

**Český
hydrometeorologický
ústav**



Hodnocení dopadů „kotlíkových dotací“ na kvalitu ovzduší modelem CAMx

Ondřej Vlček, Nina Benešová, Jana Šmejdiřová, Patrik Beshir

✉ *ondrej.vlcek@chmi.cz*

Ochrana ovzduší ve státní správě XV, Praha, 2. 11. 2021

Kotlíkové dotace

Kotlíkové dotace

- ✧ Od 1. září 2022 bude podle zákona o ochraně ovzduší z roku 2012 povoleno používat kotle pouze 3. a vyšší emisní třídy podle ČSN EN 303-5.
- ✧ Provoz zastaralých kotlů bude zakázán.
- ✧ Dotace odstartovaly v roce 2015. V třech výzvěch bylo
 - přijato 120 000 žádostí,
 - vyměněno 84 000 kotlů,
 - vyplaceno 9,3 mld. Kč.
- ✧ V provozu může být aktuálně stále až 300 000 nevyhovujících kotlů na pevná paliva.

Zdroj: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/kotlikove-dotace/zakladni-informace/> [cit. 21. 9. 2021]

Projekt TA ČR TITSMZP704 (2018–2021)

Lokality hodnocení účinnosti PZKO v malých sídlech



Projekt TA ČR TITSMZP704 (2018 – 2021)

Lokality hodnocení účinnosti PZKO v malých sídlech

- ✧ Každý rok 2 měsíční kampaně
- ✧ Odběry PM₁₀, PM_{2,5}, B[a]P, těžkých kovů (As, Cd, Ni, Pb)
- ✧ Cílem vyhodnotit meziroční změny jejich návaznost na výměnu kotlů v dané lokalitě
- ✧ Problémy mj. s očištěním naměřených dat od vlivu meteorologie



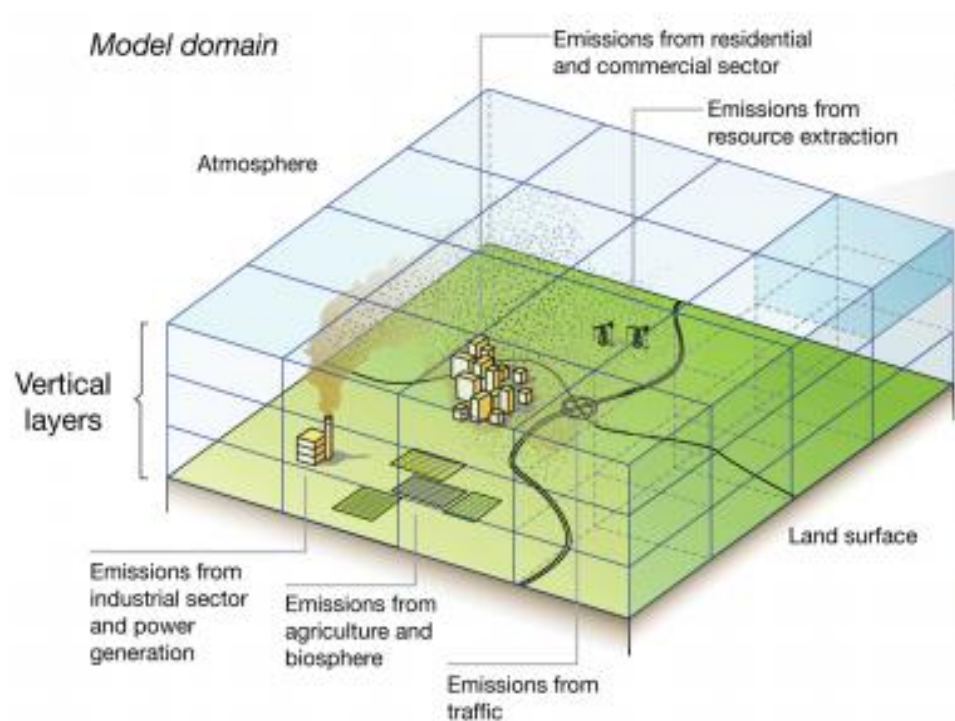
Modelové hodnocení dotačního programu



Modelové hodnocení

Chemický transportní model CAMx

✧ **deterministický eulerovský rozptylový model**
(detailní charakteristiky viz <https://www.camx.com/>)



Grid cell

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\nabla \cdot vC + \nabla \cdot KC$$
$$\frac{d[\text{NO}_2]}{dt} = k[\text{NO}_2] - J[\text{O}_3]$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{V}c + \nabla \cdot K\nabla c + R_C + R_E + R_D$$

From AWMA Environmental Manager magazine, July 2012 issue on AQMEII:
Douw Steyn, Peter Builtjes, Martijn Schaap, Greg Yarwood

CAMX OVERVIEW
JULY 2020

Meteorologický prognózní model ALADIN

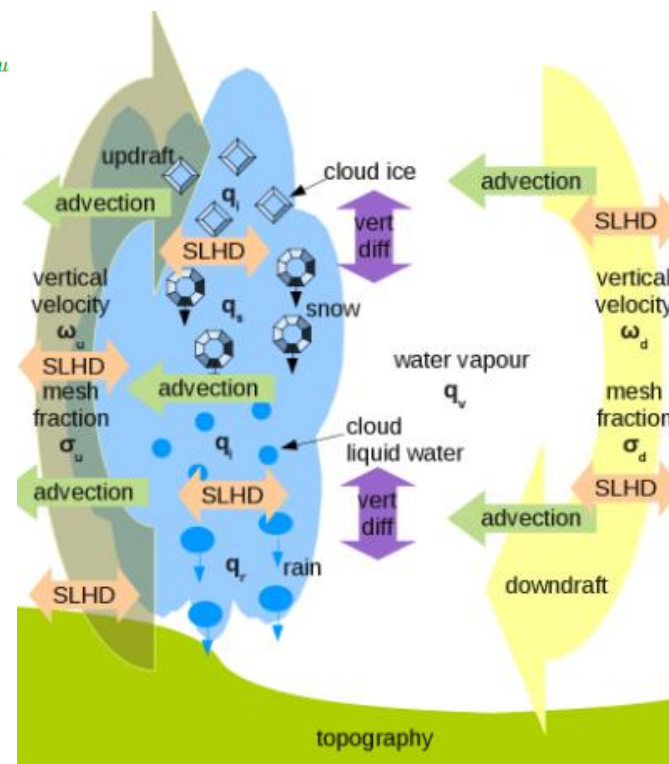
- ✧ **numerický předpovědní model;** rozlišení (2015) 4,7 x 4,7 km, 87 vertikálních hladin, operativní asimilační cyklus v 0, 6, 12 a 18 UTC (další detailní charakteristiky viz <http://aladin.chmi.cz/aos/aladin/>)

ALADIN-HIRLAM model configurations run by Czech Rep

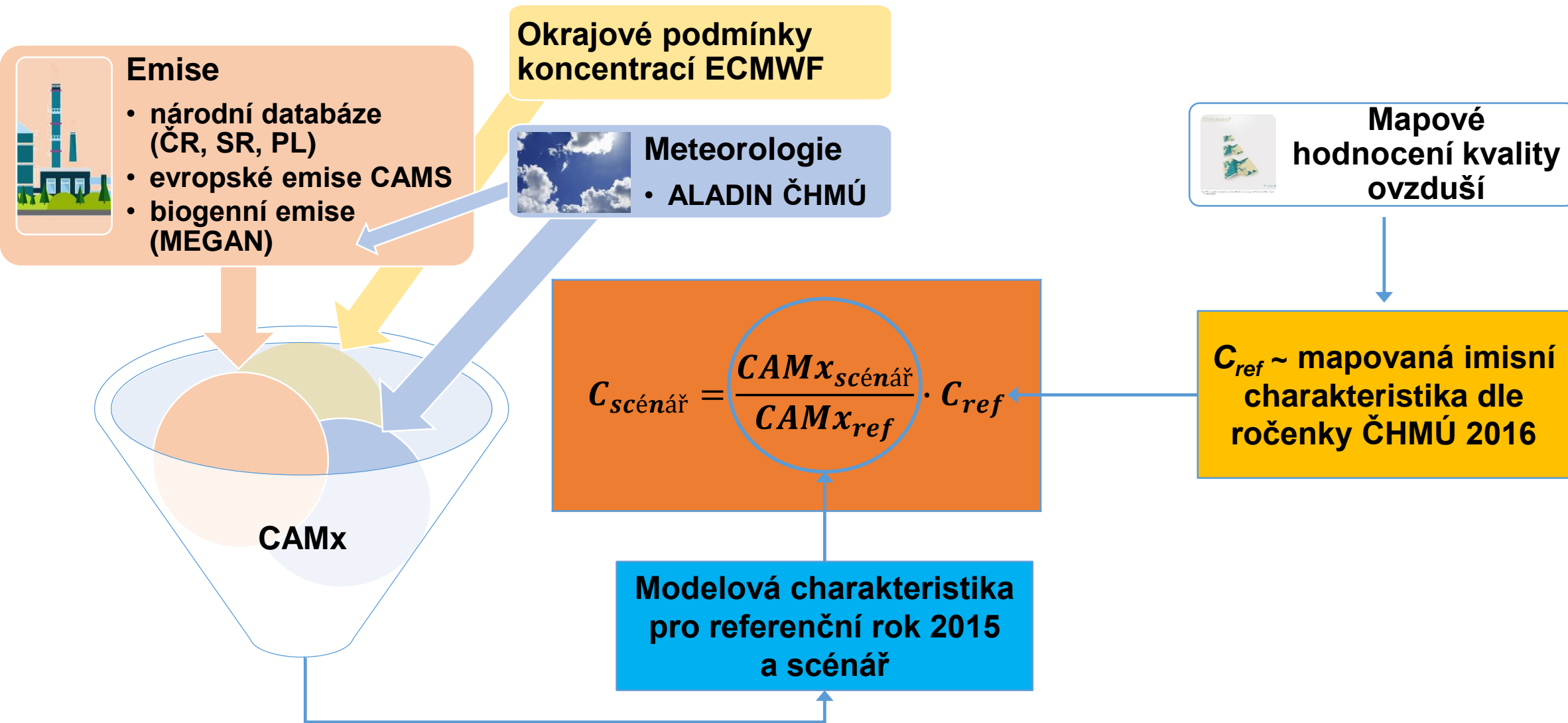


$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - \dot{\eta} \frac{\partial u}{\partial \eta} - \frac{RT}{p} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial \pi} \frac{\partial \phi}{\partial x} + f_v + F_u \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - \dot{\eta} \frac{\partial v}{\partial \eta} - \frac{RT}{p} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\partial p}{\partial \pi} \frac{\partial \phi}{\partial y} - f_u + F_v \\ \frac{\partial w}{\partial t} &= -u \frac{\partial w}{\partial x} - v \frac{\partial w}{\partial y} - \dot{\eta} \frac{\partial w}{\partial \eta} + g \left(\frac{p}{\pi} - 1 \right) + F_w \\ \frac{\partial T}{\partial t} &= -u \frac{\partial T}{\partial x} - v \frac{\partial T}{\partial y} - \dot{\eta} \frac{\partial T}{\partial \eta} - \frac{R}{c_v} T D_3 + F_T \\ \frac{\partial p}{\partial t} &= -u \frac{\partial p}{\partial x} - v \frac{\partial p}{\partial y} - \dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} - \frac{c_p}{c_v} p D_3 \\ \frac{\partial q}{\partial t} &= -u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y} - \dot{\eta} \frac{\partial q}{\partial \eta} + F_q \\ \frac{\partial \pi_S}{\partial t} &= - \int_0^1 \nabla_{\eta} \cdot \left(\frac{\partial \pi}{\partial \eta} \mathbf{v} \right) d\eta \quad \pi = A(\eta) + B(\eta) \pi_S \\ \frac{\partial \phi}{\partial \pi} &= - \frac{RT}{p} \quad D_3 = \nabla_{\eta} \cdot \mathbf{v} + \frac{p}{RT} \nabla_{\eta} \phi \cdot \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \pi} + \frac{gp}{RT} \frac{\partial w}{\partial \pi} \end{aligned}$$

(<https://www.intechopen.com/chapters/42619>)



Modelové hodnocení - přístup



Výpočet emisí z lokálního vytápění na úrovni ZÚJ

Základní podkladová data

- ✧ sčítání lidu, domů a bytů (SLDB) 2011 (územní rozdělení emisí, pouze trvale obydlené byty)
- ✧ šetření ENERGO 2015 (ČSÚ 2017) (první podrobné zmapování spotřeby paliv a struktury spalovacích zařízení v domácnostech ČR)
- ✧ Pro modelové hodnocení emisní faktory při jmenovitém a sníženém tepelném výkonu kotle v poměru 15/85
(Předpoklad je v souladu se Směrnicí o Ekodesignu 2009/125/ES).

Výpočet emisí z lokálního vytápění na úrovni ZÚJ

Model je založen na bottom-up principu

- ✧ nejprve se ze vstupních parametrů vypočte spotřeba tepla a konkrétního druhu paliva na jeden průměrný byt,
- ✧ následně se za použití emisních faktorů pro daný typ paliva a konstrukci spalovacího zařízení vypočítají emise znečišťujících látek po palivech (vstupní údaje se každoročně aktualizují).

Detail vstupů: ČR, kraje, ZUJ

Podrobnosti viz Modlík et al. 2017



Denostupně
pro dané ZUJ

Parametry bytů

- počet bytů podle převažujícího způsobu vytápění
- průměrná podlahová plocha bytů
- podíl zateplených a nezateplených bytů podle převažujícího způsobu vytápění
- měrná roční potřeba tepla na vytápění zateplených a nezateplených bytů
- podíl spotřeby paliva při převažujícím způsobu vytápění

Parametry paliv

- jakostní znaky paliv (Q_i , A_p , S_p)
- podíl jednotlivých druhů uhlí (hnědé uhlí, brikety, černé uhlí, koks)
- podíl jednotlivých druhů biomasy (palivové dřeva, brikety, pelety)
- podíl spotřeby suchého a vlhkého dřeva

Parametry spalovacích zařízení

- průměrná tepelná účinnost
- podíl spotřeby paliva podle typu spalovacího zařízení
- podíl provozu spalovacích zařízení při jmenovitém a při sníženém výkonu
- emisní faktory při jmenovitém a sníženém výkonu

Klimatické podmínky

- počet denostupňů (21/13)

Průměrná roční potřeba tepla na vytápění bytu

Průměrná roční spotřeba paliva na vytápění bytu podle typu spalovacího zařízení

Roční spotřeba paliva na vytápění v základní územní jednotce

Emise podle druhu paliva

Celkové emise

Kvantifikace změn emisí v důsledku „kotlíkových dotací“

- ✧ Anonymizovaná data z jednotlivých dotačních výzev
- ✧ Do vyhodnocení byly zahrnuty všechny žádosti mimo vyřazených nebo vrácených
- ✧ Efekt výměny kotlů počítán pro každou žádost zvlášť jako rozdíl emisí před a po výměně
- ✧ Pro srovnatelnost byla potřeba tepla pro bytovou jednotku počítána z podkladů z modelu za rok 2015
- ✧ Při stanovení poměru spotřeby paliv u nahrazovaného kotle (v žádosti mohlo být uvedeno více typů paliva) byl zohledněn ten typ paliva, který byl převážně používán před výměnou
- ✧ Emise pro výchozí stav nejsou s individuálními změnami zcela korektně srovnatelné (každá žádost zvlášť vs. modelová vstupní data jako průměrné údaje z jiných zdrojů)

Validace modelu CAMx

Validace modelu pro referenční rok

Vyhl. 330/2012 Sb.:

$$RDE = |C_{model} - C_{měření}| / LV \cdot 100$$

< 50 % na 90 % stanic

„Relative Directive Error“ (dle EEA Technical report No 10/2011)

C ~ průměrná (modelová a naměřená) roční koncentrace,
 LV ~ roční imisní limit

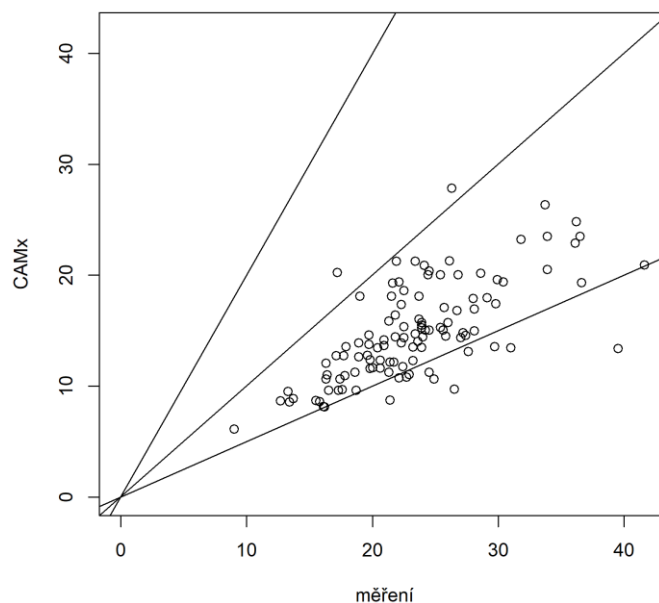
Legislativní požadavky v roce 2015 splněny u:

- ✧ PM_{10}
- ✧ $PM_{2,5}$ (požadovné)
- ✧ NO_2 (téměř splněny na požadovných)
- ✧ B[a]P (C nadhodnocovány)

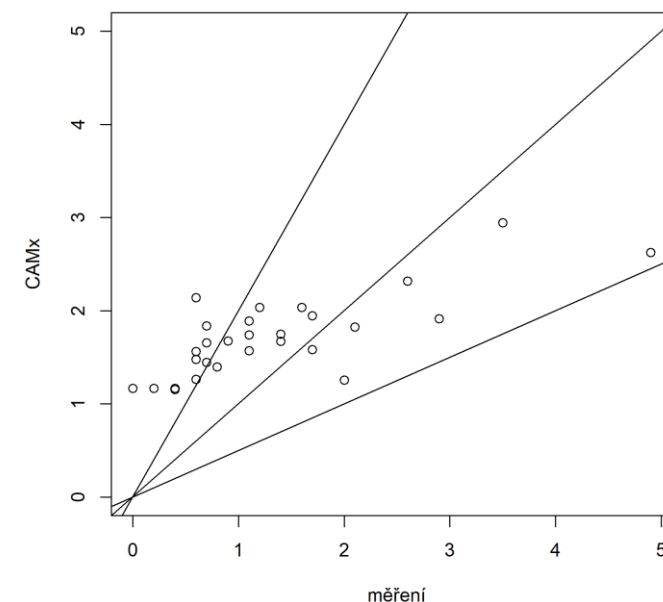
Tab. 5 Průměrné roční koncentrace PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 a benzo[a]pyrenu v roce 2015 - srovnání modelu CAMx s hodnotami naměřenými na stanicích v databázi ISKO ČHÚ.

Typ stanice	PM_{10}		$PM_{2,5}$		NO_2		B[a]P	
	požadovné	všechny	požadovné	všechny	požadovné	všechny	požadovné	všechny
RDE < mez [% stanic]	98	98	92	86	87	67	36	36
FAC2 [% stanic]	90	91	100	100	49	46	61	67

PM10 roční průměr
 RDE < 50 % na 98 % stanic; FAC2 = 90 %



BaP roční průměr
 RDE < 60 % na 36 % stanic; FAC2 = 61 %

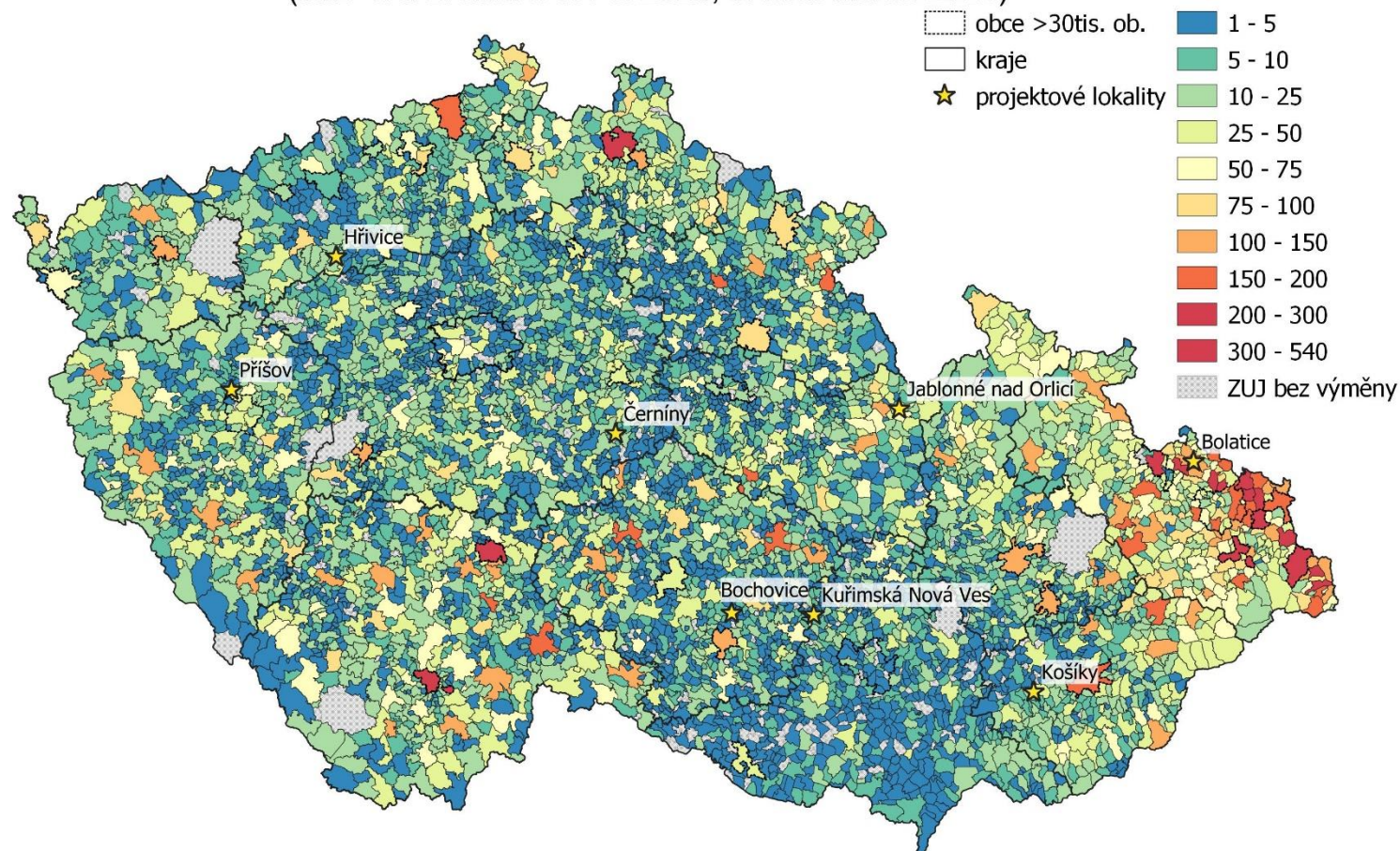


Výsledky

Počty kotlů vyměněných v 1. – 3. kole

Celkové počty vyměněných kotlů v 1. až 3. kole kotlíkových dotací
(stav 1. a 2. kola k 17. 1. 2020, 3. kola duben 2021)

	počet výměn	počet ZUJ z celkových 6 385 s alespoň jednou výměnou
1. kolo	27 283	4 850
2. kolo	34 271	4 987
3. kolo	25 466	4 620
CELKEM	87 020	5 974



Celorepublikové změny emisí

Nejvyšší věrohodnost

	změna v důsledku 1. - 3. kola [t] nebo [kg]
NH ₃ [t]	-142
NO _x [t]	-147
SO ₂ [t]	-725
BENZ [t]	-27
NMVOC [t]	-19 924
BC [t]	-504
OC [t]	-3 434
PM ₁₀ [t]	-7 275
PM _{2,5} [t]	-7 149
BAP [kg]	-1 515
As [kg]	-20
Cd [kg]	-19
Ni [kg]	-23
Pb [kg]	-68



Počty výměn a relativní změny emisí [%] na ZUJ

		1. až 3. kolo				
		min	Q _{0,1}	Q _{0,5}	Q _{0,9}	max
počet výměn		1	2	7	32	540
NH ₃	amoniak	-46	-8	-3	0	10
NO _x	oxidy dusíku vyjádřené jako NO ₂	-33	-5	-1	2	20
SO ₂	oxid siřičitý	-113	-11	-3	0	0
BENZ	benzen	-81	-18	-7	-2	0
NM-VOČ	těkavé organické látky bez CH ₄	-60	-17	-8	-3	0
PC	elementární uhlík	-69	-18	-8	-3	0
OC	organický uhlík	-86	-20	-9	-3	0
PM ₁₀	částice PM ₁₀	-83	-20	-9	-3	0
PM _{2,5}	částice PM _{2,5}	-84	-20	-9	-3	0
B[a]P	benzo[a]pyren	-72	-17	-7	-2	0
As	arsen	-62	-13	-4	1	32
Cd	kadmium	-58	-9	-3	0	2
Ni	nikl	-47	-11	-4	-1	6
Pb	olovo	-61	-12	-4	0	23

Relativní čísla nutno
brát s rezervou

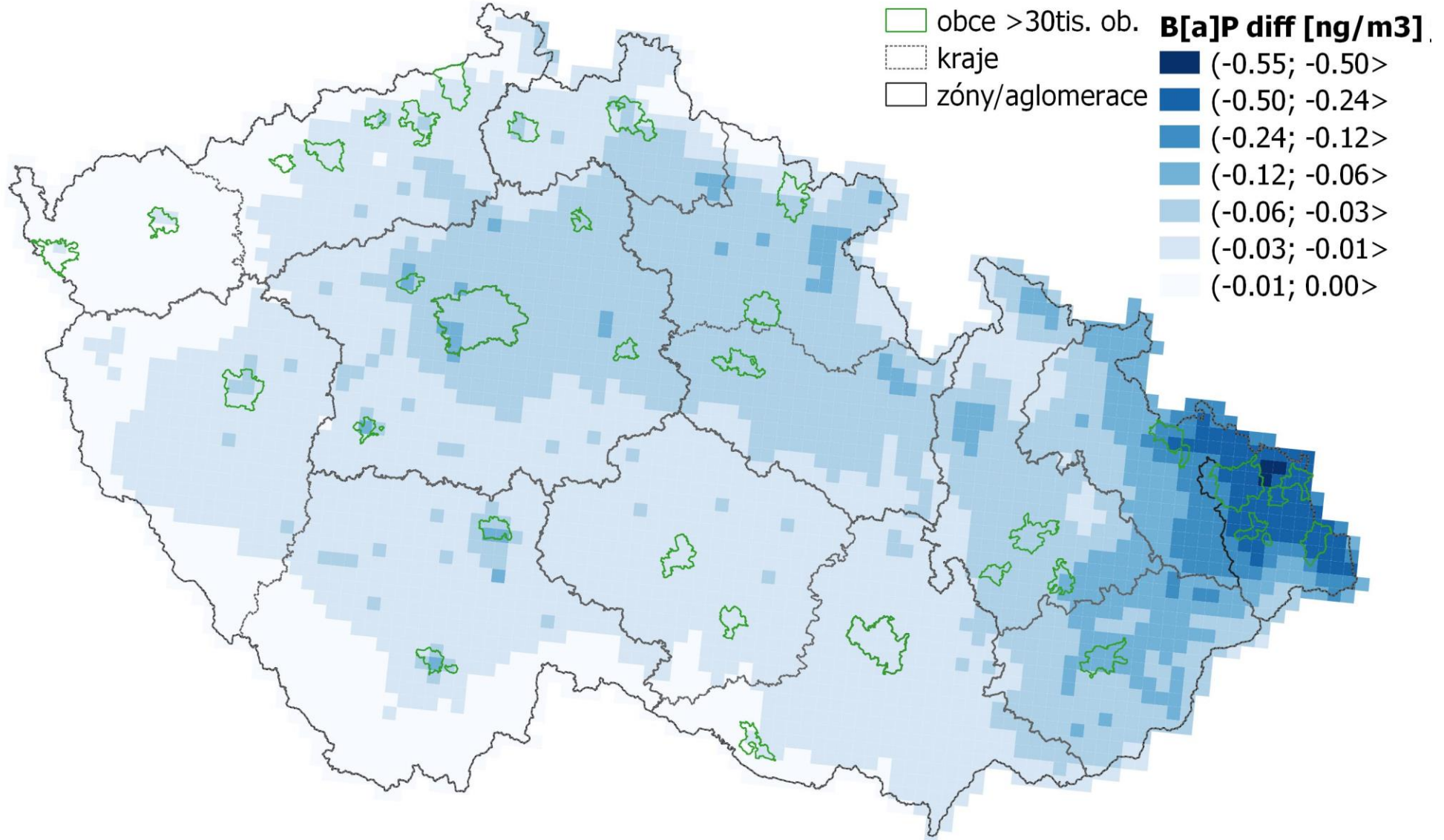
Změny koncentrací v gridu 4,7 km x 4,7 km

	percentil				
	[$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] ([$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] pro B[a]P)				
	0%	10%	50%	90%	100%
PM₁₀ rok	-2,65	-0,78	-0,53	-0,32	0,12
PM₁₀ d36	-7,65	-1,80	-0,96	-0,41	0,15
PM_{2,5} rok	-2,49	-0,63	-0,42	-0,24	-0,07
B[a]P rok	-0,55	-0,06	-0,02	0,00	0,00
SO₂ rok	-0,23	-0,05	-0,03	-0,01	0,06
NO₂ rok	-0,39	-0,12	-0,05	-0,01	0,21
benzen rok	-0,09	-0,02	-0,01	0,00	0,01

Území s překročením IL v gridu 4,7 km x 4,7 km

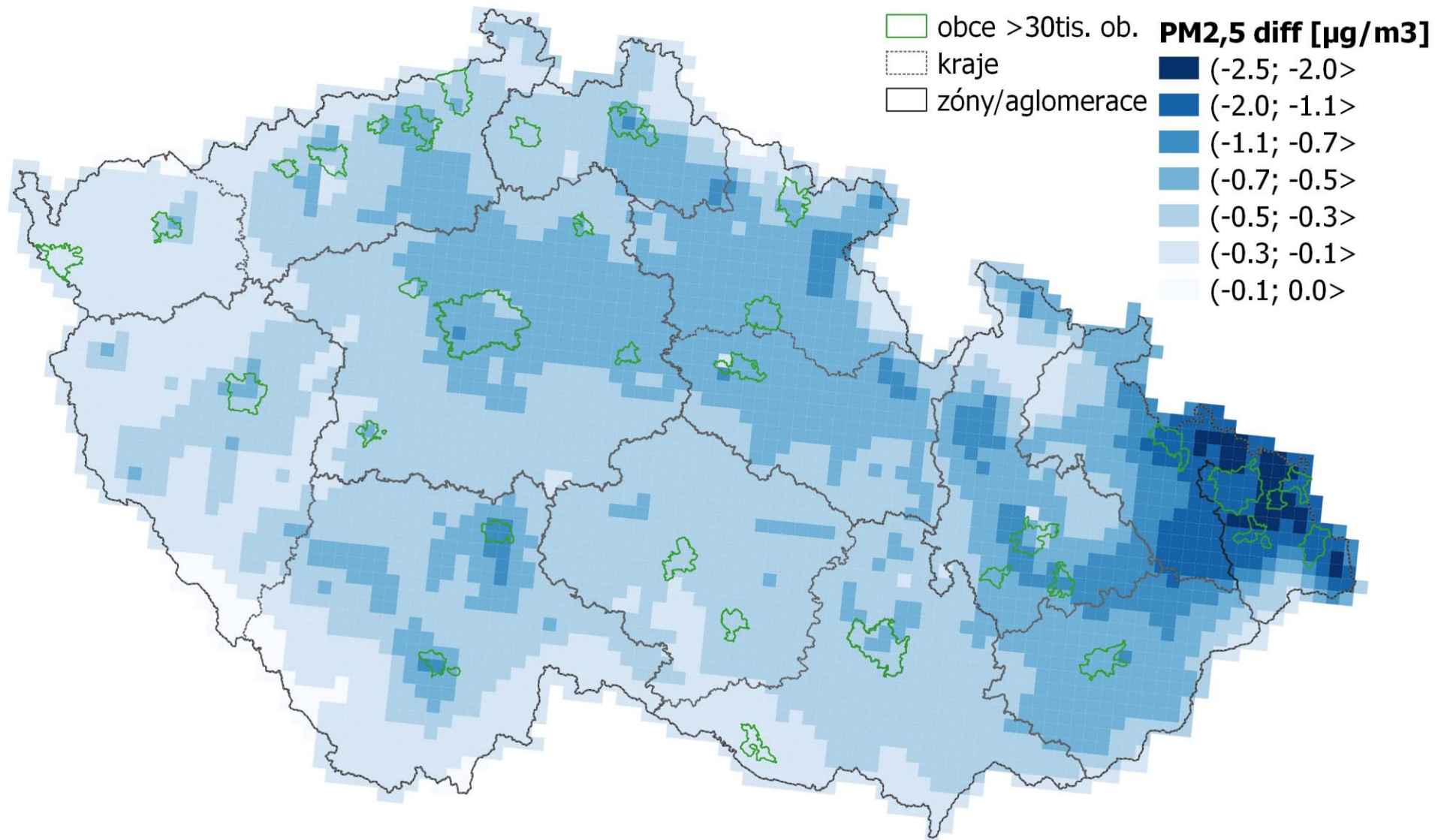
	území s překročením IL [%]		rozdíl [%]
	výchozí stav	po 1. - 3. kole dotací	
B[a]P rok	20,9	18,3	-2,7
PM₁₀ rok	0,0	0,0	0,0
PM₁₀ d36	2,7	1,9	-0,8
PM_{2,5} rok	5,2	3,8	-1,5

Změna průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$]
mapa * [$\text{CAMx}(\text{kd}1-3) / \text{CAMx}(\text{ref}) - 1$]

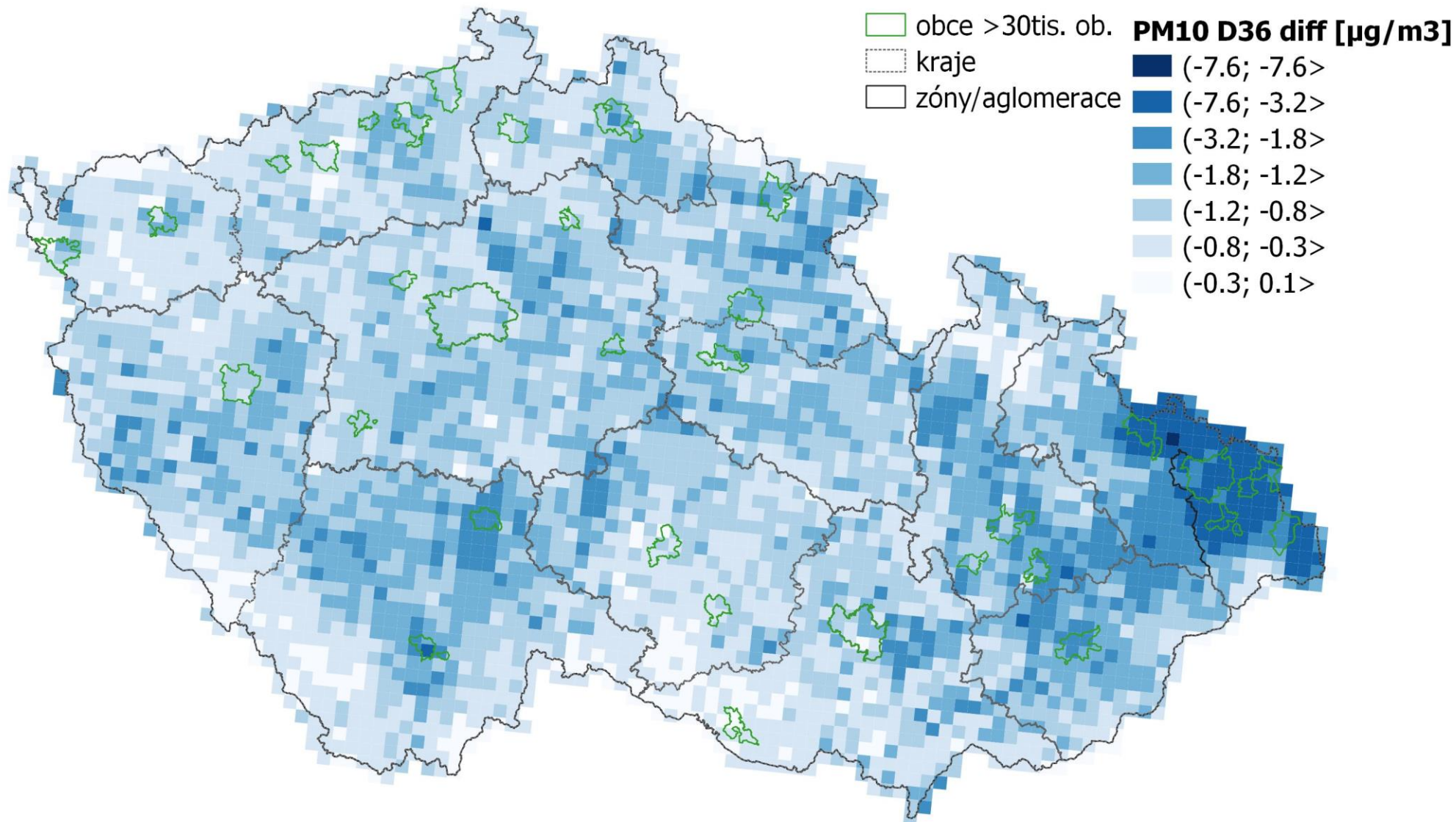


Změna průměrné roční koncentrace PM_{2,5} [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]

mapa * [$\text{CAMx}(\text{kd}1-3) / \text{CAMx}(\text{ref}) - 1$]



Změna 36. nejvyšší denní koncentrace PM₁₀ [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]
mapa * [$\text{CAMx}(\text{kd}1-3) / \text{CAMx}(\text{ref}) - 1$]



Diskuze a závěr

Diskuse

Modelové hodnocení je zatíženo několika druhy nejistot, zejména:

- ✧ emise z lokálního vytápění pro výchozí stav a jejich změny nejsou plně srovnatelné (pro výpočet změn byly k dispozici přesnější údaje);
- ✧ modelový výpočet byl proveden v rozlišení 4,7 x 4,7 km \Rightarrow skutečné koncentrace v lokálních hot-spotech tak budou vyšší, stejně tak jako změny koncentrací v důsledku obměny kotlů,
- ✧ výpočet byl proveden pro referenční rok 2015 \Rightarrow výsledné změny koncentrací v jiných letech s jinými meteorologickými podmínkami se tak budou lišit od uvedených výsledků.

- ✧ nejsou zahrnuty všechny známé druhy emisí (např. resuspenze způsobená větrnou erozí) \Rightarrow výsledné změny koncentrací tak mohou být poněkud nižší,
- ✧ zahrnuté emise mohou být zatíženy různou mírou nejistoty (kvantifikace, prostorový a časový rozpočet),

Přesto je možné říci, že se kotlíkové dotace pozitivně projevily zejména v poklesu koncentrací benzo[a]pyrenu (zejména v oblasti severní Moravy), průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} a 36. nejvyššího denního průměru PM₁₀.

Závěr

- ✧ Provedeno modelové hodnocení dopadu výměn kotlů v rámci kotlíkových dotací;
- ✧ Do výpočtu vstoupilo celkem 87 020 výměn;
- ✧ Celorepublikové emise z lokálního vytápění poklesly o cca 7 kt PM_{10} , 1,5 t benzo[a]pyrenu, 20 tk těkavých organických látek a z toho necelých 30 t benzenu.;
- ✧ Poklesly jak průměrné roční tak maximální denní koncentrace nejproblematictějších látek (PM, B[a]P);
- ✧ Klesla plocha území s překročením imisního limitu těchto látek;
- ✧ Změny na celém území ČR; v ročním průměru kopírovaly do plošné rozložení koncentrací (tedy k větším poklesům došlo v oblastech s vyššími koncentracemi);
- ✧ Nejvýraznější poklesy nastaly v Moravskoslezském kraji a zejména v aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek.

Literatura

- ✂ BENEŠOVÁ N. et al., 2018. New open source emission processor for air quality models. In Sokhi, R. et al. (eds) Proceedings of Abstracts 11th International Conference on Air Quality Science and Application. DOI: 10.18745/PB.19829. (pp. 27). WWW: <http://fume-ep.org>
- ✂ CAMS-REGv1.1-AP. WWW: <https://permalink.aeris-data.fr/CAMS-REGv1.1-AP>
- ✂ ČHMÚ, 2016. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2015. Dostupné on-line na http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/15groc/gr15cz/Obsah_CZ.html
- ✂ ČSÚ, 2017: Spotřeba paliv a energií v domácnostech. Český statistický úřad, Praha, 2017 [cit. 11.10.2020]. Dostupné on-line: <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-paliv-a-energi-v-domacnostech>
- ✂ ECMWF, 2020. CAMS Global archived analysis and forecast daily data. WWW: <https://confluence.ecmwf.int/pages/viewpage.action?pageId=56659592>
- ✂ GIANELLE, V., COLOMBI, C., CASERINI, S., OZGEN, S., GALANTE, S., MARONGIU, A., LANZANI, G., 2013. Benzo(a)pyrene air concentrations and emission inventory in Lombardy region, Italy. Atmospheric Pollution Research, 4, 257–266
- ✂ GRANIER C. et al., 2012. Report on the update of anthropogenic surface emissions, MACC-II deliverable report D_22.1
- ✂ GUENTHER A. B. et al., 2012. The Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature version 2.1 (MEGAN2.1): an extended and updated framework for modeling biogenic emissions. Geoscientific Model Development, vol. 5, p. 1471–1492. WWW: <http://www.geosci-model-dev.net/5/1471/2012/>
- ✂ KUENEN J. J. P. et al., 2014. TNO-MACC_II emission inventory; a multi-year (2003–2009) consistent high-resolution European emission inventory for air quality modelling. Atmospheric Chemistry and Physics, vol. 14, p. 10963–10976.


Literatura

- ✍ MODLÍK, M., BUFKA, A., HOPAN, F., HORÁK, J., 2017. Metodika inventarizace emisí ze spalování paliv v domácnostech [online]. Technický dokument ČHMÚ [cit. 27. 7. 2020]. Dostupné z WWW: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/NovaMetodikaEBSpalovZdrojuVDomacnostech.pdf>
- ✍ Ramboll Environ, 2018: CAMx, Comprehensive Air Quality Model with Extensions. WWW: www.camx.com
- ✍ Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES ze dne 21. října 2009 o stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie (Text s významem pro EHP).

Děkuji za pozornost

Ondřej Vlček

✉ *ondrej.vlcek@chmi.cz*


Český
hydrometeorologický
ústav