

# PŘÍLOHA I

## Podrobná specifikace prezentovaných imisních map

Plošné mapy jsou z výsledků měření v jednotlivých lokalitách konstruovány s využitím a kombinací mnoha informací (ČHMÚ 2024b). Nejistoty jednotlivých map jsou závislé zejména na hustotě sítě měřicích stanic a na rovnoměrnosti pokrytí území ČR stanicemi, dále na nejistotách jednotlivých měření, vstupů do modelů, modelových výpočtů a na použitém způsobu konstrukce plošných map. Mapy mají nejmenší nejistotu v blízkosti měřicích stanic. Přestože jsou nejistoty zejména některých map dosti vysoké, jedná se o odhady imisního pole, které adekvátně odpovídají použitým podkladům a stavu současného poznání. K nejistotám map je nutno přihlížet při jejich interpretaci.

V dalších odstavcích jsou uvedeny podklady, které byly použity pro konstrukci imisních map pro rok 2023, a specifikace jednotlivých map prezentovaných v této ročence.

### 1. Použitá data

**a. Měřená imisní data.** Použity jsou roční charakteristiky naměřených dat z databáze ISKO.

**b. Výstupy z rozptylových modelů.** Použity jsou výstupy z eulerovského modelu CAMx a gaussovského modelu SYMOS provozovaných ČHMÚ a medián ansámblu evropských předpovědních modelů CAMS. Modely odpovídají hodnocenému roku. V případě modelů CAMx a SYMOS pak byly použity nejaktuálnější emisní vstupy, které byly v době přípravy ročenky k dispozici. Podrobný popis použitých modelů a vstupních dat je v ČHMÚ (2024b).

**c. Emise z dopravy:** rozlišení 1 × 1 km, zdroj: silniční doprava dle sčítání ŘSD 2020 (ŘSD 2022).

**d. Nadmořská výška:** rozlišení 1 × 1 km, zdroj: ZABAGED, Zeměměřičský úřad.

**e. Hustota populace:** rozlišení 1 × 1 km, zdroj: dle sčítání SLDB 2021 (ČSÚ 2023b).

### 2. Odhad nejistoty

Pro odhad nejistoty příslušné mapy byla použita metoda **křížového ověřování (cross-validation)**, viz Horálek et al. (2007). Odhad koncentrací v místech měření je vytvořen vždy s vypuštěním daného měření pomocí ostatních dat, a tím je objektivně odhadnuta kvalita mapy mimo místa měření. Tento postup byl opakovaně použit pro všechna místa měření. Odhadnuté hodnoty byly porovnány s naměřenými hodnotami pomocí **standardní chyby odhadu (root-mean-square error, RMSE)**, resp. **relativní standardní chyby odhadu (RRMSE)**:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{Z}(s_i) - Z(s_i))^2}$$

$$RRMSE = \frac{RMSE}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z(s_i)} \cdot 100$$

kde  $Z(s_i)$  je naměřená hodnota koncentrace v  $i$ -tém bodě,  $\hat{Z}(s_i)$  je odhad v  $i$ -tém bodě pomocí ostatních dat,  $N$  je počet měřicích stanic.

Odhad nejistoty byl z výpočetních důvodů počítán jen pro interpolaci reziduí; celková nejistota mapy je proto obecně poněkud větší. Též je třeba zmínit, že jde o střední nejistotu celé mapy, prostorové rozložení nejistoty nebylo odhadováno.

### 3. Parametry jednotlivých map

Pro mapy jednotlivých škodlivin jsou v Tab. 1–8 prezentovány doplňkové veličiny použité v lineárním regresním modelu a jejich parametry ( $c$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ , ...), parametry interpolace pomocí krigingu (range, nugget, partial sill) a převrácené hodnoty vzdálenosti (váha IDW) a u většiny map je též uvedena odhadnutá nejistota mapy (RMSE). Tyto parametry jsou uvedeny vždy pro jednotlivé imisní vrstvy (venkovská, městská, dopravní).

**a. Suspendované částice  $PM_{10}$ :** Pro konstrukci map bylo použito 58 venkovských (bez rozlišení na pozařadové a průmyslové), 84 městských a předměstských pozařadových a 28 dopravních stanic. Výsledky měření sedmi městských a předměstských průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí (Tab. 1).

**b. Jemné suspendované částice  $PM_{2,5}$ :** Pro konstrukci mapy bylo použito 28 venkovských (bez rozlišení na pozadové a průmyslové), 51 městských a předměstských pozadových a 21 dopravních stanic. Výsledky měření sedmi městských a předměstských průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Z důvodu metodiky mapování nebyla vyčíslena nejistota mapy (Tab. 2). Důvodem je použití mapy  $PM_{10}$  jako doplňkové veličiny – vzhledem k silné regresní vazbě  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  by odhad nejistoty byl podhodnocen.

**c. Benzo[a]pyren:** Pro konstrukci mapy bylo použito 15 venkovských a 43 městských a předměstských stanic (bez rozlišení na pozadové, dopravní a průmyslové), které byly doplněny 12 venkovskými a 12 městskými a předměstskými stanicemi, jejichž hodnoty byly odhadnuty pomocí naměřených hodnot v předchozích letech. V případě městské i venkovské mapové vrstvy byla využita exponenciální závislost s městskou resp. venkovskou mapou  $PM_{2,5}$ . Vzhledem k malému počtu měřicích stanic v malých sídlech je odhad nejistoty venkovských oblastí pouze orientační (Tab. 3).

**d. Oxid dusičitý a oxidy dusíku:** Pro konstrukci mapy  $NO_2$  bylo použito 31 venkovských (bez rozlišení na pozadové a průmyslové), 47 městských a předměstských pozadových a 23 dopravních stanic. Výsledky měření 2 městských a předměstských průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Pro konstrukci mapy  $NO_x$  bylo použito 29 venkovských, 45 městských a předměstských pozadových a 24 dopravních stanic (Tab. 4).

**e. Přízemní ozon:** Pro konstrukci mapy 26. nejvyššího maximálního denního 8hodinového klouzavého průměru bylo použito 29 venkovských, 26 městských a předměstských pozadových stanic. Výsledky měření 3 dopravních byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Pro konstrukci mapy AOT40 bylo použito 31 venkovských, 33 městských a předměstských pozadových stanic (Tab. 5).

**f. Benzen:** Pro konstrukci mapy bylo použito 7 venkovských, 21 městských a předměstských pozadových stanic. Výsledky měření 3 průmyslových a 6 dopravních stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Vzhledem k malému počtu venkovských stanic je odhad nejistoty venkovských oblastí pouze orientační (Tab. 6).

**g. Těžké kovy:** Pro konstrukci mapy arsenu bylo použito 12 venkovských a 32 městských a předměstských stanic (bez rozlišení na pozadové, dopravní a průmyslové). Pro konstrukci mapy kadmia bylo použito 45 stanic (bez rozlišení podle typu). Nejistota mapy kadmia je odhadnuta bez Tanvaldu a jeho bezprostředního okolí, protože vysoké absolutní hodnoty koncentrací v této lokalitě by způsobily zkreslení celkové nejistoty mapy. Vysoká relativní nejistota mapy kadmia souvisí s nízkými hodnotami kadmia na většině území (Tab. 7).

**h. Oxid siřičitý:** Pro konstrukci mapy 4. nejvyšší 24hodinové koncentrace bylo použito 37 venkovských (bez rozlišení na pozadové a průmyslové) a 34 městských a předměstských pozadových stanic. Výsledky měření 1 dopravní a 3 průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Pro mapy ročního resp. zimního průměru bylo použito 37 resp. 25 venkovských (bez rozlišení na pozadové a průmyslové) a 34 resp. 25 městských a předměstských pozadových stanic. Výsledky měření 2 dopravních a 2 průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí (Tab. 8).

V počtech stanic jsou zahrnuty i zahraniční (německé a polské) stanice, které byly při tvorbě některých map použity.

Pro sloučení městské a venkovské vrstvy bylo použito mezi klasifikačních intervalů (ČHMÚ 2024b):  $\alpha_1 = 200$  obyvk $\cdot$ km $^{-2}$ ,  $\alpha_2 = 1000$  obyvk $\cdot$ km $^{-2}$ . Pro sloučení pozadové a dopravní vrstvy bylo použito mezi klasifikačních intervalů:  $\tau_1 = 3$  t $\cdot$ rok $^{-1}\cdot$ km $^{-2}$ ,  $\tau_2 = 8$  t $\cdot$ rok $^{-1}\cdot$ km $^{-2}$  (pro mapy  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$ ), resp.  $\tau_1 = \tau_2 = 5$  t $\cdot$ rok $^{-1}\cdot$ km $^{-2}$  (pro mapy  $NO_2$  a  $NO_x$ ), přičemž pro mapy  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  byly použity emise tuhých znečišťujících látek (TZL), zatímco pro mapy  $NO_2$  a  $NO_x$  byly použity emise  $NO_x^1$ .

1 U plošných map  $NO_2$  a  $NO_x$  byla dopravní vrstva použita pouze ve městech.

Tab. 1 Parametry map  $PM_{10}$ 

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Roční průměr			36. nejvyšší denní průměr		
	venkov	městské pozadí	doprava	venkov	městské pozadí	doprava
c (konstanta)	8,0	17,7	13,0	9,2	27,5	19,3
a1 (model CAMx)	1,29	0,27	0,51	1,30	0,32	0,57
a2 (nadmořská výška)	-0,0058	-0,0120		-0,0056	-0,0198	
range [km]	30	69	2	43	74	2
nugget	0	1,1	0	0	2,7	0
partial sill	1,8	2,0	3,7	7,5	6,4	7,2
váha IDW		1			1	
<b>RMSE [<math>\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}</math>]</b>	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>	<b>2,0</b>	<b>2,6</b>	<b>3,0</b>	<b>2,7</b>
<b>relat. RMSE [%]</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>9</b>

Tab. 2 Parametry mapy  $PM_{2,5}$ 

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Roční průměr		
	venkov	městské pozadí	doprava
c (konstanta)	-1,0	-1,5	1,2
a1 (venkovská mapa $PM_{10}$ )	0,33		
a2 (městská pozadová mapa $PM_{10}$ )		0,81	
a3 (dopravní mapa $PM_{10}$ )			0,61
a4 (model CAMx)	1,17		
range [km]	21	8	11
nugget	0	0	0
partial sill	0,6	0,7	0,9

Tab. 3 Parametry mapy benzo[a]pyrenu

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Roční průměr	
	venkov	města
c (konstanta)	0,05	0,33
b1 (konstanta)	0,94	
b2 (konstanta)		0,51
a1 (exp(b1*venkovská mapa PM <sub>2,5</sub> ))	0,000001	
a2 (exp(b2*městská mapa PM <sub>2,5</sub> ))		0,000255
a3 (model CAMx zjemněný SYMOsem)	0,88	0,28
range [km]	9	3
nugget	0	0
partial sill	0,03	0,06
<b>RMSE [<math>\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}</math>]</b>	<b>&gt; 0,2</b>	<b>0,3</b>
<b>relat. RMSE [%]</b>	<b>&gt; 40</b>	<b>30</b>

Tab. 4 Parametry map NO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>

Lineární regresní model + interpolace reziduí	NO <sub>2</sub> – roční průměr			NO <sub>x</sub> – roční průměr		
	venkov	městské pozadí	doprava	venkov	městské pozadí	doprava
c (konstanta)	5,8	15,4	15,9	3,8	25,3	27,3
a1 (model SYMOS NO <sub>2</sub> )	4,66	1,30				
a2 (model SYMOS NO <sub>2</sub> – REZZO 4)			3,13			
a3 (model SYMOS NO <sub>x</sub> )				2,70	0,40	
a4 (model SYMOS NO <sub>x</sub> – REZZO 4)						1,45
a5 (nadmožská výška)	-0,004	-0,015			-0,032	
váha IDW	1	1	1	1	1	1
<b>RMSE [<math>\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}</math>]</b>	<b>0,9</b>	<b>2,8</b>	<b>5,2</b>	<b>1,6</b>	<b>5,8</b>	<b>14,7</b>
<b>relat. RMSE [%]</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>24</b>	<b>19</b>	<b>30</b>	<b>37</b>

Tab. 5 Parametry map přízemního ozonu

Lineární regresní model + interpolace reziduí	26. nejvyšší maximální denní 8hod. průměr		Expoziční index AOT40	
	venkov	městské pozadí	venkov	městské pozadí
c (konstanta)	-16,6	33,3	-3 883	-10 131
a1 (model CAMx)	1,19		0,97	0,82
a1 (model CAMS)		0,77		0,99
váha IDW	1	1,1	1	1
<b>RMSE [<math>\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}</math>]</b>	<b>3,6</b>	<b>3,2</b>	<b>2 552</b>	<b>2 515</b>
<b>relat. RMSE [%]</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>16</b>	<b>17</b>

Tab. 6 Parametry mapy benzenu

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Roční průměr	
	venkov	městské pozadí
c (konstanta)	0,1	0,2
a1 (model CAMx)	4,36	4,90
váha IDW	1	1
<b>RMSE [<math>\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}</math>]</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>
<b>relat. RMSE [%]</b>	<b>17</b>	<b>28</b>

Tab. 7 Parametry map arsenu a kadmia

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Arsen – roční průměr		Kadmium – roční průměr
	venkov	města	celková mapa
c (konstanta)	-0,8		
a1 (venkovská mapa PM <sub>10</sub> )	0,123		
range [km]	160	12	7
nugget	0	0	0
partial sill	0,2	0,7	0,3
<b>RMSE [<math>\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}</math>]</b>	<b>0,3</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>
<b>relat. RMSE [%]</b>	<b>41</b>	<b>51</b>	<b>100</b>

Tab. 8 Parametry map SO<sub>2</sub>

Lineární regresní model + interpolace reziduí	4. nejvyšší denní průměr		Roční průměr		Zimní průměr	
	venkov	městské pozadí	venkov	městské pozadí	venkov	městské pozadí
c (konstanta)	5,6	0,8	2,6	1,9	2,8	1,8
a1 (model CAMx)	0,37	0,71	0,29	0,60	0,27	0,59
váha IDW	1	1	1	1	1	1
<b>RMSE [<math>\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}</math>]</b>	<b>4,8</b>	<b>4,7</b>	<b>1,6</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>
<b>relat. RMSE [%]</b>	<b>48</b>	<b>38</b>	<b>48</b>	<b>31</b>	<b>35</b>	<b>26</b>