PŘÍLOHA I

Podrobná specifikace prezentovaných imisních map

Plošné mapy jsou z výsledků měření v jednotlivých lokalitách konstruovány s využitím a kombinací mnoha informací (ČHMÚ 2022d). 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 2021, 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 2021:

- meteorologie: model ALADIN 2021 v rozlišení 2,3 × 2,3 km
- antropogenní emise pro území ČR za rok 2020, není-li uvedeno jinak: bodové zdroje REZZO 1 a 2 – hlášení za rok 2020 aktualizované podle hlášení za rok 2021 dostupných k 3. 4. 2022; plošné zdroje REZZO 3 – lokální vytápění (podklady 2020, denostupně 2021), zemědělství – chovy (2019 a 2020) a polní práce, hnědouhelné a černouhelné doly (2021), kamenolomy – povrchová těžba, fugitivní emise z výroby koksu, železa a oceli, slévárен 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 2021 dle poměru emisí CO_2 pro ČR (EUROCONTROL 2022)), ostatní mezinárodní letiště (2020, aktualizováno na rok 2021 dle poměru emisí CO_2 pro ČR (EUROCONTROL 2022))
- antropogenní emise pro Polsko za rok 2019: Centrální emisní databáze pro modelování kvality ovzduší v Polsku (KOBiZE 2022)
- antropogenní emise mimo ČR a Polsko: základní látky – CAM S-REG-AP v4.2-ry[1] pro rok 2019 (Kuenen et al. 2021); benzo[*a*]pyren, kadmium a olovo (2019) (EMEP/CEIP 2022; tyto emise kadmia a olova byly použity i pro území Polska)
- biogenní emise VOC z rostlin a NO z půdy: model MEGAN v2.1 (Guenter et al. 2012)
- okrajové podmínky – v čase a prostoru proměnné z globálního modelu WACCM (NCAR 2022)

SYMOS – Gaussovský model, rozlišení 1 × 1 km (referenční body v zástavbě v síti 250 × 250 m a mimo zástavbu 500 × 500 m zprůměrované do sítě 1 × 1 km; mimo ČR 1 × 1 km), rok 2021 (meteorologie: větrné růžice 2021 z modelu ALADIN v síti 2,3 × 2,3 km a výškách 120, 330, 500 a 700 m podle efektivní výšky zdroje, antropogenní emise: jako u modelu CAMx (mimo emisí z databáze EMEP/CEIP)). V případě $PM_{2,5}$ byl model shlazen ve čtverci 3 × 3 km.

CAMS ensemble forecast[2] – medián ansámblu Eulerovských modelů, rozlišení 0,1 x 0,1°, rok 2021 (meteorologie: ECWMF 2021, emise: CAMS-REG-AP; podrobnosti viz COPERNICUS (2022))

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

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.

1 https://permalink.aeris-data.fr/CAMS-REG-AP
2 https://www.regional.atmosphere.copernicus.eu/

2. Odhad nejistoty

Pro odhad nejistoty příslušné mapy byla použita metoda **křížového ověřování (cross-validace)**, 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)**:

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

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

kde $Z(s_i)$ je naměřená hodnota koncentrace v i-tém bodě,
$\dot{Z}(s_i)$ 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, a1, a2, ...), 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 55 venkovských (bez rozlišení na pozaďové a průmyslové), 87 městských a předměstských pozaďových a 27 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 pozaďové a průmyslové), 52 městských a předměstských pozaďových a 19 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, 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 11 venkovských a 42 městských a předměstských stanic (bez rozlišení na pozaďové, dopravní a průmyslové), které byly doplněny osmi venkovskými a osmi městskými a předměstskými stanicemi, jejichž hodnoty byly odhadnuty pomocí naměřených hodnot v předchozích letech. V případě městské i venkovské mapové vrstvy byla aplikována 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, Příloha I).

d. Oxid dusičitý a oxidy dusíku: Pro konstrukci mapy NO_2 bylo použito 31 venkovských (bez rozlišení na pozaďové a průmyslové), 48 městských a předměstských pozaďových a 22 dopravních stanic. Výsledky měření 4 městských a předměstských průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Pro konstrukci mapy NO_x bylo použito 29 venkovských, 46 městských a předměstských pozaďových a 22 dopravních stanic (Tab. 4, Příloha I).

e. Přízemní ozon: Pro konstrukci mapy 26. nejvyššího maximálního denního 8hodinového klouzavého průměru bylo použito 24 venkovských, 29 městských a předměstských pozaďových stanic. Výsledky měření 3 dopravních a 2 městských a předměstských průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Pro konstrukci mapy AOT40 bylo použito 27 venkovských, 34 městských a předměstských pozaďových stanic (Tab. 5, Příloha I).

f. Benzen: Pro konstrukci mapy bylo použito 6 venkovských, 24 městských a předměstských pozaďových stanic. Výsledky měření 2 průmyslových a 6 dopravních stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí (Tab. 6, Příloha I).

g. Těžké kovy: Pro konstrukci mapy arsenu bylo použito 16 venkovských a 40 městských a předměstských stanic (bez rozlišení na pozaďové, dopravní a průmyslové). Pro konstrukci mapy kadmia bylo použito 56 stanic (bez rozlišení podle typu). 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 29 venkovských (bez rozlišení na pozaďové a průmyslové) a 30 městských a předměstských pozaďových stanic. Výsledky měření 3 dopravních a 3 průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí. Pro mapy ročního resp. zimního průměru bylo použito 38 resp. 35 venkovských (bez rozlišení na pozaďové a průmyslové) a 30 městských a předměstských pozaďových stanic. Výsledky měření 3 resp. 2 dopravních a 3 průmyslových stanic byly zohledněny pouze v jejich bezprostředním okolí (Tab. 8, Příloha I).

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

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)	3,5	13,9	10,7	−5,0	24,2	18,6
a1 (model CAMx)	1,72	0,69	0,88	1,82	0,61	0,73
a2 (nadmořská výška)	-0,0055	-0,0073			-0,0139	
range [km]	45	90	5	47	25	5
nugget	0	4,6	0	0	19,0	0
partial sill	2,9	2,2	4,5	11,6	1,3	13,8
váha IDW		1			1	
RMSE [µg·m^{-3}]	**1,8**	**2,7**	**2,3**	**4,2**	**5,2**	**3,5**
relat. RMSE [%]	**11**	**14**	**10**	**14**	**15**	**9**

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

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Roční průměr		
	venkov	městské pozadí	doprava
c (konstanta)	0,7	−2,4	−2,1
a1 (venkovská mapa PM_{10})	0,62		
a2 (městská pozaďová mapa PM_{10})		0,86	
a3 (dopravní mapa PM_{10})			0,79
a4 (model SYMOS)	0,95		
range [km]	10	100	2
nugget	0	1,1	0
partial sill	1,2	0,2	1,9
váha IDW		1	

Pro sloučení městské a venkovské vrstvy bylo použito mezí klasifikačních intervalů (ČHMÚ 2022d): $\alpha1 = 200$ obyv·km^{-2}, $\alpha2 = 1000$ obyv·km^{-2}. Pro sloučení pozaďové a dopravní vrstvy bylo použito mezí klasifikačních intervalů (ČHMÚ 2022d): $\tau1 = 3$ t·rok^{-1}·km^{-2}, $\tau2 = 8$ t·rok^{-1}·km^{-2} (pro mapy PM_{10} a $PM_{2,5}$), resp. $\tau1 = \tau2 = 10$ t·rok^{-1}·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 t·rok^{-1}·km^{-2} použita vrstva ze všech pozaďových městských, předměstských a venkovských stanic.

Tab. 3 Parametry mapy benzo[*a*]pyrenu

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Roční průměr	
	venkov	města
c (konstanta)	0,1	0,1
b1 (konstanta)	0,2	
b2 (konstanta)		0,2
a1 (exp(b1*městská mapa $PM_{2,5}$))	0,04	
a2 (exp(b2*městská mapa $PM_{2,5}$))		0,03
range [km]	30	6
nugget	0	0
partial sill	0,02	0,25
RMSE [µg·m^{-3}]	**> 0,3**	**0,5**
relat. RMSE [%]	**> 30**	**35**

Tab. 4 Parametry map NO_2 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)	8,0	16,7	18,8	8,9	25,7	31,3
a1 (model SYMOS NO_2)	4,43	1,50				
a2 (model SYMOS NO_2 – REZZO4)			2,75			
a3 (model SYMOS NO_x)				2,35	0,62	
a3 (model SYMOS NO_x – REZZO4)						1,93
a4 (nadmořská výška)	-0,01	-0,01		–0,01	-0,03	
váha IDW	1	1	1	1	1	1
RMSE [µg·m^{-3}]	**1,1**	**2,4**	**5,5**	**2,3**	**5,2**	**16,3**
relat. RMSE [%]	**14**	**16**	**22**	**22**	**23**	**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)	111,7	23,0	16146	8114
a1 (model CAMS)		0,90		0,84
a2 (nadmořská výška)	0,01		1,12	
váha IDW	1	1,1	1	1
RMSE [µg·m^{-3}]	**4,0**	**4,2**	**2727**	**2617**
relat. RMSE [%]	**3**	**4**	**16**	**16**

Tab. 6 Parametry mapy benzenu

Lineární regresní model + interpolace reziduí	Roční průměr	
	venkov	městské pozadí
c (konstanta)	–1,2	–1,1
a1 (model CAMx)	6,87	7,15
váha IDW	1	1,6
RMSE [µg·m⁻³]	**0,1**	**0,3**
relat. RMSE [%]	**16**	**22**

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		0,1
a1 (venkovská mapa PM_{10})	0,109		
a2 (model CAMx)			1,68
range [km]	130	10	16
nugget	0	0	0
partial sill	0,2	0,4	0,1
RMSE [µg·m⁻³]	**0,3**	**0,6**	**0,2**
relat. RMSE [%]	**38**	**47**	**88**

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)	0,4	5,6	1,1	2,5	1,2	2,0
a1 (model CAMx)	0,99	0,46	0,89	0,40	0,71	0,43
váha IDW	1,5	1,7	1	1	1	1
RMSE [µg·m⁻³]	**4,7**	**6,3**	**1,1**	**1,5**	**1,2**	**1,0**
relat. RMSE [%]	**43**	**45**	**31**	**35**	**31**	**22**