

## XII. TVORBA MAP ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

Směrnice 2008/50/ES o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu, která je promítnuta do české legislativy (mj. vyhláška č. 330/2012 Sb.), vyžaduje, aby kvalita ovzduší byla hodnocena ve všech zónách a aglomeracích každého členského státu. Dále vyžaduje, aby primárním zdrojem hodnocení byly výsledky stacionárních měření. Naměřené koncentrace mohou být při tvorbě map znečišťujících látek doplněny modelováním a indikativním měřením, aby výsledný odhad poskytoval dostatečné informace o prostorovém rozložení koncentrací znečišťujících látek v ovzduší. Požadavek, aby stacionární měření byla použita jako primární zdroj informací, se vztahuje zejména na oblasti, v nichž koncentrace znečišťujících látek překračují horní mez pro posuzování. Z důvodu jednotnosti metodiky tvorby map je tento požadavek aplikován pro celé území ČR.

Základním zdrojem dat pro tvorbu map znečištěného ovzduší jsou tedy koncentrace znečišťujících látek naměřené na jednotlivých měřicích stanicích. Měřicích stanic je jen omezený počet. Kromě měřených (primárních) dat jsou proto pro potřeby mapování využita i různá doplňková (sekundární) data, která poskytují komplexní informaci o celém území a zároveň vykazují regresní závislost s měřenými daty. Hlavním sekundárním zdrojem informací jsou modely transportu a rozptylu znečišťujících látek, které jsou založeny na datech z emisních inventur a na meteorologických datech. V ČR je využíván zejména Eulerovský chemický disperzní model CAMx, doplňkově též Gaussovský model SYMOS a evropský Eulerovský model EMEP. Dále jsou to v případě jednotlivých znečišťujících látek např. nadmořská výška či populační hustota (podrobnosti v Příloze I). Při kombinaci primárních a sekundárních dat je využito jak přesnosti primárních měřených dat, tak komplexního pokrytí celého území daty sekundárními. Při pravidelné tvorbě map pro ročenku je používán lineární regresní model s následnou interpolací jeho reziduí. Jakožto interpolační metody jsou používány kriging a IDW (podrobnosti v Příloze I).

Městské a venkovské znečištění má odlišný charakter, městské znečištění je vlivem emisí obecně vyšší než znečištění venkovské. Výjimkou je znečištění přízemním ozonem, u kterého je tomu naopak. Městské a venkovské mapy jsou proto tvořeny samostatně, výsledná mapa vzniká sloučením městské a venkovské mapy pomocí gridu populač-

## XII. CREATION OF AMBIENT AIR POLLUTION MAPS

*Directive No. 2008/50/EC on ambient air quality and on cleaner air for Europe, which is implemented into the Czech legislation (i.a. Decree No. 330/2012 Coll.), requires that the air quality be evaluated in all the zones and agglomerations of each member state. It further requires that the primary source of the evaluation be the results of stationary measurements. In the creation of air pollution maps, the measured concentrations may be supplemented by modelling and indicative measurements, so that the resultant estimate provides sufficient information on the spatial distribution of the pollutant concentrations in the air. The requirement to use stationary measurements as primary sources of information is related especially to areas in which the pollutant concentrations exceed the upper assessment threshold. This requirement is applied for the whole territory of the Czech Republic to ensure uniformity of the map creation methodology.*

*The basic source of data for creating air pollution maps thus consists in the pollutant concentrations measured at the individual monitoring stations. There are only a limited number of monitoring stations. In addition to the measured (primary) data, creation of maps is also based on the use of various supplementary (secondary) data, which provide comprehensive information about the entire territory and simultaneously exhibit regression dependence on the measured data. The main secondary source of information consists in models of pollution transport and dispersion, based on data from emission inventories and meteorological data. In the Czech Republic, mainly the Eulerian chemical dispersion model CAMx is used, supplemented by the SYMOS Gaussian model and the European EMEP Eulerian model. In addition, for individual pollutants, data are used on the altitude and population density (for details, see Annex I). Combination of primary and secondary data is based on both the precision of the primary measured data and complete coverage of the whole territory by the secondary data. In regular map creation for the yearbook, the linear regression model is used with subsequent interpolation of its residuals. The kriging and IDW models are used as interpolation methods (for details, see Annex I).*

*Urban and rural air pollution have different character; in general, urban pollution is affected by emissions and is generally higher than rural air pollution. However, air pollution by ground-level ozone, where conditions are the opposite, is an exception. Thus urban and rural maps are created independently and the resultant map is a product of combination of the*

ní hustoty. V případě některých znečišťujících látek (Příloha I) je kromě městské a venkovské vrstvy uvažována ještě vrstva dopravní. Tato vrstva je sloučena s městskou a venkovskou pozadřovou vrstvou pomocí gridu emisí z dopravy. Pro konstrukci venkovské mapy jsou jako primární data používána měřená imisní data z pozadřových venkovských stanic. V případě městské mapy to jsou imisní data z městských a předměstských pozadřových stanic. U případné dopravní vrstvy to jsou data z dopravních stanic. Využíváno je přitom klasifikace jednotlivých stanic podle databáze ISKO.

Mapy jsou vytvářeny v prostředí geografických informačních systémů (GIS). Jako zdroj dat je využívána zejména relační databáze naměřených imisí a chemického složení atmosférických srážek ISKO. Mapy jsou konstruovány v prostorovém rozlišení 1x1 km, v projekci Gauss-Krügerova zobrazení. Detailní specifikace mapování pro jednotlivé znečišťující látky je uvedena v Příloze I.

Jako podklady pro základní geografické a tematické vrstvy ve standardizované projekci (konformní Gauss-Krügerovo zobrazení) jsou od roku 1994 používány digitální vrstvy DMÚ 200, DMR-2, DMÚ25 a později ZABAGED. V posledních letech jsou pro aktuální vrstvy administrativního členění využívány podklady poskytnuté ČSÚ.

### **Mapování venkovské a městské (resp. dopravní) vrstvy**

Mapy venkovského a městského pozadřového znečištění (a případně dopravního znečištění) jsou připravovány zvlášť, jsou konstruovány pomocí kombinace primárních (měřených) a sekundárních (modelových a dalších doplňkových) dat (Horálek et al. 2007). Používanou metodikou je lineární regresní model s prostorovou interpolací jeho reziduí. Tato metodika umožňuje použití doplňkových dat pro celé mapované území. V případě, že neexistují vhodná doplňková data, použije se prostá interpolace měřených dat. Odhad je počítán pomocí vztahu:

$$\hat{Z}(s_0) = c + a_1 \cdot X_1(s_0) + a_2 \cdot X_2(s_0) + \dots + a_p \cdot X_p(s_0) + \eta(s_0) \quad (1)$$

kde  $\hat{Z}(s_0)$  je odhadnutá hodnota koncentrace v bodě  $s_0$ ,

$X_i(s)$  jsou různé doplňkové parametry v bodě  $s_0$  pro  $i = 1, 2, \dots, p$ ,

$c, a_1, a_2, \dots$  jsou parametry lineárního regresního modelu,

$\eta(s_0)$  je prostorová interpolace reziduí lineárního

*urban and rural maps using the grid of population density. For a number of pollutants (Annex I), the traffic layer is considered in addition to the urban and rural layers. This layer is merged with the urban and rural background layers using the grid of traffic emissions. The measured air pollution data from the background rural stations are used as primary data for construction of rural maps. Air pollution data from urban and suburban background stations are used for urban maps. Data from traffic stations are used for the traffic layers. Simultaneously, the individual stations are classified according to the AQIS database.*

*The maps are created using geographic information systems (GIS). The main data source is the AQIS relational database of measured emissions and the chemical composition of atmospheric precipitation. The maps are constructed with spatial resolution of 1x1 km, in the Gauss-Krüger projection. Annex I gives detailed specification of mapping for the individual pollutants.*

*Since 1994, the digital DMÚ 200, DMR-2, DMÚ25 and later the ZABAGED layers have been used as a foundation for the basic geographic and thematic layers in the standard projection (Gauss-Krüger conformal projection). In recent years, the basic information provided by CSO has been used for up-dated layers of administrative classification.*

### **Mapping of rural and urban (or traffic) layers**

*Maps of rural and urban background pollution (and, where applicable, also traffic pollution) are prepared separately, constructed on the basis of combinations of primary (measured) and secondary (model and other supplementary) data (Horálek et al. 2007) The methodology employed consists in the linear regression model with spatial interpolation of its residuals. This methodology enables the use of supplementary data for the entire mapped territory. Where there are no suitable supplementary data, simple interpolation of the measured data is employed. The estimate is calculated using the relationship: (1)*

$$\hat{Z}(s_0) = c + a_1 \cdot X_1(s_0) + a_2 \cdot X_2(s_0) + \dots + a_p \cdot X_p(s_0) + \eta(s_0)$$

*where  $\hat{Z}(s_0)$  is the estimated concentration value at point  $s_0$ ,*

*$X_i(s)$  are the various supplementary parameters at point  $s_0$  for  $i = 1, 2, \dots, p$ ,*

*$c, a_1, a_2, \dots$  are the parameters of the linear regression model,*

*$\eta(s_0)$  is the spatial interpolation of the residuals of the linear regression model at point  $s_0$ ,*

regresního modelu v bodě  $s_0$  spočtená na základě reziduí v bodech měření.

Interpolace je prováděna buď pomocí metody vážení převrácenou hodnotou vzdálenosti (IDW), nebo pomocí obyčejného krigingu (specifikace pro jednotlivé znečišťující látky v Příloze I). Metoda IDW je jednoduchá deterministická metoda, kdy váha jednotlivých měřicích stanic v interpolaci závisí jen na jejich vzdálenosti od odhadovaného bodu. Kriging je oproti tomu pokročilejší geostatistická metoda, která zohledňuje strukturu imisního pole. Výhodou metody IDW ovšem je, že tato interpolace respektuje naměřené hodnoty v bodech měřicích stanic. Kriging naměřené hodnoty obecně nerespektuje. Určitým řešením je interpolace pomocí krigingu, přičemž na jeho rezidua v místech měření je ještě aplikována IDW.

Interpolace reziduí pomocí IDW je počítána pomocí vztahu

$$\hat{R}(s_0) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{R(s_i)}{d_{0i}^\beta}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_{0i}^\beta}} \quad (2)$$

kde  $\hat{R}(s_0)$  je odhad pole reziduí v bodě  $s_0$ ,

$R(s_i)$  je reziduum lineárního regresního modelu v místě měření  $s_i$ ,

$N$  je počet okolních stanic použitých při interpolaci,

$d_{0i}$  je vzdálenost mezi body  $s_0$  a  $s_i$ ,

$\beta$  je váha.

V případě obyčejného krigingu je interpolace reziduí počítána pomocí vztahu

$$\hat{R}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i R(s_i) \quad \text{při} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3)$$

kde

$\lambda_1, \dots, \lambda_N$  jsou váhy odhadované na základě odhadnutého variogramu (viz níže),

$R(s_i)$  je reziduum lineárního regresního modelu v místě měření  $s_i$ .

Variogram vyjadřuje závislost mezibodové variability na vzájemné vzdálenosti bodů, je mírou prostorové korelace (např. Cressie 1993). Variogram je odhadnut proložení sférické křivky empirickým variogramem, který je počítán pomocí vztahu

calculated on the basis of the residuals at the points of measurement.

The interpolation is performed either using the inverse distance weighting method (IDW) or using the ordinary kriging (specification for individual pollutants is given in Annex I). The IDW method is a simple deterministic method, where the weight of the individual measuring stations in the interpolation depends only on their distance from the estimated point. On the other hand, kriging is a more advanced geostatistical method taking into account the structure of the air pollution field. However, the IDW method has the advantage that this interpolation respects the measured values in the points of the measuring stations. Kriging does not, in general, respect the measured values. A solution lies in interpolation using kriging and applying IDW to its residuals at the measuring sites.

Interpolation of residuals using IDW is calculated using the relationship

$$\hat{R}(s_0) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{R(s_i)}{d_{0i}^\beta}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_{0i}^\beta}} \quad (2)$$

where  $\hat{R}(s_0)$  is the estimate of the field of residuals at point  $s_0$ ,

$R(s_i)$  is the residual of the linear regression model at the measuring site  $s_i$ ,

$N$  is the number of surrounding stations used in the interpolation,

$d_{0i}$  is the distance between points  $s_0$  and  $s_i$ ,

$\beta$  is the weight.

For ordinary kriging, the interpolation of the residuals is calculated using the relationship

$$\hat{R}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i R(s_i) \quad \text{at} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3)$$

where

$\lambda_1, \dots, \lambda_N$  are the weights estimated on the basis of the estimated variogram (see below),

$R(s_i)$  is the residual of the linear regression model at the measuring site  $s_i$ .

The variogram expresses the dependence of the variability between points on the mutual distance between the points, and is a measure of the spatial correlation (e.g Cressie 1993). A variogram is estimated by fitting a spherical curve with an empirical variogram calculated using the relationship



$$2\gamma_v(h) = \frac{1}{n} \sum_{i,j;d_{ij}=h\pm\delta} (R(s_i) - R(s_j))^2 \quad (4)$$

kde

$2\gamma_v(d)$  je empirický variogram pole reziduí,

$R(s_i), R(s_j)$  jsou rezidua v bodech měření  $s_i$  a  $s_j$ ,

$d_{ij}$  je vzdálenost bodů  $s_i$  a  $s_j$ ,

$n$  je počet dvojic stanic  $s_i$  a  $s_j$ , jejichž vzájemná vzdálenost je  $h\pm\delta$

$\delta$  je tolerance.

Sférická křivka a parametry variogramu range, nugget a sill jsou ilustrovány na obr. XII.1.

Spočtené městské a venkovské (a případně dopravní) vrstvy jsou následně sloučeny.

#### **Sloučení městské a venkovské (a případně dopravní) vrstvy**

Pro sloučení městské a venkovské vrstvy je využívána vrstva populační hustoty (Horálek et al. 2007; De Smet et al. 2011). Sloučení se provádí pomocí vztahu

$$\begin{aligned} \hat{Z}(s_0) &= \hat{Z}_r(s_0) && \text{pro / for } \alpha(s_0) \leq \alpha_1 \\ &= \frac{\alpha_2 - \alpha(s_0)}{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot \hat{Z}_r(s_0) + \frac{\alpha(s_0) - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot \hat{Z}_u(s_0) && \text{pro / for } \alpha_1 < \alpha(s_0) < \alpha_2 \\ &= \hat{Z}_u(s_0) && \text{pro / for } \alpha(s_0) \geq \alpha_2 \end{aligned} \quad (5)$$

kde

$\hat{Z}(s_0)$  je výsledný odhad koncentrace v bodě  $s_0$ ,

$\hat{Z}_r(s_0), \hat{Z}_u(s_0)$  je koncentrace v bodě  $s_0$  pro venkovskou, resp. městskou mapu,

$\alpha(s_0)$  je hustota populace v bodě  $s_0$ ,

$\alpha_1, \alpha_2$  jsou klasifikační intervaly příslušné k populační hustotě (Příloha I).

Celý koncept odděleného mapování venkovského a městského znečištění je založen na předpokladu, že  $\hat{Z}_r(s_0) \leq \hat{Z}_u(s_0)$  pro všechny běžné znečišťující látky kromě ozonu, resp.  $\hat{Z}_r(s_0) \geq \hat{Z}_u(s_0)$  pro ozon. Pro oblasti, kde tento předpoklad není splněn, se použije vrstva vytvořená obdobně jako městská i venkovská vrstva, nicméně na základě veškerých pozadových stanic, bez rozlišení na městské a venkovské.

V případě, že je u dané znečišťující látky mapováno i dopravní znečištění, přičte se dopravní vrstva k pozadové (sloučené městské a venkovské) vrstvě za pomoci gridu emisí z dopravy:

$$2\gamma_v(h) = \frac{1}{n} \sum_{i,j;d_{ij}=h\pm\delta} (R(s_i) - R(s_j))^2 \quad (4)$$

where  $2\gamma_v(d)$  is an empirical variogram of the field of residuals,

$R(s_i), R(s_j)$  are the residuals at measuring points  $s_i$  and  $s_j$ ,

$d_{ij}$  is the distance between points  $s_i$  and  $s_j$ ,

$n$  is the number of pairs of stations  $s_i$  and  $s_j$ , whose mutual distance is  $h\pm\delta$  and

$\delta$  is the tolerance.

The spherical curve and the variogram range, nugget and sill are illustrated in Fig. XII.1.

The calculated urban and rural (and, as appropriate, also traffic) layers are subsequently merged.

#### **Merging of urban and rural (and, as appropriate, traffic) layers**

The population density layer is used for merging the urban and rural layers (Horálek et al. 2007; De Smet et al. 2011). Merging is carried out using the relationship

where  $\hat{Z}(s_0)$  is the final estimate of the concentration at point  $s_0$ ,

$\hat{Z}_r(s_0), \hat{Z}_u(s_0)$  is the concentration at point  $s_0$  for the rural or urban map,

$\alpha(s_0)$  is the population density at point  $s_0$ ,

$\alpha_1, \alpha_2$  are the classification intervals corresponding to the population density (Annex I).

The entire concept of separate mapping of rural and urban pollution is based on the assumption that  $\hat{Z}_r(s_0) \leq \hat{Z}_u(s_0)$  for all common pollutants except for ozone, where  $\hat{Z}_r(s_0) \geq \hat{Z}_u(s_0)$  for ozone. For areas where this assumption is not fulfilled, a layer created similarly to the urban and rural layers is used; nonetheless, it is created on the basis of all the background stations without distinguishing between urban and rural stations.

If traffic pollution is also mapped for the relevant pollutant, the traffic layer is added to the background (merged urban and rural) layer using the grid of traffic emissions:

$$\hat{Z}(s_0) = \hat{Z}_b(s_0) \quad \text{pro / for } \tau(s_0) \leq \tau_1 \quad (6)$$

$$= \frac{2}{3} \cdot \hat{Z}_b(s_0) + \frac{1}{3} \left( \frac{\tau_2 - \tau(s_0)}{\tau_2 - \tau_1} \cdot \hat{Z}_b(s_0) + \frac{\tau(s_0) - \tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \cdot \hat{Z}_t(s_0) \right) \quad \text{pro / for } \tau_1 < \tau(s_0) < \tau_2$$

$$= \frac{2}{3} \cdot \hat{Z}_b(s_0) + \frac{1}{3} \cdot \hat{Z}_t(s_0) \quad \text{pro / for } \tau(s_0) \geq \tau_2$$

kde

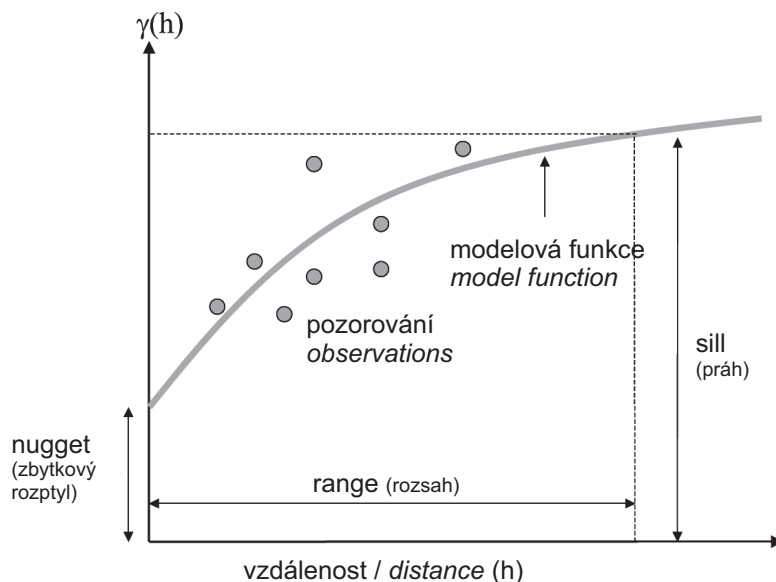
$\hat{Z}(s_0)$  je výsledný odhad koncentrace v bodě  $s_0$ ,  
 $\hat{Z}_b(s_0)$  je koncentrace v bodě  $s_0$  pro pozad'ovou vrstvu,  
 $\hat{Z}_t(s_0)$  je koncentrace v bodě  $s_0$  pro dopravní vrstvu,  
 $\tau(s_0)$  jsou emise z dopravy v bodě  $s_0$ ,  
 $\tau_1, \tau_2$  jsou klasifikační intervaly příslušné k emisím z dopravy (Příloha I).

Výše uvedená funkce je založena na předpokladu, že  $\hat{Z}_b(s_0) \leq \hat{Z}_t(s_0)$  pro běžné znečišťující látky kromě ozonu, resp.  $\hat{Z}_b(s_0) \geq \hat{Z}_t(s_0)$  pro ozon. Pro oblasti, kde tento předpoklad není splněn, se použije pozad'ová vrstva  $\hat{Z}_b(s_0)$ .

where

$\hat{Z}(s_0)$  is the final estimate of the concentration at point  $s_0$ ,  
 $\hat{Z}_b(s_0)$  is the concentration at point  $s_0$  for the background layer,  
 $\hat{Z}_t(s_0)$  is the concentration at point  $s_0$  for the traffic layer,  
 $\tau(s_0)$  are the emissions from traffic at point  $s_0$ ,  
 $\tau_1, \tau_2$  are classification intervals corresponding to emissions from traffic (Annex I).

The above function is based on the assumption that  $\hat{Z}_b(s_0) \leq \hat{Z}_t(s_0)$  for common pollutants, except ozone, where  $\hat{Z}_b(s_0) \geq \hat{Z}_t(s_0)$  for ozone. The background layer is used for areas where this assumption is not fulfilled.



**Obr. XII.1 Diagram znázorňující parametry variogramu a proloženou sférickou křivku**  
**Fig. XII.1 Diagram showing the variogram parameters and the fitted spherical function**