

PŘÍLOHA I

Podrobná specifikace prezentovaných imisních map

Plošné mapy jsou z výsledků měření v jednotlivých lokalitách konstruovány s využitím a kombinací mnoha informací (ČHMÚ 2021d). 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 2020, 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 modelů:

CAMx – Eulerovský model, rozlišení 2,3 × 2,3 km, rok 2020:

- meteorologie: model ALADIN 2020 v rozlišení 2,3 × 2,3 km
- antropogenní emise pro území ČR za rok 2019, není-li uvedeno jinak: bodové zdroje REZZO 1 a 2 – hlášení za rok 2019 aktualizované podle hlášení za rok 2020 dostupných k 3. 5. 2021; plošné zdroje REZZO 3 – lokální vytápění (podklady 2019, denostupně 2020), zemědělství – chovy a polní práce, povrchové hnědouhelné doly, černouhelné doly, kameolomy – povrchová těžba, fugitivní emise z výroby koks, železa a oceli, sléváren a ostatních zdrojů, skládky, výstavba, použití rozpouštědel; mobilní zdroje REZZO 4 – silniční

doprava dle sčítání ŘSD (2016), nesilniční doprava, Letiště Václava Havla Praha (2016, aktualizováno na rok 2020 dle poměru emisí CO₂ pro ČR (EUROCONTROL 2021))

- antropogenní emise mimo ČR: základní látky – CAMS-REG-AP v4.2¹ pro rok 2017 (Granier 2019); benzo[a]pyren, kadmium a olovo (2018) (EMEP/CEIP 2021)
- biogenní emise VOC z rostlin a NO z půdy: model MEGAN v2.1 (GUENTER et al. 2012)
- okrajové podmínky – v čase a prostoru konstantní klimatologické průměry

SYMOS – Gaussovský model, rozlišení 1 × 1 km (referenční body v zástavbě v síti 250 × 250 m (PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, BaP) a 500 × 500 m (ostatní látky) a mimo zástavbu 500 × 500 m zprůměrované do sítě 1 × 1 km); mimo ČR 1 × 1 km, rok 2020 (meteorologie: větrné růžice 2020 z modelu ALADIN v síti 2,3 × 2,3 km a výšce 10 m; teplotní gradient z výškové hladiny odpovídající efektivní výšce zdroje, antropogenní emise: pro území ČR jako u modelu CAMx (emise z výstavby nebyly zahrnuty); antropogenní emise pro území Polska: detailní emise za rok 2015 poskytnuté v rámci projektu LIFE-IP MAŁOPOLSKA² úřady GIOS (Główny Inspektorat Ochrony Środowiska) – plošné zdroje a KOBiZE (Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami) – bodové zdroje; antropogenní emise pro zbytek území CAMS-REG-AP v4.2.

V případě benzo[a]pyrenu byl modelem CAMx spočten odděleně příspěvek českých a zahraničních zdrojů. Příspěvek českých zdrojů byl v gridu 2,3 × 2,3 km převzorkován modelem SYMOS spočteným v síti 150 × 150 m tak, aby průměrná koncentrace zůstala zachována a prostorové rozložení koncentrací odpovídalo tomu z modelu SYMOS. K takto upravenému příspěvku českých zdrojů v síti 150 × 150 m byl přičten neupravený příspěvek zahraničních zdrojů a vše bylo zprůměrováno do výsledné sítě 1 × 1 km. Tento podklad byl pak použit pro tvorbu venkovské vrstvy benzo[a]pyrenu.

V případě jednotlivých modelů byly použity vždy aktuální výstupy, které byly k dispozici v době přípravy ročenky.

1 <https://permalink.aeris-data.fr/CAMS-REG-AP>

2 Projekt č. LIFE14 IPE/PL/OO0021. WWW: <https://powietrze.malopolska.pl/en/life-project/>

- c. Emise z dopravy: rozlišení 1×1 km, zdroj: silniční doprava dle sčítání ŘSD (2016).
- d. Nadmořská výška: rozlišení 1×1 km, zdroj: ZABAGED, Zeměměřičský úřad.
- e. Hustota populace: rozlišení 1×1 km, zdroj: ČSÚ.

2. Odhad nejistoty

Pro odhad nejistoty příslušné mapy byla použita metoda **křížového ověřování (cross-validate)**, 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 pozadové a průmyslové), 89 městských a předměstských pozadových a 26 dopravních stanic. Výsledky měření šesti městských a předměstských průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí (Tab. 1, Příloha I).
- b. Jemné suspendované částice $PM_{2,5}$:** Pro konstrukci mapy bylo použito 29 venkovských (bez rozlišení na pozadové a prů-

myslové), 53 městských a předměstských pozadových a 18 dopravních stanic. Výsledky měření šesti městských a předměstských průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Z důvodu metodiky mapování nebyla vyčíslena nejistota mapy (Tab. 2, Příloha I). 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 18 venkovských a 38 městských a předměstských stanic (bez rozlišení na pozadové, dopravní a průmyslové). V případě městské mapové vrstvy byla letos aplikována exponenciální závislost s městskou mapou $PM_{2,5}$. Vzhledem k malému počtu měřicích stanic v malých sídlech je odhad nejistoty venkovských oblastí pouze orientační (Tab. 3, Příloha I).
- d. Oxid dusičitý a oxidy dusíku:** Pro konstrukci mapy NO_2 bylo použito 30 venkovských (bez rozlišení na pozadové a průmyslové), 50 městských a předměstských pozadových a 23 dopravních stanic. Výsledky měření 3 městských a předměstských průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Pro konstrukci mapy NO_x bylo použito 29 venkovských, 48 městských a předměstských pozadových a 23 dopravních stanic (Tab. 4, Příloha I).
- e. Přízemní ozon:** Pro konstrukci mapy 26. nejvyššího maximálního denního 8hodinového klouzavého průměru bylo použito 27 venkovských, 3 městských a předměstských pozadových stanic. Pro konstrukci mapy AOT40 bylo použito 27 venkovských, 34 městských a předměstských pozadových stanic (Tab. 5, Příloha I).
- f. Benzen:** Pro konstrukci mapy bylo použito 5 venkovských, 24 městských a předměstských pozadových stanic. Výsledky měření 2 průmyslových a 7 dopravních stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí (Tab. 6, Příloha I).
- g. Těžké kovy:** Pro konstrukci mapy arsenu bylo použito 19 venkovských a 40 městských a předměstských stanic (bez rozlišení na pozadové, dopravní a průmyslové). Pro konstrukci mapy kadmia bylo použito 60 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, Příloha I).
- h. Oxid siřičitý:** Pro konstrukci mapy 4. nejvyšší 24hodinové koncentrace bylo použito 25 venkovských (bez rozlišení na pozadové a průmyslové) a 31 městských a předměstských pozadových stanic. Výsledky měření 3 dopravních a 2 průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Pro mapy ročního resp. zimního průměru bylo použito 33 resp. 25 venkovských (bez rozlišení na pozadové a průmyslové) a 30 resp. 25 městských a předměstských pozadových stanic. Výsledky měření 3 resp. 2 dopravních a 2 průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí (Tab. 8, Příloha I).

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)	6,7	21,9	12,2	15,7	34,4	20,6
a1 (model CAMx)	1,28	0,10	0,55	0,87	0,16	0,45
a2 (nadmořská výška)	-0,0060	-0,0154		-0,0120	-0,0239	
range [km]	50	35	8	47	42	7
nugget	0	3,6	0	0	12,5	0
partial sill	2,7	5,6	3,1	11,6	4,6	8,8
váha IDW		1			1	
RMSE [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	1,6	2,4	1,8	3,3	4,6	3,0
relat. RMSE [%]	10	13	9	12	15	9

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

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Roční průměr		
	venkov	městské pozadí	doprava
c (konstanta)	0,5	-1,9	-0,2
a1 (venkovská mapa PM_{10})	0,63		
a2 (městská pozadová mapa PM_{10})		0,77	
a3 (dopravní mapa PM_{10})			0,69
a4 (model SYMOS)	0,78	0,27	
range [km]	300	50	4
nugget	0,6	0,5	0
partial sill	0,0	0,5	1,0
váha IDW	1	1	

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 2021d): $\alpha_1 = 200 \text{ obyvk}\cdot\text{km}^{-2}$, $\alpha_2 = 1000 \text{ obyvk}\cdot\text{km}^{-2}$. Pro sloučení pozadové a dopravní vrstvy bylo použito mezi klasifikačních intervalů (ČHMÚ 2021d):

$\tau_1 = 3 \text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$, $\tau_2 = 8 \text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ (pro mapy PM_{10} a $PM_{2,5}$), resp. $\tau_1 = \tau_2 = 10 \text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ (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^3 .

3 U plošných map NO_2 a NO_x byla dopravní vrstva použita pouze ve městech, zatímco mimo města byla v územích s emisemi $NO_x > 5 \text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ použita vrstva ze všech pozadových městských, předměstských a venkovských stanic.

Tab. 3 Parametry mapy benzo[a]pyrenu

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Roční průměr	
	venkov	města
c (konstanta)	-0,7	-0,8
b (konstanta)		0,2
a1 (exp(b*městská mapa PM _{2,5}))		0,10
a2 (model CAMx zjemněný modelem SYMOS)	3,49	
a3 (model SYMOS – jen emise lokálního vytápění)		0,61
range [km]	160	6
nugget	0	0
partial sill	0,64	0,3
váha IDW	1	
RMSE [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	> 0,6	0,6
relat. RMSE [%]	> 60	37

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)	8,1	14,4	15,9	4,4	23,7	24,6
a1 (model SYMOS NO ₂)	4,8	3,0				
a2 (model SYMOS NO ₂ – sčítaná silniční doprava)			6,8			
a3 (model SYMOS NO _x)				3,8	0,8	
a4 (model SYMOS NO _x – sčítaná silniční doprava)						2,9
a5 (nadmořská výška)	-0,006	-0,011			-0,025	
váha IDW	1	1	1	1	1	1
RMSE [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	1,4	2,5	5,4	2,5	5,4	14,7
relat. RMSE [%]	18	17	24	24	25	34

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)	-125,5	-79,6	-56974	-50695,5
a1 (model CAMx, 26. nejv. max. denní 8h)	2,1	1,7	617,6	563,3
váha IDW	1	1	1	1
RMSE [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	4	4,5	2734	2799
relat. RMSE [%]	3	4	16	17

Tab. 6 Parametry mapy benzenu

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Roční průměr	
	venkov	městské pozadí
c (konstanta)	0,2	0,4
a1 (model CAMx)	4,4	4,8
váha IDW	1	1
RMSE [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	0,2	0,4
relat. RMSE [%]	19	31

Tab. 7 Parametry map arsenu a kadmia

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Arsen – roční průměr		Kadmium – roční průměr
	venkov	města	celková mapa
c (konstanta)	-0,5		
a1 (venkovská mapa PM_{10})	0,077		
range [km]	1 000	12	16
nugget	0,1	0	0
partial sill	0,3	0,4	0,2
váha IDW	1		
RMSE [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	0,3	0,4	0,2
relat. RMSE [%]	42	38	104

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)	2,5	4,4	1,8	1,9	1,3	1,2
a1 (model CAMx)	1	0,5	0,7	0,5	0,8	0,6
váha IDW	1,8	3	1	1	1,1	1
RMSE [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	6	5,8	1,5	1,6	1,3	1,2
relat. RMSE [%]	43	42	38	36	31	25