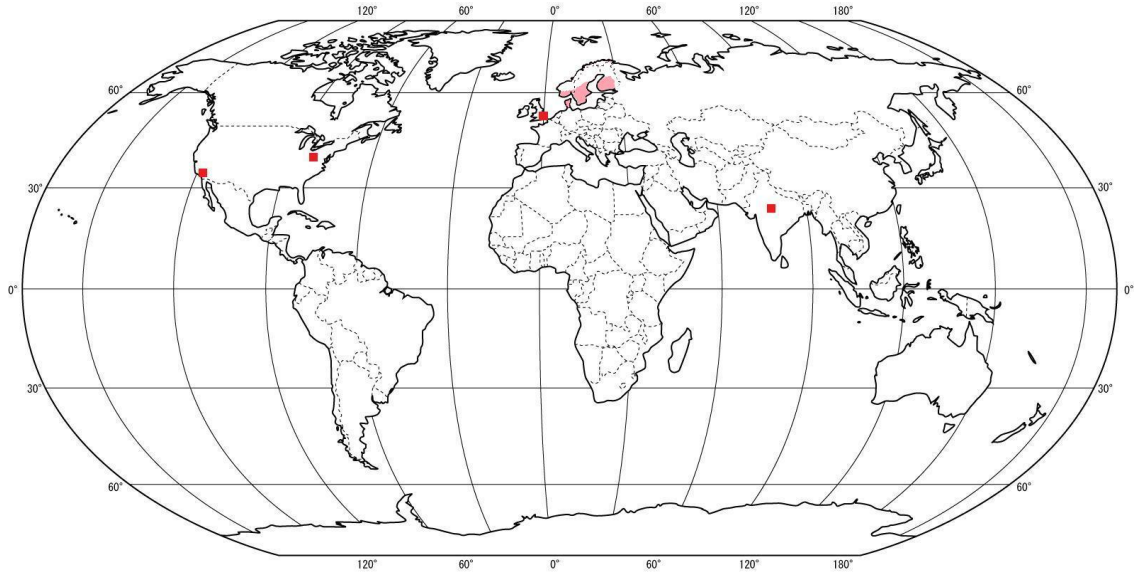
### **3.2 Metody zpracování**

Text této bakalářské práce byl zpracován v textovém editoru Microsoft Word, tabulky byly vytvořeny pomocí programu Microsoft Excel, obrázky upraveny potřebám práce v programech Adobe Photoshop a Malování. Příslušné odborné publikace byly vyhledány pomocí elektronických informačních zdrojů Academic Search Complete, Springer Link, Science Direct a JSTOR. Přístup k těmto databázím byl umožněn prostřednictvím elektronické knihovny Univerzity Palackého v Olomouci a Höskolan Dalarna.

### **3.3 Volba popisovaných případových studií**

Kritériem volby historických událostí, při nichž došlo ve světě ke znečištění ovzduší, byla jejich závažnost a následný vliv na vývoj ochrany kvality ovzduší. Byly vybrány jak jednorázové incidenty s tragickými dopady na životy a zdraví obyvatel, tak chronické situace přetrvávající v určité míře dodnes. Zvolené případové studie patří

v zahraniční odborné literatuře k těm nejpopsanějším. Jejich geografická poloha je vyznačena na **obr. 1**.



**Obr. 1** Lokalizace zvolených situací znečištění ovzduší na mapě světa  
(zdroj: Mapa světa.info, 2013; upravila Kristýna Česalová)

Poté byly zdokumentovány také poměry v ČR z hlediska znečištění ovzduší.

## **4 VYBRANÉ SITUACE HISTORIE ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ VE SVĚTĚ**

Následující kapitola popisuje průmyslové znečištění v pensylvánské Donoře 26.–31. října 1948, Velký londýnský smog 5.–9. prosince 1952, fotochemický smog sužující Los Angeles od 40. let 20. století, havárii v indickém Bhopálu 2.–3. prosince 1984 a okyselení srážek ve Skandinávii, zkoumané od konce 60. let 20. století.

### **4.1 Průmyslové znečištění v pensylvánské Donoře**

Jedna z největších environmentálních tragédií v americké historii se odehrála v jihozápadní Pensylvánii na podzim roku 1948. Donora, malé průmyslové město ležící zhruba 32 km jižně od Pittsburghu, se během pěti říjnových dnů proměnila v místo, kde kvůli těžce znečištěnému ovzduší přišlo o život 20 lidí a tisíce dalších vykazovaly příznaky onemocnění. Zároveň se tato událost stala mezníkem v boji proti ohrožení lidského zdraví následkem znečištění ovzduší v moderních dějinách (Hess, 1995).

Donora se rozprostírá v údolí, na západním břehu meandrující řeky Monongahela, a je obklopena kopci. V bezprostřední blízkosti města se nachází velká ocelárna (American Steel & Wire Company) a zinkovna (Donora Zinc Works), obě patřící pod U. S. Steel Corporation. V roce 1948 měla Donora 14 000 obyvatel, z nichž až 6 500 pracovalo právě pro zmíněné dva závody, jež tak představovaly hlavní zdroj obživy většiny místních (Peterman, 2009). Ačkoli problémy s průmyslovým znečišťováním ovzduší byly v oblasti rozpoznány již ve 20. letech 20. století, především kvůli úhynu hospodářských plodin a dobytka, kouř z továren byl obecně považován spíše za každodenní nepříjemnost než za faktor ohrožující zdraví (Templeton, 1998).



**Obr. 2** Geografická poloha Donory

(zdroj: Google Maps, 2013; upravila Kristýna Česalová)

Donorská zinkovna se na znečišťování atmosféry podílela několika vzájemně propojenými procesy uplatňujícími se při výrobě zinku: pražení (oxidace) zinkových rud za vzniku oxidu zinečnatého ( $ZnO$ ) a za současného uvolňování oxidu siřičitého ( $SO_2$ ) či oxidu uhličitého ( $CO_2$ ), nahromadění vzniklého  $ZnO$  s koksem a následné tavení (redukce) směsi na samotný zinek, přičemž oxid uhelnatý ( $CO$ ) představuje vedlejší produkt. Technologie typické pro donorskou zinkovnu navíc způsobovaly uvolňování partikulární frakce imisí těžkých kovů do atmosféry (Snyder, 1994).

Zlomový moment nastal 26. října 1948, kdy stabilní atmosférické podmínky spolu s hustou mlhou přispěly k rozvoji dlouhotrvající teplotní inverze nad severovýchodem USA (Obroučka, 2001, s. 8). Masa studenějšího vzduchu z hor obklopujících Donoru vytvořila inverzní vrstvu a znemožnila teplejšímu vzduchu stoupat dále do atmosféry. Emise z továren, koksovacích pecí, zinkových tavicích pecí a kamen se tak ochladily a, neschopny rozptýlu, se v toxických koncentracích usadily v údolí (Davis, 2002, s. 15). Hustý dráždivý smog nažloutlé barvy rapidně snížil

dohlednost, obyvatelé Donory si ovšem stále nepřipouštěli hrozící nebezpečí (Peterman, 2009).



**Obr. 3** Kouř z donorské zinkovny v říjnu 1948  
(zdroj: Peterman, 2009; foto: Donora Smog Museum)

Do 31. října 1948, kdy déšť rozešel škodliviny a zinkovna byla konečně dočasně odstavena z provozu, si smog vyžádal 20 obětí a vyvolal potíže dýchacího ústrojí, bolesti hlavy, podráždění očí, kašel, zvracení a žaludeční křeče u téměř 6 000 osob (Peterman, 2009). Zpráva vydaná americkou zdravotnickou službou v roce 1949 konkrétně uvádí, že 42,7 % obyvatel Donory (5 910 osob) vykazovalo výše zmíněné příznaky od mírného do velmi těžkého stupně, především v závislosti na věku a dříve se vyskytujících chorobách srdce či plic. Příčina smrti byla stanovena u 15 z 20 obětí – chronická srdeční choroba, průduškové astma, plicní tuberkulóza (Schrenk, 1949). Věk obětí se pohyboval v rozmezí 52–85 let (Peterman, 2009).

Davis (2002, s. 14–15) nicméně poukazuje ještě na další možnou příčinu smrti. Zinek může být ve sloučeninách se sírou, uhlíkem, fluoridovými ionty či dusíkem mimořádně nebezpečný. Využití fluoritu neboli kazivce ( $\text{CaF}_2$  – fluorid vápenatý), jak při tavení zinku, tak při výrobě oceli, vede k tzv. chronické otravě fluoridy, projevující se bílými skvrnami na zubech. Tento symptom byl mezi obyvateli Donory častý. Jak

navíc uvádí Sadtler (1948), hladina fluoridových iontů v krvi byla u obětí 20–25krát vyšší.

Podezření Davis (2002, s. 20) vychází z obdobného tragického případu, jenž se odehrál v roce 1930 v údolí řeky Maasy v Belgii. Podmínky byly téměř identické – nízko položené místo obklopené kopcovitým terénem, sídlo závodů těžkého průmyslu, mlha, teplotní inverze. V důsledku onemocnění dýchacích cest zemřelo odhadem 60 lidí, tisíce dalších trpěly podrážděním sliznic dýchacích cest, což se projevovalo především rýmou, kašlem, povrchním dýcháním, nauzeou či pocitem sevření v hrudníku (Obroučka, 2001, s. 7–8). Jak uvádí Davis (2002, s. 20), jeden belgický vyšetřovatel vyslovil hypotézu, že pravděpodobnou příčinou incidentu byly plynné fluoridy. Ty totiž procházejí přímo do krve, aniž by zanechávaly zřetelné stopy na plicích, na rozdíl od síry. Plice obětí události v údolí řeky Maasy byly čisté, nikdo tomu však nevěnoval dostatečnou pozornost.

Odbor zdravotnictví v Pensylvánii (Pennsylvania Department of Health), američtí oceláři (United Steelworkers), donorská městská rada (Donora's Borough Council) a americká zdravotnická služba (U. S. Public Health Service) se podílely na vyšetřování incidentu. Toto vyšetřování bylo vůbec prvním pokusem zdokumentovat dopady znečištění ovzduší na lidské zdraví ve Spojených státech (Snyder, 1994). Přestože mnozí označili právě donorskou zinkovnu za hlavní příčinu tragédie, vina nebyla prokázána, neboť zdroj znečištění v Donoře nebyl nikdy jednoznačně identifikován (Davis, 2002, s. 24). Hamill (2008) dodává, že U. S. Steel Corporation odmítla nést za událost zodpovědnost a označila ji pouze za „zásah Boha“.

Tragická událost v Donoře roku 1948 vyvolala zájem veřejnosti o ochranu ovzduší. V roce 1955 schválil Kongres Spojených států (U. S. Congress) zákon o kontrole znečištění ovzduší (Air Pollution Control Act), jenž poskytl americké zdravotnické službě finanční prostředky pro výzkum a monitorování škodlivin. Tento zákon byl následně v letech 1963, 1970 a 1990 zpřísněn na zákon o ochraně ovzduší (Clean Air Act), který prosadil emisní standardy vedoucí ke zlepšení kvality ovzduší a zároveň zdraví obyvatelstva (Helfand, Lazarus, Theerman, 2001). Limit pro množství



emitovaného SO<sub>2</sub> byl stanoven na 80 µg/m<sup>3</sup>. Během incidentu byly emise SO<sub>2</sub> odhadnuty na 1 500–5 500 µg/m<sup>3</sup> (Glover, 1998).

Počet úmrtí v důsledku události není po 31. říjnu 1948 nikde dokumentován; odhaduje se však na tisíce. I desetiletí po tragickém incidentu byla hrubá míra úmrtnosti Donory stále vyšší než u okolních měst (Davis, 2002, s. 27–29). Zinkovna nadobro zrušila provoz až v roce 1956, o deset let později následována i donorskou ocelárnou (Peterman, 2009). Zpráva americké zdravotnické služby uzavírá celou záležitost jako nešťastnou souhru několika polutantů ve vysokých koncentracích a inverze teploty vzduchu (Schrenk, 1949). V roce 1998 byla na památku obětí incidentu odhalena pamětní deska (Davis, 2002, s. 29).



**Obr. 4** Pamětní deska připomínající donorský smog v roce 1948  
(zdroj: Peterman, 2009; foto: Donora Public Library)

## 4.2 Velký londýnský smog

Londýn byl nechvalně známý svými výkyvy počasí již od středověku. Po staletí se vyznačoval nepříznivými atmosférickými podmínkami a častým výskytem mlh, což zachytila ve svých dílech řada historiků, spisovatelů a malířů. Město též disponovalo největší koncentrací uhelných kamen na světě – lidé běžně používali uhlí k vytápění svých obydlí či vaření a s nástupem 17. století se praktika spalování uhlí doma stala dobře zavedenou a široce rozšířenou (Davis, 2002, s. 32–34).

Termín „smog“ vznikl spojením anglických slov **smoke** (kouř) a **fog** (mlha). Poprvé jej použil v roce 1905 londýnský lékař Harold Des Voeux, aby popsal produkt znečištění antropogenního charakteru a meteorologického jevu (Laskin, 2006). Londýn sužovaly smogové situace už od 12. století, kdy se k topení začalo hojně využívat nekvalitní „mořské uhlí“, pocházející ze severovýchodního pobřeží Velké Británie a původně sloužící pouze jako zátěž pro prázdné nákladní lodě vracující se zpět do Londýna (Davis, 2002, s. 33–34). Situace se dramaticky zhoršila v průběhu průmyslové revoluce a následně po ní. Jak průmyslová výroba, tak domácnosti byly závislé na spalování velkého množství uhlí (Dooley, 2002). Obroučka (2001, s. 9) zmiňuje např. smogovou katastrofu v roce 1948, při které bylo evidováno 700–800 úmrtí.

K nejzávažnější události ovšem došlo 5.–9. prosince 1952, jež v literatuře bývá označována jako Velký londýnský smog. Teploty ve zmíněném období v jižní Anglii byly nezvykle nízké, pohybující se kolem bodu mrazu, což přimělo populaci zhruba osmi milionů Londýňanů topit ve značné míře. Oblast vysokého tlaku vzduchu nad údolím Temže a skoro úplné bezvětří vyvolaly rozsáhlou teplotní inverzi. Kombinace emisí ze spalování nadměrného množství uhlí a husté, dlouhotrvající mlhy dala vzniknout smogu, jenž se rozšířil především v centru Londýna (Livingstone, 2002, s. 9). Dohlednost poklesla téměř k nule a způsobila kolaps dopravy (Davis, 2002, s. 42). Situaci ještě zhoršila skutečnost, že tramavje byly v té době nahrazeny dieselovými autobusy, kterých v ulicích britské metropole jezdilo na 8 000 (Laskin, 2006).



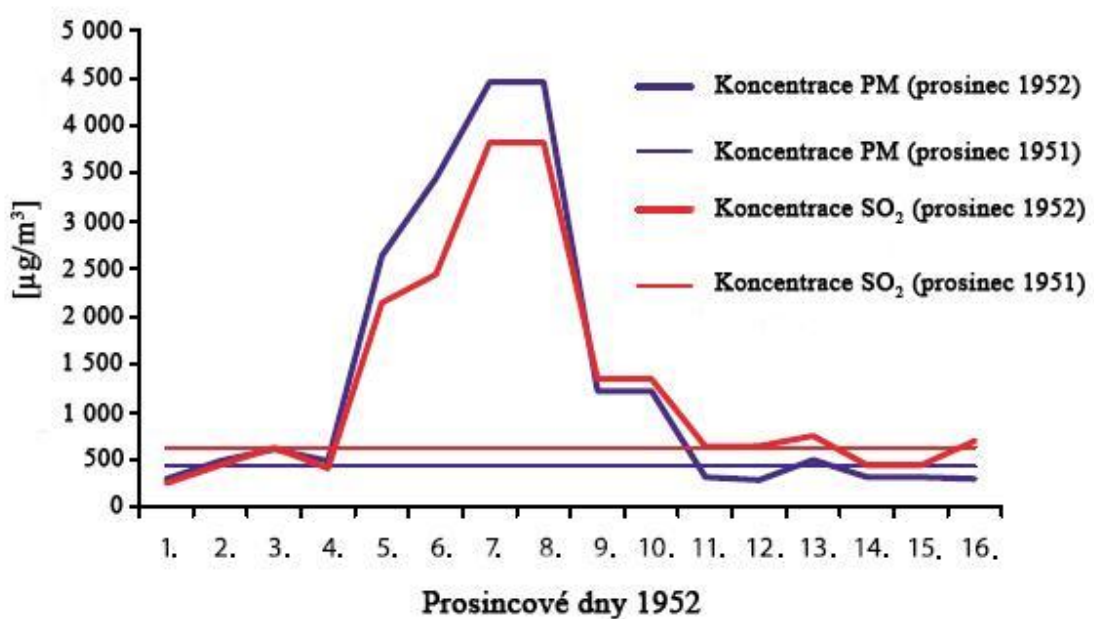
**Obr. 5** Hustý smog na Piccadilly Circus v Londýně, prosinec 1952  
(zdroj: Boyd, 2012; foto: Central Press/Hulton Archive/Getty Images)



**Obr. 6** Londýnský řidič autobusu navigující své vozidlo, prosinec 1952  
(zdroj: Boyd, 2012; foto: Keystone/Hulton Archive/Getty Images)

Koncentrace jak oxidů síry, tak prašného aerosolu (PM) se během události vyšplhaly až na desetkrát vyšší hodnoty v porovnání s obvyklou hladinou, přičemž atmosférické podmínky se nevrátily do normálu ještě po následující tři měsíce (Davis, 2002, s. 49). Laskin (2006) uvádí, že každých 24 hodin se do atmosféry uvolnilo 1 000 t suspendovaných částic (prašný aerosol), 2 000 t oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) a 370 t oxidu siřičitého ( $\text{SO}_2$ ). Jelikož se  $\text{SO}_2$  oxiduje vzdušným kyslíkem ( $\text{O}_2$ ) na oxid sírový ( $\text{SO}_3$ ), který následně reakcí s vodní párou ( $\text{H}_2\text{O}$ ) v atmosféře vytváří kyselinu sírovou ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), je londýnský smog označován též jako **redukční**, tj. mající redukční účinky na své okolí, zatímco látka sama je oxidována (Laskin, 2006).

V 50. letech 20. století čítala běžná praxe měření znečištění ovzduší v Londýně pouze měření koncentrace PM a SO<sub>2</sub> (Whittaker et al., 2004). V dopoledních hodinách 5. prosince 1952 vzrostla koncentrace PM z 490 μg/m<sup>3</sup> na 2 460 μg/m<sup>3</sup> a tato tendence pokračovala až na 4 460 μg/m<sup>3</sup>, naměřených 7. a 8. prosince. Koncentrace SO<sub>2</sub> se zvýšila ze 410 μg/m<sup>3</sup> 4. prosince 1952 na 2 150 μg/m<sup>3</sup> 5. prosince a posléze až na 3 830 μg/m<sup>3</sup> 7. a 8. prosince (Livingstone, 2002, s. 10). Shodné údaje uvádí i Whittaker et al. (2004) a Laskin (2006). Livingstone (2002, s. 9) dále pro porovnání dodává, že průměrná koncentrace suspendovaných částic v kouři v prosinci předešlého roku se pohybovala v rozmezí 120–440 μg/m<sup>3</sup>. Průměrná koncentrace SO<sub>2</sub> během události dosahovala hodnoty 1 800 μg/m<sup>3</sup>, tzn. přibližně šestinásobku obvyklé hladiny (Obroučka, 2001, s. 8–9). 9. prosince 1952 byl smog rozptýlen větrem – koncentrace PM klesla na 1 220 μg/m<sup>3</sup>, koncentrace SO<sub>2</sub> na 1 350 μg/m<sup>3</sup> (Livingstone, 2002, s. 10).

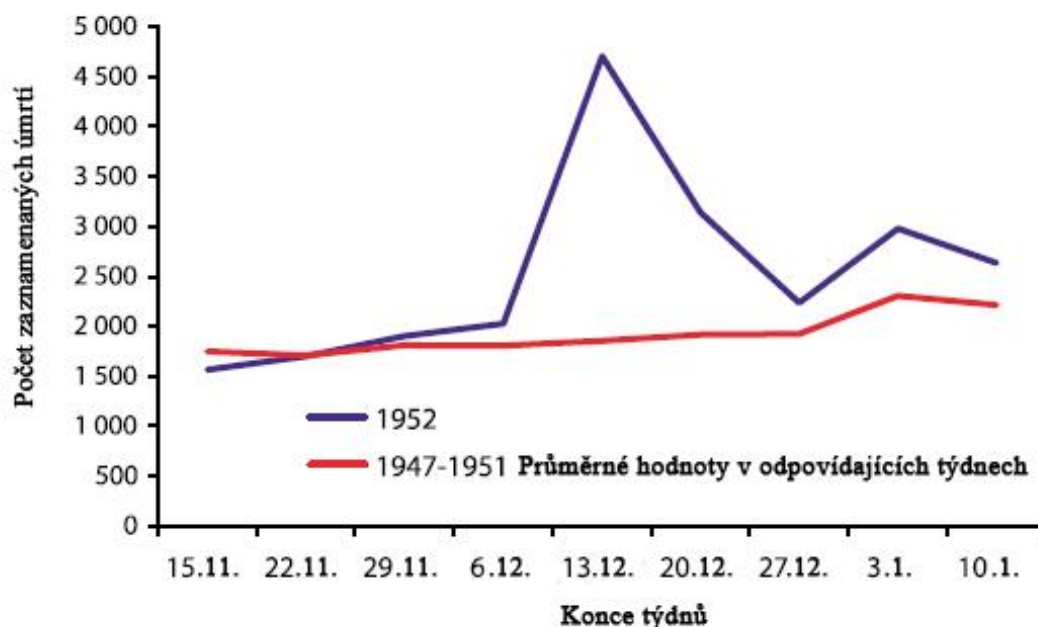


**Obr. 7** Koncentrace PM a SO<sub>2</sub> během Velkého londýnského smogu v prosinci 1952, srovnané s průměrnými koncentracemi v prosinci 1951

(zdroj: London County Council, 1953; upravila Kristýna Česalová)

Ministerstvo zdravotnictví učinilo odhad počtu obětí následkem smogu tím způsobem, že odečetlo počet lidí, kteří by pravděpodobně zemřeli za normálních

okolností v daném časovém úseku (týden končící 13. prosincem + následující týden končící 20. prosincem), od počtu skutečně evidovaných úmrtí. Odhad počtu úmrtí následkem Velkého londýnského smogu je tak 3 412–4 075, přičemž cifra blízká se 4 000 je považována za nejvíce pravděpodobnou. Tato hodnota představuje 2,5násobek tehdejšího normálu (Davis, 2002, s. 50). Za hlavní příčinu smrti byly označeny respirační choroby (především zánět průdušek a rozedma plic) a kardiovaskulární selhání (Livingstone, 2002, s. 11–12). Mezi nejvíce ohrožené skupiny obyvatel patřili kuřáci, malé děti, starší lidé, osoby trpící astmatem a ti s již dříve existujícími dýchacími či srdečními obtížemi.



**Obr. 8** Úmrtí zaznamenaná během Velkého londýnského smogu v prosinci 1952  
(zdroj: Ministry of Health, 1954; upravila Kristýna Česalová)

Nejvyšší úmrtnost byla zaznamenána 8. a 9. prosince, a to 900 případů denně (Laskin, 2006). Mortalita zůstala zvýšená až do března 1953; v lednu a únoru 1953 bylo evidováno přibližně o 50 % více úmrtí, než by se předpokládalo. Celkový počet zemřelých od prosince 1952 do března 1953 byl tak asi o 13 000 vyšší než historický průměr (Davis, 2002, s. 49–50). Jelikož britští úředníci nechtěli akceptovat fakt, že by takové množství lidí zemřelo následkem pouhého dýchání znečištěného vzduchu,

přisoudili mnoho z těchto úmrtí propuknuvší epidemii chřipky. Davis (2002, s. 50–53) se svým kolegou však na základě důkladné analýzy nemocničních záznamů, chorobopisů a pojistných nároků zjistila, že se jednalo jen o vládní fabulaci.

K dispozici není žádná podrobná analýza, jež by s určitostí indikovala veškeré složky smogu, které měly neblahý dopad na lidské zdraví. V prozatímní zprávě o znečištění ovzduší z roku 1953 jsou však za nejpravděpodobnější polutanty označeny právě prašný aerosol z uhelného kouře a oxidy síry (Whittaker et al., 2004). Během incidentu byl zaznamenán i zvýšený počet onemocnění, hlavně s příznaky kašle, bolesti v hrdle a náhlých záchvatů zvracení (Obroučka, 2001, s. 8). Příčinou tak rozsáhlé katastrofy však nebyly pouze emise ze spalování uhlí a příhodné atmosférické podmínky. Laskin (2006) poukazuje i na fakt, že Londýn v roce 1952 stále trpěl dozvuky druhé světové války (vydávání potravin na příděl, zchudlá státní pokladna, rozmach kouření cigaret v důsledku ponuré poválečné doby).

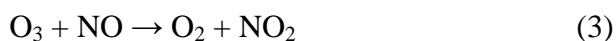
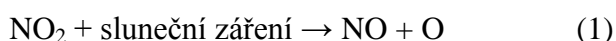
Vláda vydala konečnou zprávu o Velkém londýnském smogu v roce 1954 (Davis, 2002, s. 52). Jako odpověď na incident schválila legislativu na postupné vyřazení uhelných kamen z provozu, což znamenalo, že lidé nejprve přešli na užívání petrolejových kamen a posléze na ústřední topení (Livingstone, 2002, s. 5). V roce 1956 schválil britský parlament zákon o ochraně ovzduší (Clean Air Act), jenž kontroloval průmyslové i domácí zdroje kouře zavedením tzv. bezkouřových zón (smokeless zones) (Laskin, 2006). Livingstone (2002, s. 19) dodává, že došlo k vytvoření i tzv. oblastí regulovaného výskytu kouře (smoke control areas), kde domácí spalování uhlí bylo omezeno, a zároveň byly poskytovány dotace na používání bezkouřových paliv. Zákon byl v roce 1968 novelizován a rozšířen o směrnice v oblasti výšky průmyslových komínů a spalování pevných, kapalných a plyných paliv (Livingstone, 2002, s. 19).

Smog zasáhl Londýn opakovaně v letech 1952–1962, přičemž každý incident se vyznačoval vyšší než normální úmrtností (Davis, 2002, s. 46). V lednu roku 1956 si vyžádal 1 000 obětí, v prosinci téhož roku 800 ztrát na životech a v lednu 1963 potom 700 obětí. Závažnost těchto katastrof v britské metropoli tak dala vzniknout pojmu **londýnský smog** (Obroučka, 2001, s. 9).

### 4.3 Fotochemický smog v Los Angeles

Jižní Kalifornie byla sužována smogem dávno před druhou světovou válkou, v létě roku 1943 se však v Los Angeles odehrála první vážná smogová událost, doprovázená sníženou dohledností a nepříznivými dopady na lidské zdraví, jež zahájila dlouhodobý boj proti chronickému problému znečištěného ovzduší v Los Angeles (Carle, 2006, s. xv). Vina byla nejprve svalována na kalifornskou továrnu na výrobu butadienu; znečištění ovzduší nicméně přetrvávalo i po jejím dočasném odstavení z provozu. V roce 1948 profesor Haagen-Smit z California Institute of Technology objevil sérii experimentů bělicí účinky smogu v Los Angeles, čímž došel k závěru, že tento typ smogu je odlišný od smogu na východě USA či v Londýně, způsobeného převážně oxidy síry ze spalování uhlí. Jako klíčový polutant identifikoval vysoce oxidační činidlo – ozón (South Coast Air Quality Management District, 1997).

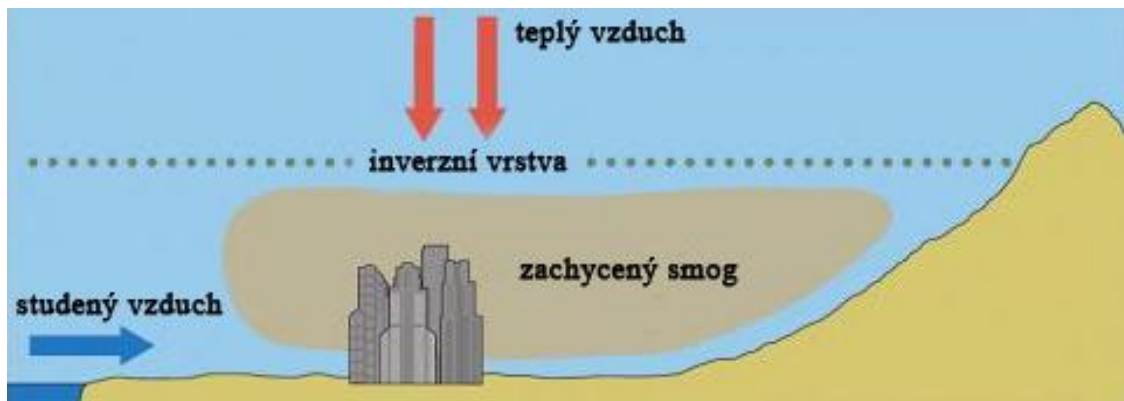
**Fotochemický** smog (označovaný též jako **losangeleský**, **oxidační** či **letní**) je způsobován troposférickým (přízemním) ozónem, sekundárním polutantem vznikajícím v atmosféře sérií chemických reakcí, za působení intenzivního slunečního záření. Prekurzory těchto reakcí jsou oxidy dusíku (souhrnně  $\text{NO}_x$ ) a těkavé organické látky (VOC), jejichž hlavním emisním zdrojem je automobilová doprava (Ulbrichová, 2007). Fotolýzou oxidu dusičitého ( $\text{NO}_2$ ) vzniká oxid dusnatý (NO) a atom kyslíku (O), který následnou reakcí se vzdušným kyslíkem ( $\text{O}_2$ ) dává ozón ( $\text{O}_3$ ).  $\text{O}_3$  nicméně přemění NO zpět na  $\text{NO}_2$ :



Výše uvedené reakce vytváří cyklus vedoucí k poměrně malému množství přízemního ozónu, neboť při regeneraci  $\text{NO}_2$  dochází k jeho rozkladu (3). Aby se koncentrace ozónu znatelně zvýšila, je nutné tuto reakci eliminovat. To umožní VOC, přeměněné pomocí hydroxylových radikálů na peroxyradikály, jež iniciují opětovný vznik  $\text{NO}_2$  bez destrukce  $\text{O}_3$ . Vznik troposférického ozónu tak kromě fyzikálních faktorů (intenzita slunečního záření, vlhkost vzduchu, teplota) závisí na vzájemném poměru VOC a  $\text{NO}_x$  (Schwartz, Hayward, 2007, s. 37).



V 50. letech 20. století se do jižní Kalifornie stěhovalo více než 1 000 lidí za týden, přičemž většina pracovala ve značné vzdálenosti od svého bydliště. V důsledku nepříliš rozvinuté veřejné dopravy tak byla zcela závislá na automobilu. Do roku 1955 žilo v Los Angeles a okolí 5 milionů lidí, téměř polovina z nich vlastnila auto. Každý den docházelo ke spalování 58 000 t zemního plynu, palivového oleje, benzínu a odpadů, což do ovzduší uvolňovalo více než 3 000 t polutantů. Od 50. do 70. let se počet obyvatel navíc zdvojnásobil, počet automobilů dokonce ztrojnásobil (California Air Resources Board, 2012; Davis, 2002, s. 57–60). Důležitou roli ve vývoji znečištěného ovzduší hrála i geografická poloha Los Angeles – pánev při Tichém oceánu, obklopena kopcovitým terénem, představuje za letních měsíců během období stagujícího vysokého tlaku vzduchu ideální místo pro vznik inverzí (Davis, 2002, s. 78).

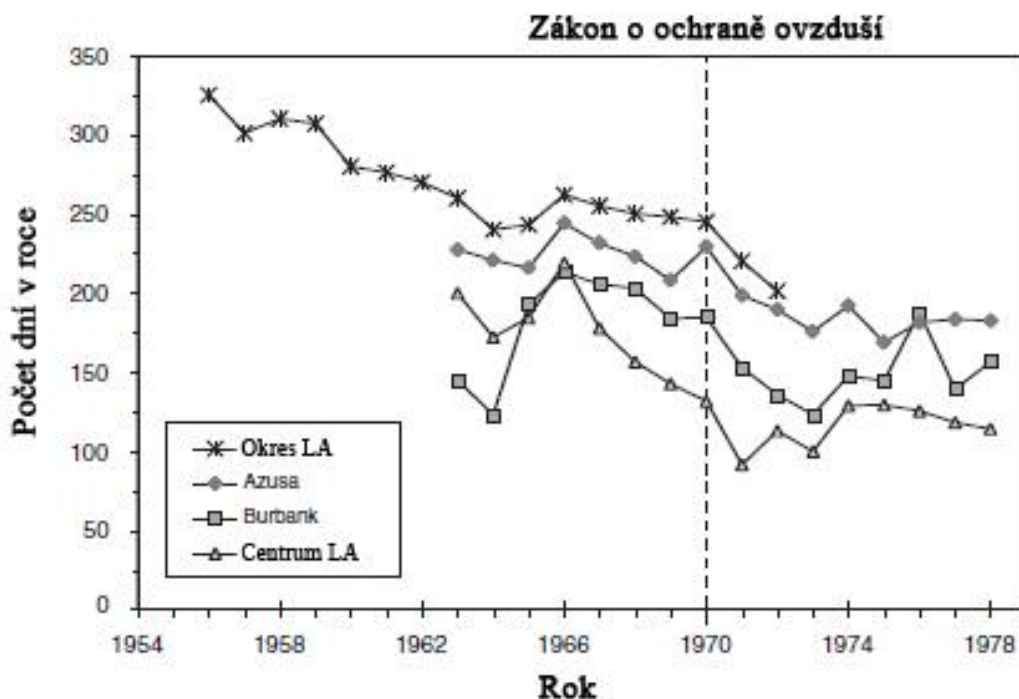


**Obr. 9** Vznik inverze v Los Angeles  
(zdroj: Carle, 2006; upravila Kristýna Česalová)

Z prvních kontrolních opatření, které úředníci zabývající se znečištěním ovzduší na přelomu 40. a 50. let učinili, lze jmenovat zákaz spalování odpadů na zahradách, snížení emisí kouře z továren či omezení emisí oxidu siřičitého (SO<sub>2</sub>) z olejových rafinérií. V roce 1947 byl zřízen kontrolní obvod znečištění ovzduší v Los Angeles (Los Angeles Air Pollution Control District – LLAPCD), první svého druhu ve Spojených státech, jenž začal prosazovat regulaci emisí polutantů do atmosféry (South Coast Air Quality Management District, 1997). Hodinová koncentrace přízemního ozónu tehdy překračovala hranici 1 200 µg/m<sup>3</sup>, v 60. letech hranici 1 000 µg/m<sup>3</sup> (Southern California Association of Governments, South Coast Air Quality

Management District, 1991). Bylo provedeno nespočet zásahů proti zdrojům znečišťování ovzduší (skládky emitující toxické plyny, elektrárny emitující NO<sub>x</sub>), hladina ozónu i přesto zůstávala extrémně vysoká, což znamenalo nutnost zaměřit se na emisní zdroj primární – motorová vozidla (South Coast Air Quality Management District, 1997).

Kalifornský kontrolní výbor pro emise z motorových vozidel (California Motor Vehicle Pollution Control Board), zřízen v roce 1959, měl pravomoc pro testování emisí a certifikování součástek na jejich regulaci. Koncem 60. let vešly v Kalifornii v platnost prvotní efektivní směrnice na snížení emisí výfukových plynů, především snížení vysoce fotochemicky reaktivních olefinů v benzínu. Počátkem roku 1970 se taktéž postupně přestalo v benzínu využívat olovo, neboť jeho toxické vlastnosti prokazatelně způsobovaly obtíže od poruchy učení až po poškození mozku. Nejvýznamnější zařízení pro kontrolu emisí – katalyzátor – však nebyl vyžadován až do roku 1975. Ačkoli testován již mnohem dříve, pokus o jeho zavedení v 60. letech se setkal s vlnou nesouhlasu z řad výrobců automobilů, kteří katalyzátor označili za technologicky nemožný a velice nákladný. Koncem 70. let se v Kalifornii staly povinné prohlídky vozidel, jež se později vyvinuly v program na kontrolu smogu (SmogCheck program). Počátkem 80. let byl na trh uveden nově vyvinutý benzín s méně toxickými a smog vytvářejícími přísadami, vedoucí ke spuštění nízkoemisního/bezemisního programu vozidel (Low Emission/Zero Emission Vehicle program) v roce 1990 (South Coast Air Quality Management District, 1997). I přes striktní emisní standardy pro motorová vozidla však maximální koncentrace ozónu mezi lety 1986 a 1991 poklesla pouze na 700 µg/m<sup>3</sup> (Southern California Association of Governments, South Coast Air Quality Management District, 1991).



**Obr. 10** Počet dní v roce přesahující 0,1 ppm ( $\sim 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )  $\text{O}_3$  v Los Angeles v období 1956–1978

(zdroj: California Air Resources Board, Ellsaesser, 1995; upravila Kristýna Česalová)

\* pozn: Azusa a Burbank jsou města spadající pod okres LA (Los Angeles County)

V roce 1976 došlo spojením LAAPCD s kontrolními obvody znečištění ovzduší sousedních okresů k vytvoření řídicího obvodu kvality ovzduší jižního pobřeží Kalifornie (South Coast Air Quality Management District – **SCAQMD**). Data SCAQMD sdělují, že ačkoliv emise  $\text{NO}_2$  vykazovaly dlouhodobý klesající trend, odhadované množství emisí  $\text{NO}_x$  v roce 1987 v jižní Kalifornii dosahovalo více než 440 000 t. 76 % této hodnoty bylo emitováno mobilními zdroji, 55 % potom silničními mobilními zdroji.  $\text{NO}_2$  je hnědočervený plyn, jenž dává smogu nad Los Angeles typické zbarvení. Tehdejší směrnice udávaná Světovou zdravotnickou organizací,  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{NO}_2$  za hodinu, byla v roce 1990 překročena na 8 ze 24 stanic. Nejvyšší naměřená hodinová koncentrace  $\text{NO}_2$  se vyšplhala na  $526 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , průměrné koncentrace za rok 1990 se pohybovaly v rozmezí  $39\text{--}104 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Southern California Association of

Governments, South Coast Air Quality Management District, U. S. Environmental Protection Agency, 1991).

**Tab. 1** Procentuální rozložení antropogenních emisních zdrojů v jižní Kalifornii v roce 1987

	NO <sub>x</sub>	VOC	PM <sub>10</sub>	SO <sub>x</sub>	CO
Doprava [%]	70	47	89	60	90
Průmysl [%]	18	26	5	30	2
Komerční užití [%]	4	16	5	8	2
Obytné účely [%]	8	11	1	2	6

Zdroj: Vlastní zpracování dle South Coast Air Quality Management District, 1991

\*pozn: PM<sub>10</sub> = prašný aerosol s velikostí částic do 10 μm

SO<sub>x</sub> = SO<sub>2</sub> + SO<sub>3</sub>



**Obr. 11** Smog nad Los Angeles

(zdroj: Pavangkanan, 2008)

Přestože se díky přísným emisním předpisům koncentrace polutantů v atmosféře dlouhodobě snižují, umírá na následky znečištění ovzduší v Kalifornii každoročně 9 600 osob (South Coast Air Quality Management District, 2005). Mezi symptomy onemocnění patří poruchy dýchacího ústrojí, kašel, sípot, bolesti hlavy, podráždění očí či zvracení. Ozón poškozují primárně plíce – zvyšuje jejich náchylnost k zánětům a snižuje obranyschopnost. Představuje tak hrozbu především pro osoby s astmatem, rozedmou plic či zánětem průdušek; dále pak pro děti, starší občany a osoby trpící kardiovaskulárními chorobami (South Coast Air Quality Management District, 2012). Vybrané studie (z roku 1996, resp. 2003) prokazují například to, že prašný aerosol z dieselových motorů představuje 70% riziko vzniku rakoviny následkem znečištěného ovzduší nebo že u 14 % dětí žijících ve smogem zamořených oblastech se vyvíjí astma (South Coast Air Quality Management District, 2005). Davis (2002, s. 56) dále upozorňuje na chronickou povahu situace, kdy právě každodenní vystavení hladinám znečištěného ovzduší, jež nemusí být nutně zaznamenány zrakem ani čichem, představuje nebezpečí pro lidské zdraví.

Problematika fotochemického smogu v Los Angeles je značně komplexní. Ačkoli se Kalifornie stala průkopníkem v boji proti znečištěnému ovzduší na mnoha frontách a během posledních desetiletí skutečně došlo k výraznému poklesu emisí, studie prokazuje, že Los Angeles stále zůstává v rámci Spojených států na prvním místě ve znečištění troposférickým ozónem, na čtvrtém místě potom ve znečištění prašným aerosolem (Gorman, 2013).

## 4.4 Havárie v indickém Bhopálu

V noci z 2. na 3. prosince 1984 se ve městě Bhopál ve střední Indii stala událost, jež se do dějin zapsala jako největší chemická havárie 20. století. Sérií katastrofických okolností, systémových poruch a závažných organizačních nedostatků v bhopálské továrně na pesticidy, patřící americké společnosti Union Carbide, došlo k uvolnění přibližně 40 t vysoce toxického methyloxykarbonylu ( $\text{CH}_3\text{NCO}$ ). Páry v podobě bílého mraku zamořily nedalekou chudinskou čtvrť. Zhruba 3 800 lidí zemřelo na místě, tisíce dalších nesou celoživotní zdravotní následky (Broughton, 2005).

Vlastní příčinou katastrofy bylo vniknutí vody do nádrže s  $\text{CH}_3\text{NCO}$ , používaného pro výrobu pesticidu značky Sevin, v důsledku neopatrnosti a neinformovanosti personálu. Jelikož chladicí systém byl vypnutý, následovala prudká exotermní reakce, jež způsobila zvýšení tlaku v nádrži a prasknutí bezpečnostního ventilu. Tím se jedovaté páry dostaly do atmosféry. Nepříznivé rozptylové podmínky zapříčinily, že došlo k zasažení obydlené části města o ploše 60  $\text{km}^2$ . Koncentrace  $\text{CH}_3\text{NCO}$  100 ppm (parts per million = částic na jeden milion), mající smrtelné účinky, byla zaznamenána až do vzdálenosti 2,5 km od továrny; koncentrace 30 ppm, způsobující těžké zdravotní následky, do vzdálenosti 4 km (Mika, 2003). Navíc se prokázalo, že páry obsahovaly i silně jedovatý kyanovodík (HCN), který vzniká při vystavení  $\text{CH}_3\text{NCO}$  vysokým teplotám (Broughton, 2005). Ačkoli byl hodinu po půlnoci vyhlášen poplach, část sirén nefungovala a obyvatelé tak byli zasaženi ve spánku (Tůma, 2000, s. 262).



**Obr. 12** Místo úniku methylisokyanátu (vlevo)  
(zdroj: Science Podcast, 2009; foto: Pooja Prakash)

Následky byly tragické. Údaje o počtu obětí a postižených se ovšem v různých zdrojích liší. Tůma (2000, s. 263) uvádí, že bezprostředně po zasažení zemřelo 2 000 obyvatel, jiné prameny předkládají cifry 2 500 (Mika, 2003), 3 000 (Mannan et al., 2005) či 3 800 (Broughton, 2005). Populace Bhopálu čítala v době události 800 000 lidí a odhaduje se, že až třetina osob byla zasažena (Mika, 2003). Indická vláda uvedla, že plynu bylo vystaveno dokonce až 500 000 osob (Broughton, 2005). Přes 10 000 lidí zemřelo během následujících let, dalších 200 000 utrpělo mnohdy celoživotní komplikace a postižení (Murthy, 2005, s. 193). **Tab. 2** shrnuje nejčastěji se vyskytující zdravotní následky bhopálské tragédie.

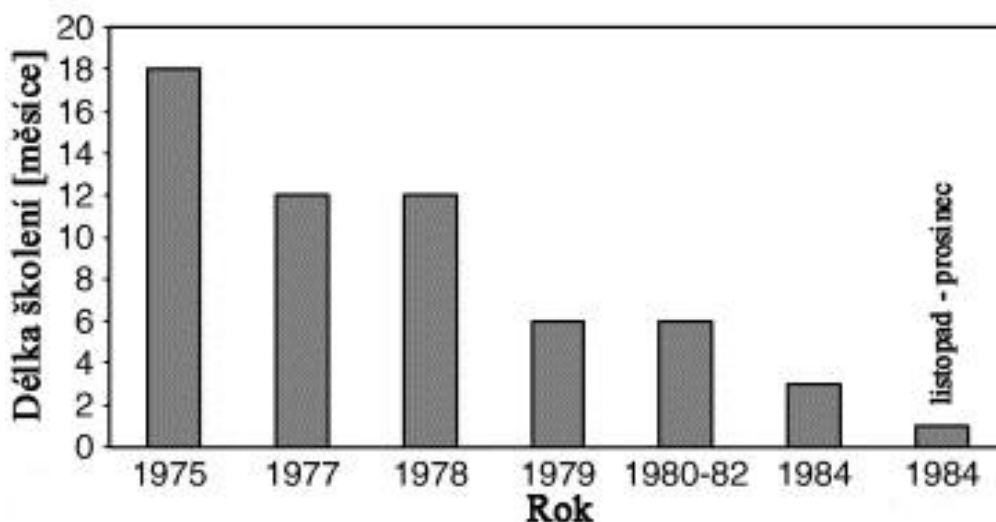
**Tab. 2** Zdravotní následky osob zasažených methylisokyanátem v Bhopálu v roce 1984

<b>Zdravotní následky 0–6 měsíců po havárii</b>	
Oční	zarudnutí, slzení, vředy, fotofobie, otok a zduření spojivky
Dýchací	otok plic, dušnost, zápal plic, pneumotorax
Gastrointestinální	průjem, anorexie, přetrvávající bolest břicha
Genetické	zvýšený výskyt chromozomálních abnormalit
Psychologické	neuróza, úzkostné stavy, poruchy přizpůsobení
Neurobehaviorální	poškození sluchové a zrakové paměti, poruchy bdělosti a reakční doby, poruchy myšlení a prostorového vnímání, poškození psychomotorické koordinace
<b>Zdravotní následky 6 a více měsíců po havárii</b>	
Oční	přetrvávající slzení, rohovkový zákal, chronický zánět spojivek
Dýchací	obstrukční a restriktivní plicní choroby, snížená funkce plic
Reprodukční	zvýšená potratovost, zvýšená novorozenecká úmrtnost, snížená tělesná hmotnost plodu
Genetické	zvýšený výskyt chromozomálních abnormalit
Neurobehaviorální	poruchy asociačního učení, rychlosti a přesnosti

Zdroj: Broughton, 2005; upravila Kristýna Česalová

Důvodů, proč ke katastrofě došlo, existuje hned několik. Bezpečnostní opatření závodu byla na daleko nižší úrovni než u sesterské továrny v Západní Virginii. Přestože si indická vláda uvědomovala tento nedostatek, byla zdrženlivá, pokud šlo o podnikání regulačních kroků (Broughton, 2005). Indická legislativa nerozlišovala mezi rizikovými a nerizikovými pracovišti, nevyžadovala informace, jak se chovat v případě nouze, místní řídicí orgány neměly právo odstavit nebezpečná zařízení z provozu (Mannan et al., 2005). Bhopálská továrna operovala za naprosto nevyhovujících podmínek, ať už se to týkalo používaných technologií, materiálů konstrukce, údržby či úrovně školení pracovní síly. Havárie tedy byla prakticky jen otázkou času (Chouhan, 2005).





**Obr. 13** Délka školení obslužných pracovníků bhopálské továrny  
(zdroj: Chouhan, 2005; upravila Kristýna Česalová)

Ihned po incidentu odmítla společnost Union Carbide nést právní zodpovědnost za zanedbání bezpečnosti provozu bhopálské továrny a snažila se svalit vinu na dceřinnou společnost, Union Carbide India Limited. V březnu 1985 schválila indická vláda zákon o bhopálské katastrofě (Bhopal Gas Leak Disaster Act), zaručující rychlost a nestrannost ve vyřizování pohledávek plynoucích z události. Union Carbide nakonec přijala morální zodpovědnost za incident a zaplatila indické vládě 470 milionů dolarů (namísto původně vyžadovaných 3 miliard) jako kompenzaci, částku tedy poměrně nízkou s ohledem na počet postižených a jejich dlouhodobé zdravotní následky. Do října roku 2003 bylo odškodněno 554 895 lidí za újmy na zdraví a 15 310 pozůstalých. Průměrná suma rodinám obětí činila 2 200 dolarů (Broughton, 2005).

Union Carbide se neustále pokoušela zmanipulovat a zamlčovat vědecké údaje o katastrofě, rezolutně např. popřela přítomnost HCN v mraku jedovatých par. Po roce 1984 ukončila provoz bhopálské továrny, místo nicméně zanechala v dezolátním stavu, zamořené toxickými látkami a těžkými kovy (Broughton, 2005). V roce 2001 převzala Union Carbide, a tedy i zodpovědnost za způsobené škody, nadnárodní firma Dow Chemical Company, jež prohlásila celou událost za uzavřenou (Vašků, 2002).

Jako reakce na událost byl v Indii v roce 1986 schválen zákon o ochraně životního prostředí (Environment Protection Act) a vytvořeno Ministerstvo životního

prostředí a lesů (Ministry of Environment and Forests) (Broughton, 2005). Byla definována riziková pracoviště, postupy jak se chovat za mimořádných událostí a způsoby nakládání s nebezpečným odpadem. Za nedodržení bezpečnostních předpisů se stanovily přísné pokuty. Zařízení musela být pojištěna proti případné havárii s následky na obyvatelstvu. Poselství Bhopálu však svou významností přesáhlo hranice Indie. V roce 1990 byly ve Spojených státech schváleny dodatky k zákonu o ochraně ovzduší (Clean Air Act Amendments), nařizující regulaci a dozor v otázce chemické bezpečnosti. V mnoha rozvojových zemích došlo ke zlepšení systému bezpečnosti práce a zdraví – např. přezkoumání a vylepšení legislativy (Malajsie, Thajsko) či zvýšení odbornosti školení zaměstnanců (Indonésie, Pakistan, Sýrie). Bhopálská katastrofa v roce 1984 se tak zapsala do dějin jako důrazné průmyslové varování (Mannan et al., 2005).

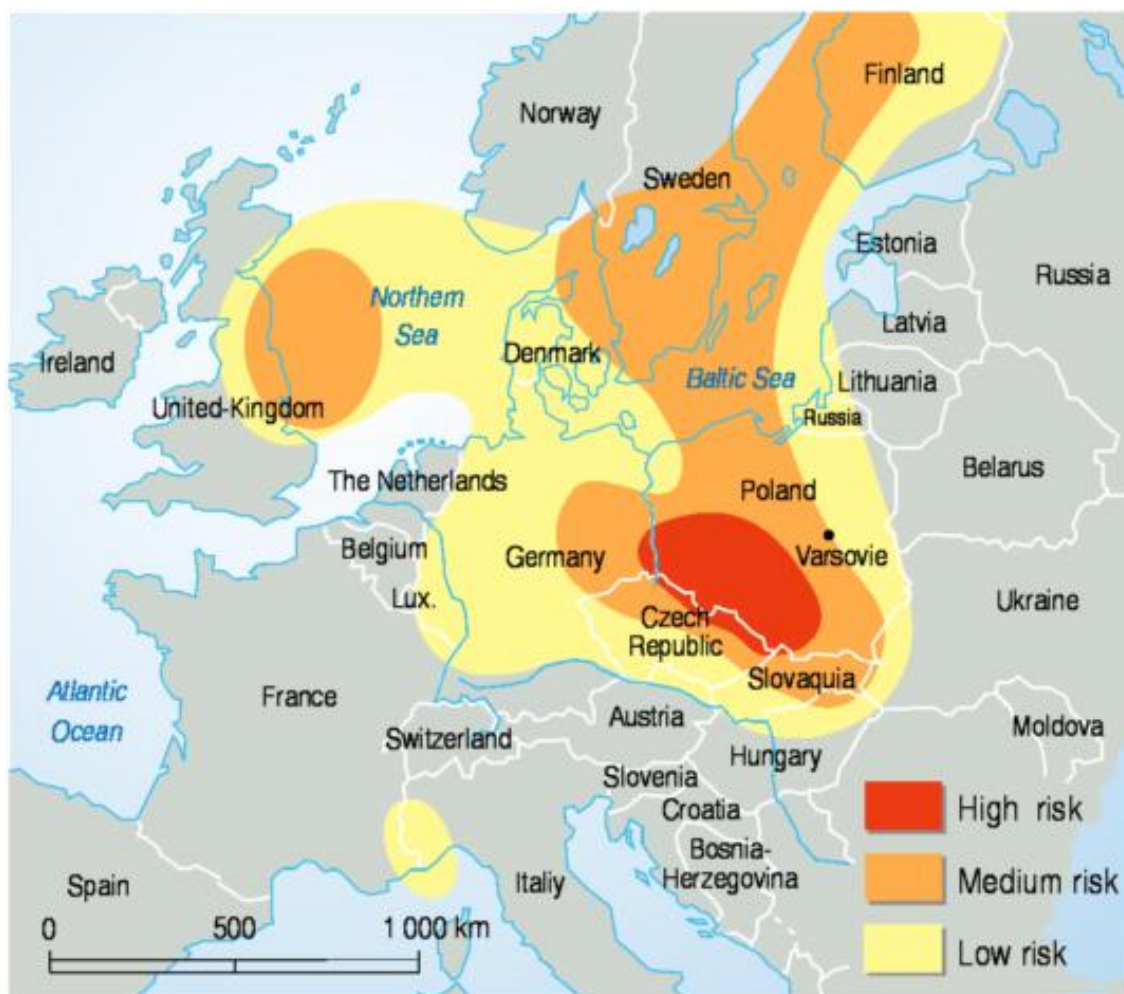


**Obr. 14** Fotografie mrtvého dítěte, symbol bhopálské tragédie  
(zdroj: The New Liberator, 2011; foto: Raghu Rai, 1984)

## 4.5 Okyselení srážek ve Skandinávii

Problematika **kyselých dešťů** (mokrý atmosférické depozice) jakožto významného ekologického jevu začala být zkoumána koncem 60. let 20. století, v důsledku rapidního rozvoje těžkého průmyslu po druhé světové válce (Hruška, Kopáček, 2005). V rámci států Evropy existují značné rozdíly v množství emisí škodlivin, záviselých na mnoha faktorech – míře industrializace, uplatnění moderních technologií proti znečišťování ovzduší, rozvinutosti automobilové dopravy, počtu obyvatel či legislativě dané země týkající se životního prostředí. Polutanty podílející se na vzniku kyselých dešťů, především oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ) a oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), mohou být transportovány větrem na velké vzdálenosti, což bývá navíc podpořeno užitím vysokých průmyslových komínů. Místo emisí se tak často liší od místa depozice. Jak bylo zjištěno, emise  $\text{SO}_2$  a  $\text{NO}_x$  některých zemí dosahovaly pouze velmi malých hodnot, naměřený spad byl však několikrát vyšší – to je i případ jižních oblastí Skandinávie (Menz, Seip, 2004).

Za počátek toho, kdy se kyselá deště dostaly do povědomí širší veřejnosti, je pokládán článek švédského vědce Svante Odéna, publikovaný ve stockholmských novinách Dagens Nyheter v roce 1967 (Hruška, Kopáček, 2005). Odén identifikoval negativní dopady kyselého deště na ekosystém a stanovil, že srážky ve Švédsku se během období 1962–1966 staly osmkrát kyselejšími (Cleveland, 2006). Neboť domácí zdroje emisí v málo zalidněném a ekologicky orientovaném Švédsku byly velmi nízké a uhlí se zde téměř nespalovalo, vyjádřil Odén domněnku, že vzrůstající acidita ve švédských řekách a jezerech je způsobena dálkovým přenosem polutantů z průmyslových center střední Evropy (především z Německa a Polska) a Velké Británie, kde naopak docházelo k získávání energie výhradně pálením uhlí v elektrárnách. Varováním před snížením populací ryb, odumíráním lesních porostů, nemocemi rostlin a poškozením materiálů tak Odén otevřel kontroverzní téma kyselých dešťů (Hruška, Kopáček, 2005; Levy, 1995).



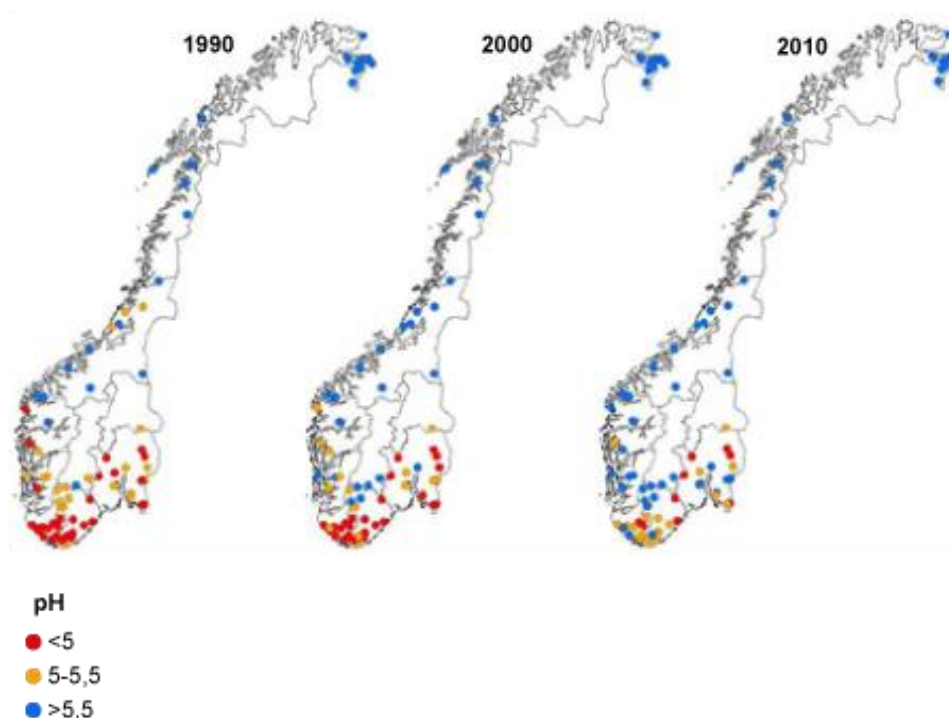
**Obr. 15** Oblasti vysokého, středního a nízkého rizika výskytu kyselých dešťů v Evropě  
(zdroj: Rekaewicz, UNEP/GRID-Arendal, 2005)

Prekurzory kyselých srážek se do atmosféry dostávají zejména antropogenní činností. Mezi zdroje  $\text{SO}_2$  patří spalování fosilních paliv, v menší míře potom pražení sirných rud či spalování dřeva.  $\text{NO}_x$  jsou emitovány především v důsledku spalování paliv v motorových vozidlech, dále průmyslovými procesy a elektrárnami (Menz, Seip, 2004). V atmosféře jsou tyto polutanty přeměněny reakcí s vodní párou na kyselinu sírovou ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), resp. dusičnou ( $\text{HNO}_3$ ). Jejich přítomnost ve srážkové vodě způsobuje zvýšení koncentrace vodíkových kationtů ( $\text{H}^+$ ), a tedy snížení pH. Atmosférické srážky bez antropogenního zásahu vykazují pouze slabě kyselé vlastnosti ( $\text{pH} = 5-6$ ,

koncentrace  $H^+ = 1\text{--}10$  mmol/l), pH kyselých dešťů se může pohybovat v rozmezí 3,5–4,5 (koncentrace  $H^+ = 30\text{--}300$  mmol/l) (Hruška, Kopáček, 2005).

Přenos kyselin z atmosféry na zemský povrch následně probíhá dvěma způsoby. Prvním je tzv. suchá depozice, převládající v blízkosti emisních zdrojů, jež spočívá v ulpění  $SO_2$  a  $NO_x$  na povrchu vegetace a jejich opláchnutí do půdy deštěm. Druhý mechanismus představuje tzv. mokrá depozice, mezi kterou řadíme i samotný kyselý déšť. Tato metoda zahrnuje proces vymývání polutantů z atmosféry formou srážek, přičemž většího významu nabývá v oblastech dále od emisních zdrojů. Při kontaktu kyselé srážkové vody se zemí začíná série reakcí mající za následek okyselení půd a povrchových vod. Tento proces je nazýván **acidifikace** (Hruška, Krám, Schwarz, 1999).

Obavy ze strany Norska a Švédska, týkající se především acidifikace vodních těles v důsledku skandinávských chudých, málo mocných půd (náchylných k poklesu pH), nebyly v 70. letech příliš brány v potaz (Menz, Seip, 2004). V Norsku celkově uhynulo 15 000 populací ryb, ostatní vodní živočichové či rostliny byly taktéž postiženy. Na jihu země došlo k vyhubení 25 obsádek lososů, dalších minimálně 20 bylo acidifikací negativně ovlivněno. Ačkoli lesní porosty ve Skandinávii taktéž vykazovaly úbytek vitality, k rozsáhlejšímu odumírání vlivem kyselého znečištění nedošlo (Climate and Pollution Agency, 2011). Účinky na lidské zdraví jsou nepřímé, neboť samotný kyselý déšť není pro člověka o nic nebezpečnější než „čistý“ déšť. Škodlivé jsou naopak prekurzory –  $SO_2$  a  $NO_x$  – způsobující choroby srdce a plic, nejčastěji astma a zánět průdušek (Environmental Protection Agency, 2012). Jak navíc dodává Obroučka (2001, s. 44), uvolňování hliníku z půd následkem kyselých dešťů a jeho proniknutí do pitné vody a potravního řetězce může vést ke vzniku Alzheimerovy choroby.



**Obr. 16** Trendy pH v norských jezerech

(zdroj: Norwegian Institute for Water Research, 2011; upravila Kristýna Česalová)

V reakci na vědecké důkazy o polutantech přenášených na velké vzdálenosti zavedla Evropská hospodářská komise OSN v roce 1979 Úmluvu o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution – **CLRTAP**). Jejím cílem bylo snížit emise látek znečišťujících ovzduší prostřednictvím prozatím osmi přijatých protokolů. V kontextu kyselých srážek byly nejvýznamnější z nich přijaty v roce 1985 v Helsinkách (Protokol o snížení emisí síry přecházející hranice států nejméně o 30 %), v roce 1988 v Sofii (Protokol o snižování emisí oxidů dusíku nebo jejich toků přes hranice států) a zatím poslední v roce 1999 v Göteborgu (Protokol k omezení acidifikace, eutrofizace a přízemního ozónu). Zároveň byl vytvořen Evropský monitorovací a vyhodnocovací program (European Monitoring and Evaluation Programme – **EMEP**), který dohlíží na kvalitu a dopady znečištění ovzduší v Evropě (Hruška, Kopáček, 2005; Levy, 1995).

Celková atmosférická depozice síry v Norsku byla zredukována z 197 000 t v roce 1980 na 33 000 t v roce 2008, tedy o více než 80 %. Depozice dusíku se snížila o

přibližně 40 %, ze 100 000 t v roce 1980 na 61 000 t v roce 2008. Emise síry samotného Norska klesly ze 150 000 t v 70. letech na 16 000 t v roce 2009. Emise oxidů dusíku v roce 2009 dosahovaly hodnoty 190 000 t – o 15 % méně než v roce 1990 (Climate and Pollution Agency, 2011). Situace ve Švédsku bude demonstrována na příkladu města Borlänge, ležícím v kraji Dalarna. Kvalita ovzduší se zde taktéž velmi zlepšila; emise SO<sub>2</sub> byly z velké části zredukovány, emise NO<sub>x</sub> stabilizovány a mírně klesly (z 3 200 t v roce 1980 na 2 600 t v roce 1986) (Miljökontoret Borlänge kommun, 2004; Åberg, 2013). Koncentrace SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> v Borlänge měnící se v čase zobrazuje **tab. 3** a **tab. 4**.

**Tab. 3** Průměrná koncentrace SO<sub>2</sub> v Borlänge v letech 1968–1999

Období	SO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]
1968–69	90,0
1974	28,6
1975–76	51,0
1976–77	53,3
1986–87	8,6
1987–88	5,3
1989–90	3,2
1990–91	2,0
1991–92	1,5
1994–95	1,7
1995–96	2,0
1996–97	1,3
1997–98	1,3
1998–99	1,6

**Tab. 4** Průměrná koncentrace NO<sub>x</sub> v Borlänge v letech 1979–1999

Období	NO <sub>x</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]
1979	53,0
1981	49,0
1983	32,0
1985	26,0
1986–87	28,1
1987–88	24,9
1989–90	25,4
1990	22,8
1991–92	20,9
1994–95	21,0
1995–96	26,6
1996–97	20,1
1997–98	25,0
1998–99	25,0

Zdroj: Miljökontoret Borlänge kommun, 2004; upravila Kristýna Česalová

\* pozn: pro vynechaná období data nezjištěna

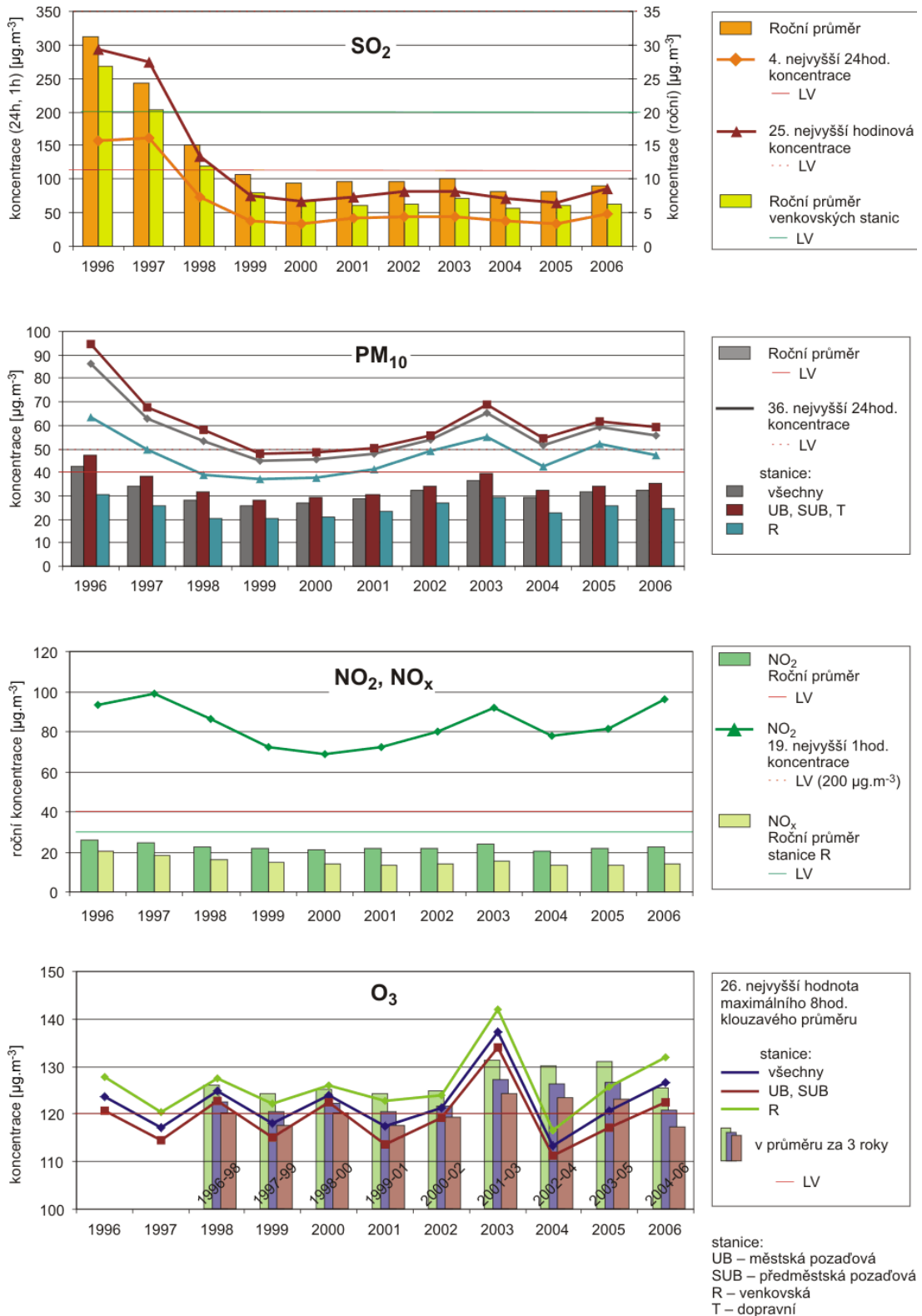
Ačkoli zavedením CLRTAP došlo v Evropě k výraznému poklesu emisí síry, emise oxidů dusíku byly v důsledku stále se rozvíjející automobilové dopravy redukovány pouze velmi pomalu. Kyselá dešť tak nadále zůstávají aktuálním ekologickým problémem v Evropě, i když už nikoliv v takové míře (Climate and Pollution Agency, 2011).

# 5 POMĚRY V ČR Z HLEDISKA ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

Česká republika se se znečištěním ovzduší potýká již dlouhodobě a v rámci Evropské unie se řadí mezi státy s nejhorší kvalitou ovzduší (Ministerstvo životního prostředí, 2007). Obdobně jako téměř v celé Evropě patří mezi hlavní negativa znečištění atmosféry prašným aerosolem (PM) a přízemním ozónem ( $O_3$ ), jež dosahují nadlimitních koncentrací. V 90. letech 20. století došlo v ČR ke zřetelnému snížení emisí řady polutantů – oxidu siřičitého ( $SO_2$ ), prašného aerosolu (PM) či oxidů dusíku ( $NO_x$ ); od roku 2000 do roku 2003 byl však klesající trend přerušen a naopak došlo k nárůstu koncentrací těchto znečišťujících látek. Další vývoj zaznamenal pokles i růst, přičemž důležitou roli vždy hrály aktuální rozptylové podmínky. Došlo k redukci emisí z velkých stacionárních zdrojů znečišťování (REZZO 1), především zásluhou modernějších technologií a odsiřovacích zařízení. V současné době emise z elektráren, spaloven a dalších velkých bodových zdrojů klesají, anebo stagnují. Na významu naopak nabývá znečišťování ovzduší v důsledku intenzivní motorové dopravy a malých stacionárních zdrojů, zejména domácích topenišť (CENIA, 2008).

**Obr. 17** zobrazuje trendy koncentrací vybraných polutantů v ČR v období 1996–2006. Jak již bylo řečeno, největší současný problém představuje znečištění ovzduší prašným aerosolem, zejména v souvislosti s ohrožením lidského zdraví. Hrubé frakce ( $PM_{10}$  – prašný aerosol s velikostí částic do 10  $\mu m$ ) jsou zachyceny v horních částech dýchacího ústrojí, jemné frakce ( $PM_{2,5}$  – prašný aerosol s velikostí částic do 2,5  $\mu m$ ) mohou proniknout až do plicních sklípků. Mezi nejčastější zdravotní následky prašného aerosolu se řadí onemocnění srdce a cév, snížení funkce plic, dýchací obtíže, snížení odolnosti organismu či zvýšené riziko výskytu rakoviny plic. Nejohroženějšími skupinami jsou děti, starší osoby a lidé s chronickým onemocněním dýchacího či oběhového aparátu (Ministerstvo životního prostředí, 2007). Následující podkapitoly jsou věnovány dvěma oblastem tradičně postiženým nejzávažnějším znečištěním ovzduší v ČR – Ostravsku a Ústecku.





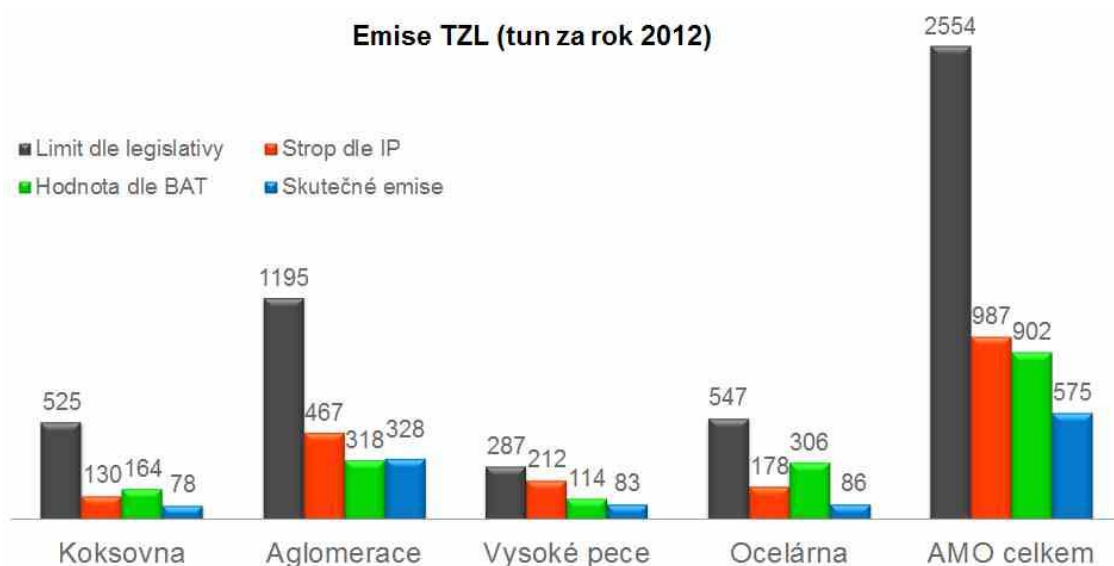
**Obr. 17** Trendy ročních charakteristik vybraných polutantů v ČR v období 1996–2006 (zdroj: ČHMÚ, 2007)

\* pozn: LV = imisní limit

## 5.1 Ostravsko

Monitorování kvality ovzduší v Moravskoslezském kraji pravidelně ukazuje nadlimitní koncentrace  $PM_{10}$  (přípustný denní imisní limit =  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), zejména na území ostravsko-karvinské aglomerace (Krajská hygienická stanice Moravskoslezského kraje, 2007). Situace se nicméně v porovnání s předchozími lety značně zlepšila, hlavně v důsledku poklesu a modernizace průmyslové výroby a omezení těžby černého uhlí (Magistrát města Ostravy, 2011).

Dle Integrovaného registru znečišťování (IRZ) byl v roce 2010 největším producentem  $PM_{10}$  v ČR ArcelorMittal Ostrava (831 597 kg/rok) (Ministerstvo životního prostředí, 2012). Tato skutečnost je ovšem dána faktem, že hutní výroba nikdy nebude zcela bez emisí škodlivin. Jak tvrdí Pýcha (2013), společnost je a vždy byla v souladu s platnou emisní legislativou. Za rok 2012 byly dokonce emise ArcelorMittal Ostrava na historickém minimu a třetinové oproti roku 2003, kdy společnost do ostravské huti vstoupila. Skutečné emise tuhých znečišťujících látek za celou huť dosahovaly díky efektivním moderním technologiím (zejména tkaninovému filtru) necelé čtvrtiny hodnoty, kterou povoluje česká legislativa; nad rámec bylo dodrženo i integrované povolení Moravskoslezského kraje (IP) a požadavky dané tzv. nejlepšími dostupnými technikami (BAT), jež vstoupí v platnost až v roce 2016. Veškeré údaje jsou zobrazeny na **obr. 18**.



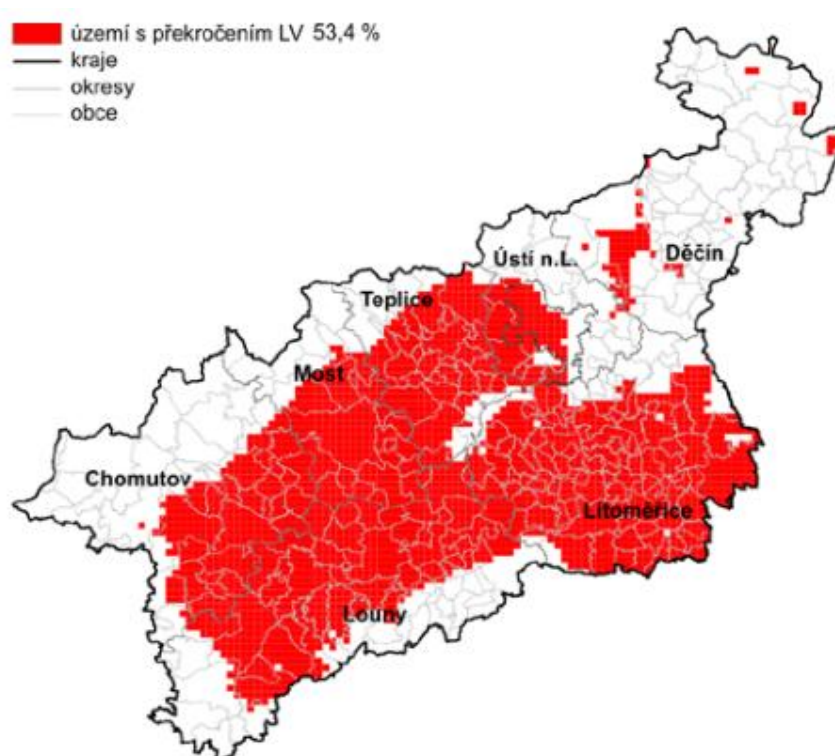
**Obr. 18** Emise tuhých znečišťujících látek ArcelorMittalu Ostrava v roce 2012  
v porovnání s platnými limity  
(zdroj: Pýcha, 2013)

\* pozn: tuhé znečišťující látky (TZL) = PM při posuzování odpadních plynů

Kromě dalších zdrojů znečištění ovzduší na Ostravsku, kterými jsou zejména lokální topeniště a doprava, má kontroverzní roli polská strana, jež si při vstupu do Evropské unie vyjednala měkčí limity. Za špatných rozptylových podmínek, kdy vanou větry z Polska na naši stranu, tak může být zhoršení kvality ovzduší na Ostravsku přisuzováno právě Polákům. Přesná data však nejsou k dispozici (Chalupa, 2011). Potřeba monitorovat česko-polské příhraničí vedla v roce 2010 ke spuštění projektu Air Silesia, jehož cílem je vytvořit společný informační systém o kvalitě ovzduší v moravskoslezském česko-polském regionu (Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě + partneři, 2010). Z aktivit Ostravy, jež jsou podnikány jako reakce na znečištěné ovzduší, lze jmenovat častější čištění a kropení silnic či hrazení ozdravných pobytů dětí z nejznečištěnějších částí města (Magistrát města Ostravy, 2011).

## 5.2 Ústecko

Ústecký kraj se řadí k oblastem nejvíce ovlivněným průmyslem v ČR, s dominujícím chemickým, strojírenským a sklářským průmyslem a povrchovou těžbou hnědého uhlí. Ačkoli došlo během uplynulé dekády ke značnému zlepšení kvality ovzduší, je kraj považován za území s nejpoškozenějším životním prostředím. V emisích SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> obsazuje v rámci ČR přední příčky (CENIA, 2007). Dle IRZ byly v roce 2010 největším producentem jak SO<sub>2</sub> (17 335 279 kg/rok), tak NO<sub>x</sub> (16 793 317 kg/rok) elektrárny Prunéřov. Do první desítky se z Ústeckého kraje dále dostaly elektrárna Počerady, společnost CHEMOPETROL, elektrárna Ledvice a teplárna Komořany. Uvedené subjekty zároveň patří k největším producentům emisí PM<sub>10</sub> (Ministerstvo životního prostředí, 2012). Z dalších velkých zdrojů znečištění ovzduší v kraji lze jmenovat elektrárnu Tušimice, závod Řetenice či cementárnu Čížkovice, nezanedbatelný podíl na emisích však nesou i malé a mobilní zdroje (CENIA, 2007).



**Obr. 19** Procento území Ústeckého kraje v roce 2010 s překročenými hodnotami emisního limitu (LV) u PM<sub>10</sub>

(zdroj: Ministerstvo životního prostředí, 2012)

Za účelem snížení emisí aplikují zdroje znečišťování ovzduší moderní technologie. V březnu roku 2006 byl spuštěn projekt Ústecký kraj – kraj přírody i člověka, jehož cílem bylo rozšířit stávající ekologická centra a vzdělání občanů v oblasti environmentální výchovy. Dále kraj realizuje Program rozvoje ekologické výchovy vzdělávání a osvěty s možností požádat o finanční podporu na relevantní projekty (CENIA, 2007).

## 6 SROVNÁNÍ ZPRACOVANÝCH SITUACÍ

Všechny situace znečištění atmosféry popsané v kapitolách 4 a 5 ovlivnily zásadním způsobem další konání v oblasti ochrany kvality ovzduší. Zároveň však potvrdily i častý trend v environmentální sféře – zanedbání prevence. Jinými slovy, než byla zavedena efektivní legislativní opatření, muselo nejprve dojít k závažné události se škodami na lidských životech a životním prostředí. Velkou mírou se projevila také neinformovanost obyvatel, kteří si hrozící nebezpečí často vůbec neuvědomovali.

Na popisované situace lze nahlížet dle několika různých kritérií. Ve všech případech se jednalo o znečištění ovzduší antropogenního původu, tedy nešetným zásahem člověka. Důležitou roli přitom hrály ekonomické důvody (spalování snadno dostupného, levného „mořského uhlí“ v Londýně) a tehdejší nedostatek moderních technologií (donorská zinkovna, automobily bez katalyzátorů v Los Angeles). Procesy, kterými se emise uvolnily do ovzduší, byly kromě chemičky v Bhopálu spalovací.

Na rozvoji událostí se dále významně podílely atmosférické podmínky a geografická poloha daných míst. Donora, Londýn i Los Angeles jsou nízko položená území, kde teplotní inverze znemožnila únik polutantů z údolí do vyšších vrstev atmosféry a přispěla tak k rozvoji smogové situace. V případě bhopálské havárie a okyselení srážek ve Skandinávii hrál klíčovou roli směr větru, jenž zavál polutanty na místo, kde později došlo k samotné události. Obdobná příčina je i možná v případě znečištěného ovzduší na Ostravsku, kam za špatných rozptylových podmínek vanou větry z Polska.

Ze znečišťujících látek, které vybrané závažné situace způsobily, dominovaly oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ), oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), prašný aerosol (PM), těkavé organické látky (VOC) a oxid uhelnatý (CO). V případě fotochemického smogu v Los Angeles převažovaly emise polutantů z mobilních zdrojů znečišťování (automobilová doprava), u ostatních situací převládaly emise ze stacionárních zdrojů. Vysoké koncentrace uvedených polutantů měly negativní dopad na životní prostředí a lidské zdraví (postiženo bylo zejména kardiovaskulární a dýchací ústrojí). Z hlediska počtu obětí a

postižených představuje nejtragičtější událost havárie v indickém Bhopálu, z hlediska vlivu na ekosystém bylo zásadní okyselení srážek ve Skandinávii.

Dalším kritériem srovnání popisovaných environmentálních zkušeností je časový úsek, po který daná situace probíhala. Zatímco havárie v Bhopálu byla jednorázová záležitost, okyselení srážek ve Skandinávii a zvláště pak losangeleský smog se řadí mezi události chronického rázu. Průmyslové znečištění v Donoře a Velký londýnský smog mají smíšenou povahu – těmto událostem předcházelo dlouhodobé znečišťování ovzduší, které vyvrcholilo příslušnými tragickými incidenty. O chronickém znečišťování ovzduší lze hovořit i v případě Ostravska a Ústecka.

V neposlední řadě je nutné zmínit společný znak v reakcích odpovědných orgánů či samotných znečišťovatelů, a to snahu se od problému distancovat. Donorská zinkovna označila incident z roku 1948 za „zásah Boha“, londýnská vláda se snažila připsat příčinu smrti obětí Velkého smogu chřipce, američtí výrobci automobilů zpočátku odmítali instalovat katalyzátor, Union Carbide zamlčovala informace o bhopálské katastrofě. Ačkoli měly nakonec všechny popisované události vliv na vývoj legislativy ochrany ovzduší, je třeba v boji proti znečištění atmosféry vyzdvihnout Kalifornii (orgány zodpovědné za kontrolu znečištění ovzduší, programy na testování motorů aut, zavedení katalyzátorů).

## 7 ZÁVĚR

Antropogenní znečištění ovzduší představuje vážný ekologický problém, což bylo dokazáno na vybraných závažných světových událostech, které se odehrály ve 20. století. Těmito událostmi, jež zásadním způsobem ovlivnily následující vývoj ochrany ovzduší, byly: průmyslové znečištění v pensylvánské Donoře, londýnský smog, losangeleský smog, chemická havárie v indickém Bhopálu a okyselení srážek ve Skandinávii. V České republice patří k nejznečištěnějším oblastem Ostravsko a Ústecko, kde taktéž došlo k zavedení náležitých opatření s cílem zlepšit kvalitu ovzduší.

Ačkoli jsou zvolené události velmi specifické, jejich důkladnou analýzou byly identifikovány obdobné příčiny vzniku a rozvoje. Klíčovou roli hrála kombinace polutantů v toxických koncentracích, příhodných atmosférických podmínek a geografické polohy daných míst. Bylo zjištěno, že oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ) a prašný aerosol (PM) způsobily znečištění v Donoře a v Londýně, oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ) a těžké organické látky (VOC), jež vedly k formaci přízemního ozónu, byly důvodem chronické smogové situace v Los Angeles, methylisokyanát zapříčinil katastrofu v indickém Bhopálu a dálkový transport  $\text{SO}_2$  a  $\text{NO}_x$  okyselení srážek v jižní Skandinávii. V ČR představuje jednu z nejrozšířenějších znečišťujících látek v ovzduší prašný aerosol, emitovaný zejména spalovacími procesy, a s rostoucí intenzitou automobilové dopravy také přízemní ozón.

Vybrané události se vyznačovaly negativními dopady na lidské zdraví, postižen byl především oběhový a respirační aparát obyvatel. Alarmující počty obětí byly zaznamenány v Bhopálu (přes 10 000), během Velkého londýnského smogu (4 000) a v Donoře (20). Všechny zvolené incidenty měly důležitý vliv na přijetí regionálních, státních či mezinárodních legislativních opatření v oblasti ochrany kvality ovzduší. Z těch nejvýznamějších lze jmenovat americký zákon o ochraně ovzduší (Clean Air Act) a evropskou Úmluvu o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution).

Jakkoli měly výše uvedené historické události tragické následky, ať už co do počtu obětí či devastujících účinků na životní prostředí, jejich výskyt pozitivně změnil



všeobecnou percepci nutnosti ochrany ovzduší. Byla přijata příslušná legislativa, jež nastavenými standardy zmírnila znečištění atmosféry a vedla tak ke značnému zlepšení kvality ovzduší. Odkaz popisovaných environmentálních situací spočívá rovněž v důležitosti efektivní prevence. Došlo ke zvýšení informovanosti obyvatelstva v dané problematice a uvědomění si, že ekologické smýšlení začíná u každého z nás.

## 8 SUMMARY

The Bachelor thesis *Environmental history of air pollution on the example of selected serious situations in the world* deals with the role of crucial environmental events that transformed our perception of atmospheric pollution. The events described were the industrial pollution in Donora, Pennsylvania, the Great London Smog, photochemical smog in Los Angeles, the Bhopal disaster and acidification of precipitation in Scandinavia. All of them brought an important legacy in terms of necessity of air conservation. Moreover, the thesis provides a brief characterization of the air pollution situation in the Czech Republic.

Using the method of thorough analysis, each of the selected case studies was described in terms of the cause and circumstances leading to the outbreak of the event, the course of the event itself, impacts on human and/or environmental health and consequences for the formation of legislative measures. Five main anthropogenic air pollutants causing the situations were sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), particulate matter (PM), volatile organic compounds (VOC) and carbon monoxide (CO). The events resulted from a combination of high concentrations of these pollutants and suitable atmospheric conditions. The most tragic one in terms of consequences (tens of thousands of casualties and lifelong disabilities) was the Bhopal disaster, the most influential one in terms of air pollution control development was the chronic situation of photochemical smog in Los Angeles.

## 9 SEZNAM LITERATURY

**Åberg, A.**, zaměstnankyně Odboru životního prostředí v Borlänge (Miljökontoret Borlänge kommun). *Osobní komunikace*, březen 2013.

**Boyd, C.** (2012): *London's 'Great Smog of 1952'* [online, cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <<http://www.theworld.org/2012/12/londons-great-smog-of-1952/>>.

**Broughton, E.** (2005): The Bhopal disaster and its aftermath: a review. *Environ Health* 4, Article 6.

**California Air Resources Board** (2012): *Key Events in the History of Air Quality in California* [online, cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <<http://www.arb.ca.gov/html/brochure/history.htm>>.

**California Air Resources Board, Ellsaesser, H. W.** (1995): *The State of Humanity*. In **Schwartz, J. M., Hayward, S. F.** (2007): *Air Quality in America: A Dose of Reality on Air Pollution Levels, Trends, and Health Risks*. Washington DC: The AEI Press, 279 s.

**Carle, D.** (2006): *Introduction to Air in California (California Natural History Guides)*. Berkeley: University of California Press, 273 s.

**CENIA** (2007): *Stav životního prostředí v jednotlivých krajích České republiky v roce 2006 – Ústecký kraj* [online, cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <[http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/CENMSFNFPN5/\\$FILE/ustecky\\_06\\_final\\_eb%5B1%5D.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/CENMSFNFPN5/$FILE/ustecky_06_final_eb%5B1%5D.pdf)>.

**CENIA** (2008): Kapitola: Úvod – Vzduch. In *Vítejte na Zemi – multimediální ročenka životního prostředí* [online, cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <<http://www.vitejenazemi.cz/vzduch/>>.

**Cleveland, C. J.** (2006): *Odén, Svante* [online, cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <[http://www.eoearth.org/article/Od%C3%A9n,\\_Svante](http://www.eoearth.org/article/Od%C3%A9n,_Svante)>.

**Climate and Pollution Agency** (2011): *Acid rain* [online, cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <<http://www.environment.no/Topics/Air-pollution/Acid-rain/>>.

**ČHMÚ** (2007): *Trendy ročních charakteristik SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a O<sub>3</sub> v České republice, 1996–2006* [online, cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <<http://pocasi.chmi.cz/uoco/isko/groc/gr06cz/gif/o24242trendyCR.gif>>.

**Davis, D.** (2002): *When Smoke Ran Like Water: Tales of Environmental Deception and the Battle Against Pollution*. New York: Basic Books, 316 s.

**Dooley, E. E.** (2002): Fifty Years Later: Clearing the Air over the London Smog. *Environmental Health Perspectives* 110, A 748.

**Environmental Protection Agency** (2012): *Effects of Acid Rain – Human Health* [online, cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <<http://www.epa.gov/acidrain/effects/health.html>>.

**Glover, L.** (1998): Donora's Killer Smog Noted at 50. *Tribune-Review* [online, cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <<http://www.portal.state.pa.us/portal/server.pt?open=514&objID=588401&mode=2#cleaner>>.

**Google Maps** (2013): *Data map* [online, cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <<https://maps.google.cz/maps?q=donora,+pa&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:cs:official&client=firefox-a&um=1&ie=UTF-8&hl=cs&sa=N&tab=wl>>.

**Gorman, S.** (2013): *Los Angeles retains notorious rankings for worst smog, traffic* [online, cit. 2013-04-24]. Dostupné z: <<http://www.reuters.com/article/2013/04/25/us-usa-losangeles-life-idUSBRE93O00S20130425>>.

**Helfand, W. H., Lazarus, J., Theerman, P.** (2001): Donora, Pennsylvania: An Environmental Disaster of the 20th Century. *American Journal of Public Health* 91, 553.

**Hamill, S. D.** (2008): Unveiling a Museum, a Pennsylvania Town Remembers the Smog that Killed 20. *New York Times, the New York Edition*, A22.

**Hess, D.** (1995): Historic Marker Commemorates Donora Smog Tragedy. *Department of Environmental Protection* [online, cit. 2013-03-18]. Dostupné z: <<http://www.portal.state.pa.us/portal/server.pt?open=514&objID=588401&mode=2#cleaner>>.

**Hruška, J., Kopáček, J.** (2005): Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost. *Planeta* 12, 1–24.

**Hruška, J., Krám, P., Schwarz, O.** (1999): Kyselá deště stále s námi. *Lesnické práce* č. 06 [online, cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <<http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/da28f37425da72f7c12569e600723950/c20d4d1d45cd9603c12569be007f2043?OpenDocument>>.

**Chalupa, T.** (2011): *Polsko si vyjednalo měkčí limity znečištění (Horizont) – debata s ministrem životního prostředí* [online, cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <[http://www.mzp.cz/cz/articles\\_110712\\_horizont](http://www.mzp.cz/cz/articles_110712_horizont)>.

**Chouhan, T. R.** (2005): The unfolding of Bhopal Disaster. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 18, 205–208.

**Krajská hygienická stanice Moravskoslezského kraje** (2007): *Informace o stavu znečištění ovzduší na území Moravskoslezského kraje země* [online, cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <[http://www.khsova.cz/01\\_aktuality/prach.php](http://www.khsova.cz/01_aktuality/prach.php)>.

**Laskin, D.** (2006): The Great London Smog. *Weatherwise* 59, 42–45.

**Levy, M. A.** (1995): International Co-operation to Combat Acid Rain. In **Bergensen, H. O., Parmann, G., Thommessen, Ø. B.** (1995): *Green Globe Yearbook of International Co-operation on Environment and Development*. Oxford: Oxford University Press, 59–68.

**Livingstone, K.** (2002): *50 years on: The struggle for air quality in London since the great smog of December 1952*. Londýn: Greater London Authority, 40 s.

**London County Council** (1953): Smoke and sulphur dioxide concentrations at County Hall during the London smog of December 1952 compared to the average

concentrations in December 1951. In **Livingstone, K.** (2002): *50 years on: The struggle for air quality in London since the great smog of December 1952*. Londýn: Greater London Authority, 40 s.

**Magistrát města Ostravy** (2011): *Aktivity města v ochraně životního prostředí* [online, cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <<http://www.dychamproostravu.cz/ovzdusi/aktivity-mesta-ostravy-v-ozp>>.

**Magistrát města Ostravy** (2011): *Historické srovnání kvality ovzduší* [online, cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <[http://www.dychamproostravu.cz/images/historie\\_u.pdf](http://www.dychamproostravu.cz/images/historie_u.pdf)>.

**Mannan, M. S. et al.** (2005): The legacy of Bhopal: The impact over the last 20 years and future direction. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 18, 218–224.

**Mapa světa.info** (2013): *Mapa světa – slepá mapa s hranicemi zemí* [online, cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <[http://mapasveta.info/svet/mapa\\_sveta\\_slepa\\_mapa\\_hranice.html](http://mapasveta.info/svet/mapa_sveta_slepa_mapa_hranice.html)>.

**Menz, F. C., Seip, H. M.** (2004): Acid rain in Europe and the United States: an update. *Environmental Science & Policy* 7, 253–265.

**Mika, O. J.** (2003): *Chemická havárie v Bhopálu 1984* (Stručná případová studie). Zlín: VII. ročník Mezinárodní konference medicíny katastrof.

**Miljökontoret Borlänge kommun** (2004): *Luften i Borlänge* [online, cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <<http://www.borlange.se/upload/23604/AssociatedFiles/Luften%20i%20borlange.pdf>>.

**Ministerstvo životního prostředí** (2007): *České ovzduší má problém – topení uhlím a automobilovou dopravu* [online, cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=1037>>.

**Ministerstvo životního prostředí** (2012): Integrovaný registr znečištění životního prostředí – *Souhrnná zpráva za rok 2010* [online, cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <[http://www.irz.cz/sites/default/files/IRZ\\_Souhrnna\\_zprava\\_2010\\_30052012.pdf](http://www.irz.cz/sites/default/files/IRZ_Souhrnna_zprava_2010_30052012.pdf)>.

- Ministerstvo životního prostředí** (2012): Zóna Ústecký kraj. In *Věstník XXI*, 169.
- Ministry of Health** (1954): Deaths registered during the London smog of December 1952. In **Livingstone, K.** (2002): *50 years on: The struggle for air quality in London since the great smog of December 1952*. Londýn: Greater London Authority, 40 s.
- Murthy, R. S.** (2005): The Experience of the Bhopal Disaster. In **López-Ibor, J. J. Ch., Norman, G. S.** (2005): *Disasters and Mental Health*. Hoboken: Wiley, 289 s.
- Norwegian Institute for Water Research** (2011): *pH trends in lakes* [online, cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <<http://www.environment.no/Topics/Air-pollution/Acid-rain/>>.
- Obroučka, K.** (2001): *Látky znečišťující ovzduší*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 73 s.
- Pavangkanan, A.** (2008): *Los Angeles Skyline* [online, cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <<http://www.flickr.com/photos/drtran/2186120627/>>.
- Peterman, E.** (2009): A Cloud With a Silver Lining: The Killer Smog in Donora, 1948. *The Pennsylvania Center for the Book* [online, cit. 2013-03-18]. Dostupné z: <<http://pabook.libraries.psu.edu/palitmap/DonoraSmog.html>>.
- Pýcha, J.**, pracovník AMI Communications – zástupce huti ArcelorMittal Ostrava. *Osobní komunikace*, březen/duben 2013.
- Rekacewicz, P., UNEP/GRID-Arendal** (2005): *Acid rain in Europe* [online, cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <[http://www.grida.no/graphicslib/detail/acid-rain-in-europe\\_2853](http://www.grida.no/graphicslib/detail/acid-rain-in-europe_2853)>.
- Sadtler, P.** (1948): Fluorine Gases in Atmosphere as Industrial Waste Blamed for Death and Chronic Poisoning of Donora and Webster, Pa., Inhabitants. *Chemical and Engineering News* 26, 3 692.
- Science Podcast** (2009): *Bhopal Disaster, and Its Unlikely Legacy in the World* [online, cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <<http://www.world-science.org/podcast/bhopal-disaster-and-its-unlikely-legacy-in-the-world/>>.

**Schrenk, H. H.** (1949): Air Pollution in Donora, Pa.; Epidemiology of the Unusual Smog Episode of October 1948: Preliminary Report. In **American Geographical Society** (1951): Geographical Record. *Geographical Review* 41, 487–506.

**Schwartz, J. M., Hayward, S. F.** (2007): *Air Quality in America: A Dose of Reality on Air Pollution Levels, Trends, and Health Risks*. Washington DC: The AEI Press, 279 s.

**Snyder, L. P.** (1994): The Death-Dealing Smog over Donora, Pennsylvania: Industrial Air Pollution, Public Health Policy, and the Politics of Expertise, 1948–1949. *Environmental History Review* 18, 117–139.

**South Coast Air Quality Management District** (2012): *Smog and Health* [online, cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <[http://www.aqmd.gov/smog/historical/smog\\_and\\_health.htm](http://www.aqmd.gov/smog/historical/smog_and_health.htm)>.

**South Coast Air Quality Management District** (2005): *History of Smog* [online, cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <<http://www.laweekly.com/2005-09-22/news/history-of-smog/full/>>.

**South Coast Air Quality Management District** (1997). *The Southland's War on Smog: Fifty Years of Progress Toward Clean Air* [online, cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <<http://www.aqmd.gov/news1/Archives/History/marchcov.html#Cleaning%20Up%20Cars>>.

**Southern California Association of Governments, South Coast Air Quality Management District** (1991): Air Quality Management Plan: South Coast Air Basin. In **Environment** (1994): Los Angeles: Traffic and Smog. *Environment* 36, 12–13.

**Templeton, D.** (1998): Cleaner Air Is Legacy Left by Donora's Killer 1948 Smog. *Pittsburgh Post-Gazette* [online, cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <<http://www.portal.state.pa.us/portal/server.pt?open=514&objID=588401&mode=2#cleaner>>.

**The New Liberator** (2011): *The 1984 Bhopal Disaster also known as Bhopal Gas Tragedy* [online, cit. 2013-04-25]. Dostupné z:



<<http://thenewliberator.wordpress.com/2012/02/10/the-1984-bhopal-disaster-also-known-as-bhopal-gas-tragedy/>>.

**Tůma, J.** (2000): *Katastrofy techniky děsící 20. století*. Praha: Academia (nakladatelství AV ČR), 302 s.

**Ulbrichová, I.** (2007): Kapitola: Škodliviny. In *Hospodaření v imisních oblastech – obnova antropogenně poškozených oblastí* [online, cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <[http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta\\_HIO/kapitoly/Skodliviny/Ozonuvod.htm](http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_HIO/kapitoly/Skodliviny/Ozonuvod.htm)>.

**U. S. Environmental Protection Agency** (1991): National Air Quality and Emissions Trends Report. In **Environment** (1994): Los Angeles: Traffic and Smog. *Environment* 36, 12–13.

**Vašků, V.** (2002): *Bhopálský deník* [online, cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <<http://old.greenpeace.cz/bhopal/online.html#19>>.

**Whittaker, A. et al.** (2004): Killer smog of London, 50 years on: particle properties and oxidative capacity. *Science of the Total Environment* 334–335, 435–445.

**Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě + partneři** (2010): *Air Silesia – Popis projektu* [online, cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <[http://www.airilesia.eu/cz/a763/Popis\\_Projektu.html](http://www.airilesia.eu/cz/a763/Popis_Projektu.html)>.