

# Mikroměřítkové modelování kvality ovzduší v Praze- Dejvicích v roce 2018

Dokument poskytuje vzhled do rozložení koncentrací znečišťujících látek v zastavěných oblastech, kde je hlavním zdrojem znečištění silniční doprava, shrnuje validaci výstupů mikroměřítkového modelu PALM a ve stručnosti popisuje použitý modelový systém.

Projekt: SS02030031: Integrovaný systém výzkumu, hodnocení kontroly kvality ovzduší

Autoři: M. D. Glew

Datum: 3. března 2022

Hlavním uživatelem výstupů tohoto projektu je  
Ministerstvo životního prostředí

Ministerstvo životního prostředí

## Obsah

1. Úvod.....	2
2. Vizualizace a validace modelových výstupů.....	2
3. Popis měřicí kampaně a modelového systému .....	6
4. Možné přínosy a budoucí vývoj .....	7
5. Reference a poděkování.....	8

## 1. Úvod

Většina světové populace žije ve velkých městech městské mikroklima má velký vliv na jejich zdraví a pocit spokojenosti. Obyvatele často zajímají detailní informace znečištění ovzduší, kterému jsou oni jejich rodiny vystaveni kladou související otázky odpovědným orgánům, které z toho důvodu problematika znečištění ovzduší tepelného stresu zajímá.

Mikroměřítkové modelování městského prostředí s rozlišením jednotek metrů může poskytnout detailní informaci kvalitě ovzduší ve srozumitelné podobě. Takovéto výpočty ale vyžadují spolehlivé vstupy ve vysokém prostorovém rozlišení.

Nedávno publikovaná studie Resler kol. (2021) mikroměřítkovém modelování okolí Vítězného náměstí v Praze-Dejvicích porovnala výsledky získané modelem PALM s měřicí kampaní z roku 2018 ukázala potenciál tohoto přístupu jak při hodnocení kvality ovzduší, tak městského mikroklimatu. Tato zpráva shrnuje hlavní výstupy pro koncentrace znečišťujících látek ukazuje schopnost modelového systému poskytnout informaci prostorovém rozložení koncentrací znečišťujících látek.

Kapitola 2 poskytuje informaci prostorovém rozložení koncentrací znečišťujících látek porovnává je s měřenými daty. Kapitola 3 přináší podrobnější informace měřicí kampani použitým modelovým systémem. Kapitola 4 hodnotí potenciál tohoto přístupu informuje dalším vývoji. Reference a poděkování jsou uvedeny v kapitole 5.

## 2. Vizualizace a validace modelových výstupů

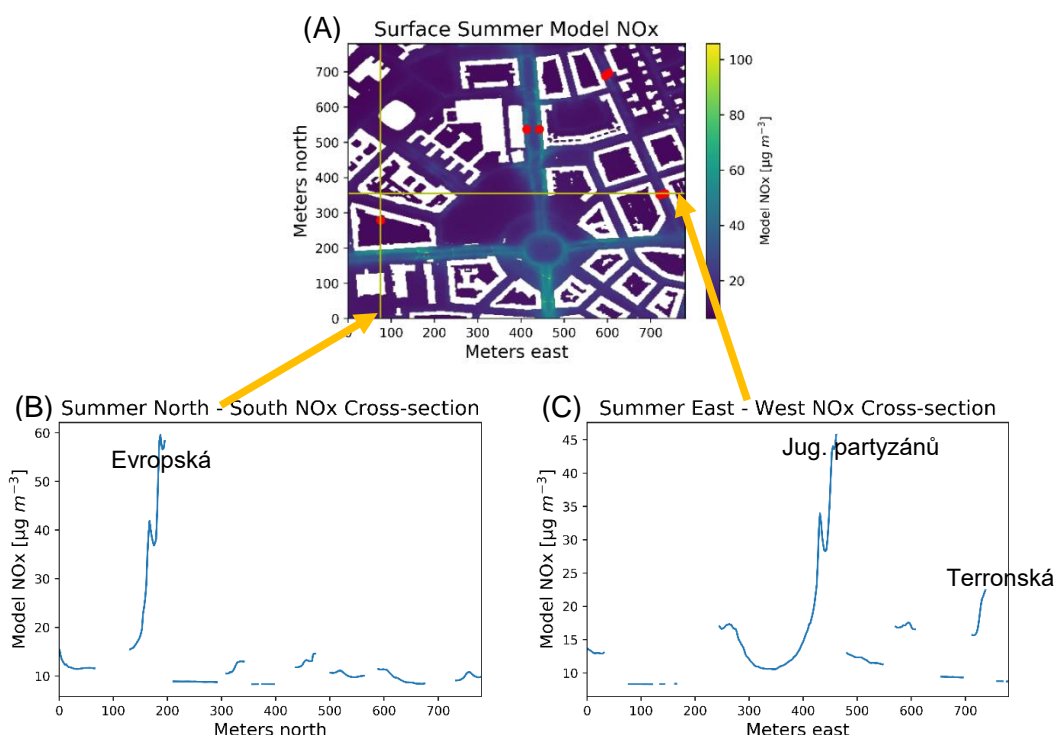
Studie Resler kol. (2021) se zabývala okolím Vítězného náměstí v Praze-Dejvicích (Obr. 1) pro tuto oblast také budeme prezentovat výsledky. Jde hustě zastavěnou oblast, která zahrnuje kruhový objezd na Vítězném náměstí, široké dopravně frekventované ulice Evropská – Čs. armády v západovýchodním Jugoslávských partyzánů – Svatovítská v severojižním směru. V území jsou též obytné bloky se stromy zelení ve svých vnitroblocích. Stanoviště měřících vozů, jejichž data byla použita k validaci, jsou na Obr. 1 (měření v uličních kaňonech probíhala střídavě na západní východní straně ulice). Modelovány byly celkové koncentrace oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) suspendovaných částic  $\text{PM}_{10}$   $\text{PM}_{2,5}$  (tj. částic s průměrem pod 10, případně 2,5 mikrometrů). V létě 2018 byly modelovány dvě období 14.–16. 19.–23. července v zimě 2018 tři období 24.–26. 27.–29. listopadu 4.–6. prosince.



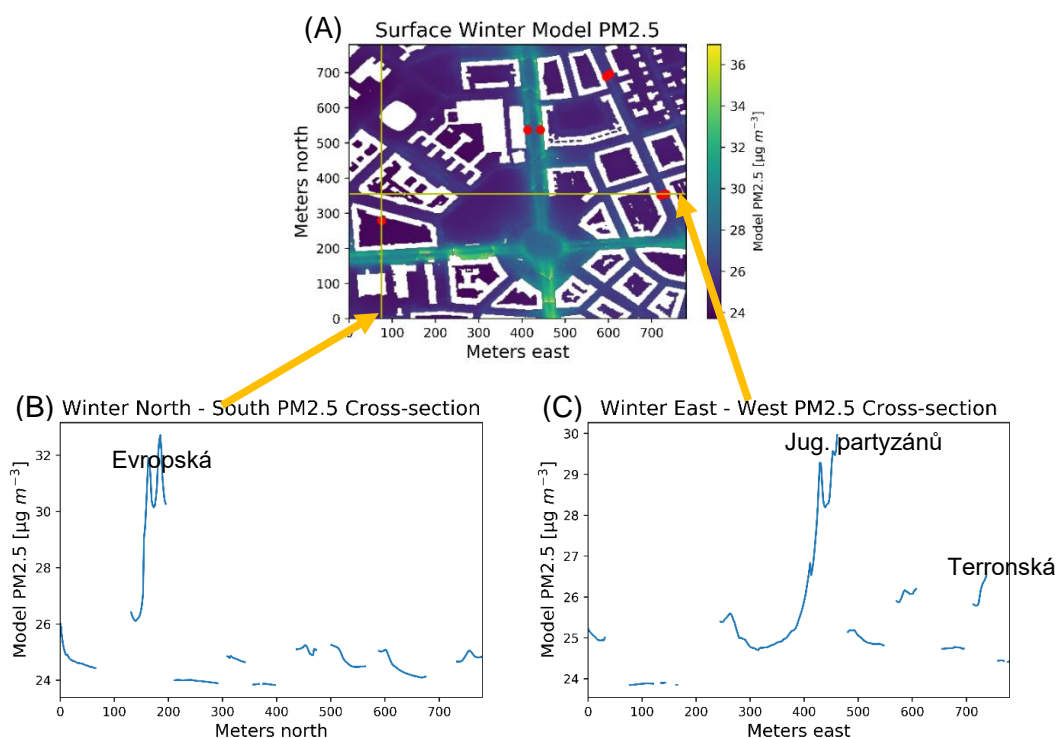
Obr. 1 Mapa zájmové oblasti s vyznačením míst stání měřících vozů. Podkladové ortofoto poskytnuté WMS službou ČÚZK (ČÚZK, 2022).

Na Obr. 2 jsou znázorněny průměrné přízemní koncentrace  $\text{NO}_x$  během letních epizod. Z panelu (A) je zřejmé, že zvýšené koncentrace jsou soustředěny do bezprostřední blízkosti hlavních dopravních tahů. Panel (C) zobrazuje řez podle západovýchodní osy procházející měřicí lokalitou kolejí Orlík. Koncentrace v Jugoslávských partyzánů Terronské ulici jsou výrazně vyšší na východní straně ulice. V Jugoslávských partyzánů jsou zřetelně rozlišeny oba dopravní směry. Koncentrace ve vnitroblocích jsou výrazně (několikanásobně) nižší. Panel (B) zobrazuje severojižní řez podle osy procházející měřicí lokalitou na dvoře Sinkuleho koleje. Nejvyšší koncentrace jsou dosahovány na ul. Evropská (její severní část). Ve vnitroblocích málo frekventovaných vedlejších ulicích jsou výrazně nižší. Rozsah koncentrací pohybujících se mezi ca 10 60 (100)  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  naznačuje, že lokální doprava je v blízkosti hlavních tahů dominantním zdrojem  $\text{NO}_x$ . Je třeba zdůraznit, že v případě  $\text{NO}_2$ , který má stanoven hodinový imisní limit, může být situace výrazně odlišná.

Obr. 3 je obdobný jako Obr. 2 s tím rozdílem, že zobrazuje průměrné koncentrace  $\text{PM}_{2,5}$  během zimních epizod. Hlavní rysy rozložení koncentrací jsou stejné jako  $\text{NO}_x$  na Obr. 2, nicméně severojižní a západovýchodní řezy vykazují detailu určité odlišnosti: když jsou koncentrace  $\text{PM}_{2,5}$  výrazně vyšší v blízkosti hlavních dopravních tahů, koncentrační gradienty na nich nejsou tak výrazné, jako v případě  $\text{NO}_x$ . Rozsah koncentrací pohybujících se mezi ca 24 36  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  naznačuje, že lokální doprava není dominantním zdrojem suspendovaných částic to ani na hlavních tazích.



Obr. 2 Přízemní koncentrace NO<sub>x</sub> během letních epizod: (A) plošná mapa; (B) severojižní řez podél čáry na obr. (A); (C) západovýchodní řez podél čáry na obr. (A). Na řezech jsou znázorněny hlavní dopravní tahy. Červená kolečka označují místa stání měřicích vozů.

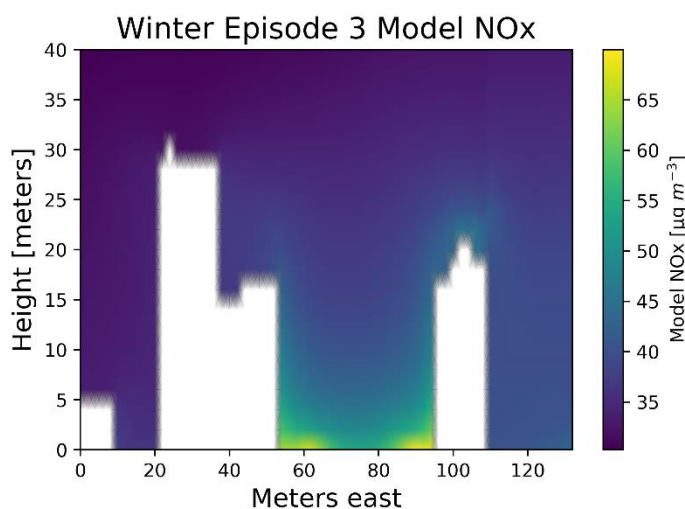


Obr. 3 Přízemní koncentrace PM<sub>2.5</sub> během zimních epizod: (A) plošná mapa; (B) severojižní řez podél čáry na panelu (A); (C) západovýchodní řez podél čáry na panelu (A). Na řezech jsou znázorněny hlavní dopravní tahy. Červená kolečka označují místa stání měřicích vozů.

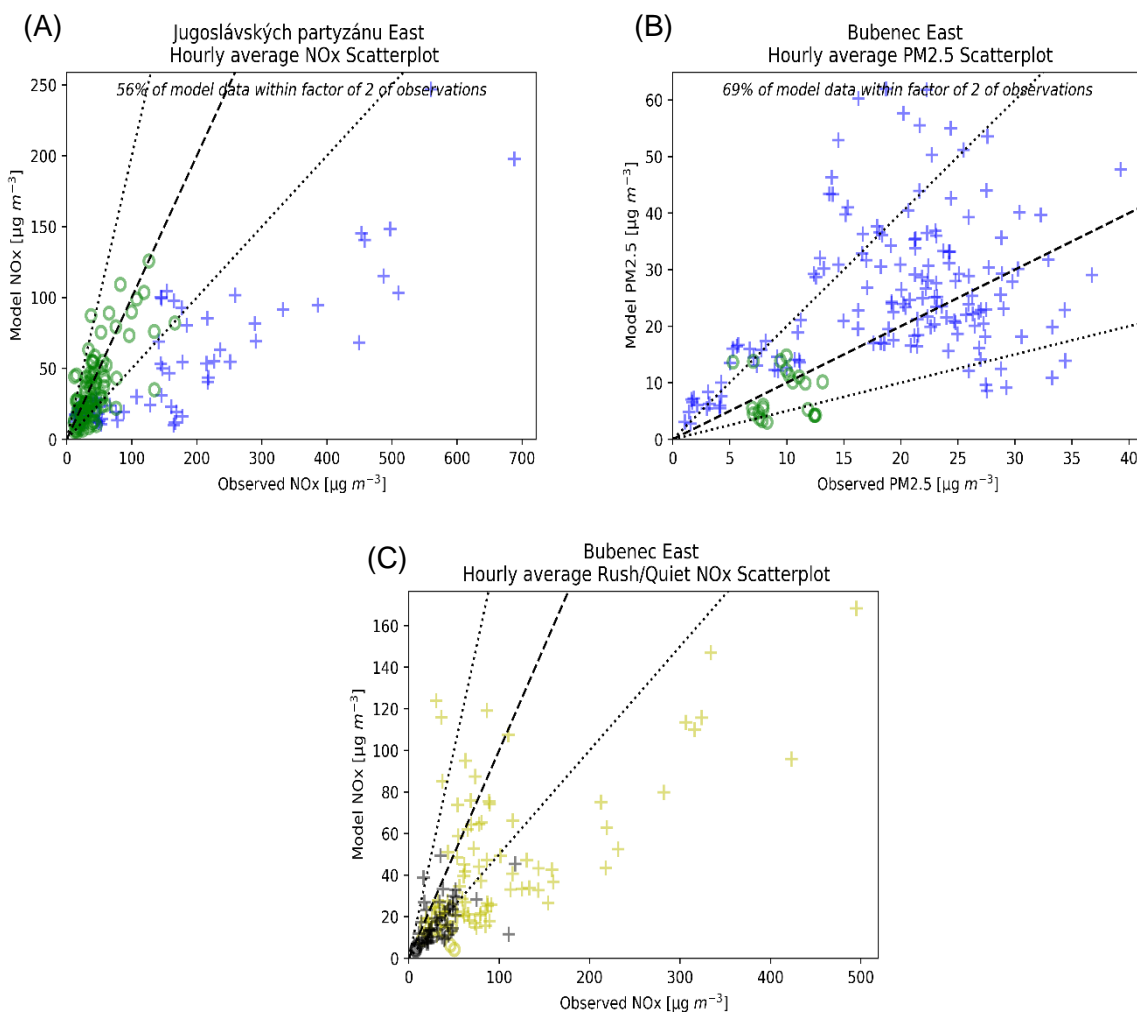
Obr. 4 znázorňuje vertikální řez polem koncentrací NO<sub>x</sub>. Jedná se průměrné koncentrace během třetí zimní epizody západovýchodní rovina řezu prochází měřicím místem v ul. Jugoslávských partyzánů (viz Obr. 1). Přestože jsou koncentrace nejvyšší ve spodních ca 5 metrech, je možné zřetelně vidět zvýšené koncentrace podél stěn ve vyšších patrech budov na obou stranách uličního kaňonu.

Na Obr. 5 jsou porovnány modelové a měřené průměrné hodinové koncentrace. Obecně lze říci, že shoda modelu pozorování je celkem dobrá, nicméně při bližším pohledu je možné konstatovat následující: koncentrace NO<sub>x</sub> na východním kraji ul. Jugoslávských partyzánů (panel A) jsou modelem reprodukovány výrazně úspěšněji v létě, než zimě. Měření obsahuje odlehle hodnoty, které model nebyl schopen plně postihnout. Shoda koncentrací PM<sub>2,5</sub> na východním kraji ul. Terronská kolejí Bubeneč (panel B) není tak silně závislá na sezóně v zimě dochází k výraznému nárůstu jak měřených, tak modelovaných dat. Na panelu (C) jsou pro stejné místo, jako v panelu (B), porovnány koncentrace NO<sub>x</sub> s rozlišením dle intenzit dopravy: jak měřené, tak modelované hodnoty jsou během hodin s intenzivnější dopravou vyšší, nicméně model poměrně velké množství hodnot výrazně podhodnocuje. V případě lokality Jugoslávských partyzánů nebyl tento rozdíl zřejmý (neukázáno).

Na tomto místě je třeba uvést, že do modelu PALM vstupují formou okrajových podmínek pozadové koncentrace z regionálního chemického transportního modelu CAMx s horizontálním rozlišením 1×1 km. Přínos modelu PALM lze jasně demonstrovat na měřicích lokalitách v uličních kaňonech: koncentrace NO<sub>x</sub> zprůměrovaná přes všechny epizody lokality činila dle měření 42,3 μg·m<sup>-3</sup>, dle modelu PALM 36,0 μg·m<sup>-3</sup> dle modelu CAMx pouze 10,4 μg·m<sup>-3</sup>. Lze tedy říci, že když průměrné hodinové koncentrace nejsou modelem PALM vystiženy vždy přesně, průměrné rozložení koncentrací znečišťujících látek v mikroměřítku je vystiženo poměrně dobře.



Obr. 4 Vertikální západovýchodní řez polem koncentrací NO<sub>x</sub> procházející měřicím místem v ul. Jugoslávských partyzánů (viz Obr. 1). Průměrné koncentrace během třetí zimní epizody.



Obr. 5 Rozptylové diagramy (scatterplots) průměrných hodinových koncentrací zahrnující data ze všech epizod. Místa měření jsou na Obr. 1. Čárkovaná čára (1:1) odpovídá ideální shodě, tečkované čáry vymezují oblast od poloviny do dvojnásobku pozorování. (A) koncentrace NO<sub>x</sub> na východním kraji ul. Jugoslávských partyzánů; (B) koncentrace PM<sub>2,5</sub> na východním kraji ul. Terronská kolejí Bubeneč. (A) (B) odpovídají kroužky letním křížky zimním hodnotám. (C) koncentrace NO<sub>x</sub> na východním kraji ul. Terronská kolejí Bubeneč s rozlišením intenzity dopravy: žluté křížky odpovídají 6–18 h s intenzivnější dopravou, černé pak 0–5 h s minimální dopravou.

### 3. Popis měřicí kampaně a modelového systému

Níže uvedený text vychází z článku Resler kol. (2021). Měřicí kampaň použitá pro validaci modelu měla dvě části: letní od 10. do 23. července 2018 „zimní“ od 23. 11. do 10. 12. 2018. Zájmová oblast v Praze-Dejvicích je hustě zastavěná jak historickou, tak novější zástavbou nachází se v ní mimo rušných komunikací též parky, vnitrobloky, nebo parkoviště. V severozápadní části se nachází výškové budovy patřící ČVUT. Výška zástavby tvořící stěny uličních kaňonů je 20–30 m. Oba hlavní silniční tahy jsou přibližně 40 m široké. Většina stromů se nachází ve vnitroblocích.

Z letní kampaně byly pro modelové hodnocení zvoleny dvě kratší epizody: 14.–16. 7. (e1) 19.–23. 7. (e2). Počasí během nich bylo ovlivněno zejména tlakovou výší. Maximální denní teplota podle měření

na stanici Praha-Karlov nepřesáhla 30 °C. Výjimkou byl 21. 7., kdy bylo naměřeno denní maximum 31,2 °C.

Ze zimní kampaně byly modelovány tři epizody: 24.–26. 11. (e1), 27.–29. 11. (e2) 4.–6. 12. (e3). Počasí bylo převážně ovlivněno tlakovou níží převládalo západní proudění. Výjimkou byly dny 27.–29. 11. 5. 12., kdy bylo počasí ovlivněno tlakovou výší. Průměrné denní teploty se pohybovaly od –4 °C dne 29. 11. do 9 °C dne 3. 12.

Měření kvality ovzduší v uličních kaňonech probíhalo dvěma vozy, které byly průběžně přemísťovány mezi lokalitami na Obr. 1. Jednalo se lokalitu v cca 40 m široké ul. Jugoslávských partyzánů dále lokality kolejí Bubeneč Orlík 25 m široké ulici Terronská. Lokalita kolejí Bubeneč je charakteristická vzrostlými listnatými stromy, jejichž koruny vytvářejí souvislý zápoj. Stromy v lokalitě Orlík jsou výrazně menší souvislý zápoj netvoří. Budovy ve všech lokalitách jsou cca 25 m vysoké. Měřicí vůz setrval na každé lokalitě minimálně dva celé dny. Třetí měřicí vůz byl během celé kampaně umístěn na dvoře Sinkuleho koleje poskytoval tak informaci požadových koncentracích.

měřených znečišťujících látek byly pro srovnání s modelem zvoleny oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) a suspendované částice aerodynamickém průměru menším než 2,5 10 mikrometrů (PM<sub>10</sub> PM<sub>2,5</sub>; měření PM<sub>2,5</sub> na dvoře Sinkuleho koleje nebylo k dispozici). Kalibrace měřicích přístrojů byla prováděna během přejezdů měřicích vozů, aby se minimalizoval počet chybějících dat. Vozy v uličních kaňonech byly vybaveny videokamerou. Z ní získané údaje o intenzitách dopravy byly použity pro časový rozpočet emisí z dopravy.

Pro modelové hodnocení byl použit mikroměřítkový model PALM v6.0. s moduly pro popis procesů v měnském prostředí vč. Zohlednění vlivu stromů keřů. Počítán byl pasivní rozptyl NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub> PM<sub>10</sub> (tj. bez zahrnutí chemických reakcí). Proto také nebyly validovány výsledky pro NO<sub>2</sub>, ale pouze pro celkovou koncentraci oxidů dusíku. Rozlišení modelu v oblasti na Obr. 1 bylo 2 m v horizontálním vertikálním směru. Meteorologické okrajové podmínky poskytl mezoměřítkový model WRF okrajové podmínky koncentrací na něj napojený chemický transportní model CAMx (tyto zahrnovaly sekundární aerosoly). Horizontální rozlišení modelů WRF CAMx bylo 1 km.

Pro výpočty v tomto rozlišení jsou samozřejmě potřeba detailní emisní vstupy. Hlavním zdrojem emisí v zájmové oblasti je silniční doprava. Roční emise z dopravy byly spočteny modelem MEFA 13 na základě denních intenzit dopravy dle sčítání TSK-ÚDI v roce 2016. připraveny spol. ATEM s.r.o. Jak ul. Jugoslávských partyzánů, tak Terronská byly pokryty tímto sčítáním. Emise z nesčítané dopravy byly k dispozici v síti 500 × 500 m distribuovány do ulic nezahrnutých ve sčítání dopravy. Emise suspendovaných částic zahrnovaly resuspenze z povrchu vozovky. Časové rozpočty byly provedeny na základě pražské dopravní ročenky za rok 2018, jízdních řádů autobusů MHD kamerových záznamů intenzit dopravy v místech stání měřicích vozů.

Ostatní emisní vstupy pocházely z inventáře REZZO. Jednalo se zejména emise lokálního vytápění. Ty byly k dispozici na úrovni ZSJ následně byl proveden jejich rozpočet na adresy bez dálkového vytápění úměrně počtu bytů. Pro rozpočet na jednotlivé dny byly použity typové diagramy dodávky zemního plynu pro kategorii DOM 4 (domácnosti používající zemní plyn pouze k vytápění).

## 4. Možné přínosy a budoucí vývoj

Model PALM umožňuje hodnotit vizualizovat prostorové detaily rozložení znečištění, které by bylo měřením obtížné nákladné postihnout. Modelová studie v Praze-Dejvicích ukázala, že model je schopen postihnout jak sezónní proměnlivost, tak proměnlivost v důsledku různě intenzivní dopravy. I když shoda průměrných hodinových koncentrací není (ani nemůže být) ideální, dobrá shoda průměrných



koncentrací v jak v uličních kaňonech tak mimo ně umožňuje předpokládat, že modelové výstupy mimo měřicí místa jsou věrohodné model tak je možné použít např. k hodnocení dopadů urbanistických scénářů. Je samozřejmě nutné podtrhnout, že modelování v takto vysokém rozlišení vyžaduje stejně detailní vstupy, zejména emisní.

Další vývoj nástrojů mikroměřítkového modelování jejich aplikace probíhá v rámci projektů TURBAN (TA ČR grant č. TO01000219, <https://project-turban.eu>) ARAMIS (TA ČR grant č. SS02030031, <http://www.projekt-aramis.cz>)

## 5. Reference a poděkování

Tato zpráva vychází z recenzovaného článku “*Validation of the PALM model system 6.0 in real urban environment: case study in Dejvice, Prague, the Czech Republic*” od autorů Resler, J., Eben, K., Geletič, J., Krč, P., Rosecký, M., Sühring, M., Belda, M., Fuka, V., Halenka, T., Huszár, P., Karlický, J., Benešová, N., Ďoubalová, J., Honzákova, K., Keder, J., Nápravníková, Š., and Vlček, O, publikovaného časopise Journal Geoscientific Model Development, Volume 14, str. 4797–4842, <https://doi.org/10.5194/gmd-14-4797-2021>.

Článek Resler kol. (2021) byl podpořen

- projektu URBI PRAGENSI, financovaného Operačním programem Praha – pól růstu ČR (grant č. CZ.07.1.02/0.0/0.0/16\_040/0000383, <http://www.urbipragensi.cz>),
- projektu č. 01LP1601A Federálního ministerstva pro vzdělávání výzkum Spolkové republiky Německo a
- projektu TURBAN, financovaného EEA Norskými fondy (grant TA ČR č. TO01000219, <https://project-turban.eu>).

Tento souhrn byl připraven v rámci projektu ARAMIS, financovaného programem MŽP na podporu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje inovací oblasti životního prostředí – Prostředí pro život (grant TA ČR č. SS02030031, <http://www.projekt-aramis.cz>).