

SYSTEM MODELOWANIA ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ ZANIECZYSZCZEŃ POLYPHEMUS – WYNIKI WALIDACJI

^{1,2}Janusz ZYŚK, ¹Anna STEŻAŁY, ¹Marcin PLUTA, ¹Artur WYRWA,
²Yelva ROUSTAN, ²Bruno SPORTISSE

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Paliw i Energii, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

²CEREA Joint Laboratory ENPC - EDF R&D, Université Paris-Est, 6-8 avenue Blaise Pascal,
Cité Descartes Champs-sur-Marne, 77455 Marne la Vallée Cedex 2

STRESZCZENIE.

Artykuł prezentuje model dyspersji zanieczyszczeń Polyphemus. Przedstawiono wyniki symulacji dla skali kontynentalnej oraz ich walidację z wynikami pomiarów ze stacji Emep i AirBase dla roku 2004.

1. Wstęp

Zaprezentowany w artykule model dyspersji zanieczyszczeń Polyphemus został opracowany we wspólnym laboratorium Ecole Nationale des Ponts et Chaussées i EDF R&D. Polyphemus, to rozbudowany system posiadający wiele modułów. Do obliczeń dyspersji zanieczyszczeń zostały w nim zastosowane modele eulerowski i gaussowski. Od momentu powstania model jest nieustannie rozbudowywany, a do pracy nad nim włączyli się eksperci z różnych krajów. Od 2 lat model jest wykorzystywany także w Polsce, w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Od tego czasu trwają prace nad jego adaptacją do polskich warunków.

Poniższy artykuł prezentuje wyniki prac nad walidacją modelu. Walidacja została przeprowadzona dla skali kontynentalnej dla roku 2004.

2. System Polyphemus – charakterystyka

Polyphemus jest złożonym i rozbudowanym programem, w którym procesy można zgrupować w 4 niezależne poziomy:

1. zarządzanie danymi – operacje wyjścia wejścia, transformacja koordynat, interpolacja,
2. parametryzacja fizyczno-chemiczna – domknięcie równań opisujących turbulencje, szybkość depozycji, parametryzacja równań opisujących zachowanie aerozoli,
3. numeryczne moduły obliczające koncentrację w każdym oczku domeny i każdym kroku czasowym,
4. zawansowane metody, w których model chemiczny i transportu jest traktowany jako funkcja.

Polyphemus zawiera aktualnie 4 numeryczne modele:

1. model strugi Gausowskiej,
2. model obłoku Gausowskiego,
3. Eulerowski model chemiczno-transportowy zwany Polair 3D [1],
4. Eulerowski model chemiczny zwany Castor [2].

Wszystkie modele posiadają jeden lub więcej wariantów: wersje gazową, aerozolową, pasywną i reaktywną. W modelach zostały użyte następujące dane wejściowe i parametry:

- dane meteorologiczne ECMWF (<http://www.ecmwf.int>) lub MM5 (<http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>),
- współczynniki pionowej dyfuzji oparte na parametrach Troena Louis [3, 4],

- dane pokrycia terenu USGS -U.S. Geological Survey, (<http://edcns17.cr.usgs.gov/glcc>) GLCF Global Land Cover Facility, (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landcover/data.shtml>),
- mechanizm chemiczny RACM [5],
- model aerozolowy SIREAM [6],
- antropogeniczne emisje EMEP Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe, (<http://www.emep.int/>),
- emisje biogenne liczone według zaleceń zawartych w [7],
- prędkość depozycji według [8] dla gazów i [9] dla aerozoli,
- warunki brzegowe i początkowe dla gazów zostały zaczerpnięte z rezultatów symulacji globalnych modelu Mozart 2 [10], a dla aerozoli z modelu GOCART [11].

3. Walidacja wyników

Dla skali kontynentalnej zostały przeprowadzone dwie symulacje dla roku 2004:

1. obejmująca obszar zamknięty południkami -10,25 W do 30,25 E oraz równoleżnikami 34,75 N do 57,25 N o rozdzielczości $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$,
2. obejmująca obszar o następującej domenie: -4,6 W do 27,4 E oraz 39,75 N do 56,75 N o rozdzielczości $0,8^{\circ} \times 0,5^{\circ}$.

Symulacje zostały przeprowadzone na 5 poziomach o następujących granicach: 0, 50, 600, 1200, 2000, 3000 metrów. Symulacje zostały przeprowadzone w oparciu o dane meteorologiczne ECMWF, o rozdzielczości $0,36^{\circ} \times 0,36^{\circ}$ oraz dane emisyjne EMEP o rozdzielczości 50 km na 50 km. Wyniki symulacji zostały porównane z wynikami pomiarów ze stacji EMEP oraz Airbase (<http://air-climate.eionet.europa.eu/databases/airbase>) i zestawione w tabeli 1.

Wartości RSME, korelacje i NME obliczono wg wzorów:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_i - s_i)^2} \quad (1)$$

$$korelacja = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})(s_i - \bar{s})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2 \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2}} \quad (2)$$

$$NME = \frac{\sum_{i=1}^n |o_i - s_i|}{\sum_{i=1}^n s_i} \quad (3)$$

gdzie: $\{o_i\}_{i=1,N}$ – dane pomiarowe
 $\{s_i\}_{i=1,N}$ – dane z symulacji

Tabela 1. Wyniki walidacji dla roku 2004

Związek	Nr. sym.	Źródło pomiarów	Liczba stacji	Średnia ze stacji	Średnia z sym.	RMSE	korelacja	NME
NO ₂	I	Emep	25	6,5	7,7	4,7	50,6%	92,8%
		AirBase	1173	23,4	13,6	18,8	41,1%	62,7%
	II	Emep	20	7,3	8,3	4,8	50,0%	102,9%
		AirBase	1082	23,6	13,4	19,0	41,4%	62,4%
SO ₂	I	Emep	30	1,7	5,3	4,9	47,2%	281,7%
		AirBase	991	6,3	7,0	7,3	44,0%	117,4%
	II	Emep	24	1,9	6,2	6,0	43,7%	316%
		AirBase	904	6,3	7,5	7,6	42,9%	123,6%
PM10	I	Emep	18	18,8	20,9	17,2	36,4%	63,6%
		AirBase	429	26,1	19,7	24,0	23,9%	61,7%
	II	Emep	12	19,7	22,5	18,5	25,7%	66,2%
		AirBase	374	25,4	20,8	23,4	21,0%	62,%
NH ₃	I	Emep	3	1,9	2,7	1,7	45,0%	75,2%
		AirBase	18	16,6	5,8	19,0	17,2%	114,0%
	II	Emep	3	1,9	2,9	1,7	44,6%	77,3%
		AirBase	18	16,5	5,4	18,6	17,8%	112,8%
PNH ₄	I	Emep	8	1,4	2,4	1,7	37,4%	120,0%
	II	Emep	7	1,4	2,7	1,9	38,1%	130,2%
PSO ₄	I	Emep	30	2,2	1,5	1,9	24,6%	66,5%
		AirBase	8	3,6	2,2	3,2	3,7%	68,6%
	II	Emep	24	2,3	1,9	2,0	22,9%	68,2%
		AirBase	8	3,6	1,6	3,2	11,9%	66,3%
PNA	I	Emep	5	1,0	3,9	4,3	33,1%	356,6%
	II	Emep	2	0,1	0,4	0,7	14,9%	488,4%
PNO ₃	I	Emep	11	2,0	3,4	2,8	33,2%	200,1%
		AirBase	7	1,6	3,4	2,6	35,2%	119,0%
	II	Emep	10	2,1	3,7	2,9	33,6%	158,7%
		AirBase	7	1,6	3,8	3,1	30,3%	144,1%
O ₃	I	Emep	42	65,7	63,1	25,0	55,2%	31,2%
		AirBase	1213	51,8	59,1	27,5	63,3%	45,2%
	II	Emep	36	64,3	63,3	25,9	53,3%	33,0%
		AirBase	1109	51,7	59,8	27,6	64,3%	45,1%

4. Podsumowanie

System modelowania zanieczyszczeń Polyphemus został z powodzeniem wykorzystany w symulacji rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w skali kontynentalnej. System ten posłużył również do modelowania dyspersji zanieczyszczeń w skali lokalnej. W oparciu o program zostały przeprowadzone w Polsce symulacje dyspersji SO₂, NO₂ i PM10 dla miast Kraków i Toruń oraz ich okolic.

System Polyphemus będzie w Polsce rozwijany głównie w celu wykorzystania go do modelowania dyspersji metali ciężkich. Naukowcy AGH są odpowiedzialni za cały moduł chemiczny przemiany rtęci.

Literatura

1. Boutahar, J., Lacour, S., Mallet, V., Quelo, D., Roustan, Y., and Sportisse, B.: Development and validation of a fully modular platform for numerical modelling of air pollution: POLAIR, *Int. J. Environ. Pollution*, 2004, 22 (1/2), 17–28.
2. Schmidt, H., Derognat, C., Vautard, R., and Beekmann, M.: A comparison of simulated and observed ozone mixing ratios for the summer of 1998 in Western Europe, *Atmos. Environ.*, 2001, 35, 6277–6297.
3. Louis, J.-F.: A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere, *Boundary-Layer Meteorol.*, 1979, 17, 187–202.
4. Troen I., Mahrt L.: A simple model of the atmospheric boundary layer; sensitivity to surface vaporation, *Boundary-Layer Meteorol.*, 1986, 37, 129–148.
5. Stockwell W.R., Middleton P., Chang, J.S., Tang, X.: The second generation regional acid deposition model chemical mechanism for regional air quality modelling, *J. Geophys. Res.*, 1990, 102 (D22), 25, 847–25,879.
6. Debry, E., Fahey K., Sartelet K., Sportisse B., Tombette M.: Technical Note: A new Size Resolved Aerosol Model (SIREAM), *Atmos. Chem. Phys.*, 2007, 37 (8), 950–966.
7. Simpson D., Winiwarter W., Borjesson G., Cinderby S., Ferreira A., Guenther A., Hewitt C.N., Janson R., Khalil M.A.K., Owen S., Pierce T.E., Puxbaum H., Shearer M., Skiba U., Steinbrecher R., Tarrason L., Oquist M.G.: Inventorying emissions from nature in Europe, *J. Geophys. Res.*, 1999, 104, 813–815.
8. Zhang L., Brook J.R., Vet R.: A revised parameterization for gaseous dry deposition in air-quality models, *Atmos. Chem. Phys.*, 2003, 3, 2067–2082.
9. Zhang L., Gong S., Padro J., Barrie, L.: A size-segregated particle dry deposition scheme for an atmospheric aerosol module, *Atmos. Environ.*, 2001, 35, 549–560.
10. Horowitz L.W., Walters S., Mauzerall D.L., Emmons L.K., Rasch P. J., Granier C., Tie X., Lamarque J.-F., Schultz M.G., Tyndall G.S., Orlando J.J., Brasseur G.P.: A global simulation of tropospheric ozone and related tracers: description and evaluation of MOZART, version II, *J. Geophys. Res.*, 2003, 108 (D24, 4794).
11. Chin M., Rood R.B., Lin S.-J., Muller J.-F., Thompson A.M.: Atmospheric sulfur cycle simulated in the global model GOCART: Model description and global properties, *J. Geophys. Res.*, 2000, 105 (D24, 67124), 189–200.