

# **Návrh metodologie mapování zátěže znečištěným ovzduším na materiály kulturních a historických památek a vybraných muzejních sbírkových předmětů na území České republiky**

**Ing. Miloš Zapletal, Dr.**

## **Úvod**

Látky znečišťující ovzduší jsou důležitým faktorem v procesu poškozování kulturních a historických památek a muzejních sbírkových předmětů vytvořených z různých materiálů, včetně systémů, které jsou používány pro ochranu těchto materiálů. V důsledku znečišťování je životnost těchto kulturních a historických památek a sbírkových předmětů zkracována a poškozování probíhá velmi rychle. Důsledky fyzikálně-chemického poškození a následné ekonomické ztráty pro společnost jsou velmi významné. Návrh metodologie zohledňuje korozivní a poškozující působení oxidu siřičitého, oxidů dusíku, ozonu a atmosférické depozice v kombinaci s klimatickými parametry a dalšími vlivy životního prostředí. Metodologie definuje metody a postupy pro mapování „přijatelných hodnot expozice“ znečišťujících látek, které působí na kulturní a historické památky a vybrané muzejní sbírkové předměty analogickým způsobem, jakým jsou definovány kritické úrovně a zátěže pro přírodní ekosystémy [1, 2].

Cílem navržené metodologie je návrh metod a postupů pro určení a hodnocení přijatelných úrovní látek znečišťujících ovzduší (oxidu siřičitého, oxidů dusíku, ozonu) a jejich překročení na území České republiky se záměrem poskytnout podklady pro podporu trvalého sledování a komplexního vyhodnocování negativních důsledků fyzikálně-chemického poškozování materiálů kulturních a historických památek a vybraných sbírkových předmětů látkami znečišťujícími ovzduší a praktickou realizaci strategie ochrany kulturního dědictví proti vlivům prostředí, s případným následným vyhodnocováním ekonomických škod pro společnost.

## **1. Shrnutí současného stavu poznání ve světě a v České republice**

V České republice dlouhodobě pozorujeme vysokou koncentraci látek znečišťujících ovzduší, které jsou důležitým faktorem poškozování kulturních a historických památek a vybraných sbírkových předmětů vytvořených z různých materiálů, včetně systémů, které jsou používány pro ochranu těchto materiálů. V důsledku znečišťování je životnost těchto kulturních památek zkracována a poškozování probíhá velmi rychle. Důsledky fyzikálně-chemického poškození a následné ekonomické ztráty pro společnost jsou velmi významné. Je třeba zdůraznit i to, že degradační působení činitelů prostředí vede k trvalé ztrátě kulturních hodnot, kde nositelem této hodnoty je hmota.

Územní rozložení poškozených kulturních a historických památek ukazuje na silný kauzální vztah mezi vysokými koncentracemi látek znečišťujících ovzduší a umístěním kulturních a historických památek. Studium vazby mezi imisemi látek znečišťujících ovzduší a jejich možnými vlivy na kulturní a historické památky musí být realizováno v odpovídajících prostorových a časových měřítcích.

Česká republika je zapojena do mezinárodních projektů spolupráce Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů pro sledování vlivu znečištění na materiály včetně kulturních a historických památek. V rámci tohoto programu jsou na území Evropy (částečně též USA, Kanady a Izraele) realizovány náročné dlouhodobé atmosférické korozní zkoušky a jsou postupně odvozovány rovnice závislosti znehodnocení na úrovni znečištění. Tyto rovnice, které nazýváme dávkově-reakční funkce, vyjadřují vztah mezi stupněm koroze nebo poškození a úrovní nebo zátěží znečišťujících látek v kombinaci s dalšími klimatickými parametry. Byla též vypracována koncepce tzv. přijatelných úrovní znečištění, která je základnou pro mapování zátěže materiálů znečištěním a pro stanovení úrovní znečištění imisemi těchto látek pro jednotlivé země, které jsou signatáři úmluvy o dálkovém znečišťování ovzduší [1].

Koncepce „kritických úrovní znečištění“ aplikovaná pro další složky ekosystému (lesy, voda, apod.) není využitelná pro materiály, protože atmosférické poškozování materiálů je kumulativní a ireverzibilní proces, který probíhá dokonce i v nepřítomnosti znečišťujících látek. Kritické hodnoty nejsou proto definovatelné. Přijatelná expoziční úroveň nebo zátěž znečišťujících látek pro materiály kulturních památek je koncentrace nebo depozice, která nevede ke vzrůstu rychlosti koroze nebo poškození nad úroveň, která je v technickém a ekonomickém smyslu nepřijatelná.

Přijatelný stupeň koroze je definován jako poškození, které respektuje přijatelné technické a ekonomické možnosti společnosti. V souladu s mezinárodními projekty spolupráce Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (ICP UN ECE), které se týkají působení látek znečišťujících ovzduší na kulturní a historické památky, bylo dohodnuto použití požadového stupně koroze a poškození ( $K_{10}$ ), který je menší než 10 percentil pozorovaných stupňů koroze (poškození) pro materiály vystavené expozici v rámci výzkumných programů, které začaly v roce 1987. Přijatelné stupně koroze (poškození) jsou pak definovány jako  $n$  násobky požadového stupně koroze (poškození). Bylo doporučeno, aby byla použita hodnota  $n$  v rozmezí 1.2 až 2 [1].

Určení a hodnocení aktuálních a přijatelných úrovní látek znečišťujících ovzduší (oxidu siřičitého, oxidů dusíku, ozonu) na území České republiky poskytne podklady pro podporu trvalého sledování a komplexního vyhodnocování negativních důsledků fyzikálně-chemického poškozování materiálů kulturních památek látkami znečišťujícími ovzduší. S použitím rovnic závislosti stupně korozního napadení na úrovni znečištění (tzv. dávkově-reakčních funkcí), které byly odvozeny z dlouhodobých zkoušek materiálů a systémů ochrany nebo více technicky zaměřených funkcí životnosti materiálů a prvků, lze při znalosti regionálního rozložení negativně působících činitelů prostředí prakticky realizovat strategii ochrany kulturního dědictví proti vlivům prostředí a strategii omezení emisí potenciálních znečišťovatelů, kteří se nejvíce podílejí na poškozování kulturních památek. Vypočtené výstupy mohou být rovněž využity pro případné vyhodnocování ekonomických škod, a to s možností zpětného vymáhání náhrad škod, které byly způsobeny, např. emisemi průmyslových podniků.

Porovnání vypočtených přijatelných úrovní imisních koncentrací s aktuálními (naměřenými nebo modelovanými) úrovněmi imisních koncentrací látek znečišťujících ovzduší umožní určit překročení kritických hodnot, a to i v delší časové řadě (dle dostupnosti dat) s možností predikce vývoje, např. pro potřeby státní správy, UNESCO atd.

Informace o překročení přijatelných úrovní znečištění jsou základem pro tvorbu strategií směřujících k řešení ohrožení materiálů kulturních památek na území České republiky látkami znečišťujícími ovzduší.

## 2. Návrh metodologie

Metodologie spočívá ve statistickém a matematickém zpracování existujících naměřených (modelovaných) údajů o imisních koncentracích oxidu siřičitého, oxidů dusíku, ozonu, environmentálních a klimatických parametrů na území České republiky v časovém období 1991 až 1998 (dle dostupnosti dat) a matematickém modelování úrovně korozního napadení materiálů (aktuální, přijatelné), přijatelných úrovní oxidu siřičitého, oxidů dusíku a ozonu na základě posouzených a vybraných mezinárodně akceptovaných dávkově-reakčních funkcí pro sledované materiály kulturních památek (železo, ocel, zinek, měď, bronz, vápenec, pískovec). Dávkově-reakční funkce vyjadřuje vztah mezi stupněm koroze nebo poškození materiálu kulturní památky a úrovní nebo zátěží znečišťujících látek v kombinaci s dalšími klimatickými parametry[1].

Statistické zpracování, matematické modelování, výpočty a prostorová interpretace environmentálních parametrů, aktuálních imisních koncentrací oxidu siřičitého, oxidů dusíku a ozonu, plynné a mokré atmosférické depozice síry a dusíku, plynné depozice ozonu, korozní zátěže pro každý materiál, stupně koroze (poškození) a jeho překročení pro každý materiál lze realizovat na platformě geografického informačního systému, který integruje prostorově lokalizovaná data a matematické modely [3]. Veškerá data lze interpretovat v mapových podkladech v síti 10x10 km pro celé území České republiky.

Pro prostorovou interpolaci a extrapolaci výše uvedených charakteristik a parametrů lze aplikovat náročné a osvědčené metody lineárního Krigingu, pro prostorovou interpretaci lze aplikovat techniky pro gridovou analýzu [3]. Pro výpočty plynné depozice oxidu siřičitého, oxidů dusíku a ozonu lze použít mezinárodně akceptovaný rezistenční model [4, 5]. Pro statistické zpracování dat, matematické modelování a geografickou interpretaci lze využít programových nástrojů pro statistické analýzy, interpolace, extrapolace a gridové územně orientované analýzy (Surfer, Systat, Excell, GIS - Intergraph a Bentley).

Výběr, hodnocení a deskripce prostorové distribuce vybraných kulturních a historických památek a muzejních předmětů lze provést dle významu, případně míry poškození těchto památek a míry imisního zatížení území, přičemž mohou být využity poznatky z realizovaných průzkumů některých kulturních a historických památek na území České republiky a podklady SÚPP (průzkumy stavu materiálu, restaurátorské, přírodovědné průzkumy atd.).

Na základě informací o regionálním rozložení environmentálních charakteristik a vybraných kulturních a historických památek lze provést hodnocení stupně zátěže prostředí ve vztahu k jednotlivým vybraným památkám a ve vztahu k distribuci kulturních a historických památek na sledovaném území, což umožňuje návrh strategie pro praktickou realizaci protikorozní ochrany, rekonstrukce a obnovy vybraných kulturních památek a vybraných muzejních sbírkových předmětů.

Vybraná klimatická data a data o znečišťujících látkách v ovzduší lze získat na základě realizace několikaletých výzkumných projektů v oblasti stanovení a výpočtů atmosférické depozice látek znečišťujících ovzduší na území České republiky [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Rovněž byla provedena prostorová deskripce vybraných kulturních památek (SÚPP). V rámci ICP UN ECE pro materiály pracuje subcentrum pro konstrukční kovy a pro sledování trendů korozní agresivity v Evropě [11,12,13,14]. Na řešeném území byly realizovány průzkumy některých kulturních památek (průzkumy stavu materiálu, restaurátorské, přírodovědné průzkumy atd.), které mohou být využity v navržené metodologii.

### **3. Výstupy navržené metodologie**

1. Mapy, které zobrazují geografickou distribuci některých nejdůležitějších environmentálních parametrů a jejich kombinaci:
  - imisní koncentrace oxidu siřičitého pro vybrané roky z období 1991 až 1998
  - imisní koncentrace oxidů dusíku pro vybrané roky z období 1991 až 1998
  - imisní koncentrace ozonu pro vybrané roky z období 1996 až 1998
  - roční úhrny srážek pro vybrané roky z období 1991 až 1998
  - teplota pro vybrané roky období z 1991 až 1998
  - koncentrace ( $H^+$ ) pro vybrané roky z období 1991 až 1998
2. Mapy plynné a mokré atmosférické depozice síry, dusíku a plynné depozice ozonu
3. Mapy korozní zátěže pro každý vybraný materiál pro vybrané roky řešeného období
4. Mapy překročení přijatelného stupně koroze a poškození pro každý materiál a kvantifikace stupňů překročení pro vybrané roky řešeného období
5. Mapy zátěže prostředí ve vztahu k územní distribuci vybraných kulturních památek
6. Podklady pro podporu dlouhodobého komplexního vyhodnocování negativního působení fyzikálně-chemických procesů na materiály kulturních památek
7. Návrh strategie ochrany kulturního dědictví proti vlivům prostředí a vyhodnocování ekonomických škod pro společnost
9. Podklady pro hodnocení stupně zátěže prostředí ve vztahu k jednotlivým vybraným památkám a ve vztahu k prostorové distribuci památek na sledovaném území, a zároveň s ohledem na překročení kritických hodnot
10. Podklady pro zhodnocení stávajícího stavu a predikce vývoje poškození kulturních památek znečišťujícími látkami podle mezinárodně akceptované metodiky

### **4. Shrnutí hlavních přínosů navržené metodologie**

1. Určení a interpretace přijatelných úrovní látek znečišťujících ovzduší (oxidu siřičitého, oxidů dusíku, ozonu) a jejich překročení pro vybrané materiály kulturních památek pro potřeby zhodnocení stávajícího stavu a predikce vývoje poškození těchto kulturních památek znečišťujícími látkami podle mezinárodně akceptované metodiky.

2. Vypočtené zátěže materiálů prostředím a přijatelné úrovně látek znečišťujících ovzduší a zpracování údajů do map jsou dále podkladem pro:

- podporu trvalého sledování a komplexního vyhodnocování negativních důsledků fyzikálně-chemického poškozování materiálů kulturních památek látkami znečišťujícími ovzduší
- praktickou realizaci strategie ochrany kulturního dědictví proti vlivům prostředí
- praktickou realizaci strategie omezení emisí potencionálních znečišťovatelů, kteří se nejvíce podílejí na poškozování kulturních památek
- vyhodnocování ekonomických škod, a to s možností zpětného vymáhání náhrad škod, které byly způsobeny např. emisemi průmyslových podniků.

## Literatura

[1] UBA: Manual on Methodologies and Criteria for mapping critical levels/loads and geographical area where they are exceeded. UN / ECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Texte 71/96, Berlin, 1996.

[2] Skořepová, I., Roušarová, Š., Pačes, T., Zapletal, M.: National Focal Center Reports: Czech Republic. In: *Calculation and Mapping of Critical Thresholds in Europe - Status Report 1997* (edited by Posh, Hettelinght, Smet, Downing). RIVM Report No.259101007, Coordination Centre for Effects, RIVM, Bilthoven, The Netherlands, 1997, s. 66-70.

[3] Zapletal, M.: Use of geographical information systems for spatial modelling of the sulphur dioxide gas deposition on the territory of the Czech Republic. In: *Proceedings of Fifth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems EGIS/MARI '94*, Paris, France 1994 (edited by Harts, Ottens, Scholten). Egis Foundation, Utrecht/Amsterdam, 1994, s. 233-242.

[4] Zapletal, M.: Atmosférická depozice acidifikačních činitelů na území České republiky (Doktorandská dizertační práce - Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava). Slezská univerzita v Opavě, Opava, 1997, 161 s.

[5] Zapletal, M.: Atmospheric deposition of nitrogen compounds in the Czech Republic. *Environmental Pollution*. Elsevier Science, Oxford, 1998, s. 305-311.

[6] Zapletal, M.: Gas deposition of nitrogen oxides on the territory of the Czech Republic in 1994. *Acta historica et museologica Universitatis Silesianae Opaviensis*, Series C, 2, 1995, s.181-185.

[7] Zapletal, M.: Gas deposition of sulphur dioxide on the territory of the Czech Republic in 1991. In: *Acid Rain Research: Do we have enough answers?*, *Studies in Environmental*

*Science 64* (edited by Heij and Erisman). Elsevier Science BV, Amsterdam, 1995, s. 459-462.

[8] Zapletal, M.: Gas deposition of nitrogen oxides on the territory of the Czech Republic in 1994. In: *Atmospheric Ammonia: Emission, Deposition and Environmental Impacts. Poster Proceedings*. Poster papers and abstracts from the International Conference on Atmospheric Ammonia. Culham, Oxford 2-4 October 1995 (edited by Sutton, Dollard and Fowler). Institute of Terrestrial Ecology, Midlothian, 1996, s.104-108.

[9] Zapletal, M.: Atmosférická depozice acidifikačních činitelů na území České republiky. *Acta historica et museologica Universitatis Silesianae Opaviensis*, Series C, 3, 1997, s. 212-232.

[10] Zapletal, M.: Atmosférická depozice acidifikačních činitelů na území České republiky. *Ochrana ovzduší*, 9, č. 2, 1997, s. 12-20.

[11] Knotkova D., Kreislova K., Boschek P.: Results of ISO CORRAG Program: Processing of One-Year Data in Respect to Corrosivity Classification. In: *Atmospheric Corrosion*, W.W. Kirk, H.H. Lawson (Eds.), ASTM STP 1239, Philadelphia, 1994.

[12] Knotkova D., Boschek P., Kreislova K.: Effect of Acidification on Atmospheric Corrosion of Structural Metals in the Region of Europe. *The Journal of Water, Air and Soil Pollution* 85: 2661-2666, Kluwer Academic Publishers.

[13] Knotková D., Kreislová K., Boschek P.: Corrosion attack on weathering steel, zinc and aluminium. Evaluation after 8 years of exposure, Report 22, UN ECE ICP Materials, Praha, 1998.

[14] Kreislová K., Knotková D., Boschek P.: Trends of corrosivity based on corrosion rates, Report 29, UN ECE ICP Materials, Praha, 1998.

## **Project of mapping loads methodology for effects of air pollutants on materials of cultural and historical monuments and selected museum collection objects on the territory of the Czech Republic**

Determination and spatial distribution of present and acceptable levels of air pollutants (sulphur dioxide, nitrogen oxides, ozone) on the territory of the Czech Republic on 10x10 km grid aimed at providing the bases for: 1. support of permanent monitoring and complex evaluation of negative effects caused by physico-chemical processes to materials of cultural monuments, 2. practical implementation of strategy for maintaining of cultural heritage from environmental effects, 3. evaluation of economic damage. Modelling of actual and acceptable corrosion rates of materials and acceptable levels of air pollutants using internationally unified dose-response functions for steel, zinc, aluminium, copper, bronze, limestone and sandstone. Evaluation of environmental load for selected individual monuments and in the relationship to spatial distribution of monuments on the territory and with respect to exceedance of critical load.