

Diagnoza in prognoza onesnaženja ozračja nad Slovenijo

Marija Zlata Božnar*, Boštjan Grašič*, Primož Mlakar*

Povzetek

Predstavili bomo operativne in raziskovalne modelirne sisteme, ki omogočajo modeliranje onesnaženja ozračja nad zahtevnim kompleksnim terenom Slovenije. Meteorološko dogajanje nad kompleksnim terenom Slovenije spada med najzahtevnejše primere za modeliranje širjenja onesnaženja v ozračju. Na primeru aplikativnega raziskovalnega projekta KOoreg (Kontrola onesnaženja ozračja v regiji) bomo najprej predstavili kako poteka operativna diagnoza in prognoza onesnaženja ozračja predvsem zaradi lokalnih virov v regiji Zasavje. Zatem pa bomo predstavili še operativno modeliranje onesnaženja ozračja širše čez celo Slovenijo in sosednje države v sistemu Qualearia. Uporabljeni modeli so WRF, RAMS ter Swift in Surfpro za ponazoritev vremena ter Lagrangeev model Spray in Eulerjev fotokemijski model Farm za ponazoritev širjenja onesnaženja v ozračju. Zaključili pa bomo za validacijami, ki so nujne pred operativno rabo modelov.

Ključne besede: prognoza in diagnoza vremena in onesnaženja ozračja, onesnaževala, numerični Lagrangeev model delcev in fotokemijski Eulerjev model za razširjanje onesnaženja v ozračju,

Keywords: forecast and diagnosis of weather and air pollution, pollutants, numerical Lagrangian particle and Eulerian photochemical air pollution dispersion model

Projekt KOoreg

Onesnaženje ozračja nad Slovenijo je bilo v preteklosti in je še sedaj eden od ključnih okoljskih problemov, ki terja tako poglobljene raziskave kot tudi operativne sisteme za nadzor in pomoč pri zmanjševanju onesnaženja (Mlakar et al., 2012b, Mlakar et al., 2011).

MEIS je v okviru ARRS projekta KOoreg (<http://kvalitetazraka.si/zasavje/index.php>) razvil na primeru Zasavja celostni pristop za reševanje naštetih nalog. Operativni modelirni sistem in testirno okolje za raziskave smo zasnovali tako, da je prenosljivo na katerokoli drugo področje Slovenije. Zasavje smo izbrali predvsem iz treh razlogov. Najprej je to ena od regij v Sloveniji, ki ima zelo velike probleme z onesnaženjem ozračja predvsem z delci PM10, pa tudi z drugimi onesnaževali. Še bolj pa je bil izziv zelo kompleksno meteorološko dogajanje nad kompleksnim terenom doline reke Save in sosednjih dolin in hribov. Zadnji razlog pa je ta, da je na področju na voljo veliko število avtomatskih merilnih postaj, ki merijo glavna onesnaževala in meteorološke parametre in tako omogočajo validacijo modelov. Validacija je ključen korak, ki kvalificira znanstveno ustreznost modelov.

Naš cilj je bil postaviti modelirni sistem v dovolj fini krajevni in časovni resoluciji, ki bo omogočala verodostojno oceno vpliva velikih industrijskih objektov in prometa ter lokalnih kurišč. Kompromis je bila krajevna ločljivost celic 200 m x 200 m. Za ponazoritev vetrovnega dogajanja v tej resoluciji smo morali uporabiti številne talne meteorološke meritve, za navpični profil pa smo uporabili rezultate našega operativnega sistema za napoved vremena čez Slovenijo v resoluciji 4 km ter pol ure baziranega na WRF in ameriških GFS globalnih podatkih. Vse podatke pa smo »pripeljali« do vetrovnih polj v želeni resoluciji z masnokonsistentnim modelom Swift. WRF ima nad terenom take

* MEIS storitve za okolje, d.o.o., Mali Vrh pri Šmarju 78, 1293 Šmarje -Sap

kompleksnosti kot je v Zasavju namreč še številne nerešene probleme, če se podamo v bolj podrobne resolucije.

V sistemu (Mlakar et al., 2012b) ponazarjamo diagnozo in prognozo onesnaženja ozračja kot posledice glavnih industrijskih virov (modeliramo nazivne emisije, ker za merjene ni političnega pristanka onesnaževalcev), lokalnih porazdeljenih privatnih kurišč (Grašič et al., 2011) na trdo gorivo (emisijo ocenjujemo lokacijsko preko GIS in števila prebivalcev na skupine hiš ali malih zaselkov natančno) ter cestnega omrežja. Vse našteve vire modeliramo z numeričnim Lagrangeevim modelom delcev, ki omogoča lokacijsko natančnost. Eulerjev pristop modeliranja bi v navedeni resoluciji že pri samih virih (tako točkastih kot linijskih v prometu ali ploskovnih pri malih kuriščih) zabilisal visoke koncentracije onesnaževal in takoj bistveno izkrivil sliko.

Transport onesnaževal iz drugih predelov Slovenije in čezmejno pa ocenjujemo na podlagi rezultatov sistema Qualearia.

Sistem Qualearia

Sistem Qualearia (http://kvalitetazraka.si/zasavje/QualeAria_help.htm) je modelirni sistem, kjer raziskovalci Arianet, ki z MEISovimi raziskovalci sodelujejo že od 1991, modelirajo meddržavni transport onesnaževal z Eulerjevim fotokemijskim modelom FARM. Modelirajo področje Italije in sosednjih držav v regiji. V MEISu pa uporabljamo rezultate tega modelirnega sistema za oceno transporta onesnaževal čez Slovenijo. Sistem smo verodostojno validirali za PM10 in ozon (Božnar et al., 2014, Mlakar et al., 2013).

Javno dostopni operativni rezultati na www.kvalitetazraka.si

Že več let deluje MEISova internetna stran z operativnimi rezultati tega modelirnega sistema:

- Operativna napoved vremena čez Slovenijo (4 km, pol ure, 2 dni) ter soseščino (do sedem dni), s prikazom meteogramov za glavne kraje in pokrajine in video dogajanjem.
- Operativna napoved onesnaževal čez Slovenijo iz sistema QualeAria (za 2 dni, urni podatki in 12 km resolucija)
- Diagnoza in prognoza onesnaževal po posameznih industrijskih virih in skupno v Zasavju (200m, pol ure, 1 dan zgodovine in 1 dan napovedi).

Validacije sistema

Tako za sistem modeliranja Zasavja v fini resoluciji kot tudi za sistem napovedovanja vremena čez Slovenijo in onesnaženja čez Slovenijo (Qualearia) smo izvedli številne validacije in dokazali ujemanje v kraju in v času na reprezentativnih merilnih lokacijah. Podrobnosti lahko bralec najde v številnih objavah v člankih in na konferencah (Božnar et al., 2014, Mlakar et al., 2013, Božnar et al., 2012, Grašič et al., 2011a, Grašič et al., 2011c).

Dodatno pa smo se ukvarjali tudi z modeliranjem ognjemetov (Mlakar et al., 2012a) in določevanjem emisij iz privatnih kurišč v vasi Prapretno nad Hrastnikom kjer je postavljena okoljska avtomatska merilna postaja (Grašič et al., 2011b).

Zahvala

Raziskavo je delno financirala ARRS – Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, projekta št. L1-2082 in L1-4154 (A).

The screenshot displays the KOoreg website interface. At the top, there is a navigation bar with links like 'Portal', 'Sponzorji', 'Uporabniki', etc. The main header features the title 'Prognostični in diagnostični modelirni sistem za kontrolo onesnaženja ozračja v regiji' and the KOoreg logo. Below this, there are sections for 'NAPOVED za 2 DNI' and 'METEOGRAMI za 2 DNI'. The central part of the page is titled 'PODROBNA VREMENSKA NAPOVED ZA SLOVENIJO' for 12:00 on 31.12.2013, showing various weather parameters like precipitation, cloudiness, wind, visibility, radiation, and temperature. Below that is the 'KVALITETA ZRAKA' section for 30.12.2013, displaying maps for pollutants like O₃, PM₁₀, NO₂, SO₂, and CO. The bottom section is 'ONESNAŽENJE' for 30.12.2013 at 10:00, showing a table of average concentrations for various sources (Termoelektrarna Trbovlje, Lafarge Cement, Steklarna Hrastnik, IGM Zagorje, JPK Zagorje, Zasavje) for pollutants like SO₂, NO₂, and PM₁₀. The footer includes logos for UTC and local time, and contact information for MEIS.

Slika 1 – Primer rezultatov na »KOoreg« spletni strani, vreme in onesnaženje

Literatura

- Božnar, M. Z., Mlakar, P., Grašič, B. (2012). Short-term fine resolution WRF forecast data validation in complex terrain in Slovenia. V: Special issue on harmonisation within atmospheric dispersion modelling for regulatory purposes : 26 October 2011, Kos Island, Greece, International journal of environment and pollution, ISSN 0957-4352, Vol. 50, no. 1/4, 2012. Genova: Interscience Enterprises, 2012, vol. 50, no. 1/4, str. 12-21, doi: 10.1504/IJEP.2012.051176.
- Božnar, M. Z., Mlakar, P., Grašič, B., Calori, G., D'Allura, A., Finardi, S. (2014). Operational background air pollution prediction over Slovenia by QualeAria modelling system – validation.

- V: Special issue on harmonisation within atmospheric dispersion modelling for regulatory purposes 6-9 May 2013, Madrid, Spain, *International journal of environment and pollution*, sprejeto v objavo.
- Grašič, B., Božnar, M. Z., Mlakar, P. (2011a). Validation of local scale prognostic and diagnostic air pollution modeling system in extremely complex terrain. V: Bartzis, John G. (ur.), Syrakos, Alexandros (ur.), Andronopoulos, Spyros (ur.). *HARMO 14 : Proceedings of the 14th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, 2-6 October 2011, Kos Island, Greece. [S. l.]: University of Environmental Technology Laboratory, Department of Mechanical Engineering, University of West Macedonia, Greece, 2011, str. 120-124.
- Grašič, B., Mlakar, P., Božnar, M. Z., Vrbinc, S. (2011b). Domestic heating sources identification in complex terrain rural area by local scale diagnostic modeling system. V: Bartzis, John G. (ur.), Syrakos, Alexandros (ur.), Andronopoulos, Spyros (ur.). *HARMO 14 : Proceedings of the 14th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, 2-6 October 2011, Kos Island, Greece. [S. l.]: University of Environmental Technology Laboratory, Department of Mechanical Engineering, University of West Macedonia, Greece, 2011, str. 647-651.
- Grašič, B., Mlakar, P., Božnar, M. Z. (2011c). Method for validation of Lagrangian particle air pollution dispersion model based on experimental field data set from complex terrain. V: Nejadkoorki, Farhad (ur.). *Advanced air pollution*. Rijeka: InTech, cop. 2011, str. 535-556.
- Mlakar, P., Božnar, M. Z., Grašič, B., Calori, G. (2013). Background air pollution prediction over Slovenia by qualearia modelling system : preliminary validation. V: San José, Roberto (ur.), Pérez, Juan Luis (ur.). *Proceedings of the 15th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, Madrid, Spain, 6-9 May 2013. Madrid: Environmental Software and Modelling Group, Computer Science School, 2013, str. 75-79. https://docs.google.com/file/d/0B4NKvAPbVkv_X3EY2xoTFJJdHc/edit?usp=sharing.
- Mlakar, P., Božnar, M. Z., Grašič, B., Popović, D., Grašič, B. (2012a). Fireworks air pollution in Slovenia. V: Special issue on harmonisation within atmospheric dispersion modelling for regulatory purposes : 26 October 2011, Kos Island, Greece, (*International journal of environment and pollution*, ISSN 0957-4352, Vol. 50, no. 1/4, 2012). Genova: Interscience Enterprises, 2012, vol. 50, no. 1/4, str. 31-40, doi: 10.1504/IJEP.2012.051178.
- Mlakar, P., Božnar, M. Z., Grašič, B., Tinarelli, G., Grašič, B. (2012b). Zasavje canyon regional online air pollution modelling system in highly complex terrain - description and validation. V: Special issue on harmonisation within atmospheric dispersion modelling for regulatory purposes : 26 October 2011, Kos Island, Greece, (*International journal of environment and pollution*, ISSN 0957-4352, Vol. 50, no. 1/4, 2012). Genova: Interscience Enterprises, 2012, vol. 50, no. 1/4, str. 22-30, doi: 10.1504/IJEP.2012.051177.
- Mlakar, P., Božnar, M. Z., Grašič, B., Tinarelli, G. (2011). Zasavje canyon regional on-line air pollution modeling system in highly complex terrain as a support to EU directives. V: Bartzis, John G. (ur.), Syrakos, Alexandros (ur.), Andronopoulos, Spyros (ur.). *HARMO 14 : Proceedings of the 14th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, 2-6 October 2011, Kos Island, Greece. [S. l.]: University of Environmental Technology Laboratory, Department of Mechanical Engineering, University of West Macedonia, Greece, 2011, str. 187-191.