

PŘÍLOHA I

Podrobná specifikace prezentovaných imisních map

Plošné mapy jsou z výsledků měření v jednotlivých lokalitách konstruovány s využitím a kombinací mnoha informací (ČHMÚ 2023d). 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 2022, 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 (2023d).

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 54 venkovských (bez rozlišení na pozařadové a průmyslové), 86 městských a předměstských pozařadových a 29 dopravních stanic. Výsledky měření šesti 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 30 venkovských (bez rozlišení na pozadové a průmyslové), 52 městských a předměstských pozadových a 21 dopravních stanic. Výsledky měření osmi 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 10 venkovských a 49 městských a předměstských stanic (bez rozlišení na pozadové, dopravní a průmyslové), které byly doplněny 13 venkovskými a 17 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 30 venkovských (bez rozlišení na pozadové a průmyslové), 49 městských a předměstských pozadových a 23 dopravních stanic. Výsledky měření 4 městských a předměstských průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Pro konstrukci mapy NO_x bylo použito 28 venkovských, 48 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 32 venkovských, 28 městských a předměstských pozadových stanic. Výsledky měření 3 dopravních a 1 městské a předměstské průmyslové stanice byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Pro konstrukci mapy AOT40 bylo použito 30 venkovských, 34 městských a předměstských pozadových stanic (Tab. 5).

f. Benzen: Pro konstrukci mapy bylo použito 8 venkovských, 24 městských a předměstských pozadových stanic. Výsledky měření 2 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 11 venkovských a 35 městských a předměstských stanic (bez rozlišení na pozadové, dopravní a průmyslové). Pro konstrukci mapy kadmia bylo použito 54 stanic (bez rozlišení podle typu). 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 35 venkovských (bez rozlišení na pozadové a průmyslové) a 34 městských a předměstských pozadových stanic. Výsledky měření 3 dopravních a 3 průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Pro mapy ročního resp. zimního průměru bylo použito 35 resp. 35 venkovských (bez rozlišení na pozadové a průmyslové) a 34 městských a předměstských pozadových stanic. Výsledky měření 3 resp. 2 dopravních a 3 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 2022d): $\alpha_1 = 200 \text{ oby}\cdot\text{km}^{-2}$, $\alpha_2 = 1000 \text{ oby}\cdot\text{km}^{-2}$. Pro sloučení pozadové a dopravní vrstvy bylo použito mezi klasifikačních intervalů (ČHMÚ 2022d): $\tau_1 = 3 \text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$, $\tau_2 = 8 \text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ (pro mapy PM_{10} a $PM_{2,5}$), resp. $\tau_1 = \tau_2 = 5 \text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ (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)	10,7	17,8	14,4	18,4	31,1	27,3
a1 (model CAMx)	1,11	0,59	0,80	0,84	0,61	0,61
a2 (model SYMOS)	0,73			2,12		
a3 (nadmořská výška)	-0,0069	-0,0119		-0,0109	-0,0233	
range [km]	47	84	5	41	88	6
nugget	0,6	3,5	0	2,0	15,0	0
partial sill	1,9	1,4	5,1	7,9	4,5	19,9
váha IDW	1	1		1	1	
RMSE [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	1,7	2,6	2,1	3,1	4,6	4,1
relat. RMSE [%]	10	13	10	11	14	11

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

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Roční průměr		
	venkov	městské pozadí	doprava
c (konstanta)	2,6	0,5	0,8
a1 (venkovská mapa PM_{10})	0,47		
a2 (městská pozadivá mapa PM_{10})		0,68	
a3 (dopravní mapa PM_{10})			0,63
a4 (model SYMOS)	1,86		
range [km]	15	120	21
nugget	0	1,0	0,2
partial sill	1,1	0,0	0,7
váha IDW		1	1

Tab. 3 Parametry mapy benzo[a]pyrenu

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Roční průměr	
	venkov	města
c (konstanta)	0,4	-0,2
b1 (konstanta)	0,47	
b2 (konstanta)		0,17
a1 (exp(b1*městská mapa PM _{2,5}))	0,0004	
a2 (exp(b2*městská mapa PM _{2,5}))		0,079
a3 (model CAMx zjemněný SYMOSem)		0,79
range [km]	14	3
nugget	0	0
partial sill	0,06	0,14
váha IDW		1
RMSE [ng·m⁻³]	> 0,3	0,4
relat. RMSE [%]	> 40	35

Tab. 4 Parametry map NO₂ a NO_x

Lineární regresní model + interpolace reziduí	NO ₂ – roční průměr			NO _x – roční průměr		
	venkov	městské pozadí	doprava	venkov	městské pozadí	doprava
c (konstanta)	6,9	16,8	18,1	4,2	17,2	29,8
a1 (model SYMOS NO ₂)	5,31	1,41				
a2 (model SYMOS NO ₂ – REZZO 4)			3,19			
a3 (model SYMOS NO _x)				3,60	0,80	
a4 (model SYMOS NO _x – REZZO 4)						2,52
a5 (nadmožská výška)	-0,005	-0,015				
váha IDW	1	1	1	1	1	1
RMSE [µg·m⁻³]	0,9	2,8	5,3	1,6	7,3	14,9
relat. RMSE [%]	11	19	23	15	33	33

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)	112,63	26,3	16575	7089
a1 (model CAMS)		0,83		0,85
a2 (nadmožská výška)	0,0039		1,11	
váha IDW	2,3	1,1	1	1
RMSE [µg·m⁻³]	3,8	4,0	2827	2704
relat. RMSE [%]	3	4	16	17

Tab. 6 Parametry mapy benzenu

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Roční průměr	
	venkov	městské pozadí
c (konstanta)	0,0	-0,1
a1 (model CAMx)	4,94	7,78
váha IDW	1	1
RMSE [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	0,3	0,4
relat. RMSE [%]	45	29

Tab. 7 Parametry map arsenu a kadmia

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Arsen – roční průměr		Kadmium – roční průměr
	venkov	města	celková mapa
c (konstanta)	-1,3		0,1
a1 (venkovská mapa PM_{10})	0,17		
a2 (model CAMx)			0,83
range [km]	170	54	13
nugget	0	0,4	0
partial sill	0,3	0,8	0,1
váha IDW		1	
RMSE [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	0,6	0,9	0,3
relat. RMSE [%]	54	46	117

Tab. 8 Parametry map SO_2

Lineární regresní model + interpolace reziduí	4. nejvyšší denní průměr		Roční průměr		Zimní průměr	
	venkov	městské pozadí	venkov	městské pozadí	venkov	městské pozadí
c (konstanta)	2,9	7,7	1,7	2,7	2,1	2,9
a1 (model CAMx)	0,90	0,38	0,74	0,45	0,70	0,34
váha IDW	3	1,1	1	1,1	3	2
RMSE [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	4,1	5,7	1,1	1,6	1,1	2,2
relat. RMSE [%]	37	40	33	34	27	19