



Główny Inspektorat Ochrony Środowiska



Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

na potrzeby realizacji projektu pt. „Wzmocnienie systemu oceny jakości powietrza w Polsce w oparciu o doświadczenia norweskie” w ramach Programu Operacyjnego PL03.

Numer i data zlecenia/umowy: Nr 19/2013/MF EOG z dnia 31.10.2013 r.

Zlecniodawca: Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa



BSIPP Ekometria Sp. z o.o.

Gdańsk, 2013 r.

**Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii**



*Biuro Studiów i Pomiarów Proekologicznych
„EKOMETRIA” Sp. z o.o.
80-299 Gdańsk, ul. Orfeusza 2
tel. (058) 301-42-53, fax (058) 301-42-52*

ZAMAWIAJĄCY:

**Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, ul. Wawelska 52/54,
00-922 Warszawa**

Umowa nr: 19/2013/MF EOG z dnia 31.10.2013

WYKONAWCY:

Wojciech Trapp - Ekometria

Małgorzata Paciorek - Ekometria
Ewa Krajny – IMGW - PIB
Krzysztof Klejnowski – IPIŚ PAN
Leszek Ośródka – IMGW - PIB
Jolanta Godłowska – IMGW - PIB
Monika Hajto – IMGW - PIB
Katarzyna Szeplińska – IMGW - PIB
Marek Wojtylak – IMGW - PIB
Maciej Paciorek – Ekometria
Agnieszka Bemka - Ekometria

**Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii**

Spis treści

1. Cel i zakres pracy	9
2. Wybór epizodów	10
2.1. Baza danych.....	21
2.2. Wybór epizodów wysokich stężeń PM10 na obszarze Polski i krajach ościennych oraz metoda ich opisu.....	22
3. Metodyka.....	24
3.1. Opis warunków meteorologicznych występowania epizodów wysokich stężeń PM10	25
3.1.1. Warunki meteorologiczne w roku 2011 i 2012 na tle wielolecia w Polsce	25
3.1.2. Trajektorie wsteczne.....	27
3.2. Zastosowanie modeli matematycznych do analizy epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 ..	29
4. Analiza synoptyczna i meteorologiczna występowania epizodów wysokich stężeń PM10 ze szczególnym uwzględnieniem trajektorii wstecznych	32
4.1. Region 1 - województwo dolnośląskie, lubuskie, zachodniopomorskie.....	32
4.1.1. Epizod 1 od 28 stycznia do 3 lutego 2011	32
4.1.1.1. Sytuacja synoptyczna	32
4.1.1.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	33
4.1.1.3. Trajektorie wsteczne.....	35
4.1.1.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	36
4.1.2. Epizod 2 od 1 do 5 marca 2011 r.	43
4.1.2.1. Sytuacja synoptyczna	43
4.1.2.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	44
4.1.2.3. Trajektorie wsteczne.....	45
4.1.2.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	46
4.1.3. Epizod 3 od 13 do 16 marca 2011 r.	52
4.1.3.1. Sytuacja synoptyczna	52
4.1.3.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	53
4.1.3.3. Trajektorie wsteczne.....	55
4.1.3.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	56
4.1.4. Epizod 4 od 11 do 18 listopada 2011 r.	60
4.1.4.1. Sytuacja synoptyczna	60
4.1.4.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	61
4.1.4.3. Trajektorie wsteczne.....	63
4.1.4.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	64
4.1.5. Epizod 5 od 10 do 14 lutego 2012 r.....	72
4.1.5.1. Sytuacja synoptyczna	72
4.1.5.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	72
4.1.5.3. Trajektorie wsteczne.....	74
4.1.5.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	74
4.1.6. Epizod 6 od 16 do 18 marca 2012 r.....	81
4.1.6.1. Sytuacja synoptyczna	81
4.1.6.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	82
4.1.6.3. Trajektorie wsteczne.....	84
4.1.6.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	85
4.2. Region 2 – województwo śląskie i opolskie	90
4.2.1. Epizod 1 od 16 do 20 lutego 2011 r.....	90
4.2.1.1. Sytuacja synoptyczna	90
4.2.1.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	91
4.2.1.3. Trajektorie wsteczne.....	92
4.2.1.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	93
4.2.2. Epizod 2 od 2 do 10 listopada 2011 r.	99
4.2.2.1. Sytuacja synoptyczna	99
4.2.2.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	101

4.2.2.3.	Trajektorie wsteczne.....	102
4.2.2.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	103
4.2.3.	Epizod 3 od 24 stycznia do 14 lutego 2012 r.....	113
4.2.3.1.	Sytuacja synoptyczna	113
4.2.3.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	115
4.2.3.3.	Trajektorie wsteczne.....	116
4.2.3.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	117
4.3.	Region 3 – województwo małopolskie i podkarpackie.....	136
4.3.1.	Epizod 1 od 21 do 28 lutego 2011 r.....	136
4.3.1.1.	Sytuacja synoptyczna	136
4.3.1.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	138
4.3.1.3.	Trajektorie wsteczne.....	139
4.3.1.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	141
4.3.2.	Epizod 2 od 26 października do 2 listopada 2011 r.....	147
4.3.2.1.	Sytuacja synoptyczna	147
4.3.2.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	148
4.3.2.3.	Trajektorie wsteczne.....	150
4.3.2.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	152
4.4.	Region 4 – województwo lubelskie i podlaskie.....	158
4.4.1.	Epizod 1 od 15 do 26 listopada 2011 r.	158
4.4.1.1.	Sytuacja synoptyczna	158
4.4.1.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	159
4.4.1.3.	Trajektorie wsteczne.....	161
4.4.1.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	162
4.4.2.	Epizod 2 od 10 do 18 lutego 2012 r.....	172
4.4.2.1.	Sytuacja synoptyczna	172
4.4.2.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	173
4.4.2.3.	Trajektorie wsteczne.....	175
4.4.2.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	176
4.5.	Region 5 – województwo warmińsko-mazurskie	185
4.5.1.	Epizod 1 od 2 do 9 lutego 2012 r.....	185
4.5.1.1.	Sytuacja synoptyczna	185
4.5.1.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	186
4.5.1.3.	Trajektorie wsteczne.....	188
4.5.1.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	189
4.6.	Region 6 – polsko-niemiecki	196
4.6.1.	Epizod 1 od 5 do 9 listopada 2011 r.	196
4.6.1.1.	Sytuacja synoptyczna	196
4.6.1.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	196
4.6.1.3.	Trajektorie wsteczne.....	198
4.6.1.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	199
4.6.2.	Epizod 2 od 13 do 15 listopada 2011 r.	206
4.6.2.1.	Sytuacja synoptyczna	206
4.6.2.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	206
4.6.2.3.	Trajektorie wsteczne.....	208
4.6.2.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	210
4.6.3.	Epizod 3 od 28 do 29 stycznia 2012 r.....	215
4.6.3.1.	Sytuacja synoptyczna	215
4.6.3.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	215
4.6.3.3.	Trajektorie wsteczne.....	217
4.6.3.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	218
4.7.	Region 7 – polsko-czeski	221
4.7.1.	Epizod 1 od 12 do 19 listopada 2011 r.	221
4.7.1.1.	Sytuacja synoptyczna	221
4.7.1.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	223

4.7.1.3.	Trajektorie wsteczne.....	224
4.7.1.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	225
4.7.2.	Epizod 2 od 27 stycznia do 14 lutego 2012 r.....	232
4.7.2.1.	Sytuacja synoptyczna	232
4.7.2.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	233
4.7.2.3.	Trajektorie wsteczne.....	235
4.7.2.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	237
4.7.3.	Epizod 3 od 4 do 8 marca 2012 r.....	254
4.7.3.1.	Sytuacja synoptyczna	254
4.7.3.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	255
4.7.3.3.	Trajektorie wsteczne.....	257
4.7.3.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	258
4.7.4.	Epizod 4 od 20 do 24 marca 2012 r.....	264
4.7.4.1.	Sytuacja synoptyczna	264
4.7.4.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	265
4.7.4.3.	Trajektorie wsteczne.....	266
4.7.4.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	267
4.8.	Region 8 – polsko-słowacki.....	274
4.8.1.	Epizod 1 od 27 października do 4 listopada 2011 r.....	274
4.8.1.1.	Sytuacja synoptyczna	274
4.8.1.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	276
4.8.1.3.	Trajektorie wsteczne.....	277
4.8.1.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	278
4.8.2.	Epizod 2 od 11 do 18 listopada 2011 r.....	287
4.8.2.1.	Sytuacja synoptyczna	287
4.8.2.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	289
4.8.2.3.	Trajektorie wsteczne.....	290
4.8.2.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	291
4.8.3.	Epizod 3 od 30 listopada do 3 grudnia 2011 r.....	298
4.8.3.1.	Sytuacja synoptyczna	298
4.8.3.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	298
4.8.3.3.	Trajektorie wsteczne.....	300
4.8.3.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	301
4.8.4.	Epizod 4 od 26 stycznia do 1 lutego 2012 r.....	306
4.8.4.1.	Sytuacja synoptyczna	306
4.8.4.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	307
4.8.4.3.	Trajektorie wsteczne.....	308
4.8.4.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	310
4.8.5.	Epizod 5 od 6 do 17 lutego 2012 r.....	317
4.8.5.1.	Sytuacja synoptyczna	317
4.8.5.2.	Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne	318
4.8.5.3.	Trajektorie wsteczne.....	320
4.8.5.4.	Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h	321
5.	Podsumowanie	332

**Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii**

1. Cel i zakres pracy

Cel i zakres pracy zostały jasno określone w załączniku do umowy. Dlatego zostały poniżej zacytowane:

Celem pracy jest pogłębienie wiedzy o przyczynach występowania epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 w powietrzu (standard dobowy), które wystąpiły w roku 2012 i 2011 na terenie Polski oraz krajów sąsiadujących z Polską z uwzględnieniem udziału transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w analizowanych przypadkach przekroczeń.

W ramach pracy wykonano analizy łącznie 26 epizodów wysokich stężeń pyłu PM10, które miały miejsce w sezonie zimowym w latach 2011-2012. Analiza epizodów została wykonana w oparciu o dane pomiarowe zgromadzone w bazie Airbase oraz udostępnione przez Zamawiającego, dane meteorologiczne, informacje prezentowane przez europejskie serwisy progностyczne oraz inne dane, które Wykonawca uznał, iż są użyteczne dla potrzeb tej analizy.

Analiza została wykonana dla 14 epizodów wysokich stężeń, które wystąpiły na terenie Polski w tym: 6 epizodów wysokich stężeń pyłu PM10, których zasięg obejmował obszar województwa: dolnośląskiego i/lub lubuskiego i/lub zachodniopomorskiego, 3 epizody, których zasięg obejmował obszar województwa: opolskiego i/lub śląskiego, 2 epizody, których zasięg obejmował obszar województwa małopolskiego i/lub podkarpackiego, 2 epizody, których zasięg obejmował obszar województwa: lubelskiego i/lub podlaskiego oraz 1 epizod, który obejmował swym zasięgiem obszar województwa warmińsko-mazurskiego. Ponadto wg tej samej metodyki przeanalizowano 12 wybranych epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń, które wystąpiły w krajach ościennych (Niemcy, Republika Czeska, Słowacja) w odległości do 100 km od granicy z Polską.

W analizie uwzględniono dane pomiarowe ze stacji tła miejskiego lub/i regionalnego, z których wyniki pomiarów są dostępne w europejskiej bazie danych Airbase oraz wyniki pomiarów jakości powietrza za 2012 rok udostępnione przez Zamawiającego. Analizę przenoszenia zanieczyszczeń i oceny przyczyn występowania wysokich stężeń pyłu zawieszonego wsparto symulacją trajektorii wstecznych.

Analiza każdego epizodu obejmowała analizę meteorologiczną, analizę zmian stężeń zanieczyszczeń w trakcie epizodu oraz informację na temat zasięgu, czasu trwania i przyczyn powstania sytuacji smogowej, jak również informację o ewentualnym udziale transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w wystąpieniu sytuacji przekroczeń. Dla każdego epizodu wykonano symulację trajektorii wstecznych.

2. Wybór epizodów

Opracowanie zawiera analizę łącznie 26 epizodów wysokich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM10, które wybrano z sytuacji, które wystąpiły w sezonie zimowym w latach 2011 – 2012 na terenie Polski (PL) oraz krajów sąsiadujących z Polską to jest Niemiec (DE), Republiki Czeskiej (CZ) i Słowacji (SK), z uwzględnieniem udziału transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń w analizowanych przypadkach przekroczeń. Podstawą analizy sytuacji z wysokimi średnimi 24-godz. stężeniami pyłu zawieszonego PM10 były wyniki pomiarów zgromadzone w bazie AirBase prowadzonej przez Europejską Agencję Środowiska (EAŚ). Do oceny wybrano stacje tła miejskiego lub/i regionalnego. Założono, że dane w bazie AirBase są zweryfikowane.

Analiza została wykonana dla 14 epizodów wysokich dobowych stężeń PM10, które wystąpiły na terenie Polski i obejmowały swym zasięgiem obszar następujących grup województw:

- dolnośląskiego (Ds), i/lub lubuskiego (Lu) i/lub zachodniopomorskiego (Zp) – 5 epizodów;
- opolskiego (Op) i/lub śląskiego (Sl) – 3 epizody;
- małopolskiego (Mp) i/lub podkarpackiego (Pk) – 2 epizody;
- lubelskiego (Lb) i/lub podlaskiego (Pd) – 2 epizody;
- warmińsko-mazurskiego (Wm) – 1 epizod.

Ponadto przeanalizowano 12 wybranych epizodów wysokich stężeń PM10, które wystąpiły w krajach ościennych to jest w Niemczech, Republice Czeskiej i Słowacji w odległości do 100 km od granicy z Polską. Listę stacji imisyjnych, z których wyniki pomiarów poddane zostały analizie zamieszczono w tabelach 2.1 – 2.4.

Tabela 2-1 Wykaz stacji monitoringu jakości powietrza PM w Polsce w latach 2011 i 2012

L.p.	Kod krajowy	Kod międzynarodowy	Nazwa stacji	Województwo	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Typ stacji	Typ obszaru
1.	DsCzer02	PL0028A	Czarniawa	dolnośląskie	15,312167	50,912475	645	tło pozamiejskie	pozamiejski
2.	DsDzierPilsA	PL0187A	Dzierżonów - Piłsudskiego (AUT)	dolnośląskie	16,64805	50,732817	278	tło miejskie	miejski
3.	DsJgCiepA	PL0189A	Jelenia Góra - Cieplice (AUT)	dolnośląskie	15,678769	50,861875	341	tło miejskie	miejski
4.	DsKlodzkoA	PL0504A	Kłodzko (AUT)	dolnośląskie	16,653614	50,433522	300	tło miejskie	miejski
5.	DsLegRzeczA	PL0190A	Legnica, al. Rzeczypospolitej (AUT)	dolnośląskie	16,180477	51,204612	122	tło miejskie	miejski
6.	DsLubinMob	PL0577A	Lubin - Mobil Mercedes	dolnośląskie	16,205278	51,397222	145	tło miejskie	miejski
7.	DsNRudaSrebA	PL0191A	Nowa Ruda - ul. Srebrna (AUT)	dolnośląskie	16,514422	50,579936	407	tło miejskie	miejski
8.	DsOlawaSemi	PL0317A	Oława - Semimobilna (AUT)	dolnośląskie	17,291248	50,942125	135	tło miejskie	miejski
9.	DsOlesnicaPM	PL0476A	Oleśnica - Brzozowa (PM10)	dolnośląskie	17,389722	51,217483	150	tło miejskie	miejski
10.	DsOsieczow	PL0505A	Osieczów	dolnośląskie	15,431735	51,317697	190	tło pozamiejskie	pozamiejski
11.	DsPolkKasz	PL0057A	Polkowice - ul. Kasztanowa	dolnośląskie	16,074722	51,5025	180	tło miejskie	miejski
12.	DsSniezka	PL0003R	Śnieżka IMGW, Sudety Mountains	dolnośląskie	15,739722	50,736389	1603	tło pozamiejskie	pozamiejski
13.	DsStrzMob	PL0506A	Strzelin - Mobil Mercedes	dolnośląskie	17,079181	50,784236	165	tło miejskie	miejski
14.	DsSwidRynek	PL0059A	Świdnica - Rynek	dolnośląskie	16,486703	50,842364	248	tło miejskie	miejski
15.	DsSzczKopPM	PL0267A	Szczawno Zdrój – ul. Kopernika (PM10)	dolnośląskie	16,251111	50,8025	402	tło miejskie	miejski
16.	DsSzczDZPM	PL0541A	Szczawno-Zdrój - Dom Zdrojowy (PM10)	dolnośląskie	16,254111	50,804189	424	tło miejskie	miejski
17.	DsSzczAzalMob	PL0578A	Szczawno-Zdrój - Azalia - Mobil	dolnośląskie	16,253869	50,806108	419	tło miejskie	miejski
18.	DsSzczMagMob	PL0579A	Szczawno-Zdrój - Magnolia - Mobil	dolnośląskie	16,250175	50,80135	429	tło miejskie	miejski
19.	DsWalbWysA	PL0192A	Wałbrzych – ul. Wysockiego (AUT)	dolnośląskie	16,269675	50,768758	436	tło miejskie	miejski

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

L.p.	Kod krajowy	Kod międzynarodowy	Nazwa stacji	Województwo	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Typ stacji	Typ obszaru
20.	DsWrocBartA	PL0193A	Wrocław - Bartnicza (AUT)	dolnośląskie	17,141122	51,115938	120	tło podmiejskie	podmiejski
21.	DsWrocKorza	PL0194A	Wrocław - Korzeniowskiego (AUT)	dolnośląskie	17,029267	51,129391	121	tło miejskie	miejski
22.	DsWrocGrobla	PL0490A	Wrocław - Na Grobli	dolnośląskie	17,057044	51,1038	119	tło miejskie	miejski
23.	DsWrocOrzech	PL0196A	Wrocław - Orzechowa (PM10)	dolnośląskie	17,043056	51,0775	120	tło miejskie	miejski
24.	DsZabkowSemi	PL0321A	Ząbkowice Śląskie (AUT)	dolnośląskie	16,819822	50,592333	280	tło miejskie	miejski
25.	DsZgorzBohA	PL0198A	Zgorzelec - Boh. Getta (AUT)	dolnośląskie	15,008222	51,150681	214	tło miejskie	miejski
26.	DsZlotoryjaPM	PL0477A	Złotoryja - Staszica (PM10)	dolnośląskie	15,920289	51,1239	211	tło miejskie	miejski
27.	LbBialySlupRPN_Auto	PL0349A	Biały Słup Automat	lubelskie	22,996667	50,591389	240	tło pozamiejskie	pozamiejski
28.	LbChelmJagWIOS	PL0081A	Chełm ul. Jagiellońska	lubelskie	23,514722	51,130556	190	tło miejskie	miejski
29.	LbJarczew	PL0002R	IMGW-Jarczew	lubelskie	21,971389	51,814444	180	tło pozamiejskie	pozamiejski
30.	LbKrasnikKoszarowa	PL0353A	Krasnik ul. Koszarowa 10A	lubelskie	22,228333	50,928333	227	tło miejskie	miejski
31.	LbLublinWIOS	PL0507A	Lublin ul. Obywatelska	lubelskie	22,569133	51,259431	191	tło miejskie	miejski
32.	LbLublin_Sliwinski_5	PL0085A	Lublin ul. Śliwińskiego 5	lubelskie	22,551667	51,273056	285	tło miejskie	miejski
33.	LbWilczopole	PL0488A	Lublin-Podmiejska	lubelskie	22,598611	51,013333	202	tło podmiejskie	podmiejski
34.	LbPuławyLubelska	PL0360A	Puławy ul. Lubelska	lubelskie	21,972778	51,4175	140	tło miejskie	miejski
35.	LbPuławySkowieszyńska	PL0089A	Puławy ul. Skowieszyńska	lubelskie	21,976389	51,410556	143	tło miejskie	miejski
36.	LbBiałaPorzechowa	PL0079A	WIOS-DBP-Orzechowa	lubelskie	23,149444	52,029167	144	tło miejskie	miejski
37.	LbLukowBrowarna	PL0357A	WIOS-Łuków-Browarna	lubelskie	22,375278	51,928889	160	tło miejskie	miejski
38.	LbRadzyPSitkowskiego	PL0270A	WIOS-Radzyń P- Sitkowskiego	lubelskie	22,625556	51,779444	150	tło miejskie	miejski
39.	LbZamoscHrubieszowsk	PL0091A	Zamość ul. Hrubieszowska 69A	lubelskie	23,290278	50,716667	226	tło miejskie	miejski
40.	LuGorzowWIOS_MAN	PL0492A	Gorzów Wlkp.	lubuskie	15,246295	52,747052	70	tło miejskie	miejski
41.	LuGorzowWIOS_AUT	PL0209A	Gorzów Wlkp. ul. Kosynierów Gdyńskich	lubuskie	15,228658	52,738221	22	tło miejskie	miejski
42.	LuSmobytWIOS_AUT	PL0211A	Smolary Bytnickie	lubuskie	15,205833	52,1725	77	tło pozamiejskie	pozamiejski

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

L.p.	Kod krajowy	Kod międzynarodowy	Nazwa stacji	Województwo	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Typ stacji	Typ obszaru
43.	LuSulecWIOS_MOB	PL0575A	Sulęcín ul. Dudka	lubuskie	15,124003	52,436958	86	tło miejskie	miejski
44.	LuWschowWIOS_AUT	PL0212A	Wschowa ul. Kazimierza Wielkiego	lubuskie	16,3175	51,799722	90	tło miejskie	miejski
45.	LuZgoraWIOS_AUT	PL0213A	Zielona Góra ul. Krótka	lubuskie	15,5189	51,9398	150	tło miejskie	miejski
46.	MpBochniWIOSKBar0106	PL0549A	Bochnia, ul. Konfederatów Barskich	małopolskie	20,439527	49,969005	202	tło miejskie	miejski
47.	MpGorlicWIOSKras0511	PL0478A	Gorlice Krasińskiego	małopolskie	21,163333	49,658611	302	tło miejskie	miejski
48.	MpKrakowWIOSBuja6119	PL0501A	Kraków ul. Bujaka	małopolskie	19,948889	50,010278	230	tło miejskie	miejski
49.	MpWielicWIOSNiep1904	PL0125A	Niepołomice	małopolskie	20,212778	50,035278	201	tło miejskie	miejski
50.	MpKrakowWIOSBulw6118	PL0039A	Nowa Huta - ul. Bulwarowa	małopolskie	20,053611	50,069167	195	tło miejskie	miejski
51.	MpNSaczWIOSNadb6205	PL0550A	Nowy Sącz, ul. Nadbrzeżna	małopolskie	20,714167	49,619167	305	tło miejskie	miejski
52.	MpOlkuszWIOSNull1205	PL0306A	Olkusz Francesco Nullo	małopolskie	19,568611	50,273056	384	tło miejskie	miejski
53.	MpProszWIOSKrol1404	PL0120A	Proszowice Królewska	małopolskie	20,299722	50,192222	210	tło miejskie	miejski
54.	MpSkawinWIOSOsie0606	PL0273A	Skawina, os. Ogrody	małopolskie	19,825	49,969444	225	tło miejskie	miejski
55.	MpSuchaBWIOSHand1512	PL0551A	Sucha Beskidzka, ul. Handlowa	małopolskie	19,588325	49,740644	328	tło miejskie	miejski
56.	MpSzarowWIOS1908	PL0487A	Szarów	małopolskie	20,2575	50,007222	230	tło miejskie	miejski
57.	MpSzymbaWIOS0507	PL0121A	Szymbark	małopolskie	21,117222	49,604444	327	tło pozamiejskie	pozamiejski
58.	MpTarnowWIOSBitw6304	PL0502A	Tarnów ul. Bitwy pod Studziankami	małopolskie	21,004722	50,020278	230	tło miejskie	miejski
59.	MpTrzebiWIOSZWM0305	PL0552A	Trzebinia, os. Związku Walki Młodych	małopolskie	19,478053	50,175833	340	tło miejskie	miejski
60.	MpWadowiWIOSPSka1805	PL0124A	Wadowice	małopolskie	19,498333	49,871944	264	tło miejskie	miejski
61.	MpZakopaWIOSRown1701	PL0126A	Zakopane Sienkiewicza	małopolskie	19,956111	49,289444	844	tło miejskie	miejski
62.	OpGlub1pyl	PL0217A	Głubczyce manualna 1	opolskie	17,816517	50,201194	278	tło miejskie	miejski
63.	OpKkozle1a	PL0218A	K-Koźle automat 1	opolskie	18,236575	50,349608	189	tło miejskie	miejski
64.	OpKlucz2pyl	PL0517A	Kluczbork manualna 2	opolskie	18,207575	50,972181	181	tło miejskie	miejski

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

L.p.	Kod krajowy	Kod międzynarodowy	Nazwa stacji	Województwo	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Typ stacji	Typ obszaru
65.	OpOlesno4a	PL0553A	Olesno automat 4	opolskie	18,416878	50,876983	239	tło miejskie	miejski
66.	OpOpole3a	PL0221A	Opole automat 3	opolskie	17,922797	50,666961	134	tło miejskie	miejski
67.	OpOpole4pyl	PL0494A	Opole manualna 4	opolskie	17,950278	50,676856	170	tło miejskie	miejski
68.	OpZdze2a	PL0222A	Zdzieszowice automat 2	opolskie	18,120739	50,423533	185	tło miejskie	miejski
69.	PkJarosWIOSPWSTE	PL0554A	Jarosław - PWSTE - WIOS	podkarpackie	22,674772	50,012083	215	tło miejskie	miejski
70.	PkJasloWIOSSikorskiego	PL0518A	Jasło – Sikorskiego - WIOS	podkarpackie	21,455333	49,744936	225	tło miejskie	miejski
71.	PkJasloWIOSFlor	PL0157A	Jasło-Floriańska-WIOS	podkarpackie	21,482778	49,739167	238	tło miejskie	miejski
72.	PkKrosnoWIOSKletowki	PL0413A	Krosno - Kletówki	podkarpackie	21,7497	49,690172	273	tło miejskie	miejski
73.	PkMielWIOSZarzStr	PL0258A	Mielec-Zarząd Strefy	podkarpackie	21,471111	50,304006	175	tło miejskie	miejski
74.	PkNiskoWIOSSzklar	PL0276A	Nisko- Szklarniowa -WIOS	podkarpackie	22,112638	50,529924	155	tło miejskie	miejski
75.	PkPrzemyslWIOSMick	PL0414A	Przemysł - Mickiewicza-WIOS	podkarpackie	22,782907	49,782433	242	tło miejskie	miejski
76.	PkPrzemWIOSPDom	PL0162A	Przemysł -Pl. Dominikański - WIOS	podkarpackie	22,766667	49,782778	210	tło miejskie	miejski
77.	PkRzeszWIOSNoweMiasto	PL0495A	Rzeszów -Nowe Miasto	podkarpackie	22,010577	50,024509	200	tło miejskie	miejski
78.	PkRzeszWIOSSzop	PL0224A	Rzeszów -Szopena WIOS	podkarpackie	22,010733	50,034031	202	tło miejskie	miejski
79.	PkSanokWIOSSadowa	PL0555A	Sanok – Sadowa -WIOS	podkarpackie	22,195892	49,571731	287	tło miejskie	miejski
80.	PdBialyMiejska	PL0148A	Białystok - Miejska	podlaskie	23,156111	53,13	145	tło miejskie	miejski
81.	PdBialyPodmiejska	PL0149A	Białystok-Podmiejska	podlaskie	23,23	53,141944	146	tło podmiejskie	podmiejski
82.	PdBorsuWiejska	PL0150A	Borsukowizna -Wiejska	podlaskie	23,641944	53,218889	180	tło pozamiejskie	pozamiejski
83.	PdLomzaSikorskiego	PL0151A	Łomża Sikorskiego 48/94	podlaskie	22,054722	53,180833	128	tło miejskie	miejski
84.	PdBialyWarszawska	PL0496A	Pd Biały Warszawska	podlaskie	23,181389	53,129167	145	tło miejskie	miejski
85.	PdSuwPulaski	PL0152A	Suwałki, ul. Pułaskiego 73	podlaskie	22,936111	54,12	179	tło miejskie	miejski
86.	SlBielbBiel_kossa	PL0234A	Bielsko B._kossak-WIOS	śląskie	19,027222	49,813611	365	tło miejskie	miejski
87.	SlBielbBiel_stern	PL0499A	Bielsko Biała _sternicza	śląskie	19,026944	49,808611	360	tło miejskie	miejski
88.	SlCieszCies_13mic	PL0236A	Cieszyn_mickiewi13-WIOS	śląskie	18,639167	49,738056	353	tło miejskie	miejski

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

L.p.	Kod krajowy	Kod międzynarodowy	Nazwa stacji	Województwo	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Typ stacji	Typ obszaru
89.	SlCzestCzes_baczy	PL0184A	Częstochowa _bacz-WIOS	śląskie	19,13	50,836389	265	tło miejskie	miejski
90.	SlCzestCzes_zana6	PL0498A	Częstochowa _zana-WIOS	śląskie	19,106389	50,803056	260	tło miejskie	miejski
91.	SlDabroDabr_1000L	PL0237A	DabGor_1000-lecia-WIOS	śląskie	19,230833	50,328889	293	tło miejskie	miejski
92.	SlGliwiGliw_mewy	PL0238A	Gliwice_mewy-WIOS	śląskie	18,655833	50,279444	236	tło miejskie	miejski
93.	SlGodowWodz_wodzi	PL0527A	Godów manualny - WIO	śląskie	18,476106	49,925161	204	tło miejskie	miejski
94.	SlKatowKato_kossu	PL0008A	Katowice_kossu-WIOS	śląskie	18,974444	50,264444	273	tło miejskie	miejski
95.	SlKnuroKnu1_gliwi	PL0483A	Knurow _jednosci narod. - WIOS	śląskie	18,656111	50,233333	240	tło miejskie	miejski
96.	SlLubliLubl_piask	PL0290A	Lubliniec_piaskowa-WSSE	śląskie	18,696111	50,658333	260	tło miejskie	miejski
97.	SlMyszkMysz_myszk	PL0484A	Myszkow_miedziana	śląskie	19,326667	50,579722	300	tło miejskie	miejski
98.	SlPszczPszc_boged	PL0528A	Pszczyna_bogedaina- WIO	śląskie	18,948861	49,972153	248	tło miejskie	miejski
99.	SlRybniRybn_borki	PL0239A	Rybnik_borki-WIOS	śląskie	18,515833	50,111111	245	tło miejskie	miejski
100.	SlSosnoSosn_lubel	PL0529A	Sosnowiec_lubelska -WIO	śląskie	19,183686	50,286264	304	tło miejskie	miejski
101.	SlTarnoTarn_litew	PL0530A	Tarnowskie Góry_litewska-WIOS	śląskie	18,827908	50,444014	319	tło miejskie	miejski
102.	SlTychyTych_tolst	PL0240A	Tychy_tolstoja-WIOS	śląskie	18,990556	50,1	252	tło miejskie	miejski
103.	SlUstroCies_sana7	PL0568A	Ustron_sanatoryjna 7	śląskie	18,826583	49,719722	411	tło miejskie	miejski
104.	SlWodziWodz_galcz	PL0241A	Wodzisław_Galczynskiego-WIOS	śląskie	18,455556	50,007778	271	tło miejskie	miejski
105.	SlZabrzZabr_sklod	PL0242A	Zabrze_sklod-WIOS	śląskie	18,7725	50,316667	255	tło miejskie	miejski
106.	SlZawieZawi_zawie	PL0293A	Zawiercie_sklod-curie- WIOS	śląskie	19,433056	50,479444	335	tło miejskie	miejski
107.	SlZlotyJano_lesni	PL0243A	Złoty Potok gm. Janów (automat)	śląskie	19,458333	50,711111	291	tło pozamiejskie	pozamiejski
108.	SlZoryzZory_sikor	PL0489A	Zory_os.Sikorskiego-WIOS	śląskie	18,694944	50,028333	260	tło miejskie	miejski
109.	SlZywieZywi_koper	PL0294A	Zywiec_kopernika-WSSE	śląskie	19,234167	49,671667	368	tło miejskie	miejski
110.	SlZywieZywi_slowa	PL0450A	Zywiec_slowackiego-WIOS	śląskie	19,205833	49,688056	352	tło miejskie	miejski
111.	WmPuszcz_IOS_Borecka	PL0005R	KM Puszcza Borecka	warmińsko-mazurskie	22,038056	54,125278	157	tło pozamiejskie	pozamiejski

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

L.p.	Kod krajowy	Kod międzynarodowy	Nazwa stacji	Województwo	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Typ stacji	Typ obszaru
112.	WmNidzicaWIOS_Traugut	PL0531A	WIOS Nidzica ul. Traugutta	warmińsko-mazurskie	20,421933	53,361183	172	tło miejskie	miejski
113.	WmOstrodWIOS_Chrobre	PL0176A	WIOS Ostroda ul. Chrobrego	warmińsko-mazurskie	19,96528	53,69167	120	tło miejskie	miejski
114.	WmElblagWIOS_Bazynsk	PL0295A	WIOS Elblag ul. Bazynskiego	warmińsko-mazurskie	19,410833	54,168056	16	tło miejskie	miejski
115.	WmGoldapWIOS_Jacwies	PL0312A	WIOS Goldap ul. Jacwieska	warmińsko-mazurskie	22,307222	54,305833	167	tło miejskie	miejski
116.	WmMragowWIOS_Parkowa	PL0296A	WIOS Mragowo ul. Parkowa	warmińsko-mazurskie	21,295833	53,866111	150	tło miejskie	miejski
117.	WmOlsztyWIOS_Puszkina	PL0175A	WIOS Olsztyn ul. Puszkina	warmińsko-mazurskie	20,48194	53,78778	120	tło miejskie	miejski
118.	ZpGryfMarwiceDO	PL0314A	Marwice	zachodniopomorskie	14,413889	53,165	24	tło pozamiejskie	pozamiejski
119.	ZpMysMysliborz007	PL0534A	Myślibórz_ZaBramk1	zachodniopomorskie	14,862558	52,926189	62	tło miejskie	miejski
120.	ZpGryfStokiDO	PL0470A	Stoki	zachodniopomorskie	14,342222	52,946944	50	tło pozamiejskie	pozamiejski
121.	ZpSzcStorkowoDO	PL0313A	Storkowo	zachodniopomorskie	16,4975	53,779167	88	tło pozamiejskie	pozamiejski
122.	ZpSzczecin001	PL0248A	Szczecin_Andrzejewskiego	zachodniopomorskie	14,663347	53,380975	17	tło miejskie	miejski
123.	ZpSzcSzczecinek008	PL0535A	Szczecinek_1Maja	zachodniopomorskie	16,692264	53,712097	134	tło miejskie	miejski
124.	ZpGryfWiduchowa003	PL0182A	Widuchowa	zachodniopomorskie	14,382308	53,122318	15	tło pozamiejskie	pozamiejski
125.	ZpKoszalin006	PL0500A	ZpKoszalin006	zachodniopomorskie	16,193101	54,20705	45	tło miejskie	miejski

Tabela 2-2 Wykaz stacji monitoringu jakości powietrza PM na obszarze pogranicza polsko-niemieckiego w latach 2011 i 2012

L.p.	Kod krajowy	Kod międzynarodowy	Nazwa stacji	Obszar	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Typ stacji	Typ obszaru
1.	DEBB007	DEBB007	Elsterwerda	Brandenburg	13,526797	51,462734	89	tło podmiejskie	podmiejski
2.	DEBB021	DEBB021	Potsdam-Zentrum	Brandenburg	13,059945	52,401352	31	tło miejskie	miejski
3.	DEBB042	DEBB042	Frankfurt (Oder)	Brandenburg	14,531917	52,339951	58	tło podmiejskie	podmiejski
4.	DEBB048	DEBB048	Neuruppin	Brandenburg	12,809481	52,931889	43	tło podmiejskie	podmiejski
5.	DEBB053	DEBB053	Hasenholz	Brandenburg	14,015253	52,563835	88	tło pozamiejskie	pozamiejski
6.	DEBB064	DEBB064	Cottbus	Brandenburg	14,334550	51,746346	75	tło miejskie	miejski
7.	DEBB067	DEBB067	Nauen	Brandenburg	12,885195	52,608608	31	tło podmiejskie	podmiejski

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

L.p.	Kod krajowy	Kod międzynarodowy	Nazwa stacji	Obszar	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Typ stacji	Typ obszaru
8.	DEBB075	DEBB075	Potsdam, Groß Glienicke	Brandenburg	13,123697	52,484165	39	tło pozamiejskie	pozamiejski
9.	DEBB082	DEBB082	Königs Wusterhausen	Brandenburg	13,619783	52,294636	35	tło podmiejskie	podmiejski
10.	DEBB083	DEBB083	Spremberg	Brandenburg	14,376400	51,564503	99	tło podmiejskie	podmiejski
11.	DEBE010	DEBE010	Berlin Wedding-Amrumer Str,	Berlin	13,349119	52,542744	35	tło miejskie	miejski
12.	DEBE032	DEBE032	Berlin Grunewald (3,5 m)	Berlin	13,225855	52,473091	50	tło pozamiejskie	pozamiejski
13.	DEBE034	DEBE034	Berlin Neukölln-Nansenstraße	Berlin	13,434014	52,488091	35	tło miejskie	miejski
14.	DEBE051	DEBE051	Berlin Buch	Berlin	13,494859	52,636711	60	tło podmiejskie	podmiejski
15.	DEBE056	DEBE056	Berlin Friedrichshagen	Berlin	13,647014	52,447754	35	tło pozamiejskie	pozamiejski
16.	DEBE068	DEBE068	Berlin Mitte, Brückenstraße	Berlin	13,418831	52,513603	35	tło miejskie	miejski
17.	DEMV012	DEMV012	Löcknitz	Mecklenburg-Vorpommern	14,257408	53,520458	17	tło pozamiejskie	pozamiejski
18.	DESN004	DESN004	Bautzen	Sachsen	14,443772	51,175671	203	tło miejskie	miejski
19.	DESN045	DESN045	Zittau-Ost	Sachsen	14,822847	50,892380	230	tło podmiejskie	podmiejski
20.	DESN051	DESN051	Radebeul-Wahnsdorf	Sachsen	13,675006	51,119511	246	tło pozamiejskie	pozamiejski
21.	DESN079	DESN079	Niesky	Sachsen	14,749731	51,285355	148	tło pozamiejskie	pozamiejski
22.	DESN092	DESN092	Dresden-Winckelmannstr,	Sachsen	13,730206	51,036102	112	tło miejskie	miejski
23.	DEBB066	DEBB066	Spreewald	Brandenburg	14,057064	51,897598	52	tło pozamiejskie	pozamiejski

Tabela 2-3 Wykaz stacji monitoringu jakości powietrza PM na obszarze pogranicza polsko-czeskiego w latach 2011 i 2012

L.p.	Kod krajowy	Kod międzynarodowy	Nazwa stacji	Kraj	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Typ stacji	Typ obszaru
1.	AKOB	CZ0AKOB	Pha8-Kobylisy	Praha	14,467578	50,122189	269	tło podmiejskie	podmiejski
2.	ARIE	CZ0ARIE	Pha2-Riegrový sady	Praha	14,442692	50,081482	256	tło miejskie	miejski
3.	ASTO	CZ0ASTO	Pha5-Stodulky	Praha	14,331414	50,046131	309	tło miejskie	miejski
4.	ASUC	CZ0ASUC	Pha6-Suchbát	Praha	14,384639	50,126526	277	tło podmiejskie	podmiejski
5.	AVEL	CZ0AVEL	Pha6-Veštlavín	Praha	14,352567	50,097462	286	tło podmiejskie	podmiejski

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

L.p.	Kod krajowy	Kod międzynarodowy	Nazwa stacji	Kraj	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Typ stacji	Typ obszaru
6.	BBNE	CZ0BBNE	Brno-Sobesice	południowo-morawski	16,620497	49,255543	380	tło podmiejskie	podmiejski
7.	BVYS	CZ0BVYS	Vyskov	południowo-morawski	16,979622	49,280964	260	tło podmiejskie	podmiejski
8.	EMTR	CZ0EMTR	Moravska Trebova	pardubicki	16,651802	49,758121	383	tło pozamiejskie	pozamiejski
9.	EPAU	CZ0EPAU	Pardubice Dukla	pardubicki	15,763550	50,024036	239	tło miejskie	miejski
10.	EUOR	CZ0EUOR	Usti n.Orl.	pardubicki	16,422121	49,980354	402	tło pozamiejskie	pozamiejski
11.	HRNK	CZ0HRNK	Rychnov n. Kneznou	hradecki	16,268238	50,172382	279	tło podmiejskie	podmiejski
12.	HTRM	CZ0HTRM	Trutnov-Mladeznicka	hradecki	15,893956	50,581815	432	tło miejskie	miejski
13.	HVEL	CZ0HVEL	Velichovky	hradecki	15,838536	50,354210	320	tło pozamiejskie	pozamiejski
14.	HVRC	CZ0HVRC	Vrchlabi	hradecki	15,610461	50,613079	100	tło podmiejskie	podmiejski
15.	LCLM	CZ0LCLM	Ceska Lipa	liberecki	14,537345	50,698044	299	tło miejskie	miejski
16.	LFRU	CZ0LFRU	Frydlant-udoli	liberecki	15,080289	50,938221	381	tło pozamiejskie	pozamiejski
17.	LLIM	CZ0LLIM	Liberec-mesto	liberecki	15,053898	50,764938	350	tło miejskie	miejski
18.	LRAD	CZ0LRAD	Radimovice	liberecki	15,078478	50,624550	385	tło pozamiejskie	pozamiejski
19.	MBEL	CZ0MBEL	Belotin	ołomuniecki	17,804222	49,587082	306	tło pozamiejskie	pozamiejski
20.	MDST	CZ0MDST	Dolni Studenky	ołomuniecki	16,960773	49,931965	298	tło pozamiejskie	pozamiejski
21.	MJES	CZ0MJES	Jesenik	ołomuniecki	17,190180	50,242237	625	tło pozamiejskie	pozamiejski
22.	MPRR	CZ0MPRR	Prerov	ołomuniecki	17,454159	49,451656	210	tło miejskie	miejski
23.	MPST	CZ0MPST	Prostejov	ołomuniecki	17,114725	49,467857	218	tło miejskie	miejski
24.	SBRL	CZ0SBRL	Brandys n. Labem	środkowo-czeski	14,660455	50,189800	179	tło podmiejskie	podmiejski
25.	SKLM	CZ0SKLM	Kladno-stred mesta	środkowo-czeski	14,101784	50,143860	303	tło miejskie	miejski
26.	SKLS	CZ0SKLS	Kladno-Svermov	środkowo-czeski	14,106048	50,167416	219	tło miejskie	miejski
27.	SKUH	CZ0SKUH	Kutna Hora	środkowo-czeski	15,273128	49,961304	260	tło podmiejskie	podmiejski
28.	SMBO	CZ0SMBO	Mlada Boleslav	środkowo-czeski	14,913858	50,428646	398	tło miejskie	miejski
29.	SROZ	CZ0SROZ	Rozdalovice	środkowo-czeski	15,169108	50,295658	197	tło pozamiejskie	pozamiejski
30.	TBOM	CZ0TBOM	Bohumin	morawsko-śląski	18,347363	49,904140	200	tło podmiejskie	podmiejski

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

L.p.	Kod krajowy	Kod międzynarodowy	Nazwa stacji	Kraj	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Typ stacji	Typ obszaru
31.	TCEL	CZ0TCEL	Celadna	morawsko-śląski	18,348354	49,559212	400	tło pozamiejskie	pozamiejski
32.	TCTN	CZ0TCTN	Cesky Tesin	morawsko-śląski	18,609726	49,748959	285	tło miejskie	miejski
33.	TFMI	CZ0TFMI	Frydek-Mistek	morawsko-śląski	18,351072	49,671791	290	tło podmiejskie	podmiejski
34.	THAR	CZ0THAR	Havírov	morawsko-śląski	18,406836	49,790977	260	tło miejskie	miejski
35.	TKAR	CZ0TKAR	Karvina	morawsko-śląski	18,551453	49,863796	238	tło miejskie	miejski
36.	TNUJ	CZ0TNUJ	Navsi u Jablunkova	morawsko-śląski	18,743963	49,594193	380	tło pozamiejskie	pozamiejski
37.	TOFF	CZ0TOFF	Ostrava-Fifejdy	morawsko-śląski	18,263389	49,839189	220	tło miejskie	miejski
38.	TOPO	CZ0TOPO	Ostrava-Poruba/CHMU	morawsko-śląski	18,159276	49,825295	242	tło podmiejskie	podmiejski
39.	TORV	CZ0TORV	Orlova	morawsko-śląski	18,433607	49,875660	266	tło miejskie	miejski
40.	TOVK	CZ0TOVK	Opava-Katerinky	morawsko-śląski	17,909531	49,945992	255	tło miejskie	miejski
41.	TOZR	CZ0TOZR	Ostrava-Zabreh	morawsko-śląski	18,247181	49,796043	235	tło miejskie	miejski
42.	TSTD	CZ0TSTD	Studenka	śląsko-morawski	18,089306	49,720936	231	tło pozamiejskie	pozamiejski
43.	TTRK	CZ0TTRK	Trinec-Kanada	śląsko-morawski	18,643036	49,672379	346	tło miejskie	miejski
44.	TTRO	CZ0TTRO	Trinec-Kosmos	śląsko-morawski	18,677799	49,668114	320	tło miejskie	miejski
45.	TVER	CZ0TVER	Vernovice	śląsko-morawski	18,422871	49,924683	203	tło pozamiejskie	pozamiejski
46.	UDCM	CZ0UDCM	Decin	ustecki	14,218794	50,774147	131	tło miejskie	miejski
47.	UDOK	CZ0UDOK	Doksany	ustecki	14,170161	50,458851	158	tło pozamiejskie	pozamiejski
48.	UKRU	CZ0UKRU	Krupka	ustecki	13,847692	50,696671	533	tło pozamiejskie	pozamiejski
49.	ULOM	CZ0ULOM	Lom	ustecki	13,673418	50,585767	265	tło pozamiejskie	pozamiejski
50.	ULTT	CZ0ULTT	Litomerice	ustecki	14,119409	50,540897	190	tło miejskie	miejski
51.	UMOM	CZ0UMOM	Most	ustecki	13,645272	50,510365	221	tło miejskie	miejski
52.	UULK	CZ0UULK	Usti n.L.-Kockov	ustecki	14,041195	50,683525	367	tło podmiejskie	podmiejski
53.	UULM	CZ0UULM	Usti n.L.-mesto	ustecki	14,043064	50,661095	147	tło miejskie	miejski
54.	UVAL	CZ0UVAL	Valdek	środkowo-czeski	14,512989	50,975014	438	tło pozamiejskie	pozamiejski
55.	ZVSH	CZ0ZVSH	Vsetin - hvezdarna	zliński	17,996122	49,344448	385	tło podmiejskie	podmiejski

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

L.p.	Kod krajowy	Kod międzynarodowy	Nazwa stacji	Kraj	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Typ stacji	Typ obszaru
56.	ZZLN	CZ0ZZLN	Zlin	zliński	17,667175	49,232903	258	tło podmiejskie	podmiejski
57.	MOLJ	CZ0MOLJ	Olomouc-Hejcin	ołomuniecki	17,237840	49,601640	224	tło miejskie	miejski
58.	BBOD	CZ0BBOD	Brno-Dobrovskeho	południowo-morawski	16,595556	49,218056	240	tło miejskie	miejski
59.	TORA	CZ0TORA	Ostrava-Radvanice	morawsko-śląski	18,337444	49,818390	256	tło podmiejskie	podmiejski

Tabela 2-4 Wykaz stacji monitoringu jakości powietrza PM na obszarze pogranicza polsko-słowackiego w latach 2011 i 2012

L.p.	Kod krajowy	Kod międzynarodowy	Nazwa stacji	Kraj	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Typ stacji	Typ obszaru
1.	99242	SK0013A	Bystricany - Rozvodna SSE	trenczyński	18,530848	48,666946	261	tło podmiejskie	podmiejski
2.	99243	SK0027A	Handlova - Morovianska cesta	trenczyński	18,756395	48,733055	448	tło miejskie	miejski
3.	99261	SK0022A	Hnusta - Hlavna	bańskobystrzycki	19,951685	48,583611	320	tło miejskie	miejski
4.	99351	SK0037A	Humenne - Nam slobody	preszowski	21,913622	48,930836	160	tło miejskie	miejski
5.	99316	SK0264A	Kosice - Amurska	koszycki	21,286388	48,691113	201	tło miejskie	miejski
6.	99310	SK0267A	Kosice Stefanikova	koszycki	21,550000	48,725833	209	tło miejskie	miejski
7.	99271	SK0039A	Martin - Jesenskeho	zyliński	18,921947	49,066944	383	tło miejskie	miejski
8.	99246	SK0050A	Prievidza - Malonecpalska	trenczyński	18,628067	48,781944	276	tło miejskie	miejski
9.	99352	SK0030A	Strážske - Mierová	koszycki	21,837503	48,874165	133	tło miejskie	miejski
10.	99128	SK0047A	Trenčín - Hasičská	trenczyński	18,041393	48,896389	214	tło miejskie	miejski
11.	99353	SK0031A	Vranov nad Top. - M.R.Štefánika	preszowski	21,687502	48,886391	133	tło miejskie	miejski
12.	99235	SK0268A	Žiar nad Hronom - Jilemnického	bańskobystrzycki	18,842222	48,599442	296	tło miejskie	miejski
13.	99252	SK0020A	Žilina - Obežná	zyliński	18,771114	49,211945	356	tło miejskie	miejski
14.	99262	SK0262A	Zvolen - Janka Alexyho	bańskobystrzycki	19,558060	48,558056	321	tło miejskie	miejski
15.	99281	SK0025A	Jelšava - Jesenského	bańskobystrzycki	20,240284	48,631111	289	tło miejskie	miejski

2.1. Baza danych

Do analizy warunków meteorologicznych powstawania epizodów wysokich stężeń PM₁₀ wykorzystano następujące informacje i dane obserwacyjno-pomiarowe:

- mapy synoptyczne dolne publikowane przez IMGW-PIB (www.pogodynka.pl);
- sondáže aerologiczne ze stacji polskich: Wrocław, Legionowo, Łeba oraz niemieckiej stacji Lindenberg, czeskiej – Prostejov i słowackiej – Poprad-Ganovce (dostępne na stronach Uniwersytetu of Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.htm>), tabela 2 zawiera wykaz stacji aerologicznych;
- dane meteorologiczne z sieci stacji Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej (PSHM) oraz pochodzące z wymiany międzynarodowej IMGW-PIB realizowanej w ramach Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO), tabela 2-6 zawiera wykaz stacji meteorologicznych.

Ponadto przeprowadzono symulację przenoszenia zanieczyszczeń obliczając trajektorie wsteczne przy wykorzystaniu modelu HYSPLIT (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>), celem oceny przyczyn występowania wysokich stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀. Ze względu na braki w danych nie zawsze możliwa była analiza przebiegu sytuacji smogowej dla wszystkich stacji imisyjnych.

Tabela 2-5 Wykaz stacji aerologicznych w Polsce i krajach sąsiadujących z Polską

Państwo	Nazwa stacji	Współrzędne geograficzne		Wysokość m n.p.m.
		szerokość φ N	długość λ E	
Polska	Łeba	54°45'13''	17°32'05''	2
	Legionowo	52°24'28''	20°57'23''	96
	Wrocław	51°06'47''	16°52'52''	120
Niemcy	Lindenberg	52°13'00''	14°07'00''	112
Republika Czeska	Prostejov	49°27'00''	17°07'48''	216
Słowacja	Poprad-Ganovce	49°02'00''	20°19'00''	

Tabela 2-6 Wykaz stacji meteorologicznych w Polsce i krajach sąsiadujących z Polską

Państwo / Region	Nazwa stacji	Współrzędne geograficzne		Wysokość m n.p.m.
		szerokość φ N	długość λ E	
PL: Ds+Lb+Zp	Szczecin	53°23'43''	14°37'22''	1
	Wrocław	51°06'12''	16°54'00''	120
	Jelenia Góra	50°54'01''	15°47'20''	342
	Zielona Góra	51°55'49''	15°31'28''	192
PL: Sl+Op	Opole	50°37'37''	17°58'08''	163
	Katowice	50°14'25''	19°01'58''	278
PL: Mp+Pk	Kraków	50°04'49''	19°48'07''	237
	Nowy Sącz	49°37'38''	20°41'21''	292
	Rzeszów	50°06'41''	22°01'12''	211

Państwo / Region	Nazwa stacji	Współrzędne geograficzne		Wysokość m n.p.m.
		szerokość φ N	długość λ E	
PL: Lb+Pd	Lublin	51°13'00''	22°23'35''	238
	Białystok	53°06'30''	23°10'20''	148
PL: Wm	Olsztyn	53°46'16''	20°25'22''	133
DE	Berlin - Tegel	52°33'56''	13°18'39''	36
	Berlin - Tempelhof	52°28'07''	13°24'14''	48
	Lindenberg	52°12'35''	14°07'13''	98
	Leipzig - Holzhausen	51°18'59''	12°26'51''	138
	Cottbus	51°46'39''	14°19'07''	69
CZ	Usti nad Łabą	50°41'00''	14°02'28''	375
	Liberec	50°46'11''	15°01'26''	405
	Pardubice	50°00'58''	15°44'25''	226
	Łysa Hora	49°32'46''	18°26'51''	1322
	Ostrava - Mosnov	49°41'54''	18°07'09''	257
SK	Žylina	49°14'00''	18°37'00''	310
	Poprad - Tatry	49°04'00''	20°15'00''	694
	Koszyce	48°40'00''	21°13'00''	230

2.2. Wybór epizodów wysokich stężeń PM₁₀ na obszarze Polski i krajach ościennych oraz metoda ich opisu

Zgodnie z zapisami Opisu Przedmiotu Zamówienia (OPZ) za epizod wysokiego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ uznano sytuację, gdy na stacjach tła miejskiego lub/i regionalnego, których wyniki są dostępne w AirBase dla badanych regionów wystąpiło znaczące tj. o ponad 50 % przekroczenie jego dobowego poziomu dopuszczalnego 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [Dz. U. z 2012 r. poz. 1031], tzn. średnie dobowe stężenie pyłu PM₁₀ było większe od 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Zważywszy fakt, że sytuacje takie są powszechne w Polsce dla zaostrzenia kryteriów wyboru epizodów, a jednocześnie wyeliminowania sytuacji z epizodami lokalnymi i związanymi z oddziaływaniem przypadkowych pojedynczych źródeł zanieczyszczeń wyodrębniono sytuacje, gdy w poszczególnych regionach (zdefiniowanych w OPP), średnie dobowe stężenia zanieczyszczeń przekraczały 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na co najmniej 50 % stacji (epizody takie zdefiniowano jako regionalne). Spośród tak wybranych dni z sytuacjami smogowymi dokonano wyboru sytuacji zgodnych z założeniami OPZ. Kalendarz takich sytuacji przedstawiono w tabeli 2.7.

Tabela 2-7 Obszary i okresy występowania epizodów wysokich stężeń PM₁₀

Region / epizod	Okres
Region 1	województwa: dolnośląskie (Ds), i/lub lubuskie (Lu) i/lub zachodniopomorskie (Zp)
1	28.01.2011 – 3.02.2011
2	1.03.2011 – 5.03.2011

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

Region / epizod	Okres
3	13.03.2011 – 16.03.2011
4	11.11.2011 – 18.11.2011
5	10.02.2012 – 14.02.2012
6	16.03.2012 – 18.03.2012
Region 2	województwa: opolskie (Op) i/lub śląskie (Sl)
1	16.02.2011- 20.02.2011
2	2.11.2011 – 10.11.2011
3	24.01.2012 – 14.02.2012
Region 3	województwa: małopolskie (Mp) i/lub podkarpackie (Pk)
1	21.02.2011 – 28.02.2011
2	26.10.2011 – 2.11.2011
Region 4	województwa: lubelskie (Lb) i/lub podlaskie (Pd)
1	15.11.2011 – 26.11.2011
2	10.02.2012 – 18.02.2012
Region 5	województwa: warmińsko-mazurskie (Wm)
1	2.02.2012 -9.02.2012
Region 6	pogranicze polsko-niemieckie (PL-DE)
1	05.11.2011 – 09.11.2011
2	13.11.2011 – 15.11.2011
3	28.01.2012 – 29.01.2012
Region 7	pogranicze polsko-czeskie (PL-CZ)
1	12.11.2011 – 19.11.2011
2	27.01.2012 – 14.02.2012
3	04.03.2012 – 08.03.2012
4	20.03.2012 – 24.03.2012
Region 8	pogranicze polsko-słowackie (PL-SK)
1	27.10.2011 – 04.11.2011
2	11.11.2011 – 18.11.2011
3	30.11.2011 – 03.12.2011
4	26.01.2012 – 01.02.2012
5	06.02.2012 – 17.02.2012

3. Metodyka

Założenia Opisu Przedmiotu Pracy nie precyzowały kryteriów dalszej oceny epizodów wysokich stężeń PM₁₀, nakładając jedynie obowiązek badania warunków meteorologicznych ze szczególnym uwzględnieniem analizy trajektorii wstecznych mas powietrza.

W niniejszej pracy zastosowano następujące założenia metodyczne ich opisu:

1. dla każdego zdefiniowanego epizodu badano napływ mas powietrza stosując klasyfikację typów cyrkulacji wg J. Lityńskiego (Lityński, 1969, Pianko-Kluczyńska, 2007);
2. dokonano opisu sytuacji synoptycznej wykorzystując między innymi ilustrację kartograficzną (dla początku, środka i końca epizodu w przypadku sytuacji dłuższych niż 5 dni);
3. przeanalizowano stratyfikację termiczną przyziemnych warstw atmosfery, w szczególności zaś wysokości zalegania warstw inwersyjnych wykorzystując wyniki sondaży aerologicznych;
4. przedstawiono przebieg stężeń zanieczyszczeń na trzech stacjach o najwyższych stężeniach w regionie podczas zdefiniowanych wyżej epizodów pyłu PM₁₀ na tle warunków meteorologicznych z reprezentatywnych dla stacji imisyjnych PMS stacjach synoptycznych IMGW-PIB (lub ich zagranicznych odpowiedników), w szczególności uwzględniono temperaturę powietrza, prędkość i kierunek wiatru, wilgotność względną powietrza, ciśnienie atmosferyczne (Černíkovský i n. 2013; Ziemiański i Ośródka, 2012);
5. wyznaczono trajektorie wsteczne dla środka dnia z najwyższym stężeniem dla stacji imisyjnych;
6. oszacowano zasięg obszarowy epizodów wysokich stężeń PM₁₀;
7. dokonano próby oceny wpływu zanieczyszczeń transgranicznych na wystąpienie epizodów.

Dyrektywa CAFE wymaga identyfikacji źródeł emisji zanieczyszczeń do powietrza (SA – Source Apportionment) na wielu poziomach (MŚ, 2013). W ramach współdziałania sąsiadujących krajów niezbędna jest ocena transportu zanieczyszczeń na duże odległości (LRTAP, EMEP) i oddzielenie od wpływu źródeł lokalnych. Również programy (plany) ochrony powietrza określone w strefach wymagają identyfikacji źródeł emisji odpowiedzialnych za stan jakości powietrza na obszarach przekroczeń.

Najbardziej ogólnie metody identyfikacji źródeł można podzielić na:

- oparte na wykorzystaniu modeli receptorowych,
- oparte na informacjach o źródłach emisji i warunkach meteorologicznych, czyli na modelach dyspersji lub modelach fotochemicznych.

Obecnie na świecie, w tym w Europie, rozwijane są przede wszystkim techniki SA oparte o modele receptorowe wykorzystujące informację pomiarową, przede wszystkim z zakresu składu chemicznego pyłu. Ze względu na zbyt małą ilość stanowisk pomiarowych w Polsce obejmujących nie tylko pomiary masowe ale i chemizm pyłów (GIOŚ, 2011), zastosowanie modeli receptorowych jest na razie ograniczone.

3.1. Opis warunków meteorologicznych występowania epizodów wysokich stężeń PM₁₀

3.1.1. Warunki meteorologiczne w roku 2011 i 2012 na tle wielolecia w Polsce

Według danych IMGW-PIB [Biuletyn...2011] rok 2011 na obszarze Polski charakteryzował się wyższą od średniej wieloletniej (1971 - 2000) temperaturą powietrza (o około 0,9 °C). Według klasyfikacji termicznej H. Lorenc na większości stacji meteorologicznych był rokiem ciepłym i pory w roku 2011 można scharakteryzować następująco:

- zima (grudzień 2010 – luty 2011) – mroźna na południu i północnym wschodzie kraju oraz w Łebie i Poznaniu, lekko mroźna na pozostałym obszarze;
- wiosna (marzec – maj) – ciepła w południowej, północno-zachodniej i centralnej Polsce oraz w Olsztynie, bardzo ciepła we Wrocławiu i lekko ciepła na pozostałym obszarze kraju, z wyjątkiem Białegostoku, gdzie sezon wiosenny był normalny;
- lato (czerwiec – sierpień) – bardzo ciepłe we wschodniej części kraju, lekko ciepłe na północnym zachodzie i na południu Polski, ciepłe na pozostałym obszarze;
- jesień (wrzesień – listopad) – normalna na północnym wschodzie kraju oraz w Krakowie i Katowicach, lekko ciepła w centrum, na północnym zachodzie, południu i południowym wschodzie kraju oraz ciepła na pozostałym obszarze;
- grudzień 2011 - na zachodzie i południu Polski lekko mroźny, a na pozostałym obszarze chłodny.

Natomiast rok 2012 na obszarze Polski charakteryzował wyższą od średniej wieloletniej (1971 - 2000) temperaturą powietrza (o około 0,95 °C) [Biuletyn...2012]. Na większości stacjach meteorologicznych roczne wartości temperatury powietrza były powyżej średniej z wielolecia. W przeważającej części kraju według klasyfikacji termicznej H. Lorenc został zaklasyfikowany jako lekko ciepły i ciepły, z wyjątkiem obszarów północno-wschodnich i północno-zachodnich, gdzie był pod względem termicznym normalny. W roku 2012 r. maksymalna liczba dni bardzo mroźnych, to jest z temperaturą maksymalną niższą od -10°C wyniosła 9 dni i trwała od 29 stycznia do 6 lutego (Ślubice).

Zgodnie z klasyfikacją termiczną H. Lorenc poszczególne pory roku w 2012 roku można scharakteryzować następująco:

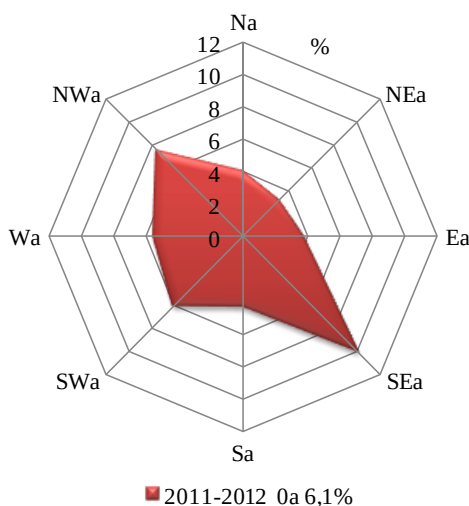
- zima (grudzień 2011 – luty 2012) – normalna na przeważającym obszarze kraju i lekko mroźna na południu Polski (okolice Bielska-Białej);
- wiosna (marzec – maj) – ciepła i bardzo ciepła na przeważającym obszarze kraju, anomalnie ciepła w Wielkopolsce (Poznań) oraz lekko ciepła na wschodzie (Białystok) i na środkowym Wybrzeżu (Łeba);
- lato (czerwiec – sierpień) – od bardzo ciepłego do ekstremalnie ciepłego na południu i południowym wschodzie Polski, na pozostałym obszarze ciepłe i bardzo ciepłe;
- jesień (wrzesień – listopad) – temperatura średnia powyżej wartości z wielolecia w całym kraju, najcieplej na południu i wschodzie kraju, gdzie sezon sklasyfikowano jako bardzo ciepły;
- grudzień 2012 roku – na zachodzie i południu Polski lekko mroźny, a na pozostałym obszarze chłodny.

Analiza warunków termicznych Polski w latach 2011 i 2012 choć wskazuje na lokalne zróżnicowanie w stosunku do warunków wieloletnich (różne wielkości odchyłeń dla

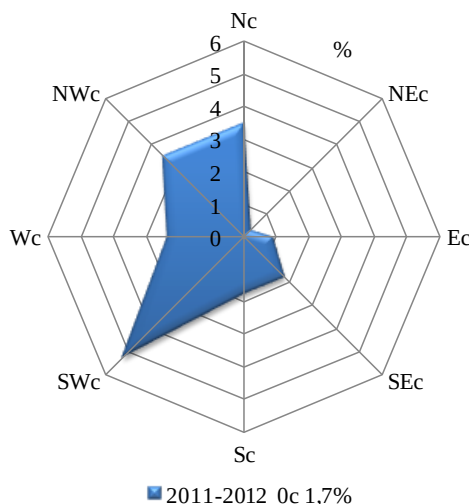
poszczególnych regionów i pór roku) doprowadza do wniosku, że wybór tego okresu do badania występowania epizodów był trafiony. Oba sezony zimowe tych lat nie należały do ekstremalnie ciepłych lub mroźnych co może upoważniać do ostrożnego uogólniania wyników na okresy wieloletnie.

Cyrkulacja atmosferyczna

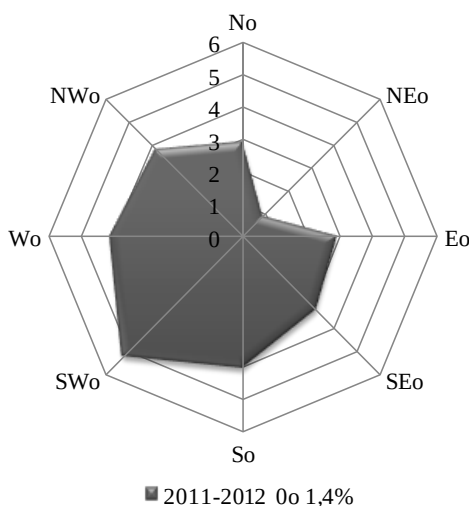
Cyrkulacja atmosfery jest to system wielkoskalowych prądów powietrznych nad powierzchnią kuli ziemskiej. Za wielkoskalowe prądy powietrzne przyjmuje się takie prądy, które pod względem swych rozmiarów są porównywalne z wielkimi obszarami lądów i oceanów. Klasyfikacja typów cyrkulacji w danym obszarze pozwala na określenie kierunku napływu mas powietrza oraz rodzaju układów barycznych w danych sytuacjach meteorologicznych. Typy cyrkulacji dopełniają informację o sytuacji synoptycznej, informując o warunkach cyrkulacyjnych nad danym obszarem i dotyczą tak zwanej dolnej sytuacji barycznej, czyli poziomu morza. Poza oceną sytuacji synoptycznej analizę epizodów wysokich stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ przedstawiono w odniesieniu do typów cyrkulacji atmosferycznej. Spośród wielu tego typu klasyfikacji dla potrzeb niniejszej pracy wykorzystano powszechnie stosowaną w IMGW-PIB klasyfikację typów cyrkulacji według Lityńskiego (Lityński, 1969, Pianko-Kluczyńska, 2007). Klasyfikacja Lityńskiego należy do grupy klasyfikacji automatycznych, nazywanych niekiedy obiektywnymi, które poza jasno określonymi wzorcami mają ściśle, ilościowe kryteria. Klasyfikacja Lityńskiego zawiera 27 typów w tym po 8 cyklonalnych, antycyklonalnych i zerowych dla danego napływu mas powietrza (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) oraz 3 typy bez zidentyfikowanego napływu mas powietrza to jest zerowy cyklonalny 0c (centrum niżu), zerowy siodłowy 0o oraz zerowy antycyklonalny 0a (centrum wyżu).



Rysunek 3-1 Róża typów cyrkulacji antycyklonalnych według Lityńskiego dla wszystkich dni, w których stężenie średnie dobowe PM₁₀ > 75 µg/m³ wystąpiło w latach 2011 – 2012 na jednej- lub kilku stacjach imisyjnych zlokalizowanych w 10 analizowanych województwach w Polsce



Rysunek 3-2 Róża typów cyrkulacji cyklonalnych według Lityńskiego dla wszystkich dni, w których stężenie średnie dobowe PM₁₀ > 75 µg/m³ wystąpiło w latach 2011 – 2012 na jednej- lub kilku stacjach imisyjnych zlokalizowanych w 10 analizowanych województwach w Polsce



Rysunek 3-3 Róża typów cyrkulacji zerowych według Lityńskiego dla wszystkich dni, w których stężenie średnie dobowe PM₁₀ > 75 µg/m³ wystąpiło w latach 2011 – 2012 na jednej- lub kilku stacjach imisyjnych zlokalizowanych w 10 analizowanych województwach w Polsce

Badanie częstości występowania wszystkich epizodów wysokich stężeń pyłu na obszarze Polski w sezonach chłodnych 2011-2012 wykazała, że w zasadzie zdarzenia takie występują we wszystkich sytuacjach synoptycznych, przy czym największa ich częstość obserwowana jest w sytuacjach antycyklonalnych przy napływie mas powietrza z SE. Epizody występujące w sytuacjach cyklonalnych i przy innych kierunkach napływu mas powietrza choć także dość liczne dotyczą jednak przypadków epizodów lokalnych na powstanie których mają wpływ miejscowe źródła zanieczyszczeń.

3.1.2. Trajektorie wsteczne

Jednym z zagadnień związanych z występowaniem sytuacji smogowych jest określenie oprócz źródeł emisji lokalnych, także potencjalnego udziału odległych źródeł

emisji w mierzonej imisji na stacjach monitoringu jakości powietrza. Model trajektorii umożliwia odtworzenie potencjalnego toru poruszania się cząstki powietrza na trasie emitator - receptor. W niniejszym opracowaniu ocenę napływu zanieczyszczeń powietrza wykonano przy pomocy ogólnodostępnego i powszechnie stosowanego modelu HYSPLIT_4 (*HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*) (Draxler, Rolph 2010; Rolph, 2010). Jest to model do wyznaczania zarówno pojedynczych trajektorii, jak również pozwala na przeprowadzenie złożonych dyspersyjnych i depozycyjnych symulacji używając przybliżenia obłoku lub cząstki. Obliczenia przeprowadzane są drogą internetową (<http://www.arl.noaa.gov/ready>). Trajektorie wstecz obrazują prawdopodobny n-godzinny tor ruchu powietrza, zanim znajdzie się ona w założonym miejscu np. nad stacją pomiaru imisji na danej wysokości nad tym punktem. Dla zidentyfikowanych 20 epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 wyznaczono trajektorie wstecz, aby przeanalizować potencjalny kierunek napływu zanieczyszczeń powietrza na dany punkt pomiarowy PM10). Obliczenia modelowe wykonano przy użyciu historycznych danych meteorologicznych GDAS (*Global Data Assimilation System*). Trajektorie wsteczne wypuszczano o godz. 12 UTC dla danego dnia z wysokości 30 m n.p.g. do 48 godz. wstecz. Przy obliczaniu trajektorii podstawą są pola parametrów meteorologicznych, które determinują ruch cząstki. Jeśli przez $X(t)$ oznaczmy wektor położenia cząstki w chwili t , zaś przez $X'(X,t)$ prędkość cząstki dla położenia X w chwili t , to równanie trajektorii można zapisać w sposób następujący:

$$\frac{dX}{dt} = X'(X(t))$$

Równanie to można rozwiązać analitycznie tylko dla prostych pól przepływu. W większości przypadków stosuje się rozwinięcie go w szereg Taylora. Położenie cząstki w chwili $(t+\Delta t)$ określa się na podstawie uśrednienia prędkości dla położenia początkowego w chwili t i końcowego chwili $(t+\Delta t)$, zaś prędkość i położenie końcowe określa się iteracyjnie. Należy podkreślić, że jakkolwiek przy wykorzystaniu modelu trajektorii wstecznych można z dużym prawdopodobieństwem określić kierunki napływu mas powietrza to jednak określanie na tej podstawie źródeł zanieczyszczeń w sytuacjach występowania epizodów smogowych obarczone jest dużym ryzykiem. W warunkach występowania takich sytuacji decydujące znaczenie w rozprzestrzenianiu zanieczyszczeń mają warunki fizyczne w warstwie granicznej atmosfery, gdzie najczęściej rozwinięta jest dolna warstwa inwersyjna lub występuje inwersja nakrywająca, która przez model napływu nie jest rozpoznawana. W takich warunkach meteorologicznych wskazany za pomocą trajektorii wstecznych napływ nie musi oddziaływać na dany receptor. Wobec tego stanu rzeczy rozważania na temat potencjalnego wpływu zanieczyszczeń z dalekiego transportu wyznaczonego tą metodą należy traktować bardzo ostrożnie. Tak więc, wyznaczanie obszarów źródłowych zanieczyszczeń powietrza za pomocą trajektorii jest obarczone jednak różnego typu błędami. Pewna grupa błędów wynika z układu równań opisujących stan atmosfery i ich rozwiązaniem. Modele numeryczne są wrażliwe na parametry początkowe, a ich jakość pogarsza się wraz z wydłużeniem horyzontu czasowego. Inna grupa błędów jest związana z stosowaną w modelach numerycznych dyskretyzacją zarówno czasową jak i przestrzenną. Tak więc, podstawowymi błędami które wskazują, że nie można jednoznacznie interpretować wyników obliczeń trajektorii (Stohl, 1998; Stohl i in., 2002; Sturman, 2002) to:

- błąd pola wiatru - w wielu przypadkach jest największym źródłem błędów, które mogą wynikać zarówno z prognozy jak i z analizy;
- błąd pozycji startowej lub docelowej trajektorii – trudno ustalić pozycję z powodu różnic między topografią modelu i topografią rzeczywistą;

- błąd obcięcia – wynika z sposobu rozwiązania równania trajektorii dla stałej akceleracji rozwinięcia szeregu Taylora i pominięciu składowych wyższego rzędu;
- błąd interpolacji – z powodu ograniczonej liczby danych wiatrowych, prędkość wiatru jest szacowana dla każdej lokalizacji trajektorii;
- błąd wynikający z parametryzacji pionowej składowej prędkości wiatru - ponieważ nie ma rutynowych obserwacji składowej pionowej pola wiatru, tak więc warunki dyspersji są parametryzowane na podstawie innych mierzonych parametrów.

W celu zminimalizowania ilości błędów trajektorie powinny być wyznaczane przy wykorzystaniu danych meteorologicznych z sieci pomiarów zarówno naziemnych jak i radiosondażowych. Jednak ze względu na małą rozdzielczość czasową i przestrzenną, szczególnie pomiarów warunków meteorologicznych w pionowym słupie atmosfery z konieczności stosuje się gridowe lub prognostyczne dane z modeli numerycznych. Stosowanie zatem metody trajektorii jako jedyne źródła informacji o obszarach napływu zanieczyszczeń, bez uwzględniania lokalnych warunków meteorologicznych w miejscach przebiegu trajektorii, a w szczególności w punktach startowych może prowadzić do błędnych wniosków.

3.2. Zastosowanie modeli matematycznych do analizy epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀

Obszar badań, ze względu na potrzebę objęcia obszaru Polski oraz krajów ościennych (Niemcy, Republika Czeska, Słowacja) w pasie do 100 km jest bardzo rozległy – 885 km x 840 km. Dlatego do obliczeń przestrzennych rozkładów stężeń pyłu PM₁₀ wykorzystano model CAMx (CAMx, 2006). CAMx (the Comprehensive Air quality Model with extensions) jest nowoczesnym eulerowskim, fotochemicznym modelem dyspersji przeznaczonym do kompleksowej („one-atmosphere”) oceny jakości powietrza w zakresie zanieczyszczeń gazowych i pyłu (ozon, PM₁₀, PM_{2.5}, zanieczyszczenia gazowe, gazy trujące, rtęć) opracowanym przez ENVIRON International Corporation (USA).

CAMx symuluje emisję, dyspersję, reakcje chemiczne i usuwanie zanieczyszczeń w troposferze.

Model CAMx należy do tzw. trzeciej generacji modeli jakości powietrza, nazywanych też systemami modelowania. Uznawany jest obecnie (wraz z modelem CMAQ) za najlepszy operacyjnie działający model jakości powietrza. Jest to model trójwymiarowy, wieloskalowy, stosowany do określenia jakości powietrza zarówno dla obszarów podmiejskich jak i kontynentalnych. Model prowadzi obliczenia w odwzorowaniu geograficznym, UTM lub Lambert Conic Conformal. Twórcy modelu CAMx zapewnili przyjmowanie danych meteorologicznych z wielu modeli meteorologicznych, takich jak MM5, WRF, RAMS. Ponadto istnieje możliwość doprowadzenia danych z regionalnych modeli klimatycznych, np. z modelu RegCM. Informacja emisyjna podawana jest w formie katastru (gridu), gdzie dla każdego pola siatki określana jest sumaryczna wielkość emisji. Dodatkowo model uwzględnia wysokie źródła punktowe, dla których oprócz emisji podane muszą być parametry techniczne źródła (wysokość i średnica komina oraz prędkość i temperatura gazów na wylocie). Zarówno informacja meteorologiczna jak i emisyjna musi być przygotowana w postaci szeregów czasowych, najlepiej z krokiem czasowym 1 h.

Model uwzględnia depozycję suchą i mokrą oraz przemiany chemiczne. Najnowsza wersja modelu (6.0) posiada zaimplementowane schematy chemiczne, CB5 (156 reakcji chemicznych), CB6 (218 reakcji chemicznych) oraz SAPRC99 (211 reakcji chemicznych), a także specjalny mechanizm chemii rtęci (rtęć gazowa Hg⁰ i Hg² oraz cząsteczkowa HgP).

Szczególnie rozbudowana jest analiza zanieczyszczeń pyłowych i ozonowych. CAMx wyposażony jest w rozbudowany moduł kompleksowej („one-atmosphere”) analizy pyłów i ozonu OSAT/PSAT – Ozone and Particulate Source Apportionment Technology. Uwzględniane są zarówno aerozole nieorganiczne (schemat ISORROPIA) jak i organiczne (SOA) będące wynikiem przemian prekursorów ozonu: NO_x, SO₂, NMLZO, NH₃. Istotną rolę w jakości obliczeń odgrywają dane meteorologiczne. CAMx, dzięki działaniu na trójwymiarowych, zagnieżdżonych siatkach geograficznych, jest przystosowany do użycia ogólnodostępnych, ogólnosiwiatowych danych przetworzonych przez mezoskalowy model meteorologiczny WRF (WRF, 2008). Firma Environ przygotowała preprocesor WRFCAMX, który dokonuje konwersji danych z formatu modelu WRF na format gotowy do zastosowania w modelu CAMx.

Warunki początkowe i brzegowe

Dla prawidłowego działania modelu CAMx należy dostarczyć do niego informacje o warunkach początkowych i brzegowych. Dane te pochodzą z globalnego modelu MOZART-4 (Model for Ozone and Related chemical Tracers, version 4) (<http://www.acd.ucar.edu/wrf-chem/mozart/shtml>) i dostarczane są w postaci trójwymiarowej.

Warunki początkowe – są to informacje o stężeniach zanieczyszczeń w momencie startu modelu. Dostarczane są one dla całej siatki na wszystkich poziomach.

Warunki brzegowe – są to informacje o stężeniach na brzegach siatki, zapewniające modelowi dane odnośnie ilości zanieczyszczeń napływających spoza obszaru modelowania. Dostarczane są one na wszystkich poziomach obliczeniowych dla całego przebiegu modelu jako cogodzinne wartości stężeń w poszczególnych polach.

Założono krok siatki 7,5 km. Oznacza to, że analizy przeprowadzono w siatce o rozmiarach 118 x 112 pól podstawowych.

W rozdziale 4 pokazano rozkłady stężeń pyłu (**wartości średnie dobowe**) w trakcie kolejnych epizodów w następującym układzie:

- A. Stężenia całkowite pochodzące od wszystkich źródeł znajdujących się na obszarze badań (Polska plus pas 100 km od granicy z Polską w Niemczech, Republice Czeskiej i Słowacji).
- B. Napływ transgraniczny na obszar Polski – emisja wyłącznie spoza Polski.
- C. Napływ transgraniczny z Polski na obszar Niemiec, Republiki Czeskiej i Słowacji – emisja wyłącznie z terenu Polski.

Ocenę jakości modelowania dla poszczególnych epizodów przedstawiono w rozdziale 4. Na dołączonych rysunkach przedstawiono rozproszenie wyników modelowania względem pomiarów. Dla łatwiejszego odczytania i interpretacji wykresów zaznaczono (linia czerwona) przypadek idealny, gdy wyniki modelowania są identyczne jak wyniki pomiarów. Dwie pozostałe linie wyznaczają zakres wyników uznawany za prawidłowy tj. dwukrotnie większe i o połowę mniejsze wyniki modelowania względem pomiarów. Na wykresie umieszczono także wartości podstawowych miar błędów pozwalających oszacować jakość modelowania. Poniżej podano wyjaśnienie przedstawionych na rysunkach statystyk zastosowanych do oceny jakości modelowania (Juda-Rezler, 2010, FAIRMODE, 2010):

1. NMB (Normalized Mean Bias - znormalizowane odchylenie średnie) jest jedną z miar odchylenia, dla dobrego modelu NMB wynosi poniżej 10%.

2. NMSE (Normalised Mean Square Error - znormalizowany błąd średniokwadratowy) określa rozbieżność pomiędzy pomiarami a wynikami modelowania. Im mniejsza wartość tym mniejszy jest "rozrzut" modelu. Dla dobrego modelu wartość NMSE powinna być mniejsza niż 0,4.
3. RMSE (Root Mean Squared Error - błąd średni standardowy) - pierwiastek z sumy kwadratów błędów modelowania. Im mniejszy jest pierwiastek błędu średniokwadratowego tym lepiej. Można wyróżnić dwie składowe RMSE:
 - RMSEs (część systematyczna)
 - RMSEu (część niesystematyczna)Błąd systematyczny powinien być jak najmniejszy.
4. EXV (Explained Variance-wariancja wyjaśniona) jest miarą, która określa jak bardzo wariancja pomiarów jest wyjaśniona przez model, czyli im większa tym lepiej. Dla dobrego modelu wartość EXV powinna być większa od 0,3.
5. IA (Index of agreement-indeks zgodności) jest miarą alternatywną do współczynnika korelacji, i bardziej odporną na wartości odstające (im bliżej 1 tym bardziej perfekcyjny model).
6. FB (Fractional Bias) jest to znormalizowany średni błąd. Przyjmuje wartości od +2 do -2 a dla idealnego modelu przyjmuje wartość bliską zeru.
7. Współczynnik korelacji r określa w jakim stopniu zmienne są współzależne. Wartość współczynnika mieści się w przedziale $[-1,1]$. Siła związków korelacyjnych jest następująca:
 - < 0.2 - korelacja słaba (praktycznie brak związku),
 - 0.2 – 0.4 - korelacja niska (zależność wyraźna),
 - 0.4 – 0.6 - korelacja umiarkowana (zależność istotna),
 - 0.6 – 0.8 - korelacja wysoka (zależność znaczna),
 - 0.8 – 0.9 - korelacja bardzo wysoka (zależność bardzo duża),
 - 0.9 – 1.0 - korelacja praktycznie pełna.

4. Analiza synoptyczna i meteorologiczna występowania epizodów wysokich stężeń PM10 ze szczególnym uwzględnieniem trajektorii wstecznych

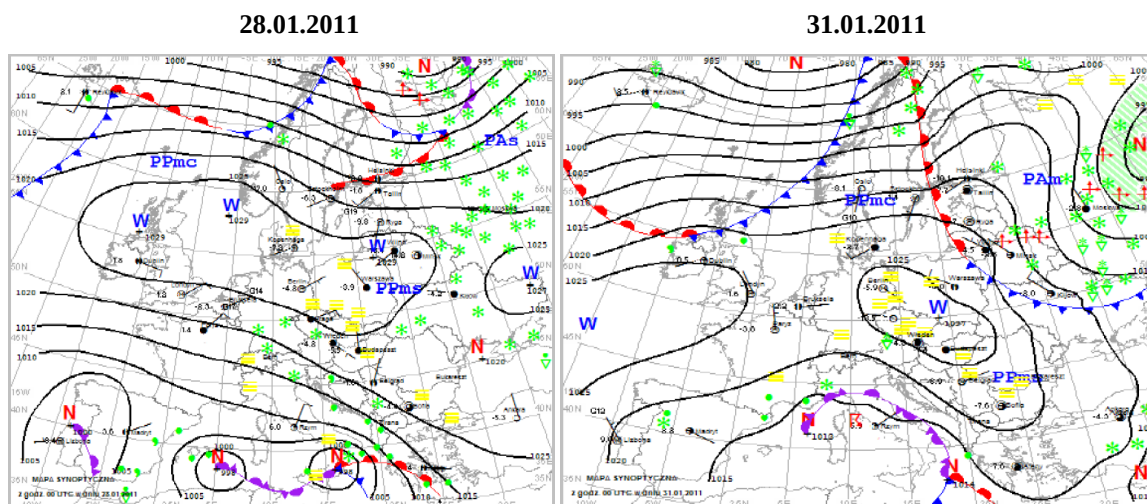
Poniżej opisano epizody wysokich stężeń PM10, które wystąpiły w latach 2011 – 2012 w wybranych regionach w Polsce i krajach ościennych (tabela 2-7).

4.1. Region 1 - województwo dolnośląskie, lubuskie, zachodniopomorskie

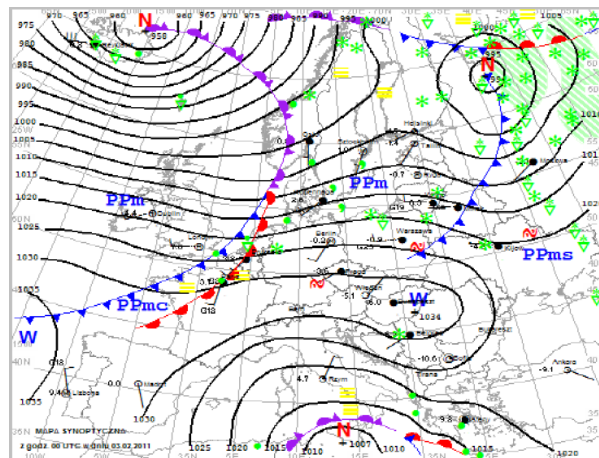
4.1.1. Epizod 1 od 28 stycznia do 3 lutego 2011

4.1.1.1. Sytuacja synoptyczna

W pierwszych czterech dniach epizodu (28 - 31.01.2011) obszar całej Polski znajdował się pod wpływem wyżu, którego centrum przemieściło się z czasem znad Atlantyku i Wielkiej Brytanii przez Niemcy nad Polskę i Ukrainę. W dniach 1-3.02.2011 nad Polską przebiegała granica dwóch rozległych układów barycznych: południowa część kraju pozostawała w zasięgu klina wyżu znad Atlantyku, natomiast północna część znalazła się pod wpływem niżu znad Morza Norweskiego z wędrującymi ośrodkami nad północną Skandynawię i północną Rosję - nad Polską zaznaczały się wówczas przemieszczające się z zachodu na wschód płytkie zatoki niżowe z mało aktywnymi frontami chłodnymi. Przez cały okres epizodu nad Polskę napływała z kierunków zachodnich masa powietrza polarnomorskiego (PPms), umiarkowanie wilgotna i chłodna.

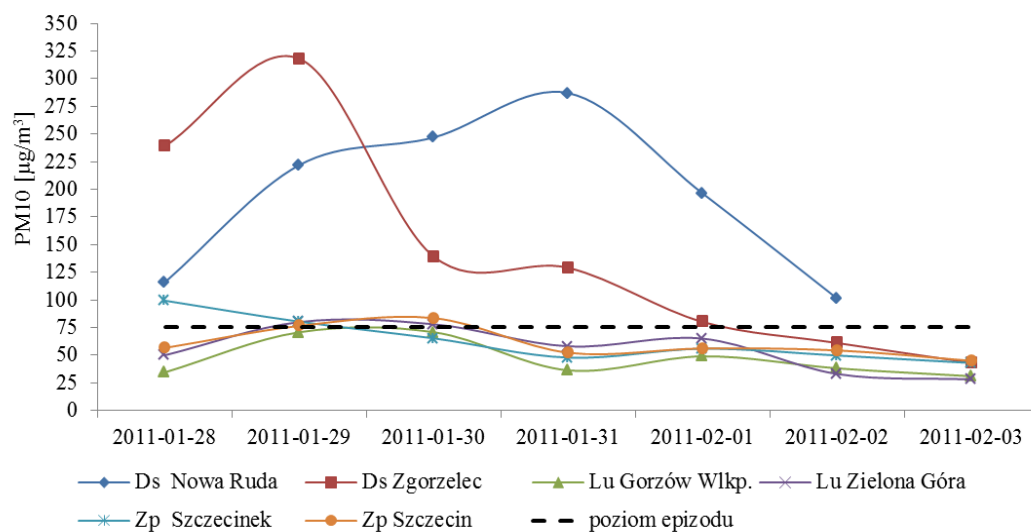


3.02.2011



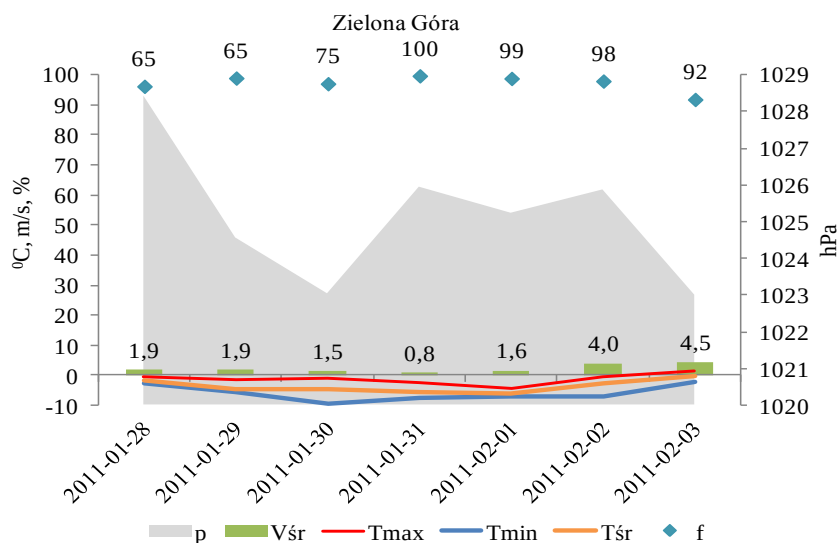
Rysunek 4-1 Mapa synoptyczna z dnia 28, 31 stycznia i 3 lutego 2011 roku, godzina 0 UTC

4.1.1.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne

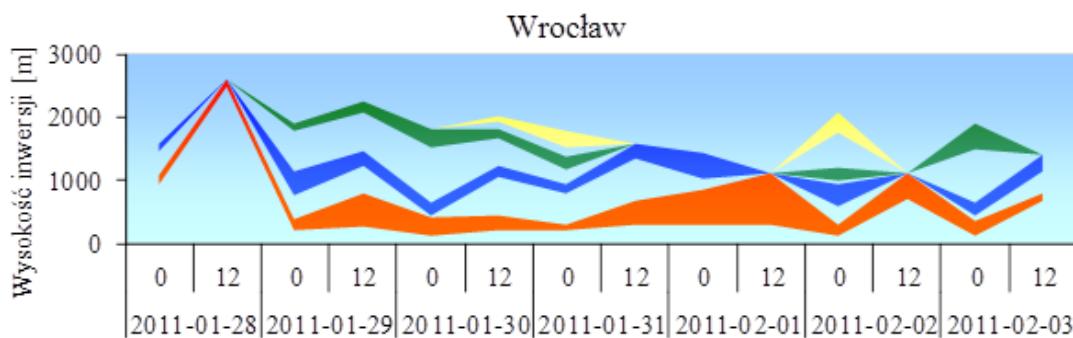


Rysunek 4-2 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

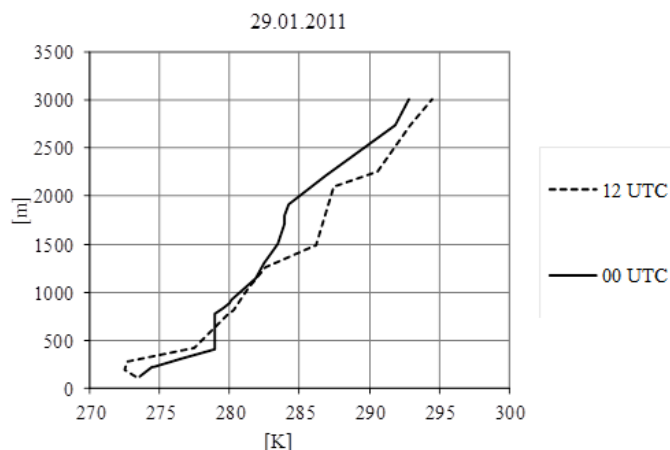


Rysunek 4-3 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-4 Rys. 7 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

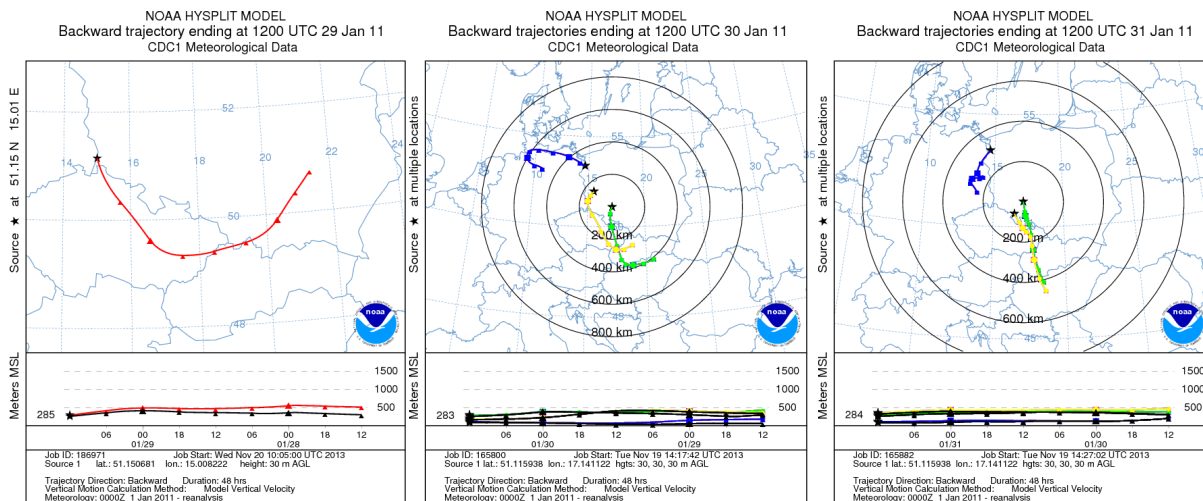
Pierwszy poziom inwersji wzniesionej wyznaczony podczas trwania epizodu z sondażu aerologicznego we Wrocławiu zalega od wysokości około 100 m do 500 m nie wykazując typowych dla doby wahań. Stosunkowo niska temperatura powietrza, bardzo słaby wiatr przyziemny sugerują szczególnie 31.01 2011 występowanie całodobowej inwersji przyziemnej.



Rysunek 4-5 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.1.1.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten był epizodem lokalnym, obejmującym swoim zasięgiem głównie zachodnią część Polski. Maksymalne stężenia odnotowano dla większości stacji z województwa dolnośląskiego dnia 31.01.2011. Szczyt epizodu dla województw lubuskiego i zachodniopomorskiego wystąpił dzień wcześniej – 30.01.2011. Maksymalne stężenia na stacji w Zgorzelcu zanotowano 29.01.2011.



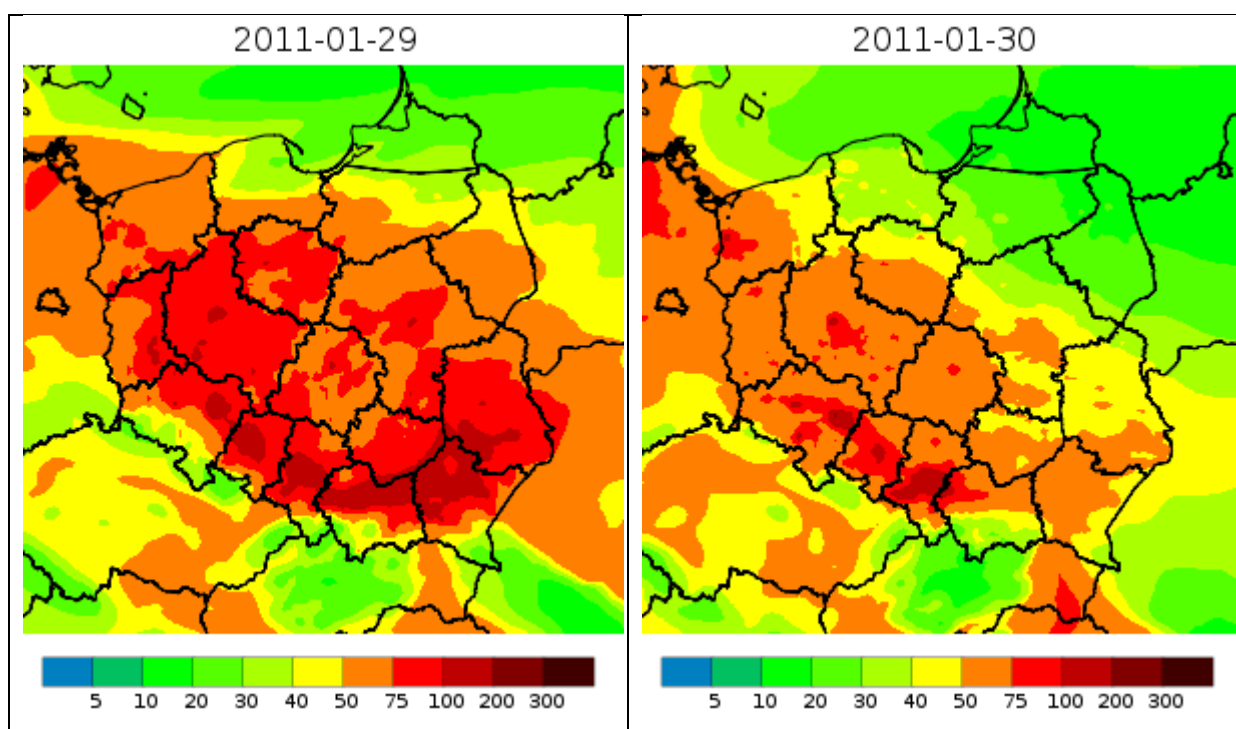
Rysunek 4-6 Trajektorie wsteczne dla wybranych stacji

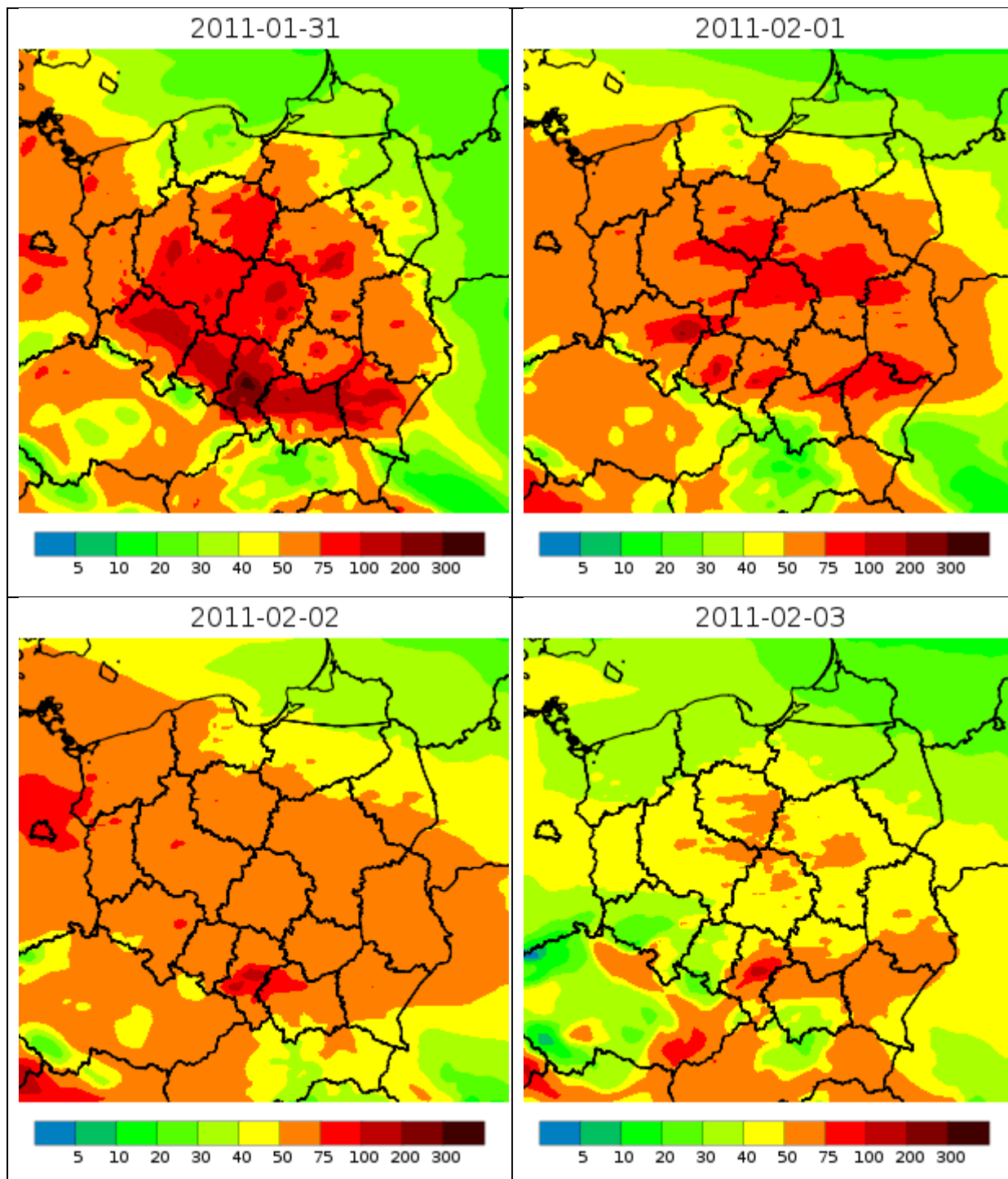
Trajektorie wsteczne wykreślono dla wybranych stacji, dla których w danym dniu wystąpiło maksymalne stężenie w czasie epizodu. Dnia 29.01.2011 trajektorie wsteczne wyznaczono dla stacji zlokalizowanej w Zgorzelcu ($318 \mu\text{g}/\text{m}^3$), dnia 30.01.2011 dla stacji zlokalizowanych we Wrocławiu ($154 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Zielonej Górze ($78 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Szczecinie ($84 \mu\text{g}/\text{m}^3$), zaś 31.01.2011 dla stacji zlokalizowanych we Wrocławiu ($152 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Nowej Rudzie ($287 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Szczecinie (w tym dniu nie wystąpiły podwyższone stężenia). Trajektorie wsteczne w czasie tego epizodu przebiegały na bardzo niskiej wysokości, w obrębie warstwy mieszania. Maksymalna wysokość tej warstwy wzdłuż analizowanych

trajektorii wynosiła przeważnie poniżej 100 m i nieco powyżej 100 m dla trajektorii wyznaczonych dla Szczecina. Trajektoria wyznaczona dla Zielonej Góry sięga powierzchni ziemi po 15 godzinach. W czasie analizowanego epizodu jakość powietrza w województwie dolnośląskim wydaje się być zdeterminowana przez lokalne niskie źródła emisji (niewielka wysokość warstwy mieszanania) i dalekosiężny transport z rejonu Czech i Słowacji (trajektorie przemieszczające się przez cały czas w obrębie warstwy mieszanania). W województwie zachodniopomorskim podwyższenie stężeń w dniu 30.01.2011 wydaje się być związane z napływem stężeń z krajów Beneluksu.

4.1.1.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Stężenia całkowite



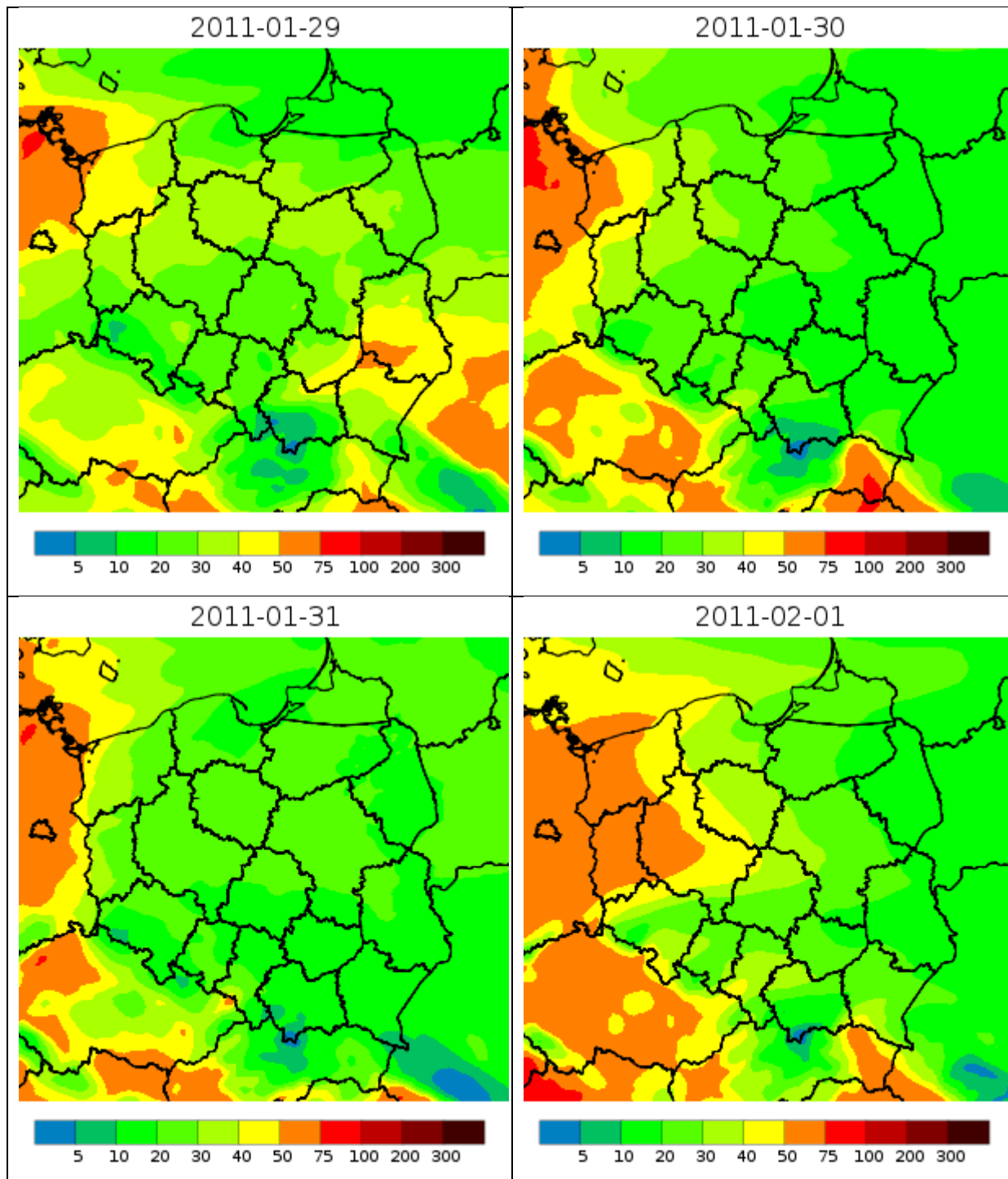


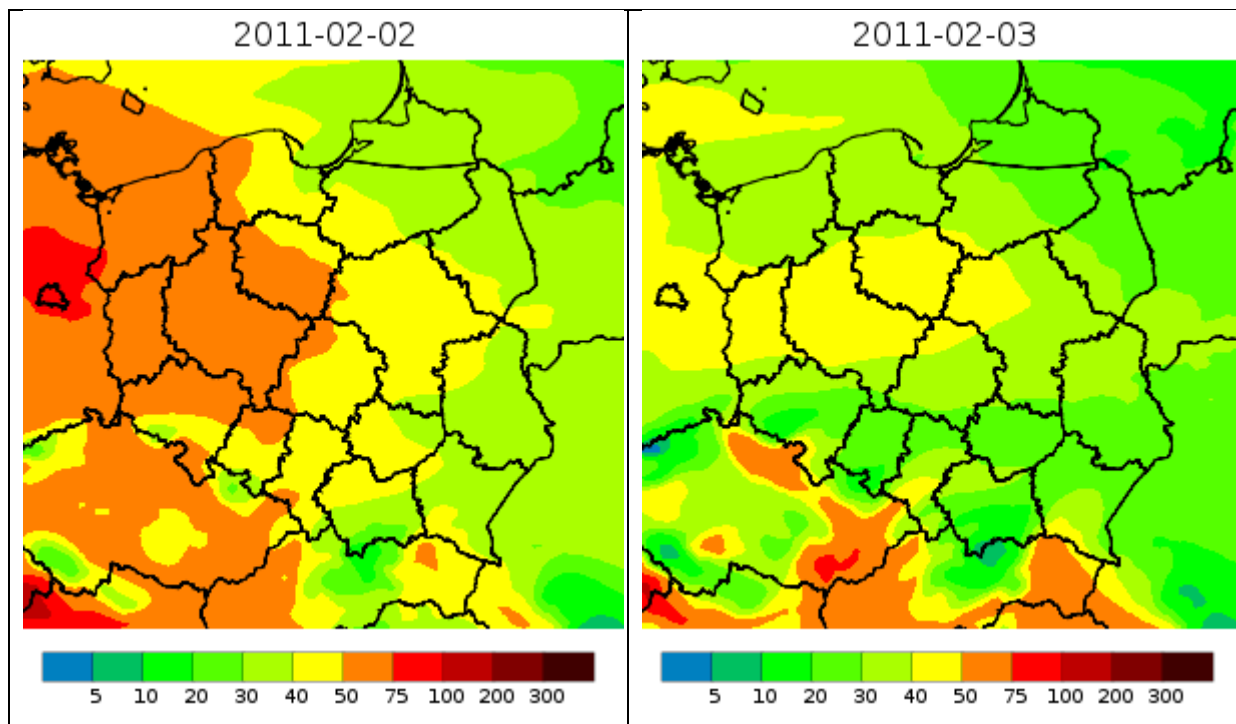
Rysunek 4-7 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 28.01-3.02.2011 r.

Modelowanie stężeń pyłu zawieszonego PM10 wykonane dla epizodu od 29.01-3.02.2011 r. wskazuje, iż zasięgi stężeń przekraczające $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w trakcie jego trwania ulegały znacznym zmianom. Największy zasięg izolinii $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kolor czerwony) zanotowano 29 oraz 31 stycznia. W obu przypadkach obejmował on praktycznie całą południową Polskę (województwa dolnośląskie, opolskie, śląskie, małopolskie oraz podkarpackie) oraz w mniejszym stopniu województwo wielkopolskie, łódzkie, mazowieckie i kujawsko-pomorskie. Ponadto 29 stycznia wysokie stężenia zaznaczały się na terenie

województwa lubelskiego oraz lubuskiego. Lokalnie, wysokie stężenia występowały również na terenie województwa zachodniopomorskiego, szczególnie w okolicy Szczecina. Maksymalny obszar objęty stężeniem 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na terenie Polski dochodził do około 138 tys. km^2 . Najwyższe stężenia, przekraczające nawet poziom alarmowy, w ciągu trwania epizodu występowały na terenie województw dolnośląskiego oraz śląskiego. Przebieg oraz rozkład stężeń wskazuje wyraźnie, iż epizod związany jest w głównej mierze emisją lokalną.

B. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski

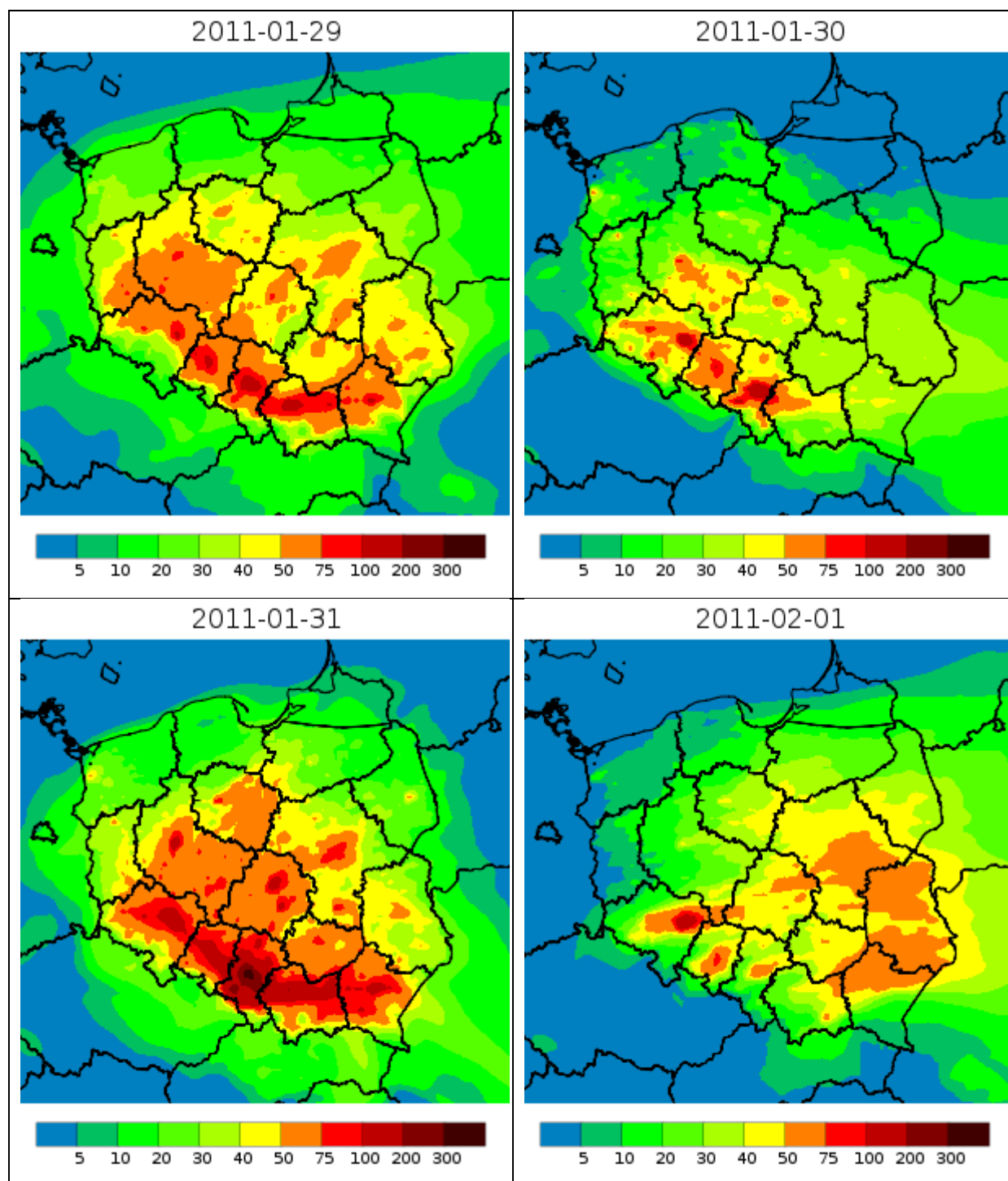


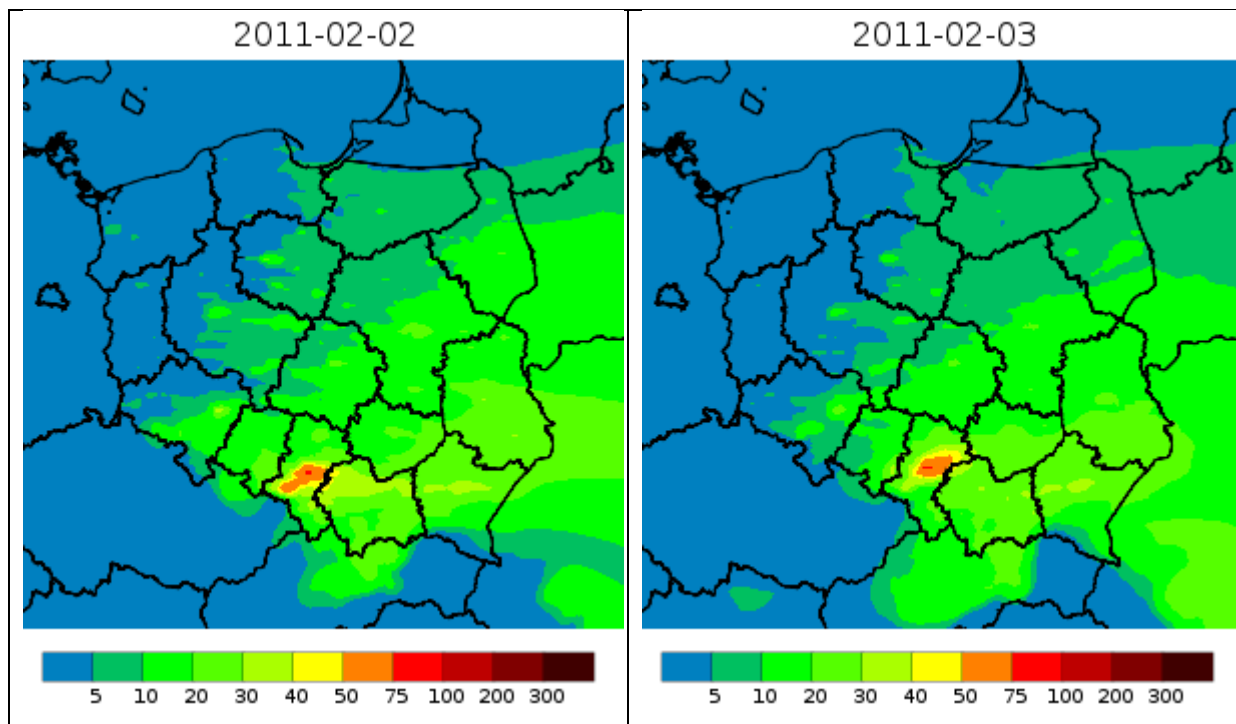


Rysunek 4-8 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 28.01-3.02.2011 r.

Pomimo, iż wysokie stężenia w trakcie trwania epizodu od 28.01-3.02.2011 r. w głównej mierze wywołane są emisją lokalną, istotny okazuje się być również transgraniczny napływ zanieczyszczeń, szczególnie z kierunku zachodniego. Największy udział w stężeniach pyłu zawieszonego PM10 na terenie Polski, emisja pochodząca z emitorów zlokalizowanych poza terenem Polski miała 2 lutego, kiedy stężenia całkowite właśnie się obniżały. Podkreśla to lokalny charakter epizodu. Napływ transgraniczny pyłu zawieszonego PM10 w dniach 28.01-3.02.2011 na terenie Polski nie spadał poniżej $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

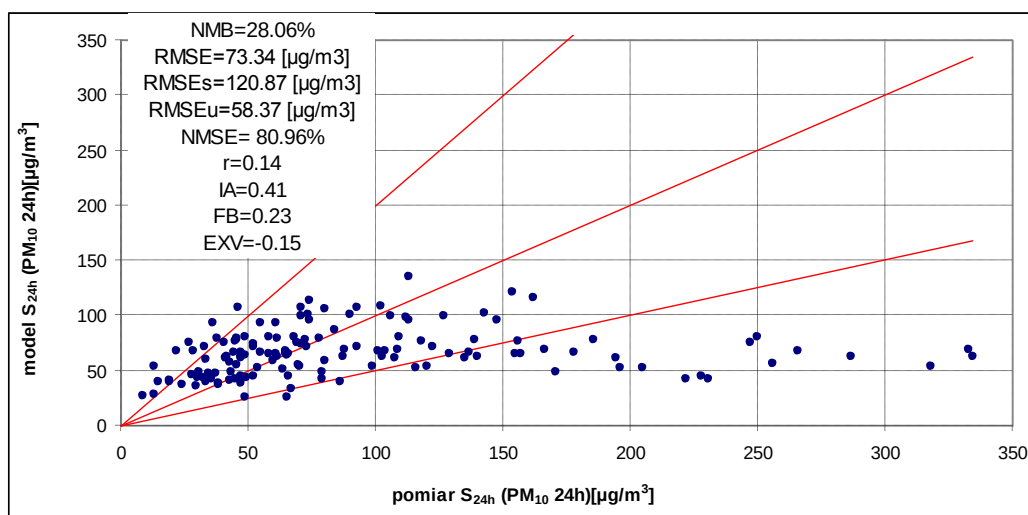
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





Rysunek 4-9 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 28.01-3.02.2011 r.

Najwyższe stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące od emisji z terenu Polski zaznaczały się w okresie od 29-31 stycznia. Równocześnie w tym okresie wyraźnie zaznacza się niemalże brak przemieszczania mas zanieczyszczeń. 1 lutego nastąpił zdecydowany odpływ zanieczyszczeń w kierunku wschodnim i wówczas miało miejsce istotne obniżenie stężeń na terenie kraju.

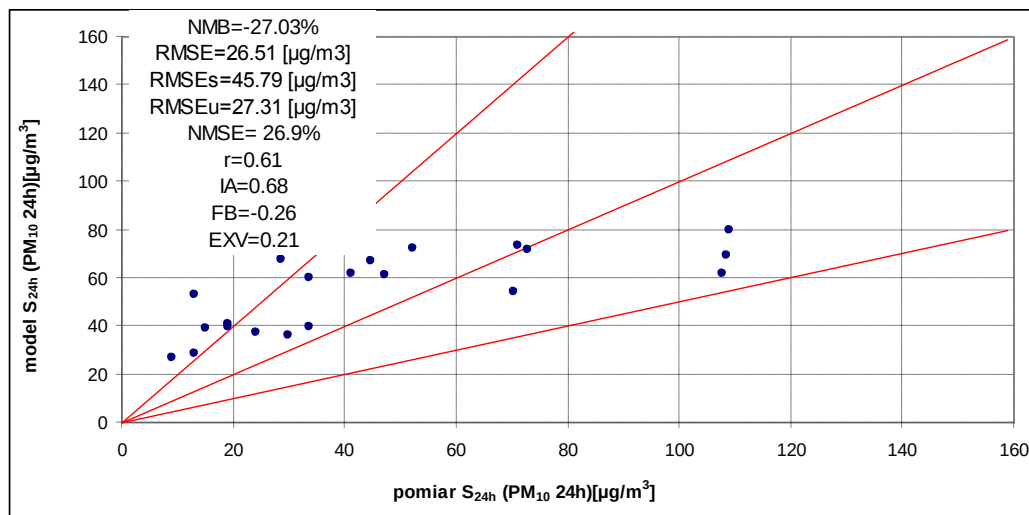


Rysunek 4-10 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 28.01.2011 - 3.02.2011r.

Wykres zależności modelowania względem pomiarów dla stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ poniżej $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wskazuje dobrą zgodność, niestety dla wyższych stężeń model nie nadążał za pomiarami. Po głębszej analizie zgromadzonych danych okazuje się, że

największe niedoszacowanie modelu w tym terminie wystąpiło dla stacji miejskiej Jelenia Góra – Cieplice. Lokalne warunki, w których położona jest wymieniona stacja pomiarowa mogły spowodować tak wysokie stężenia, których model nie był w stanie zasymulować.

Współczynnik korelacji wskazuje na brak zależności, ale już indeks zgodności, który jest mniej wrażliwy na odstające wartości jest wyższy i wskazuje na umiarkowaną korelację. Średni błąd kwadratowy jest na poziomie 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Wariancja wyjaśniona wynosi 0,15, zaś znormalizowany błąd średni jest bliski zeru.



Rysunek 4-11 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach dolnośląskim, i zachodniopomorskim w terminie 28.01.2011 - 3.02.2011r.

Jeżeli w dalszej analizie statystycznej uwzględnione zostaną jedynie stacje o charakterze pozamiejskim, wówczas pozostanie jedynie 5 stacji: z województwa dolnośląskiego – Osieczów i Czerniawa, a z województwa zachodniopomorskiego – Widuchowa, Marwice i Stoki. Usunięte zostały stacje o charakterze miejskim, które wyróżniały się dużymi wartościami stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀. Tym samym dla pozostawionych stacji otrzymano znacznie lepsze dopasowanie wyników modelowania względem pomiarów. Jedynie dla pomiarów pyłu zawieszonego PM₁₀ ze stacji Czerniawa, modelowanie dwukrotnie przeszacowało zmierzone stężenia.

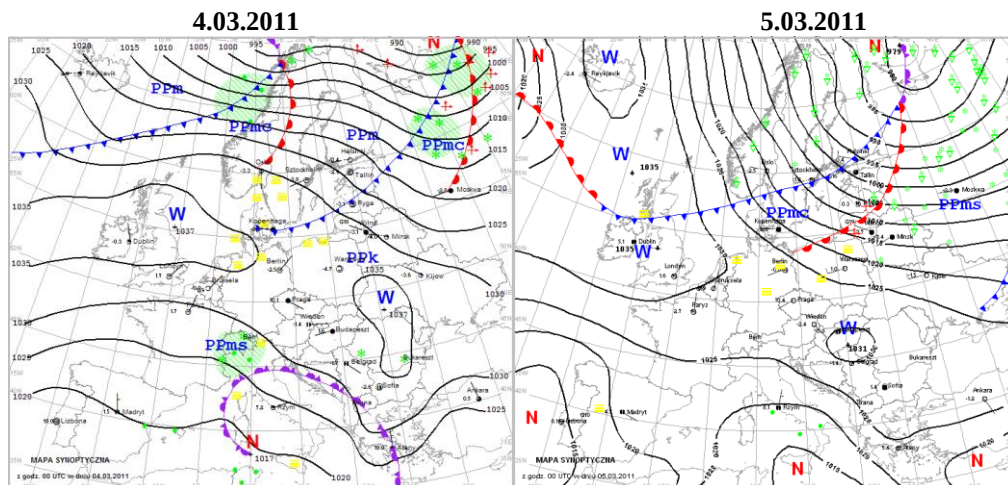
Rezultaty modelowania różniły się od wyników pomiarów w stacjach pozamiejskich średnio o 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Rozbieżność pomiędzy pomiarami a modelowaniem jest na poziomie 27%, co mieści się w przedziale oznaczającym dobry model. Znacznej poprawie w stosunku do analizy jakości modelowania przeprowadzonej dla wszystkich stacji uległy współczynnik korelacji i indeks zgodności, wskazując obecnie korelację umiarkowaną. Wariancja wyjaśniona EXV wynosi 0.21, ale dla dobrego modelu powinna być większa niż 0.3.

Jeżeli za prawidłowe uznane zostaną wyniki znajdujące w przedziale, którego początek znajduje się w punkcie dwukrotnie mniejszym niż wynik pomiaru, a koniec odpowiada dwukrotnie zwiększonej wartości pomiaru, to otrzymamy zgodność modelowania na poziomie 67%. Pozostałe 33% to przeszacowane rezultaty modelowania, które odpowiadają stacji Czerniawa.

4.1.2. Epizod 2 od 1 do 5 marca 2011 r.

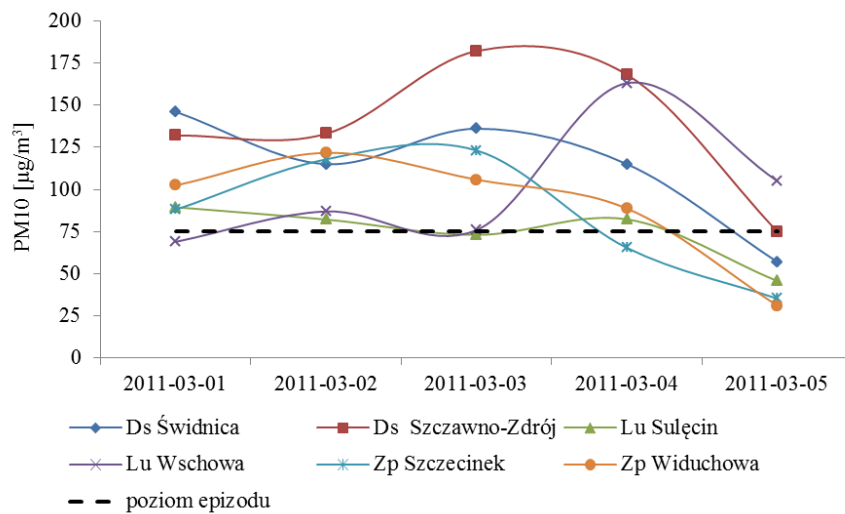
4.1.2.1. Sytuacja synoptyczna

W dniach 1-4.03.2011 obszar Polski znajdował się w zasięgu rozległego wyżu z centrami nad Rosją, Europą Środkową i Wielką Brytanią. Napływała wówczas ze wschodu sucha i mroźna masa powietrza polarno-kontynentalnego (PPk). Dnia 5.03.2011 nad Polską przemieściła się zatoka niżowa z układem frontów atmosferycznych związana z niżem nad Morza Białego. Z północnego-zachodu zaczęło docierać nad obszar kraju chłodne powietrze polarno-morskie (PPms).

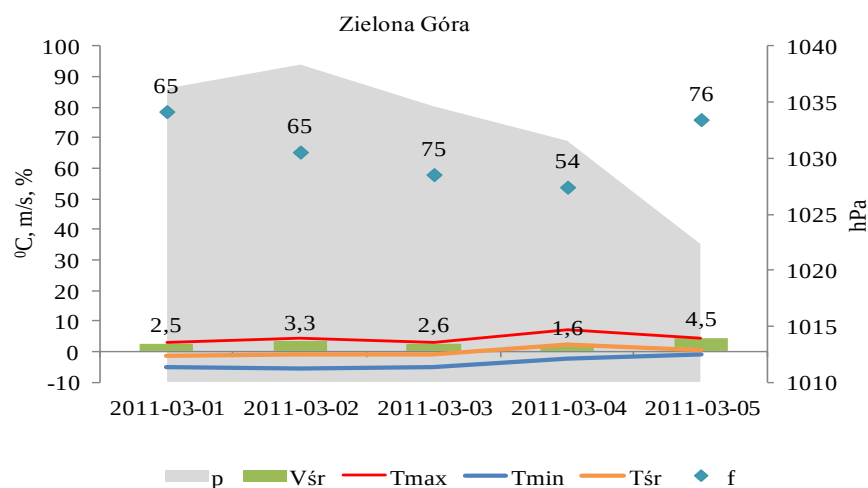


Rysunek 4-12 Mapa synoptyczna z dnia 4 i 5 marca 2011 roku, godzina 0 UTC

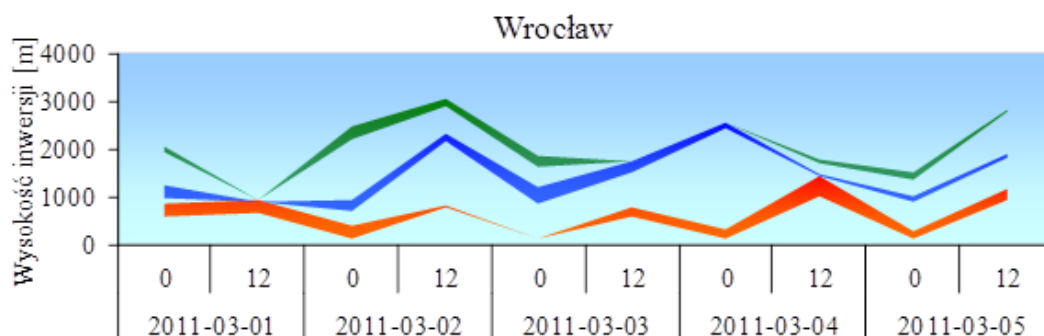
4.1.2.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne



Rysunek 4-13 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10

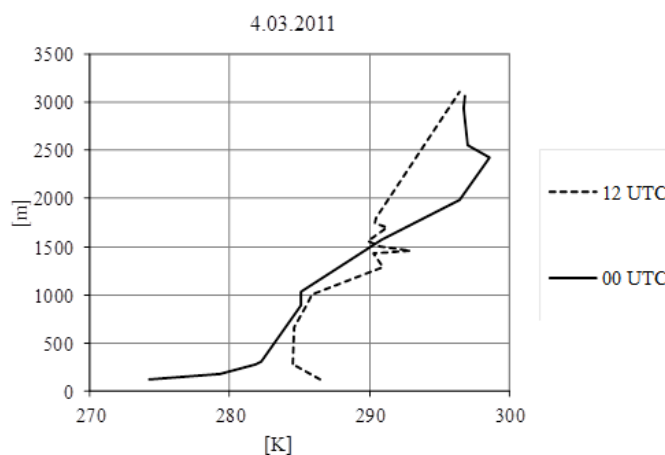


Rysunek 4-14 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-15 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

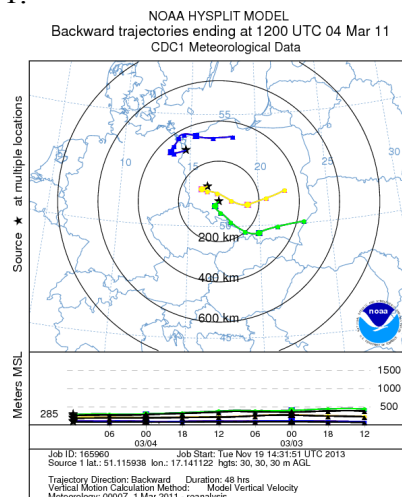
Podczas trwania epizodu obserwuje się typowy dobowy przebieg zalegania wzniesionych warstw inwersyjnych (radiosondaż z Wrocławia) z maksimum w godzinach okołopołudniowych i minimum nocą. Najniższa z identyfikowanych wzniesionych warstw inwersyjnych w dniu występowania maksimum stężeń jest wyniesiona do wysokości około 1000 m n.p.m. co przy braku informacji o inwersji przyziemnej może sugerować wpływ synergiczny emisji lokalnych z pochodzącymi z dalekiego transportu.



Rysunek 4-16 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.1.2.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten był epizodem, w którym znaczne podwyższenie stężeń PM₁₀ objęło niemal wszystkie analizowane obszary Polski (nie spełnia kryteriów epizodu tylko dla obszaru województw lubelskiego i podlaskiego). Maksymalne stężenia odnotowano dla większości stacji dnia 4.03.2011.



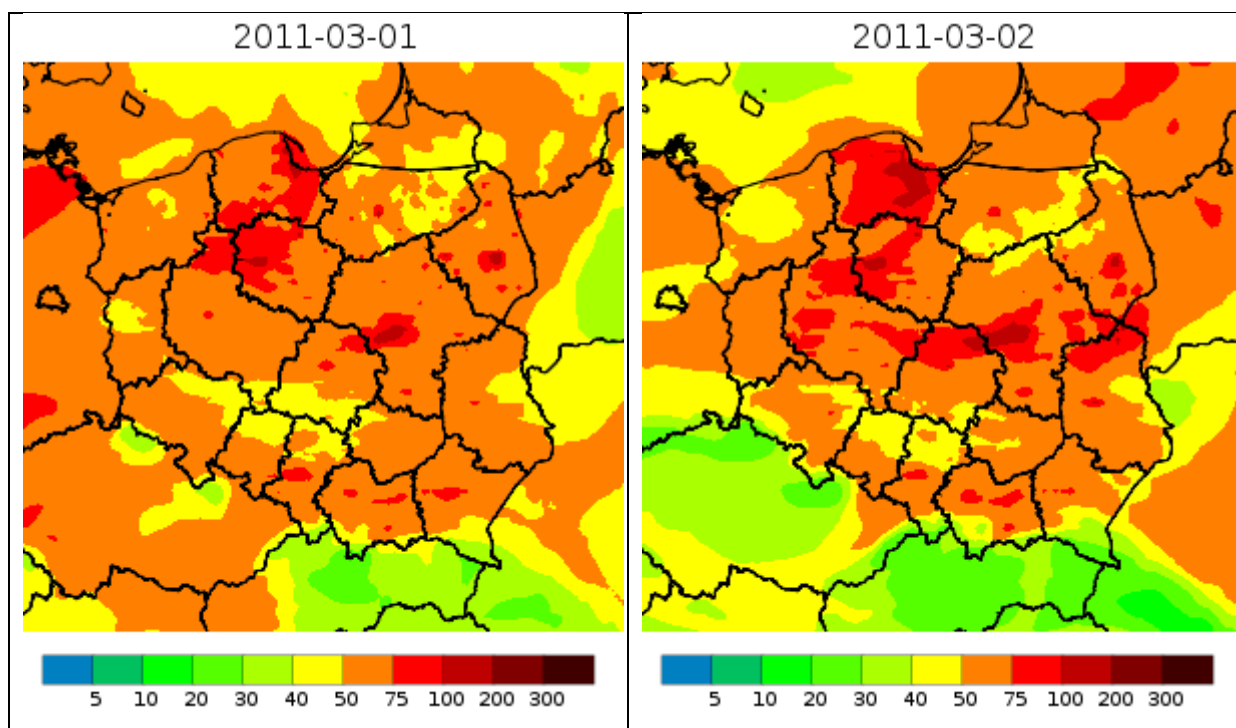
Rysunek 4-17 Trajektorie wsteczne dla epizodu 04.03.2011

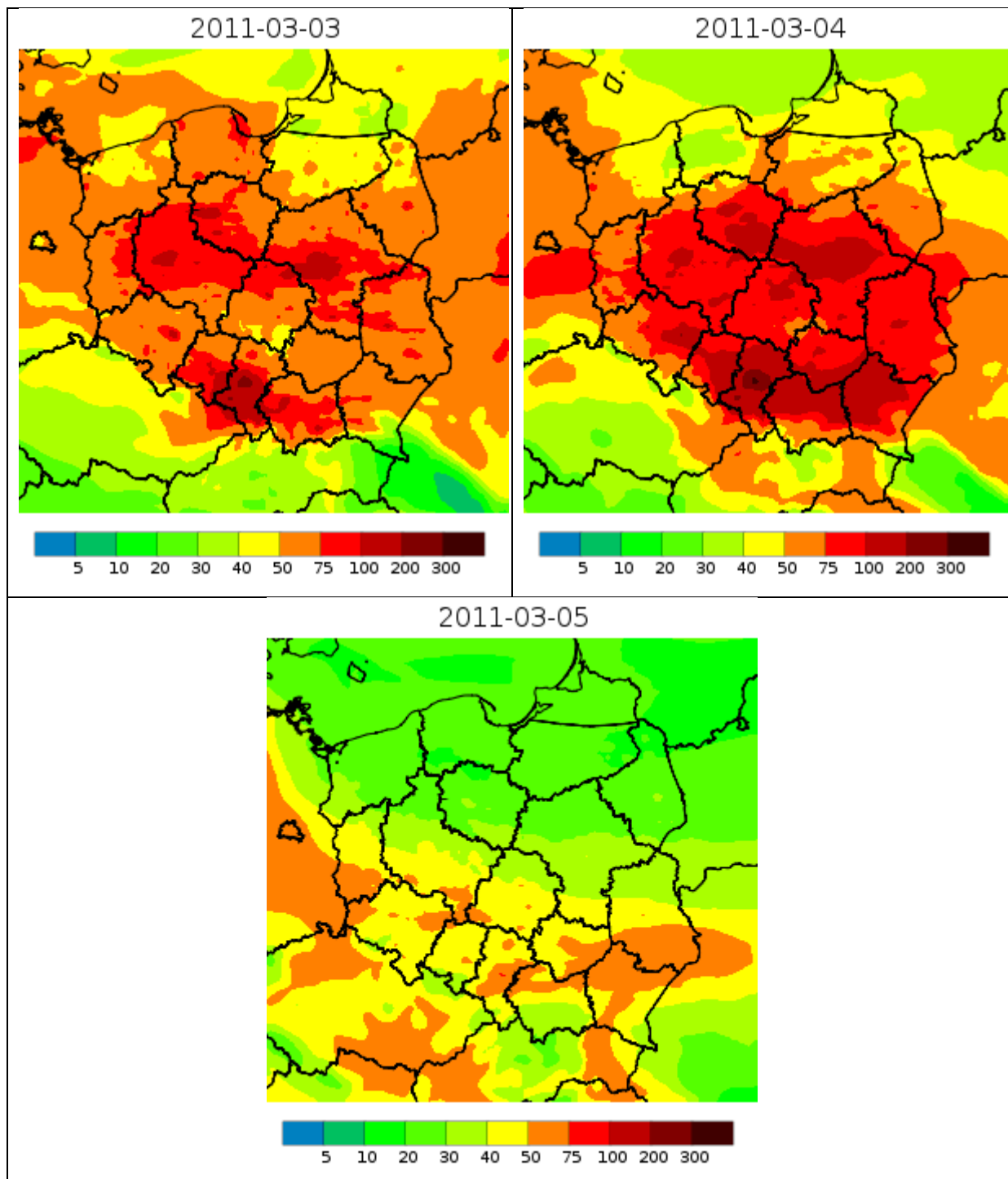
Powyżej trajektorie wsteczne dla epizodu 4.03.2011: Wrocław ($196 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Wschowa ($163 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Szczecin ($111 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dnia 4.03.2011 trajektorie wsteczne przebiegały na bardzo niskiej, stałej wysokości, w obrębie warstwy mieszania. Maksymalna wysokość tej

warstwy wzdłuż analizowanych trajektorii wynosiła poniżej 550m dla Wrocławia, poniżej 350 m dla trajektorii wyznaczonych dla Wschowej i poniżej 230 m dla Szczecina. W czasie analizowanego epizodu jakość powietrza w województwie dolnośląskim i lubuskim wydaje się być pod wpływem zarówno źródeł lokalnych, jak też transportu zanieczyszczeń z rejonu województw śląskiego i małopolskiego (trajektorie przemieszczające się przez cały czas w obrębie warstwy mieszanania), gdzie cyrkulacja atmosfery dnia 4.03.2011 powodowała nawracające przemieszczanie się masy powietrza nad tym samym obszarem, powodując kumulację stężeń zanieczyszczeń. W województwie zachodniopomorskim, ze względu na niewielką wysokość warstwy mieszanania i kształt trajektorii podwyższenie stężeń wydaje się być wynikiem oddziaływań lokalnych emitorów.

4.1.2.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10

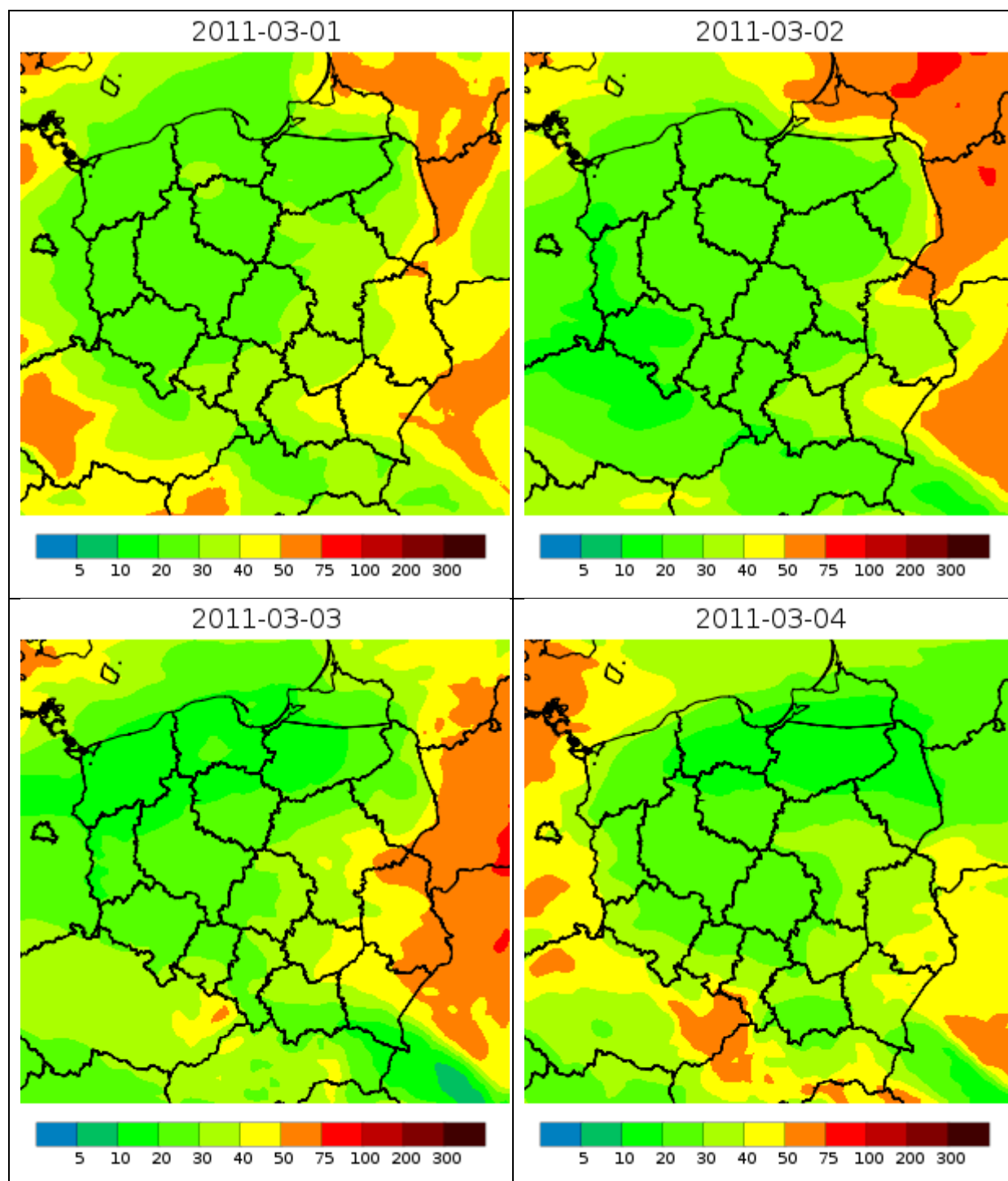


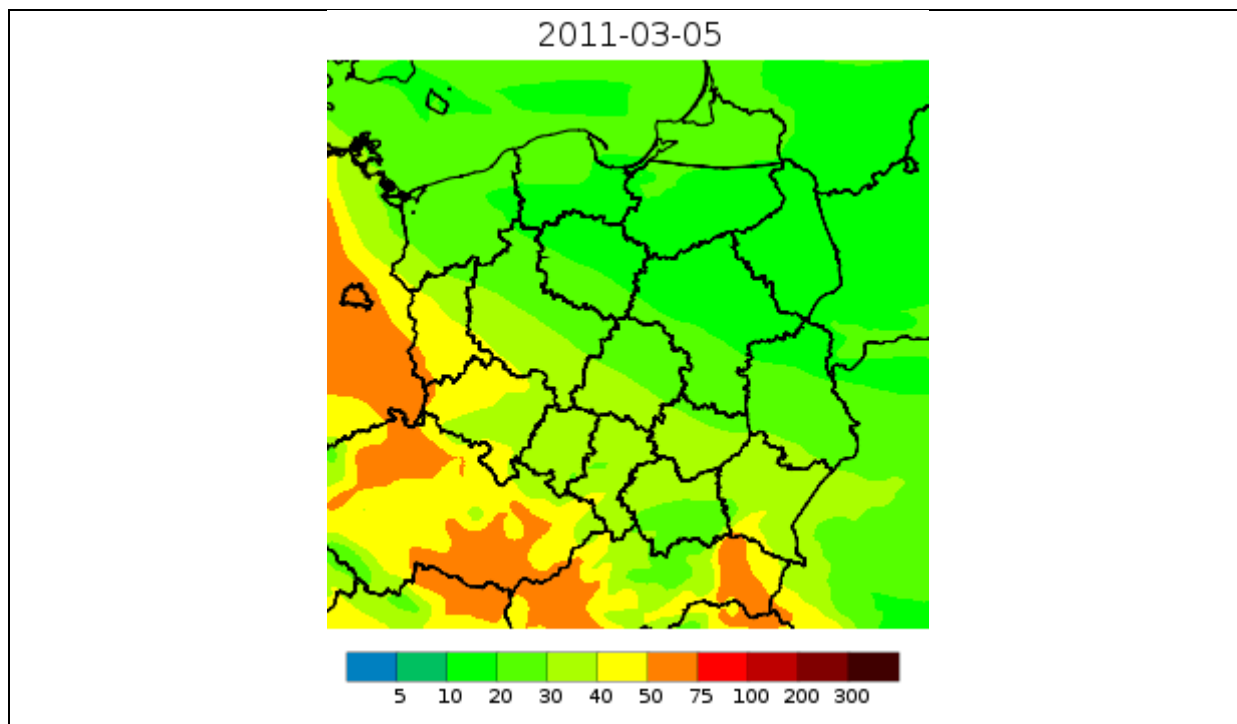


Rysunek 4-18 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 1-5.03.2011 r.

Epizod w dniach 1-5 marca obejmował praktycznie całą Polskę. Rozpoczął się na północy kraju (województwo pomorskie oraz kujawsko – pomorskie), by swoje maksimum osiągnąć 4 marca, obejmując praktycznie większość województw, poza zachodniopomorskim, pomorskim, kujawsko-pomorskim oraz warmińsko-mazurskim. Maksymalny zasięg izolinii stężeń pyłu zawieszonego PM 10 - $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 4 marca obejmował około 180 tys. km^2 . Najwyższe stężenia w trakcie trwania epizodu zaznaczyły się w województwie śląskim.

**B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego
na obszar Polski**

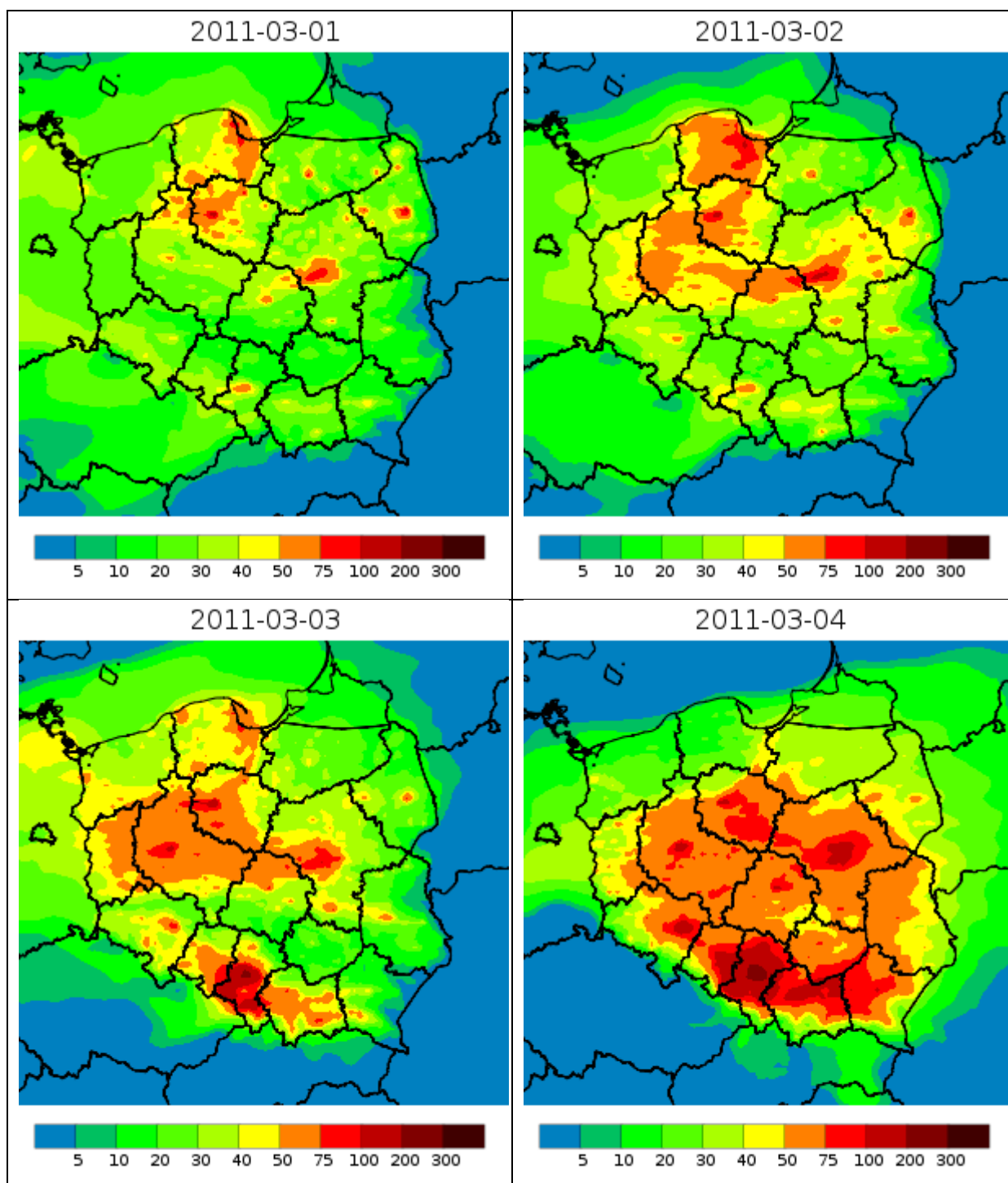


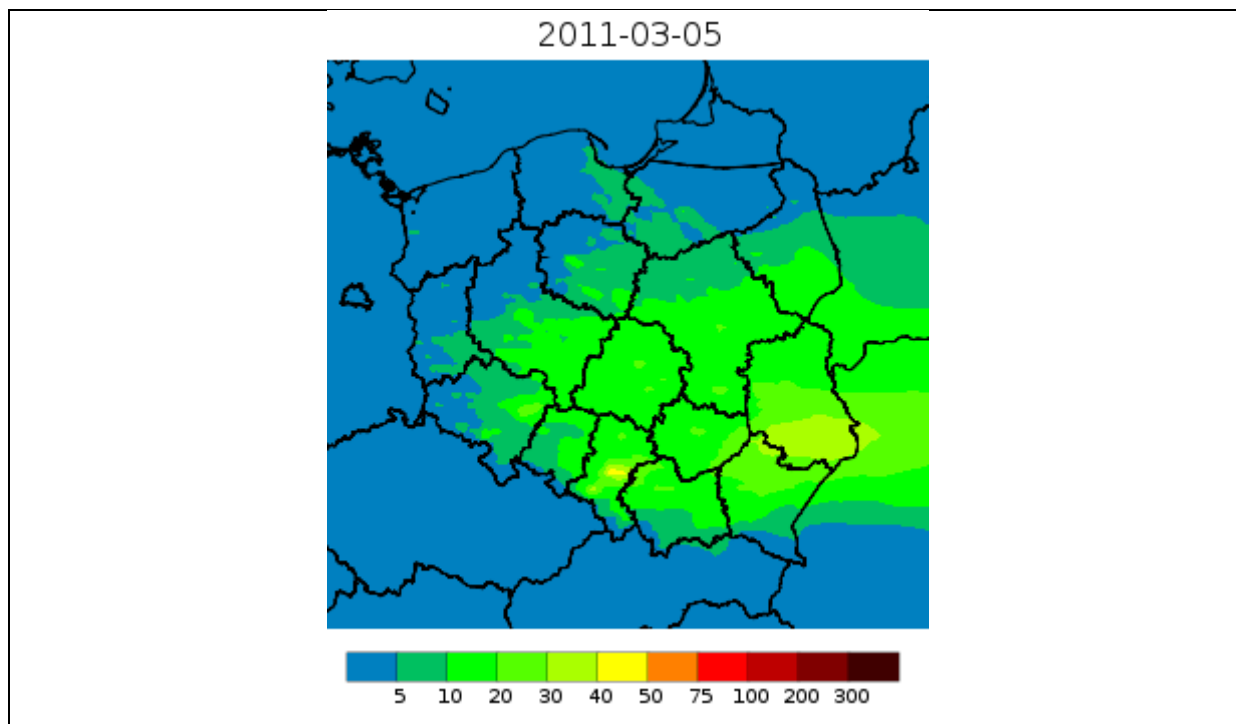


Rysunek 4-19 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 1-5.03.2011 r.

W dniach od 1 do 3 marca napływ transgraniczny wyraźnie następował z kierunku wschodniego i przeważnie wynosił około 10 - 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedynie bezpośrednio przy wschodniej granicy, głównie w województwie lubelskim, był on większy i osiągnął wartości nawet do 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Od 4 marca zaobserwowano zmianę kierunku napływu transgranicznego na południowy i południowo zachodni. Wyraźnie zaznaczyło się to na terenie województwa śląskiego, gdzie stężenia napływające znad Czech przez Bramę Morawską osiągnęły do około 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 5 marca wyższe stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ napływały wyraźnie z kierunku zachodniego (znad Niemiec) i przy granicy z województwami lubuskim i dolnośląskim osiągnęły wartości nawet do 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

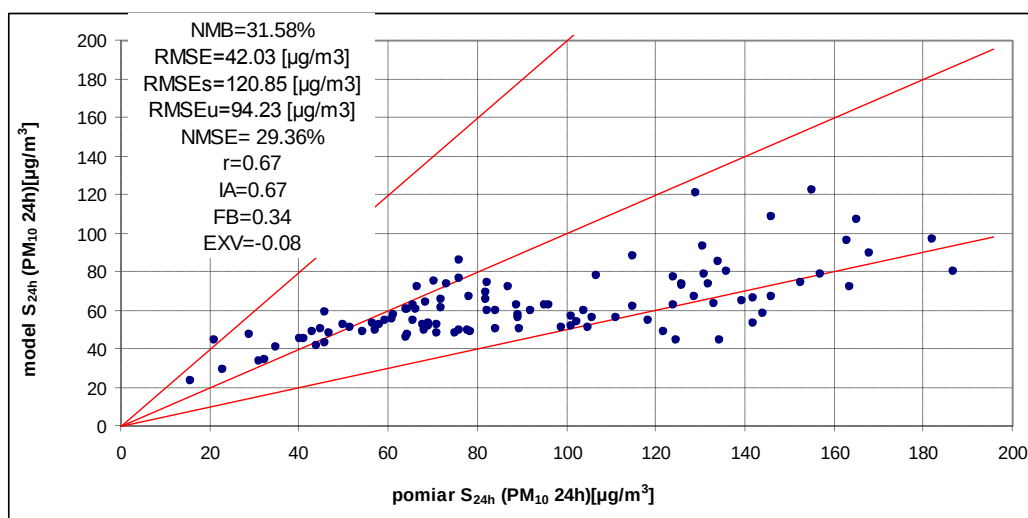
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





Rysunek 4-20 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 1-5.03.2011 r.

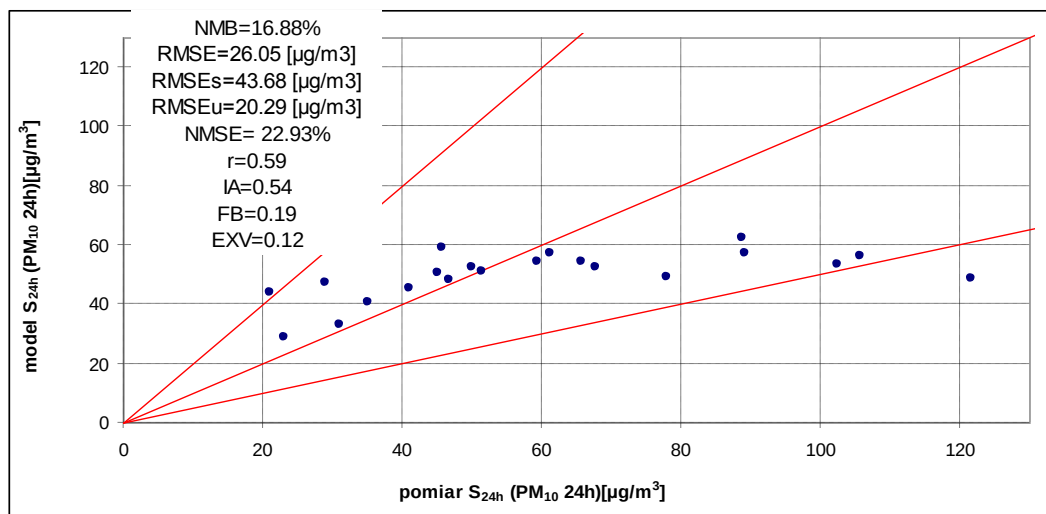
Stężenia pochodzące z emitorów z terenu Polski wskazują na regionalny charakter epizodu. Szczególnie wyraźnie zaznacza się to 3 oraz 4 marca. Równocześnie maksymalne stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ powodowane były emisją pochodzącą ze źródeł lokalnych.



Rysunek 4-21 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 1.03.2011 - 5.03.2011r.

Dla epizodu, który wystąpił od 1.03.2011 do 5.03.2011 współczynniki korelacji i indeks zgodności wskazują na wysoką korelację modelowania i pomiarów stężeń pyłu PM₁₀, co potwierdza także wykres. Znormalizowany błąd średniokwadratowy (NMSE) jest poniżej wartości określającej poprawność modelowania (40%), co oznacza, że wyniki modelowania są dobre. Natomiast wariancja wyjaśniona jest jeszcze niższa niż w poprzednim

przypadku, a FB jest bliskie zeru. RMSE wynosi 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ale część systematyczna jest stosunkowo wysoka.



Rysunek 4-22 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach dolnośląskim, i zachodniopomorskim w terminie 1.03.2011 - 5.03.2011r.

Po odrzuceniu stacji pomiarowych o charakterze miejskim, pozostały wyniki pomiarów pyłu zawieszonego PM₁₀ ze stacji: Osieczów, Czerniawa, Widuchowa, Marwice i Stoki. Pomędzy ramionami oznaczającymi dwukrotnie większe i dwukrotnie mniejsze rezultaty pomiarów znajduje się 83% wyników modelowania.

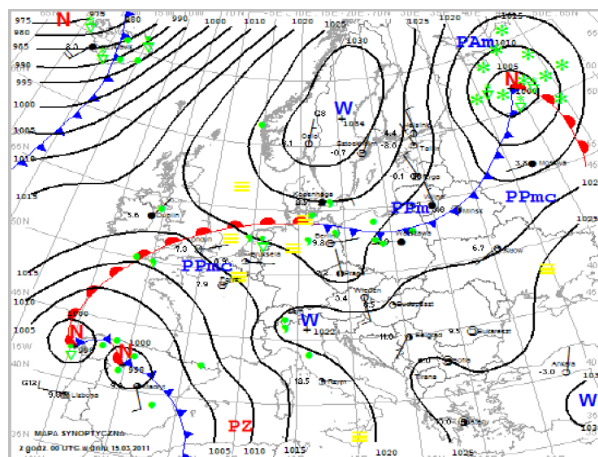
Większość miar statystycznych, określających jakość modelowania względem pomiarów uległa poprawie w porównaniu, gdy zanalizowane zostały wyniki z wszystkich stacji. Znormalizowane odchylenie średnie NMB jest o 7% większe niż wymagane dla dobrego modelu 10%. Znormalizowane odchylenie średnie NMSE, czyli rozrzut wyników modelowania jest o wiele niższe niż 40% oznaczające dobry model. Wyniki modelowania różnią się od pomiarów średnio o 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pogorszeniu uległy współczynniki korelacji i indeks zgodności, które wskazują jedynie na umiarkowaną korelację.

4.1.3. Epizod 3 od 13 do 16 marca 2011 r.

4.1.3.1. Sytuacja synoptyczna

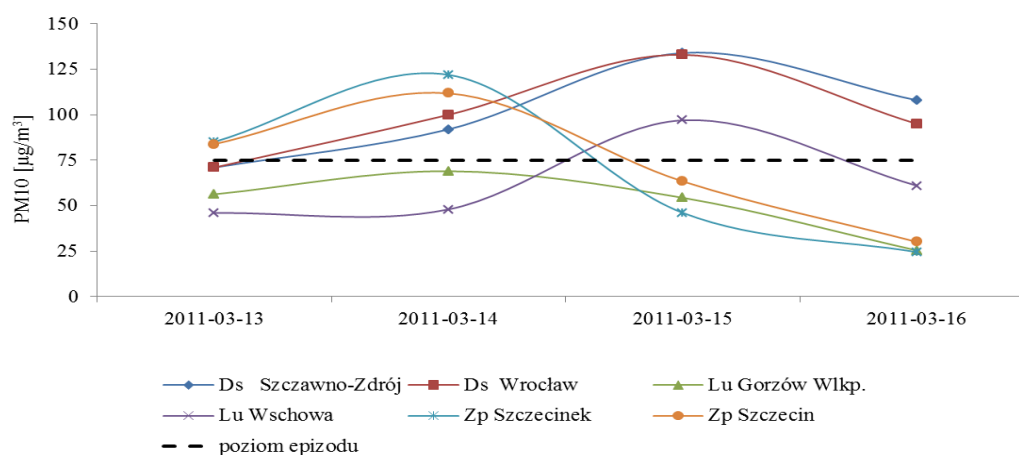
Dnia 13.03.2011 Polska znajdowała się pod wpływem klina wyżu rozdzielającego dwa niży z centrum nad Irlandią i Skandynawią. Następnego dnia zaczęła oddziaływać zatoka niskiego ciśnienia przesuwająca się przez obszar Polski z południowego zachodu na północny wschód. W te dni napływało z kierunków południowych wilgotne powietrze pochodzenia polarno-morskiego (PPmc). W dniach 15-16.03.2011 Polska znalazła się na granicy dwóch układów barycznych: niżu z ośrodkiem nad Hiszpanią oraz wyżu skandynawskiego. Zaczęła wówczas napływać masa chłodnego powietrza polarno-morskiego (PPm).

15.03.2011



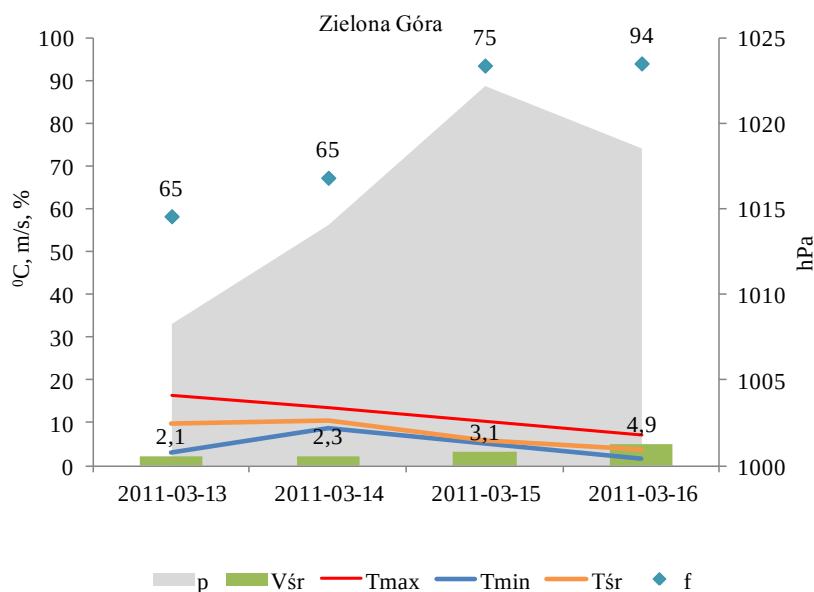
Rysunek 4-23 Mapa synoptyczna z dnia 15 marca 2011 roku, godzina 0 UTC

4.1.3.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne

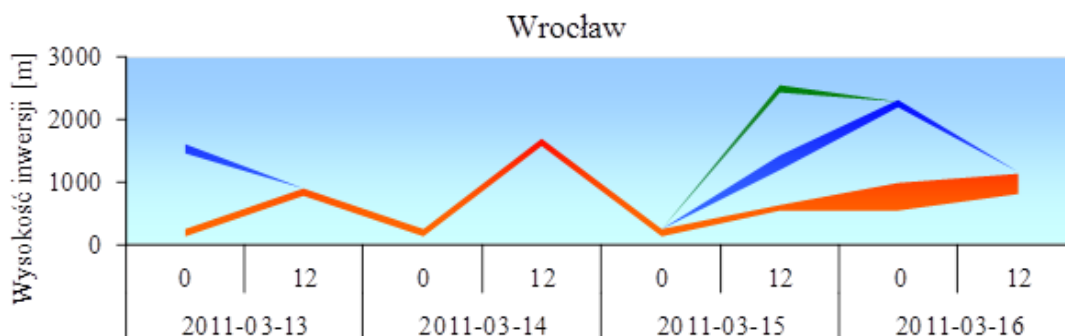


Rysunek 4-24 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

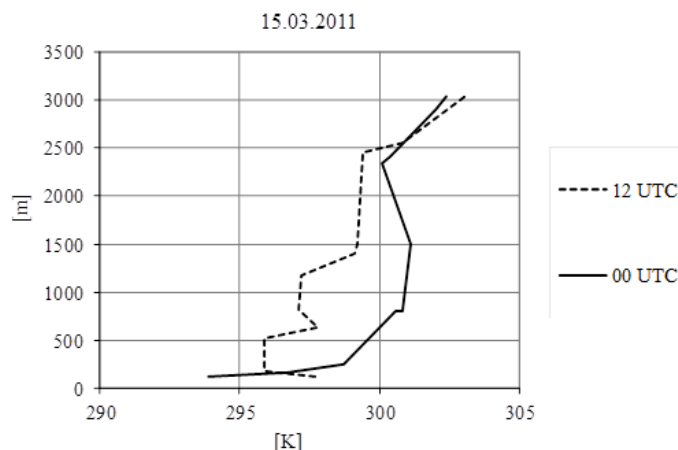


Rysunek 4-25 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-26 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

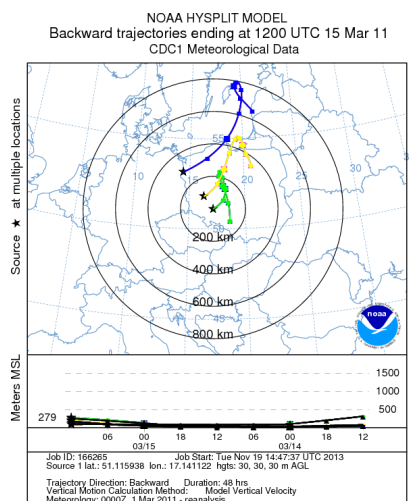
Wysokość zalegania pierwszej wzniesionej warstwy inwersyjnej w przeddzień i podczas kulminacji epizodu była stosunkowo mała (kilkaset m n.p.m.). Dodatkowo brak jest informacji o występowaniu inwersji przyziemnej. Analiza przebiegu naziemnych warunków meteorologicznych (stosunkowo wysoka prędkość wiatru i dodatnia temperatura) wskazują jednak na jej brak.



Rysunek 4-27 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.1.3.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten był epizodem lokalnym, obejmującym swoim zasięgiem głównie zachodnią część Polski. Maksymalne stężenia odnotowano dla większości stacji z województwa dolnośląskiego dnia 15.03.2011.

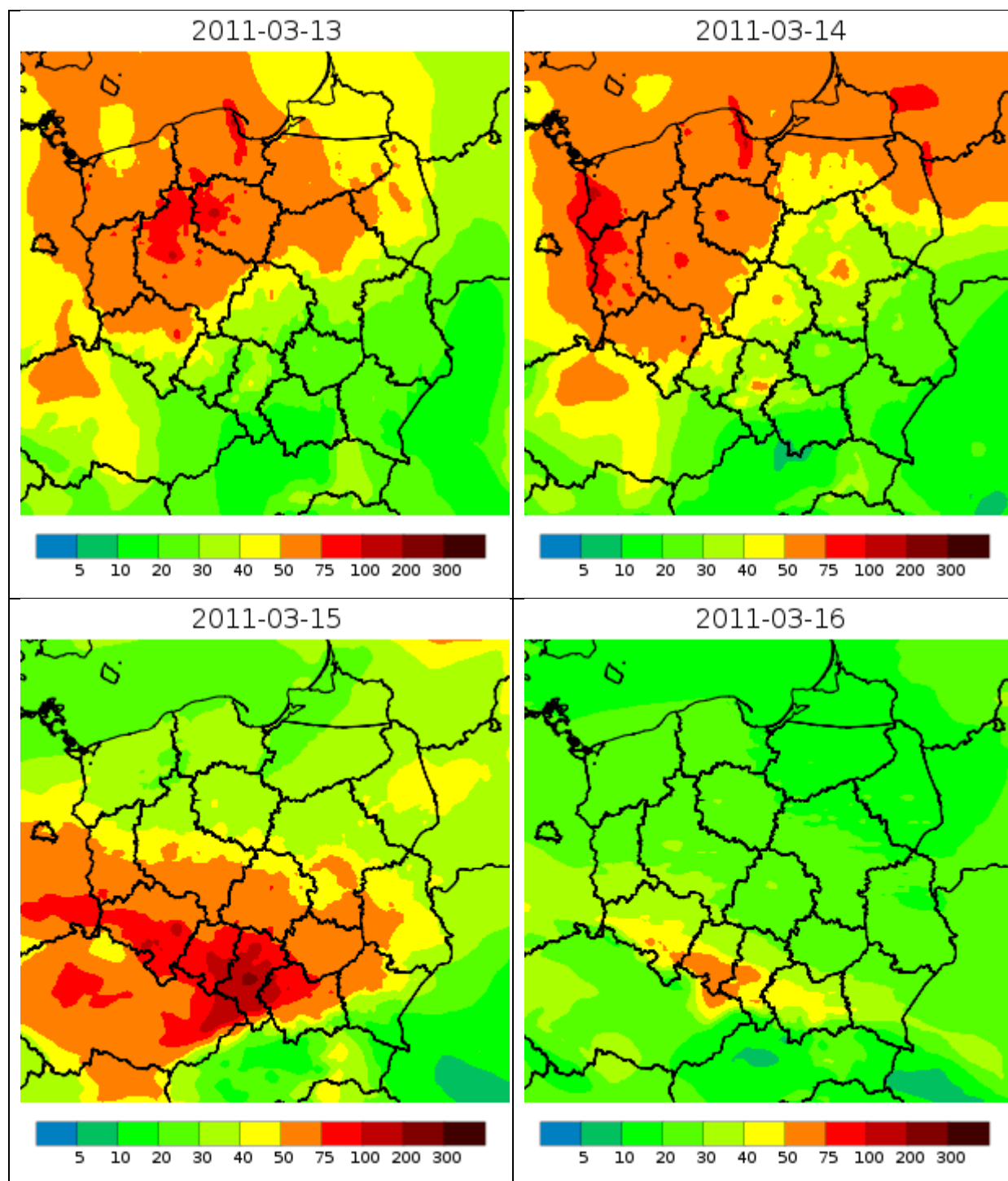


Rysunek 4-28 Trajektorie wsteczne dla stacji we Wrocławiu, Wschowej i Widuchowej

Trajektorie wsteczne wyznaczono dla stacji zlokalizowanych we Wrocławiu ($133 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Wschowej ($97 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Widuchowej ($90 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Trajektorie wsteczne w czasie tego epizodu przebiegały na bardzo niskiej wysokości, w obrębie warstwy mieszania. Obniżały się stopniowo, aby po 14 godzinach osiągnąć powierzchnię ziemi. Maksymalna wysokość warstwy mieszania wynosiła około 500 m we Wrocławiu w chwili startu trajektorii, lecz przeważnie było to około 200 m. W czasie analizowanego epizodu jakość powietrza w województwie dolnośląskim wydaje się być zdeterminowana przez lokalne niskie źródła emisji (niewielka wysokość warstwy mieszania).

4.1.3.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10

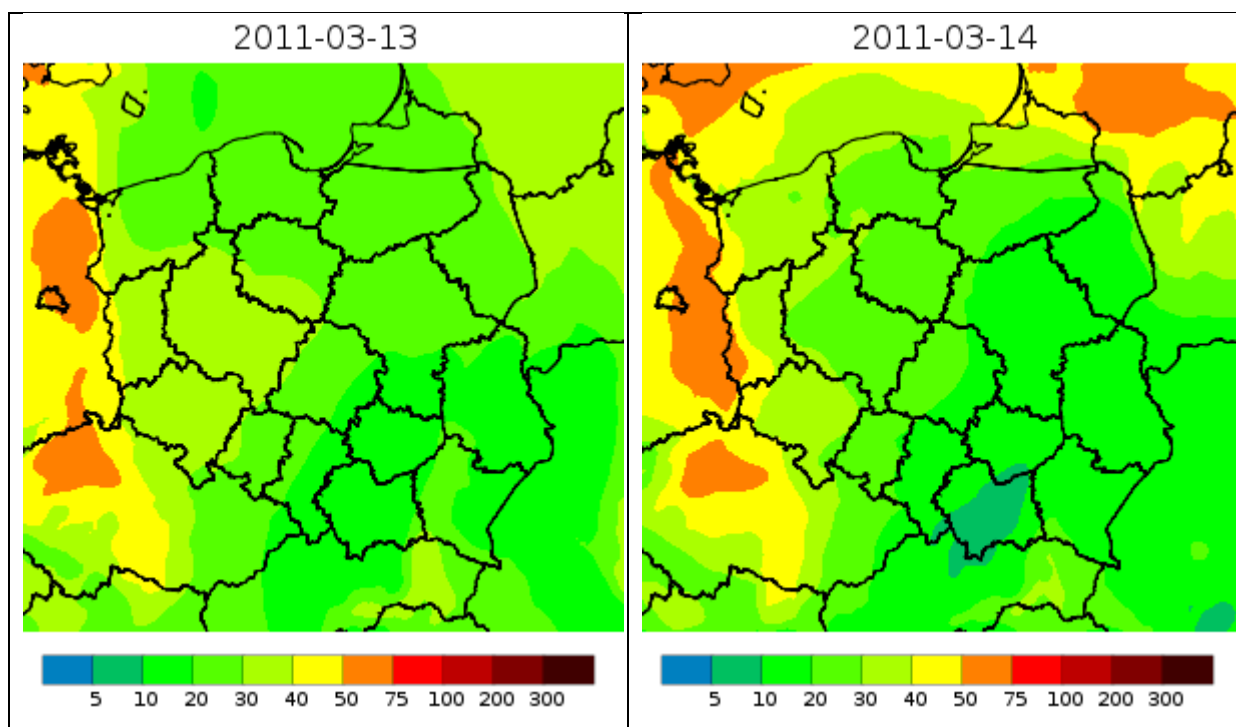


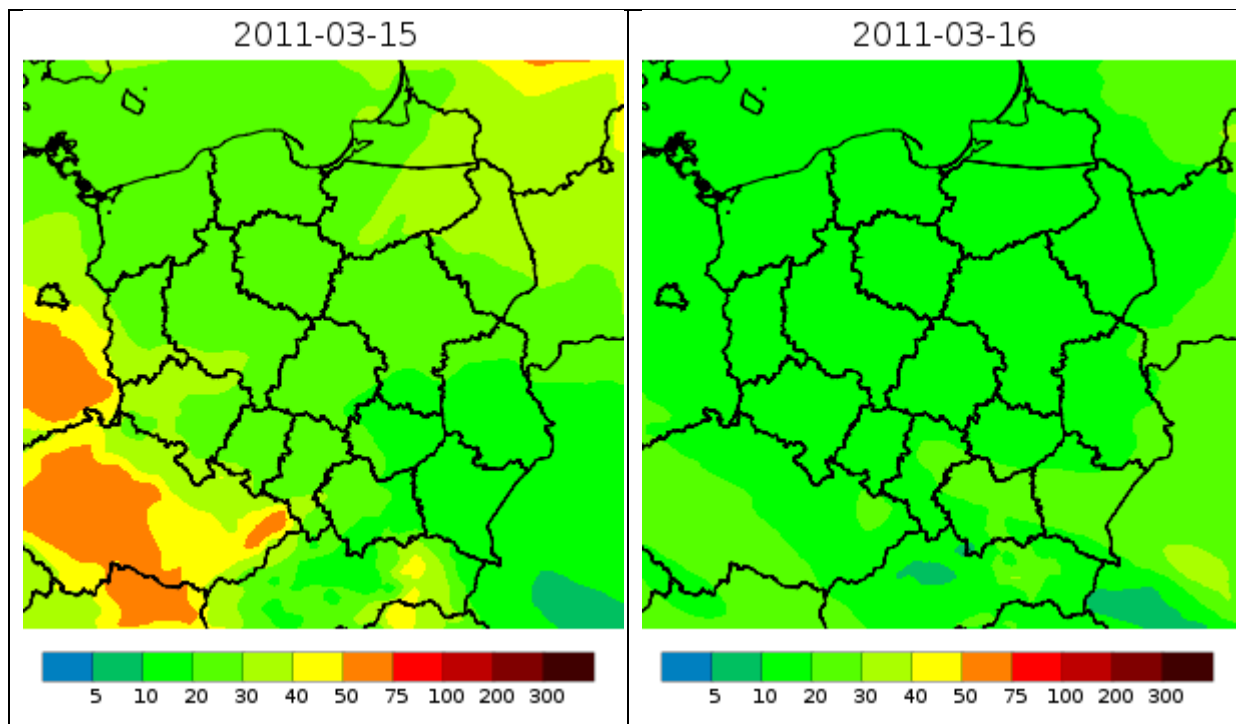
Rysunek 4-29 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 13-16.03.2011 r.

Epizod od 13 do 16 marca rozpoczął się wysokimi stężeniami na północy i zachodzie kraju (głównie województwa pomorskie, zachodniopomorskie, kujawsko-pomorskie oraz

wielkopolskie). Jednocześnie stężenia pyłu zawieszonego PM10 przekraczające $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ występowały bardzo lokalnie – w okolicach większych skupisk miejskich. 15 marca wyraźnie zmieniła się lokalizacja oraz zasięg granic epizodu. Wówczas wysokie stężenia zanotowano w południowych województwach – głównie dolnośląskim, śląskim oraz małopolskim, a obszar objęty izoliną $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ był największy i wyniósł na terenie Polski około 45 tys. km^2 . W trakcie trwania tego epizodu zaobserwowano również wysokie stężenia pyłu zawieszonego PM10 na terenie Czech (okolice Pragi) oraz Niemiec (okolice Drezna).

B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski

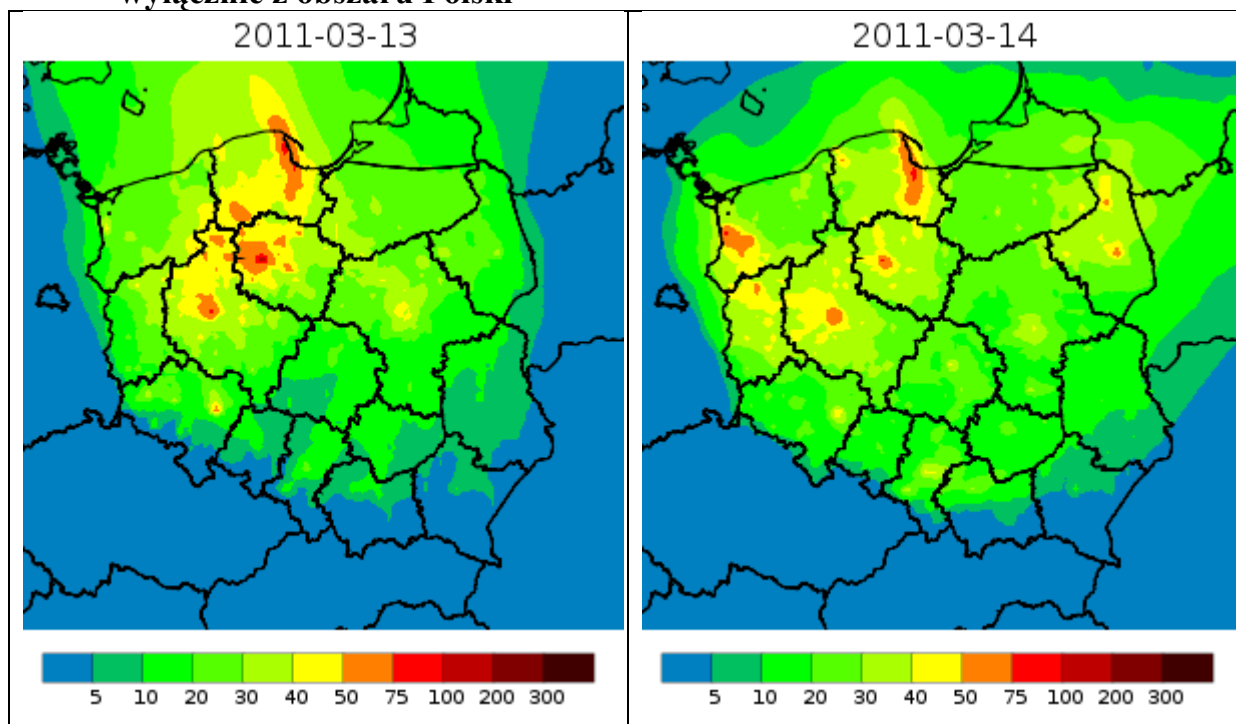


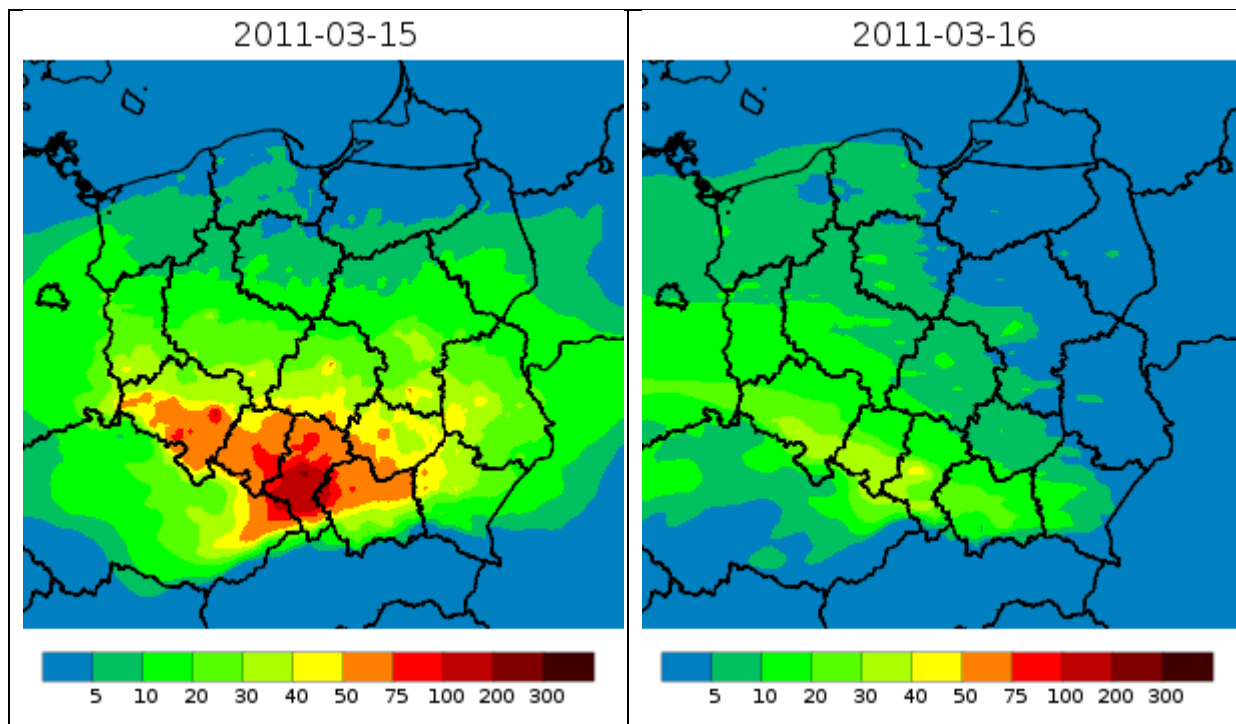


Rysunek 4-30 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 13-16.03.2011 r.

Napływ transgraniczny na teren Polski średnio wynosił około $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Równocześnie największe wartości osiągał w pobliżu granicy zachodniej i południowo-zachodniej kraju, przekraczając lokalnie nawet $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

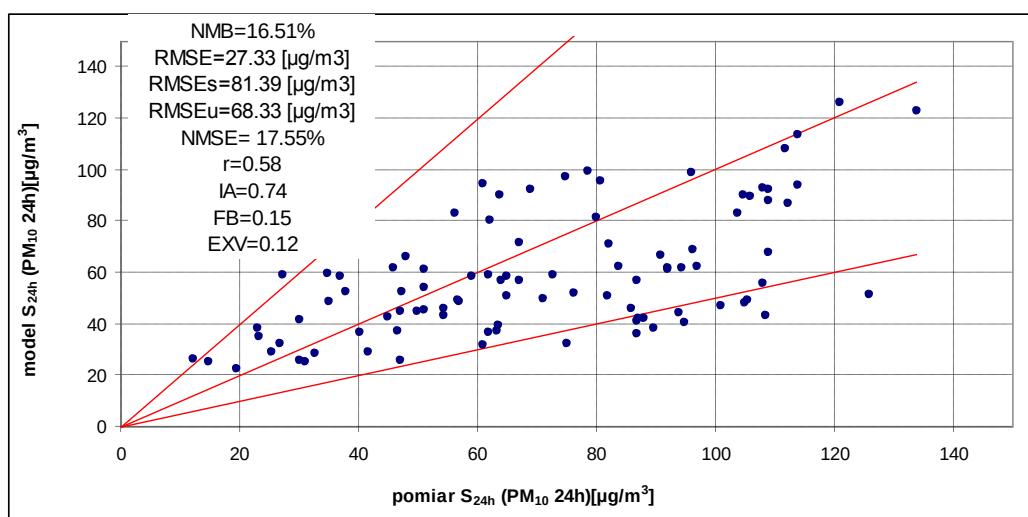
C. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski





Rysunek 4-31 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 13-16.03.2011 r.

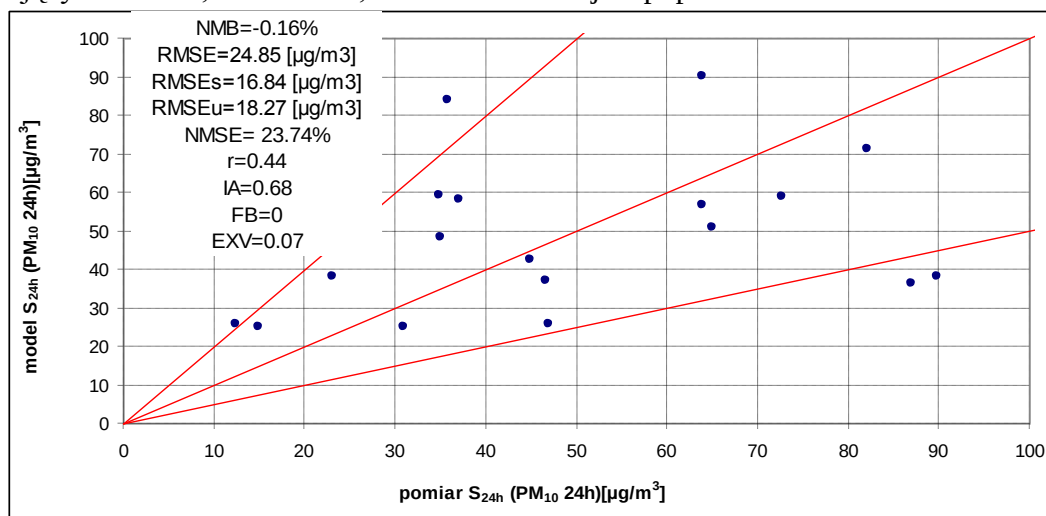
Najwyższe stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące od emisji z terenu Polski występowały bardzo lokalnie – głównie wokół aglomeracji. Szczególnie wyraźnie zaznacza się to 15 marca na terenie województwa śląskiego oraz dolnośląskiego. Odpływ zanieczyszczeń z terenu Polski następował głównie w kierunku południowym oraz południowo-wschodnim.



Rysunek 4-32 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 13.03.2011 - 16.03.2011r.

Podobnie w tym przypadku zgodność modelowania z pomiarami jest bardzo wysoka. Współczynnik korelacji i indeks zgodności są zbliżone do 1, błąd NMSE jest dużo poniżej 40% a błąd NMB jest stosunkowo niski (dla dobrego modelu powinien wynosić poniżej

10%). Wartości dla miar FB i EXV wskazują na poprawne modelowanie. Błąd średniokwadratowy wynosi zaledwie 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bardzo duża liczba punktów oznaczających zależności modelowania względem pomiarów na wykresie znajduje się pomiędzy ramionami określającymi obszar, co oznacza, że modelowanie jest poprawne.



Rysunek 4-33 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 13.03.2011 - 16.03.2011r.

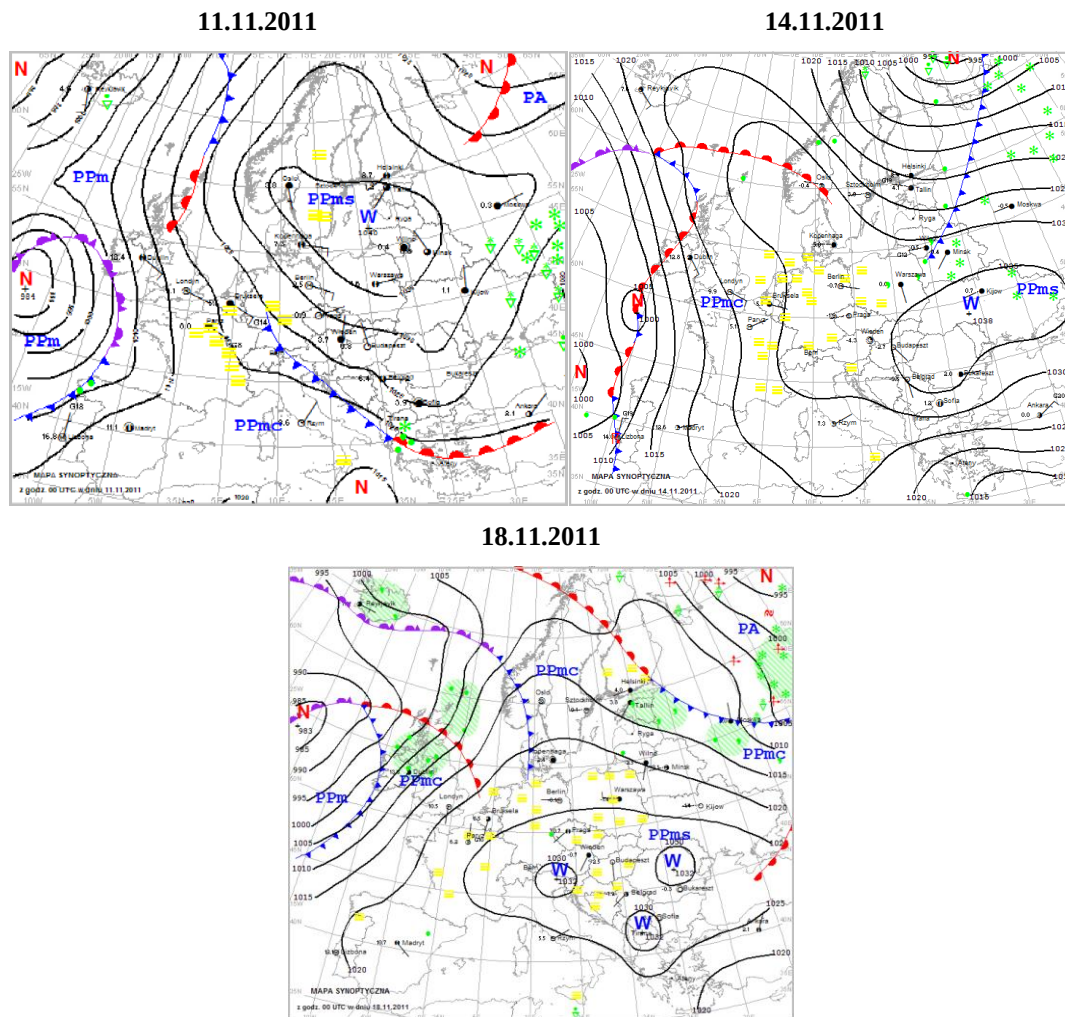
Jeżeli dla epizodu, który wystąpił 13.03.2011 – 16.03.2011 analizie poddane zostaną wyniki pomiarów pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzącego ze stacji o charakterze pozamiejskim (Osieczów, Czerniawa, Widuchowa, Marwice i Stoki), wówczas nie otrzymamy znaczącej poprawy jakości modelowania w stosunku do analizy dla stacji miejskich i pozamiejskich razem. Podobnie jak wcześniej, jakość modelowania jest na dobrym poziomie. Za prawidłowe można uznać 75% rezultatów modelowania, pozostałe 25% jest równomiernie rozłożone pomiędzy niedoszacowane i przeszacowane wartości.

4.1.4. Epizod 4 od 11 do 18 listopada 2011 r.

4.1.4.1. Sytuacja synoptyczna

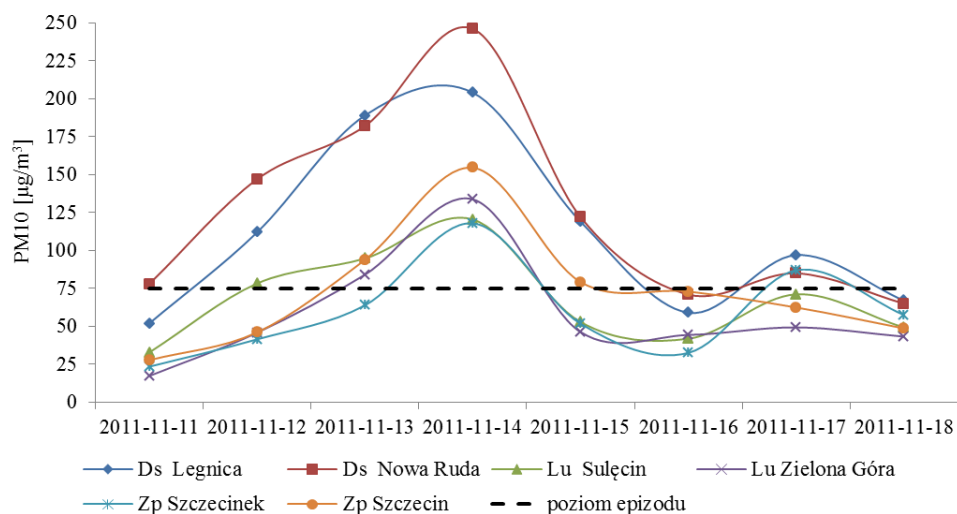
W dniach 11-18.11.2011 Polska znajdowała się w zasięgu oddziaływania rozległego wyżu z centrum nad środkową Europą. Nad przeważający obszar Polski z południa i południowego-zachodu napływało ciepłe powietrze polarno-morskie (PPmc), natomiast nad północno-wschodnią i wschodnią część kraju napływało z północy powietrze pochodzenia arktycznego (PA).

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii



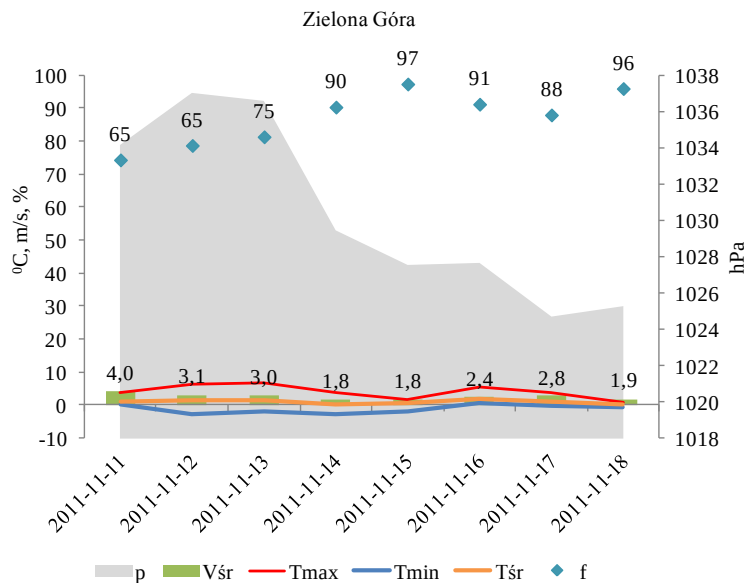
Rysunek 4-34 Mapa synoptyczna z dnia 11, 14 i 18 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC

4.1.4.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne

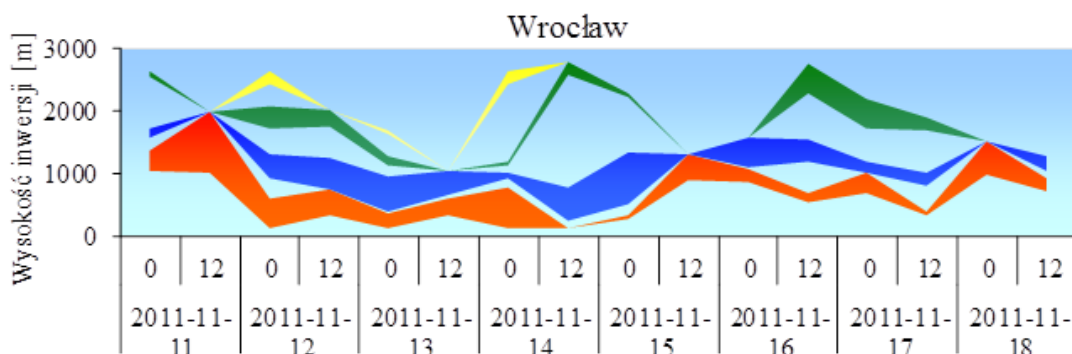


Rysunek 4-35 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

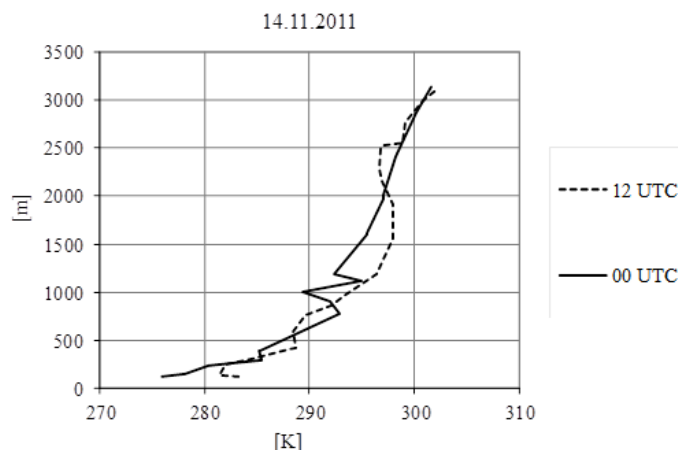


Rysunek 4-36 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względną powietrza (f)



Rysunek 4-37 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

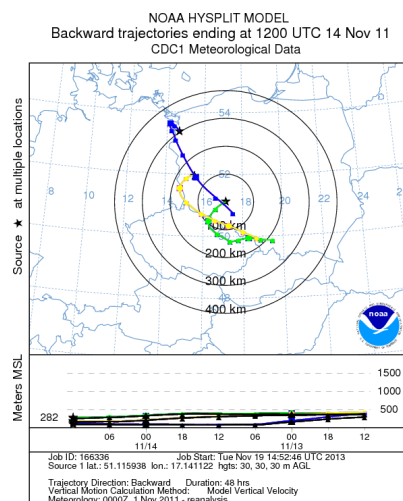
Analiza przebiegu wysokości dolnej warstwy inwersji wzniesionej obserwowanej na stacji aerologicznej we Wrocławiu wskazuje na dwie jej główne cechy: po pierwsze jest ona niezwykle miększa (w dniu występowania maksimum stężeń osiągała grubość około 500 m), po drugie w tym samym dniu jej wyniesienie nad poziom morza sięgało zaledwie około 200 m. Z kolei przeprowadzona analiza warunków meteorologicznych na stacjach naziemnych wykazuje pośrednio na występowanie inwersji przyziemnej. Inwersja ta mogła ulec połączeniu z omawianą inwersją wyniesioną skutecznie blokując dopływ do ziemi zanieczyszczeń transportowanych wyżej.



Rysunek 4-38 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.1.4.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten był epizodem, w którym znaczne podwyższenie stężeń PM₁₀ objęło dodatkowo województwa śląskie, opolskie, małopolskie i zachodnią część województwa podkarpackiego. Maksymalne stężenia odnotowano dla większości stacji dnia 14.11.2011.



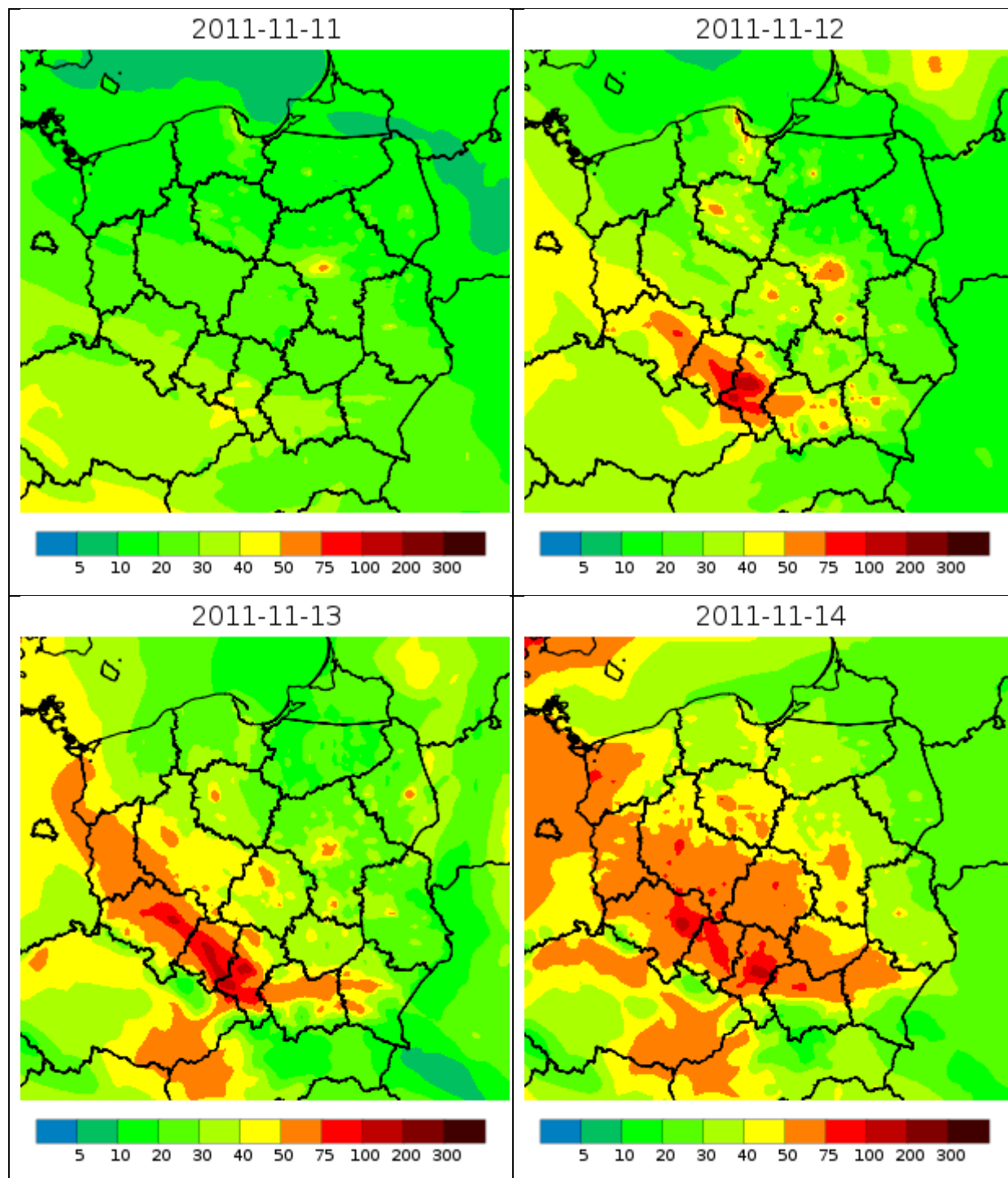
Rysunek 4-39 Trajektorie wsteczne dla epizodu 14.11.2011

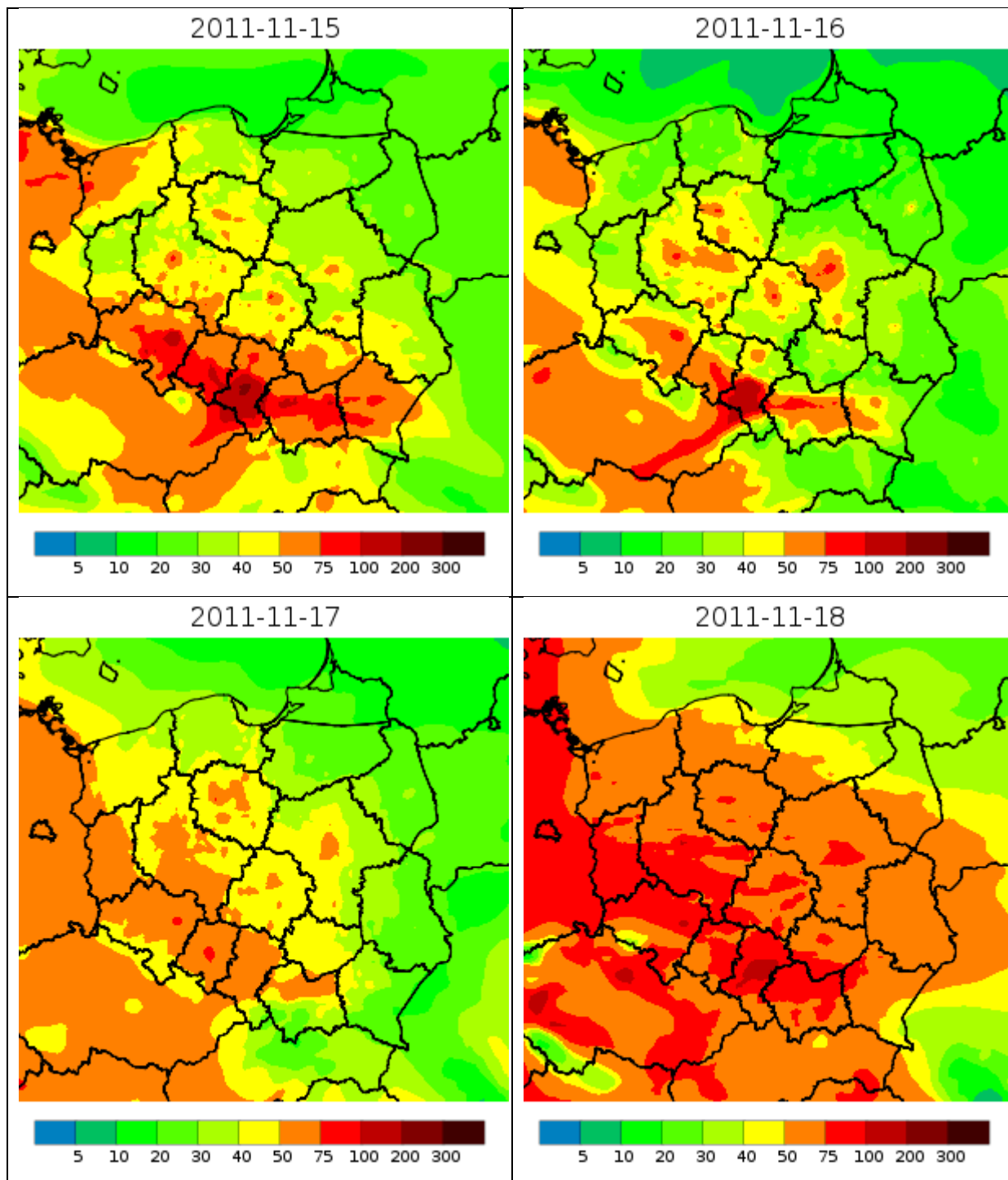
Powyżej trajektorie wsteczne dla epizodu 14.11.2011: Wrocław ($184 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Zielona Góra ($134 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Szczecin ($155 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Analiza trajektorii wstecznych w dniu 14.11.2011 wskazuje, że wysokie stężenia PM₁₀ na obszarze województw dolnośląskiego, opolskiego, śląskiego i małopolskiego mogą być wynikiem napływu z północno-wschodnich Czech, pogranicza Czesko – Słowackiego i Słowacji. W przypadku województw lubuskiego i zachodniopomorskiego na podwyższenie stężeń PM₁₀ mogą mieć wpływ emitory z Polski lub Niemiec. Trajektorie wyznaczone dla województw dolnośląskiego, lubuskiego, zachodniopomorskiego, śląskiego i opolskiego przechodzą ponad powierzchnią ziemi na niemal niezmienną wysokości, cały czas będąc w obrębie warstwy mieszania. Wysokość warstwy mieszania w czasie analizowanego epizodu była dla tego obszaru bardzo mała, rzadko przekraczając 100 m. Takie zachowanie warstwy mieszania może wskazywać, że

istotny wpływ na wysokość stężeń PM10 może mieć lokalna i w mniejszym stopniu napływowa emisja powierzchniowa.

4.1.4.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10



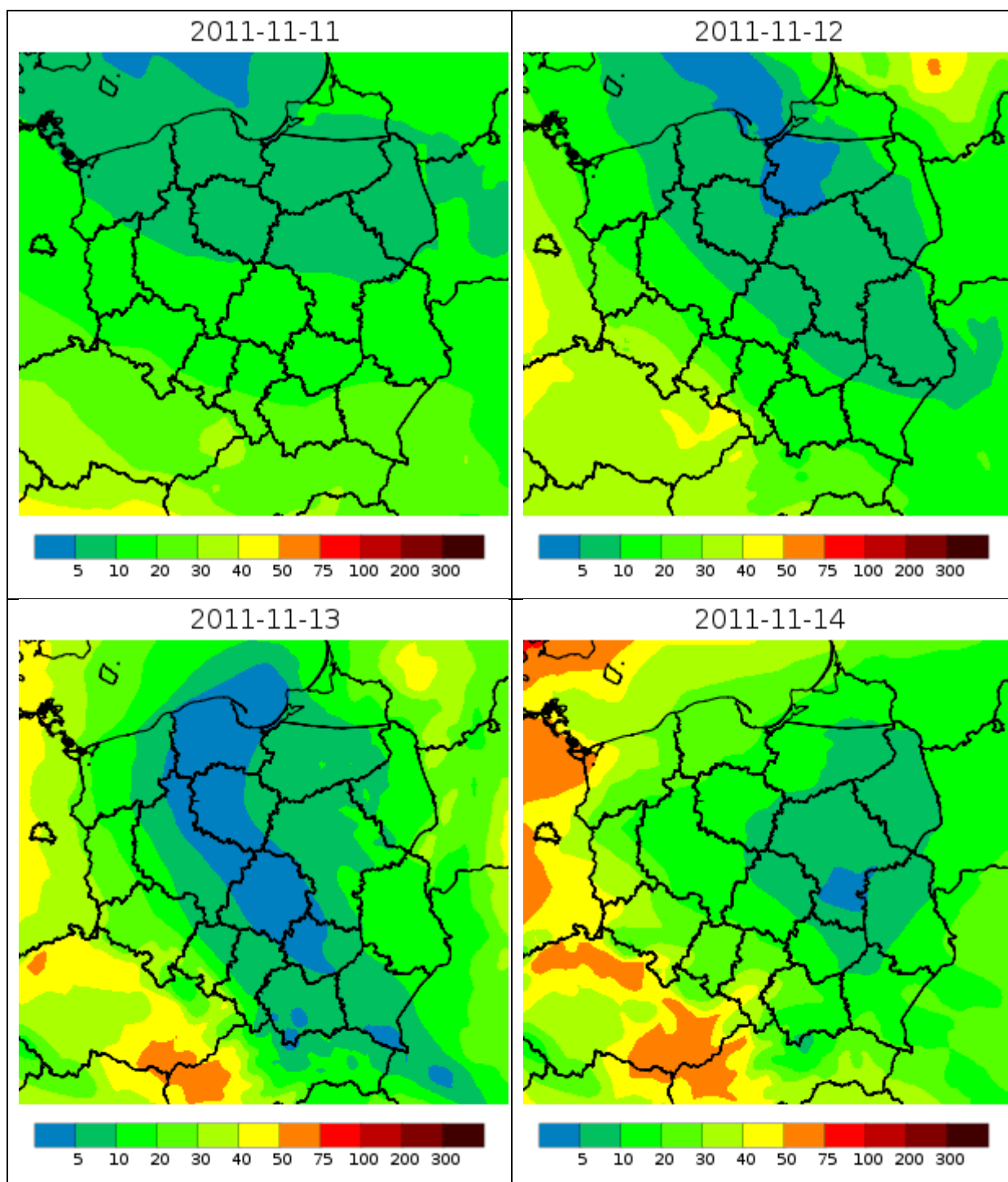


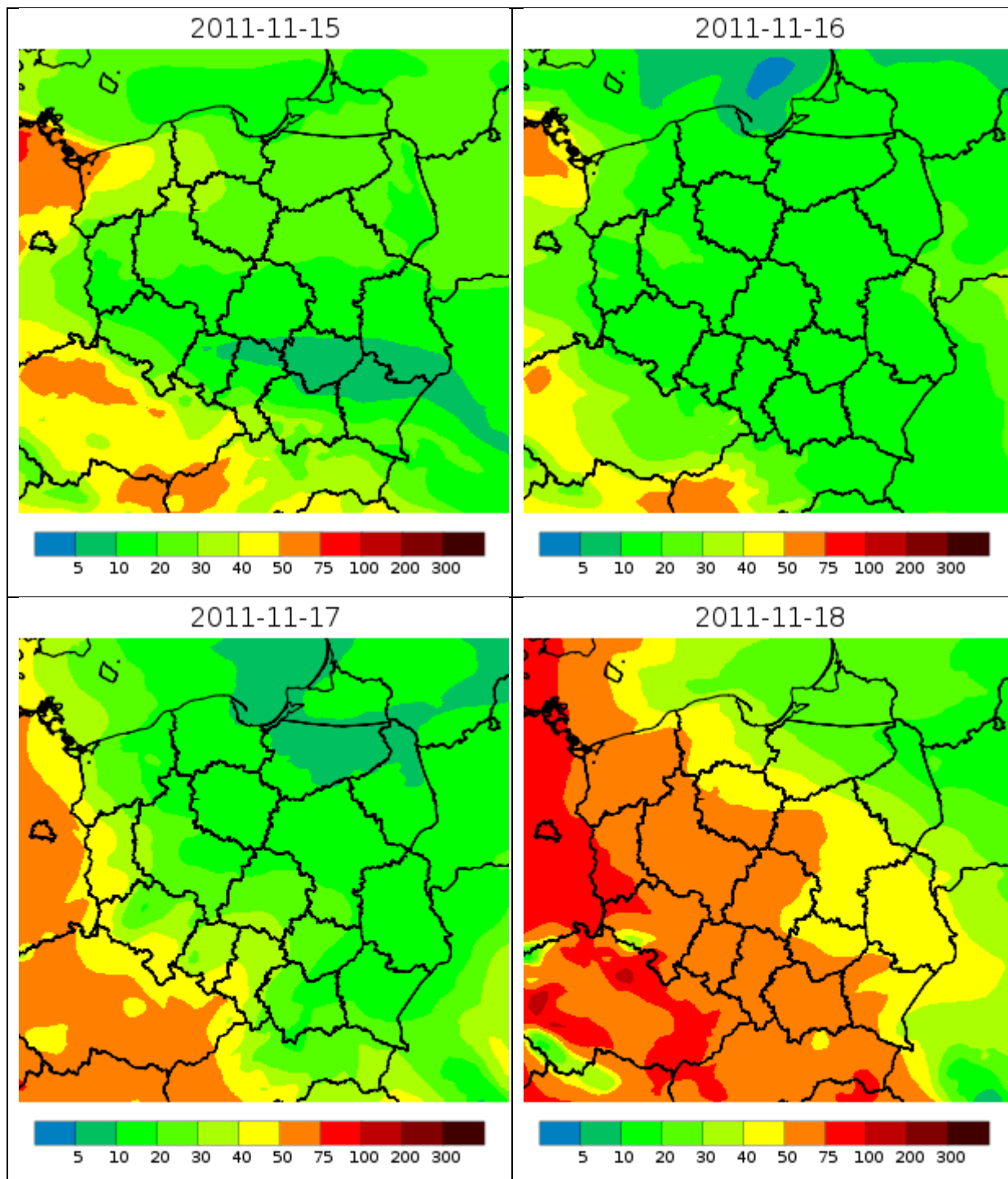
Rysunek 4-40 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] w trakcie trwania epizodu od 11-18.11.2011 r.

Epizod od 11 do 18 listopada obejmował głównie południową część Polski – województwa: dolnośląskie, opolskie, śląskie oraz małopolskie. Równocześnie w dniu maksymalnego swojego zasięgu (18.11), stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ przekraczające 75 µg/m³ objęły również województwo lubuskie oraz wielkopolskie, a lokalnie występowały na terenie województw: łódzkiego, mazowieckiego, świętokrzyskiego oraz kujawsko-pomorskiego. Maksymalny obszar objęty izoliną 75 µg/m³ wyniósł około 70 tys. km².

15 oraz 16 listopada zaobserwowano pewien wpływ zanieczyszczeń z terenu Polski przez Bramę Morawską w kierunku Ostrawy.

**B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego
na obszar Polski**

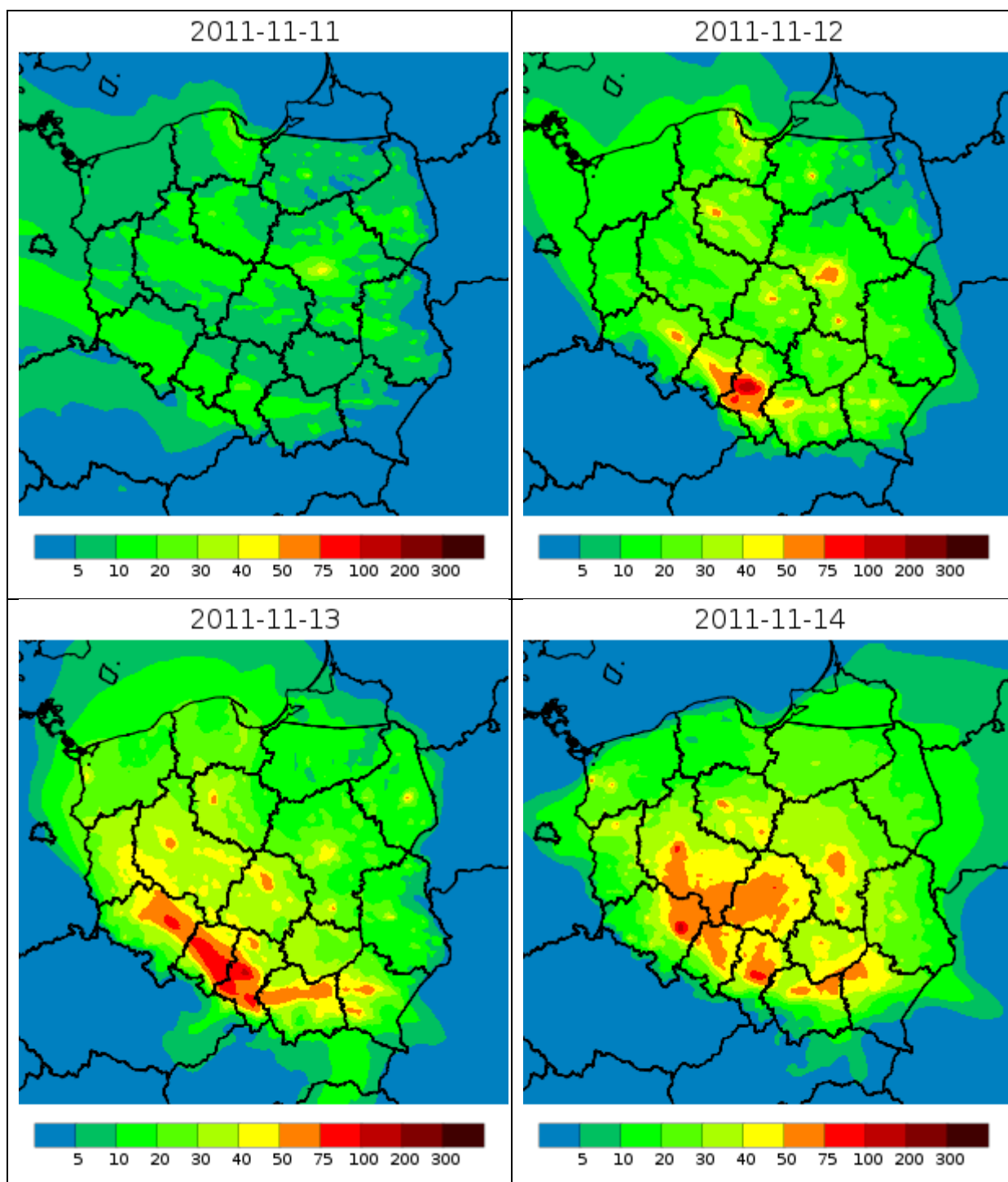


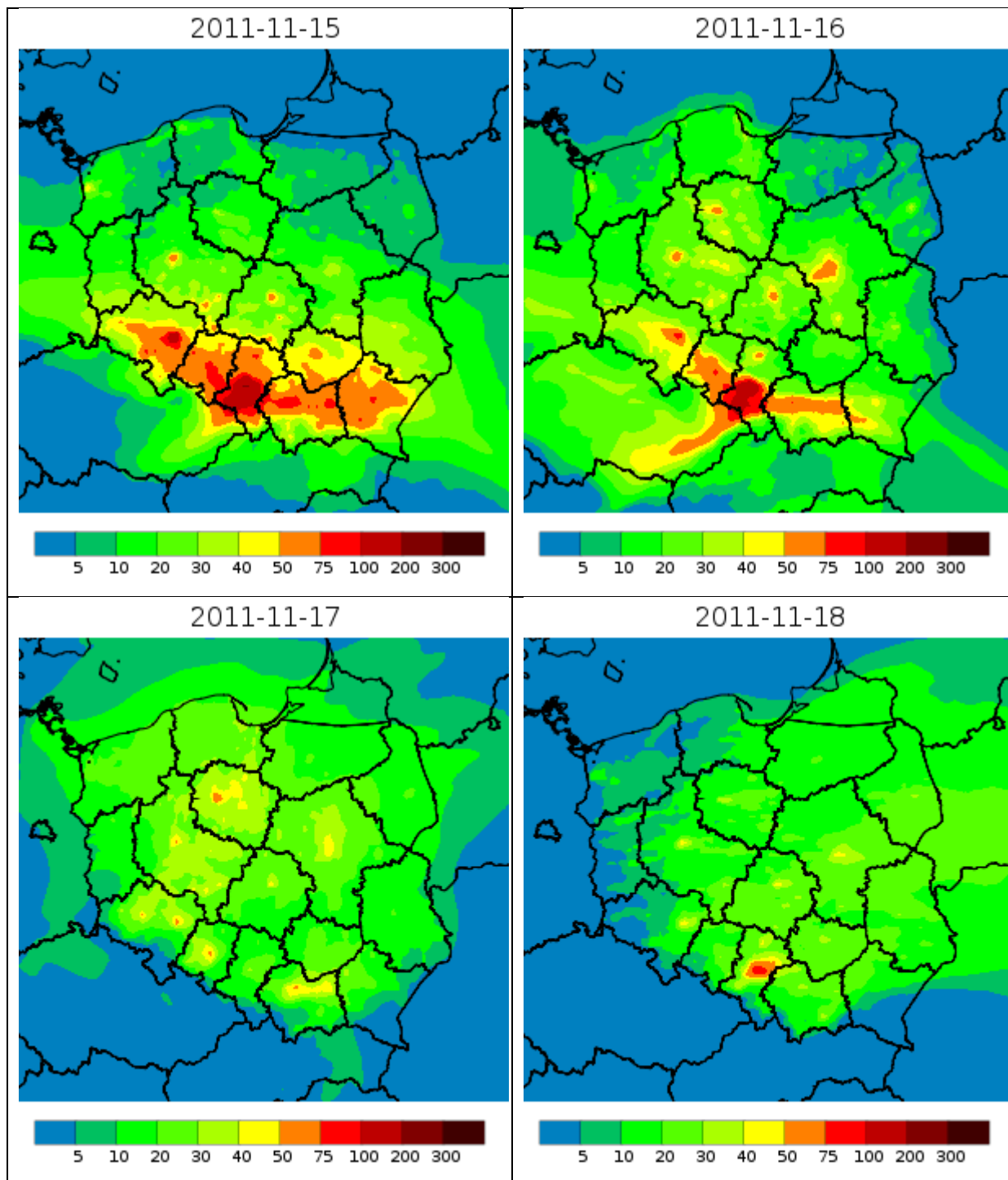


Rysunek 4-41 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 11-18.11.2011 r.

W dniach 11 – 17 listopada stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego były stosunkowo niskie i na terenie Polski raczej nie przekraczały 20 µg/m³. 18 listopada natomiast stężenia te istotnie wzrosły przekraczając na obszarze zachodniej oraz południowej Polski wartość dopuszczalną 50 µg/m³, a w rejonie przygranicznym (województwa lubuskie oraz dolnośląskie) nawet 75 µg/m³.

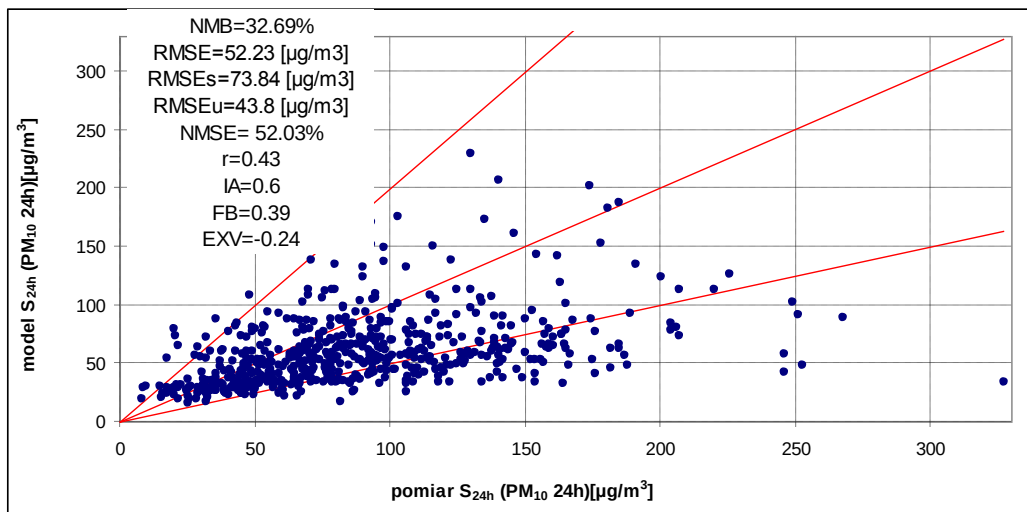
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





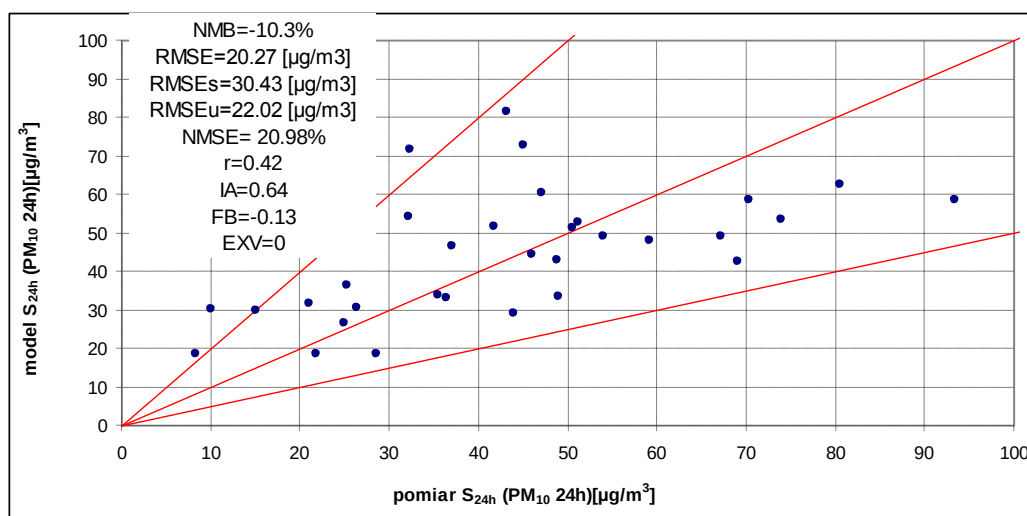
Rysunek 4-42 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 11-18.11.2011 r.

Najwyższe stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące od emisji z terenu Polski wystąpiły 15 oraz 16 listopada. Wówczas to zaznaczył się pewien wpływ zanieczyszczeń z terenu Polski przez Bramę Morawską w kierunku Ostrawy. Równocześnie należy wyraźnie podkreślić, iż w dniu wystąpienia największego zasięgu epizodu (18.11) stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące od emisji z Polski były stosunkowo najniższe.



Rysunek 4-43 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 11.11.2011 - 18.11.2011r.

Wyniki modelowania w terminie od 11.11.2011 do 18.11.2011 wskazują niższe stężenia niż pomiary. Podobnie jak wcześniej dla niskich wartości pyłu zawieszonego PM₁₀ zgodność jest dobra, problem niedoszacowania modelowania występuje dla wysokich stężeń. Również błędy NMB i NMSE są dość wysokie, ale już współczynniki korelacji i indeks zgodności oznaczają umiarkowaną korelację.



Rysunek 4-44 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 11.11.2011 - 18.11.2011r.

Po odrzuceniu z dalszej analizy błędów stacji o charakterze miejskim, pozostały następujące stacje: Osieczów, Czerniawa, Widuchowa, Marwice i Stoki. Za prawidłowe można uznać 83% wyników modelowania, pozostałe 17% są to rezultaty przeszacowane przez model.

Współczynniki wskazujące na zależność pomiędzy modelem i pomiarami tj. współczynnik korelacji i indeks zgodności wskazują umiarkowaną korelację. Rozbieżność pomiędzy pomiarami a wynikami modelowania wynosi 21% i jest mniejsza od wymaganych 40% dla dobrego modelu. Miara odchylenia NMB dla dobrego modelu powinna być mniejsza

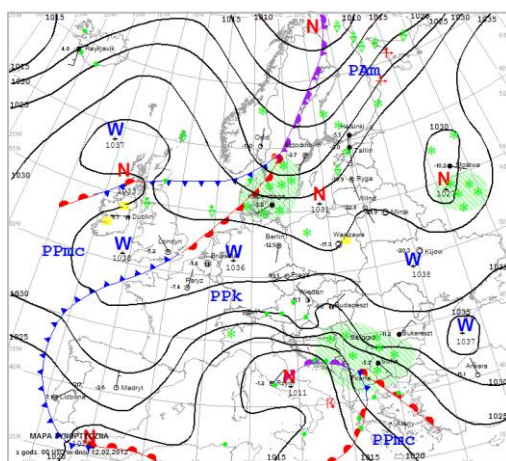
od 10%, a dla tego epizodu jest bardzo bliska wymaganej wartości. Wariancja wyjaśniona, która dla dobrego modelu powinna być większa od 0,3, tu wynosi 0.

4.1.5. Epizod 5 od 10 do 14 lutego 2012 r.

4.1.5.1. Sytuacja synoptyczna

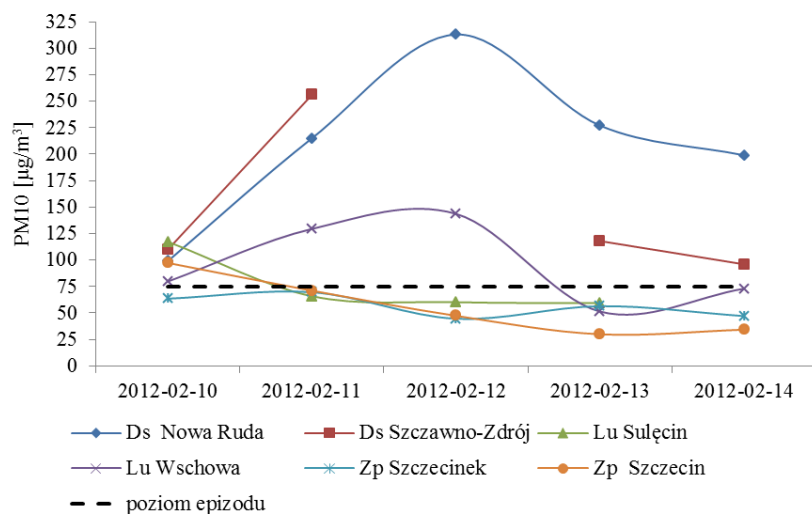
W dniach 10-12.02.2012 Polska była w zasięgu klina silnego wyżu znad północno-zachodniej Rosji. Napływało wówczas z kierunków wschodnich suche i mroźne powietrze polarno-kontynentalne (PPk). W następnych dniach zaznaczyło się stopniowe słabnięcie klina wyżowego, a z północnego zachodu zaczęła nasuwać się nad obszar Polski zatoka niżowa wraz z układem frontów atmosferycznych. Zaczęło napływać ciepłe powietrze polarno-morskie (PPm).

12.02.2012

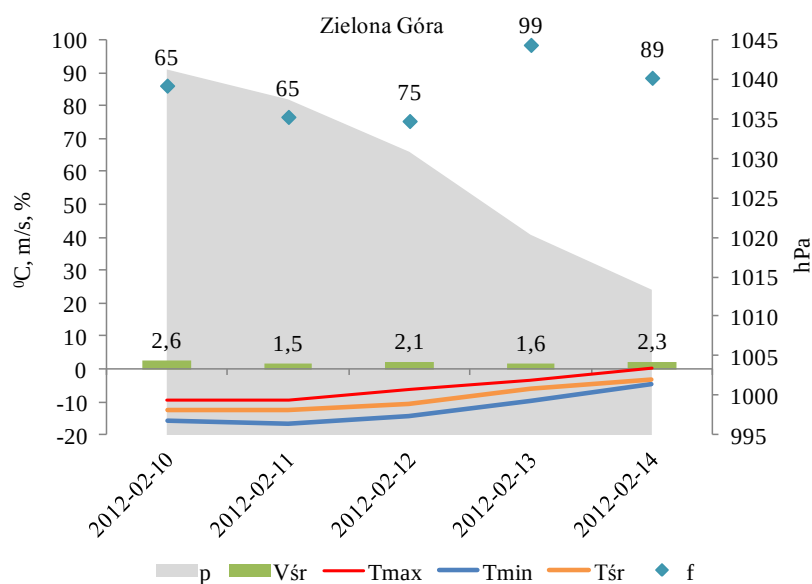


Rysunek 4-45 Mapa synoptyczna z dnia 12 lutego 2012 roku, godzina 0 UTC

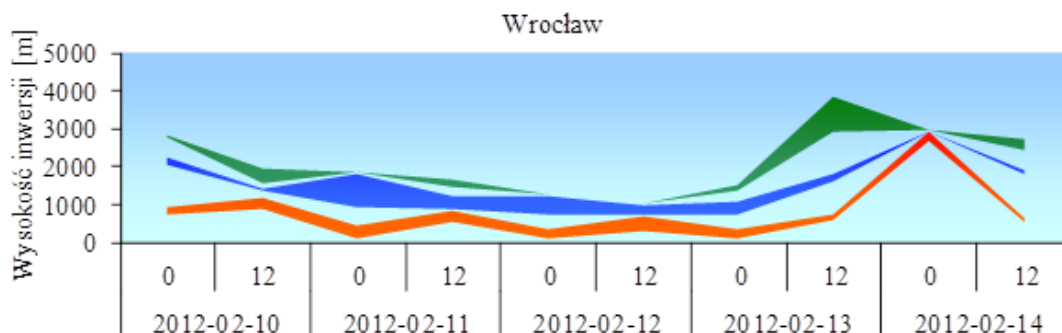
4.1.5.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne



Rysunek 4-46 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀

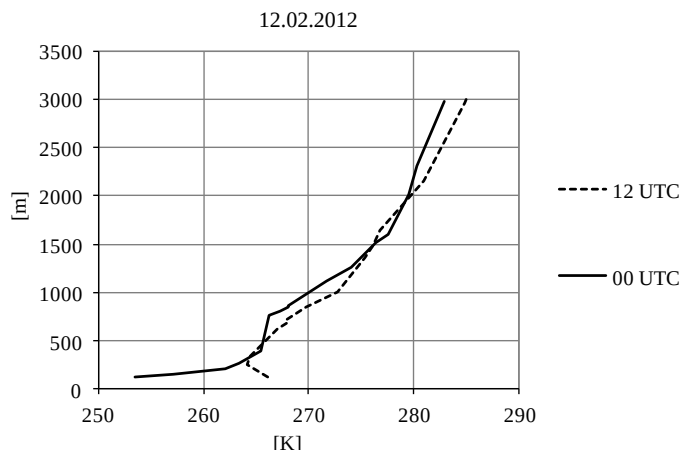


Rysunek 4-47 Rys. 26 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f).



Rysunek 4-48 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

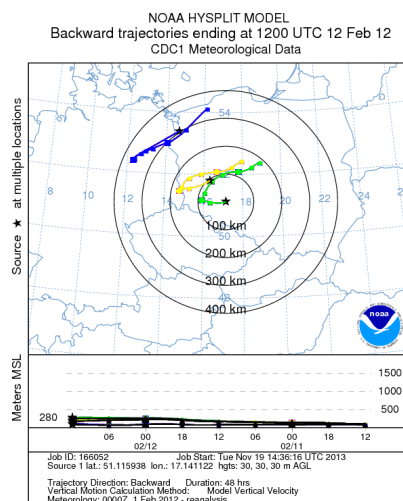
Podczas omawianego epizodu inwersja wzniesiona zachowywała typowy dobowy bieg z maksimum w godzinach okołopołudniowych, które w miarę rozwoju epizodu stopniowo obniżało się. W dniu wystąpienia maksimum stężeń (12.02.2012) znajdowało się na wysokości około 250 m n.p.m. średnio utrzymując się na wysokości około 200 m. Naziemne warunki meteorologiczne sugerowały występowanie inwersji przyziemnej.



Rysunek 4-49 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.1.5.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten był epizodem, w którym znaczne podwyższenie stężeń PM₁₀ objęło obszar województw dolnośląskiego, lubuskiego, śląskiego, małopolskiego, podkarpackiego i lubelskiego. Maksymalne stężenia odnotowano dla większości stacji 12.02.2012.

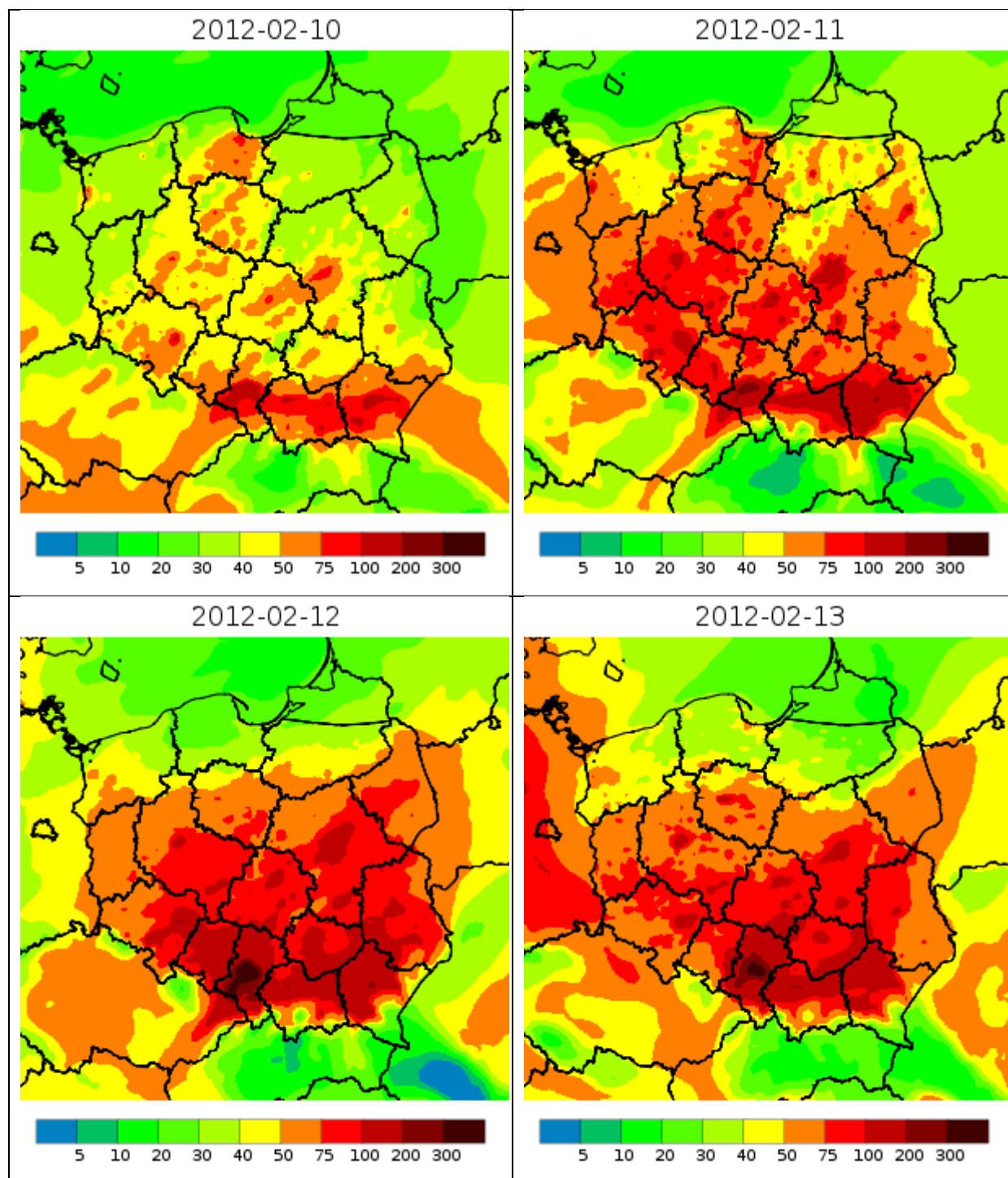


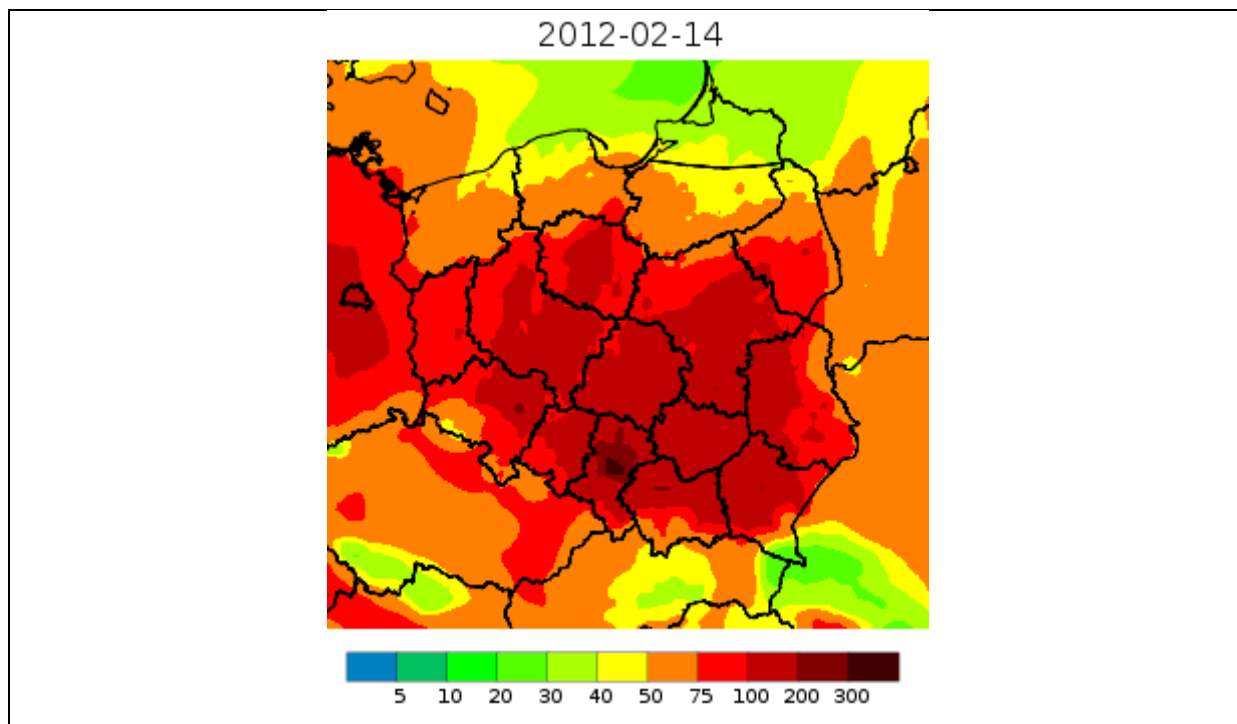
Rysunek 4-50 Trajektorie wsteczne dla epizodu 12.02.2012

Powyżej trajektorie wsteczne dla epizodu 12.02.2012: Wrocław (204, 229 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Wschowa (144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Szczecin (47, 70, 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Trajektorie wsteczne wypuszczane wstecznie dnia 12.02.2012 przebiegały na bardzo niskiej, niemal stałej wysokości, zawsze będąc w obrębie warstwy mieszaną. Wysokość warstwy mieszaną w tym czasie, na terenie eksplorowanym przez trajektorie z rysunku A była bardzo niska, nierzadko poniżej 30 m. W czasie analizowanego epizodu jakość powietrza w województwie dolnośląskim i lubuskim wydaje się być zdeterminowana przez źródła lokalne.

4.1.5.4. Modelowanie stężeń pyłu PM₁₀ 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10

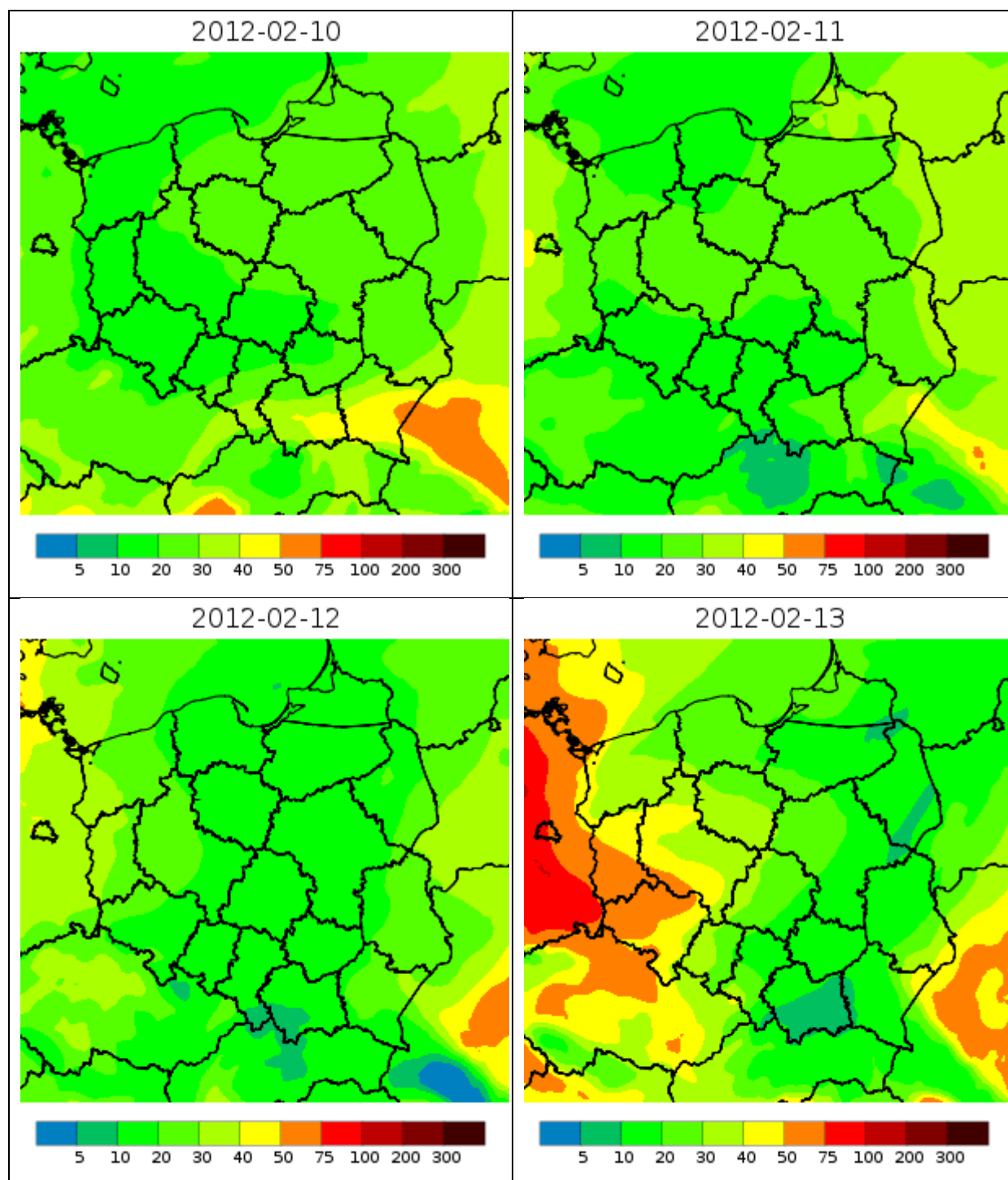


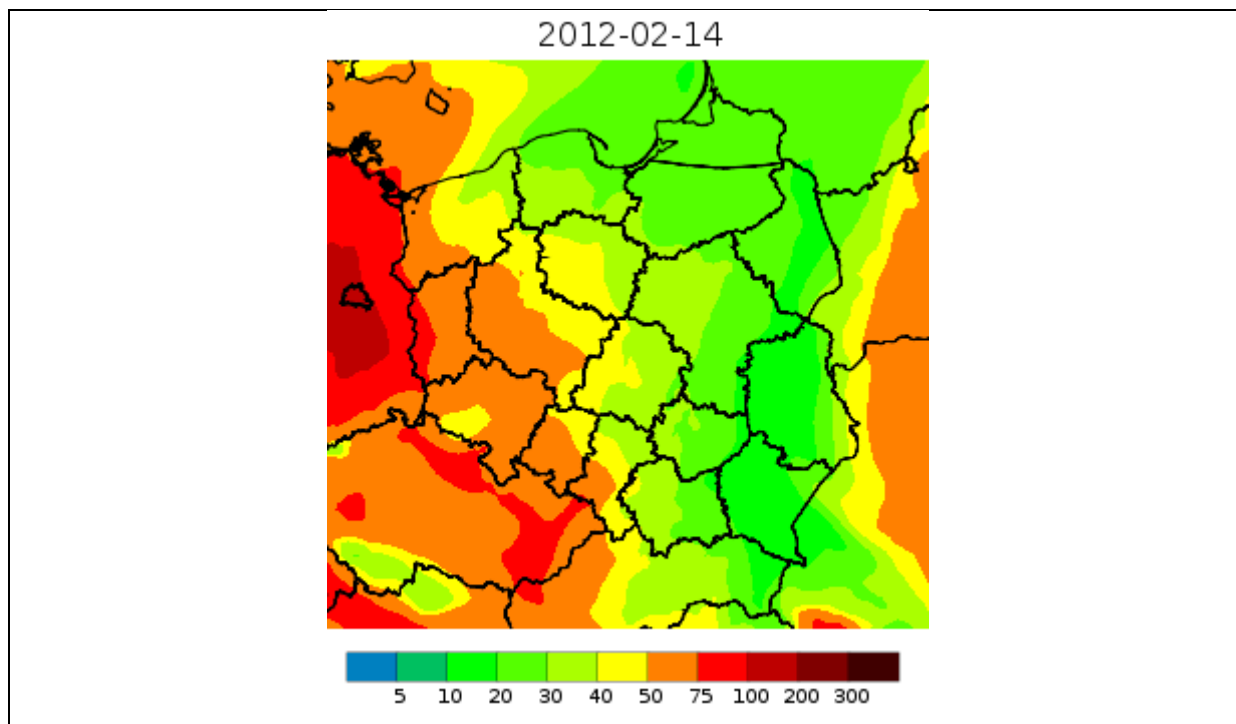


Rysunek 4-51 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 10-14.02.2012 r.

Epizod od 10 do 14 lutego 2012 r. w początkowej fazie swego trwania obejmował głównie większe miasta i aglomeracje. Jedynie na południu Polski obejmował swym zasięgiem kilka województw: śląskie, małopolskie oraz podkarpackie. 12 lutego wyraźnie zwiększył się zasięg epizodu, by maksymalny – około 250 tys. km^2 - osiągnąć 14 lutego. Wówczas to epizod objął praktycznie wszystkie województwa poza warmińsko-mazurskim. Maksymalne stężenia pyłu zawieszonego PM10 wystąpiły 12 lutego, na terenie województwa śląskiego i przekraczały poziom alarmowy.

**B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego
na obszar Polski**

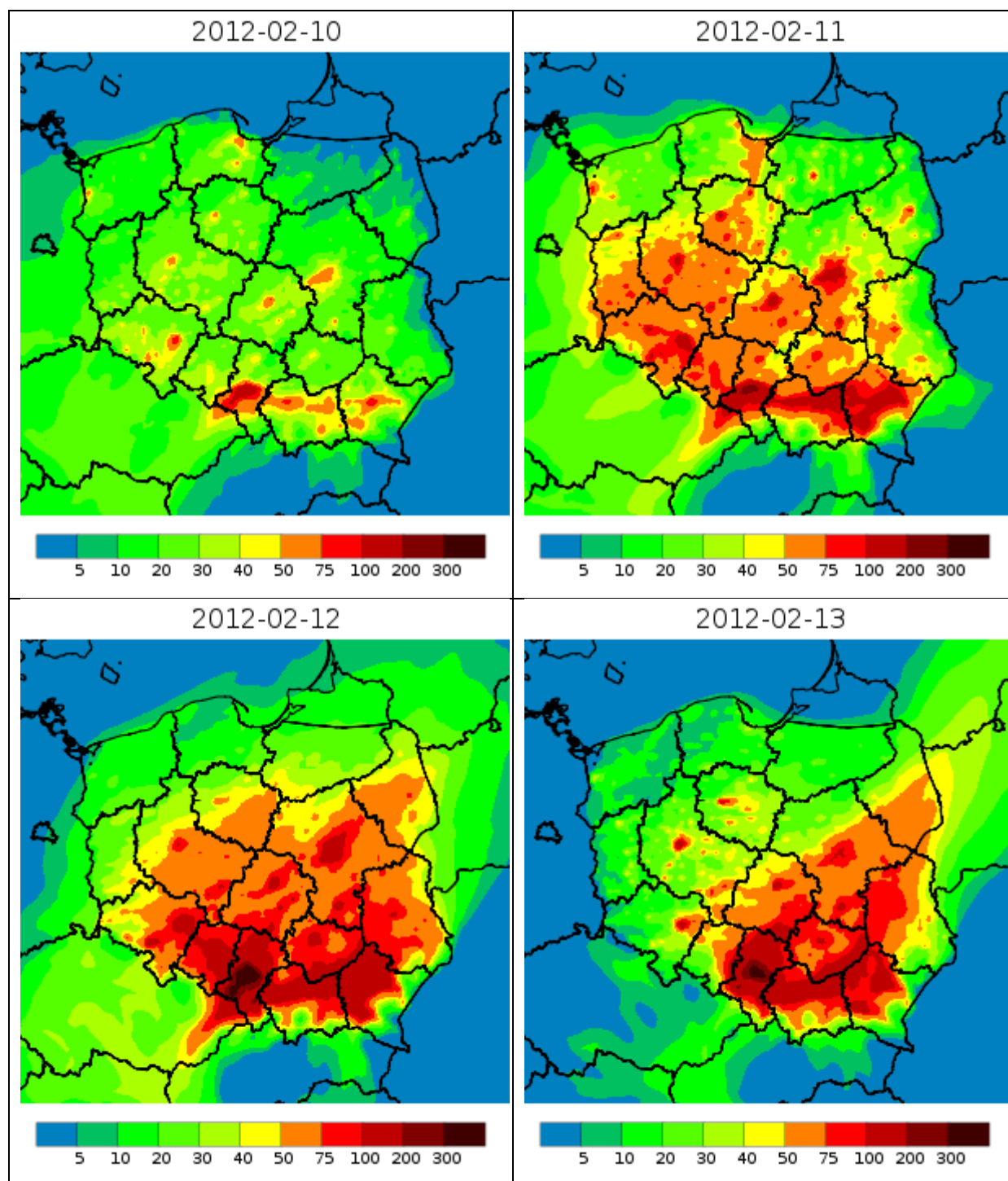


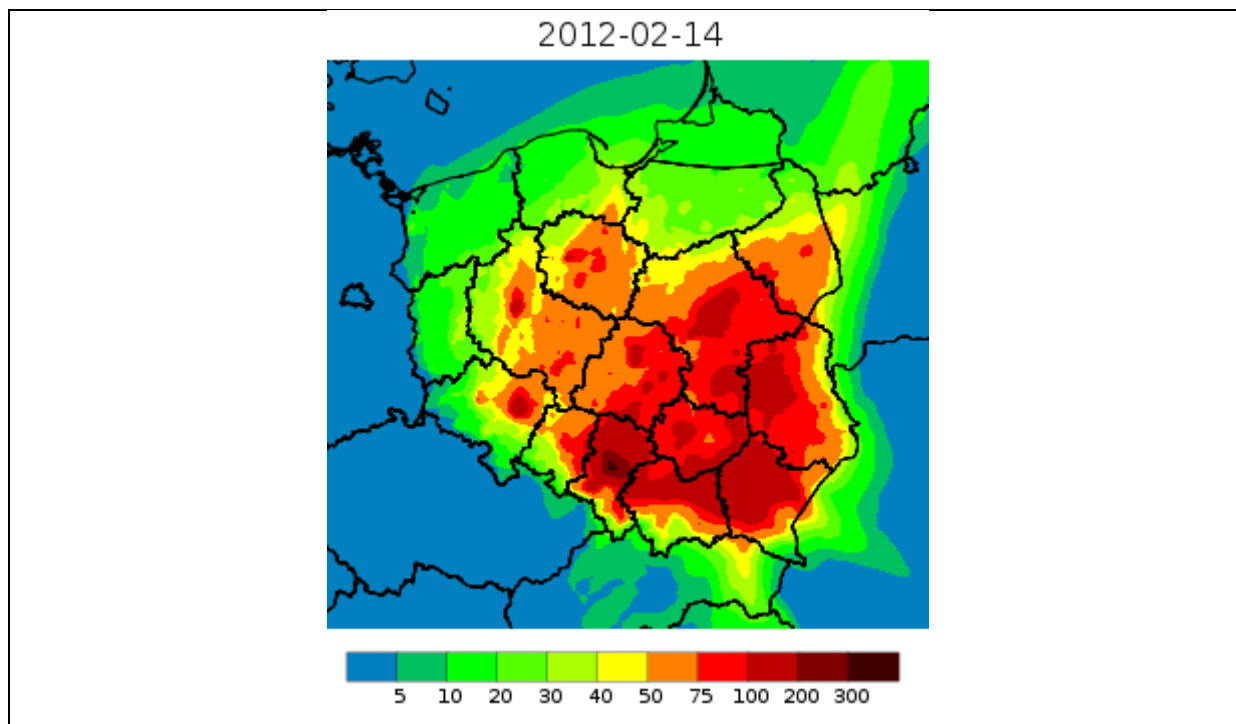


Rysunek 4-52 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 10-14.02.2012 r.

W pierwszych dniach trwania epizodu stężenia transgraniczne PM10 na terenie Polski osiągały około 10 – 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Od 13 lutego zaobserwowano wzrost stężeń, które na pograniczu polsko-niemieckim oraz polsko-czeskim dochodziły nawet do 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pewien, jednak nieco mniejszy wpływ zaznaczył się wzdłuż granicy wschodniej, szczególnie w województwach podkarpackim oraz lubelskim.

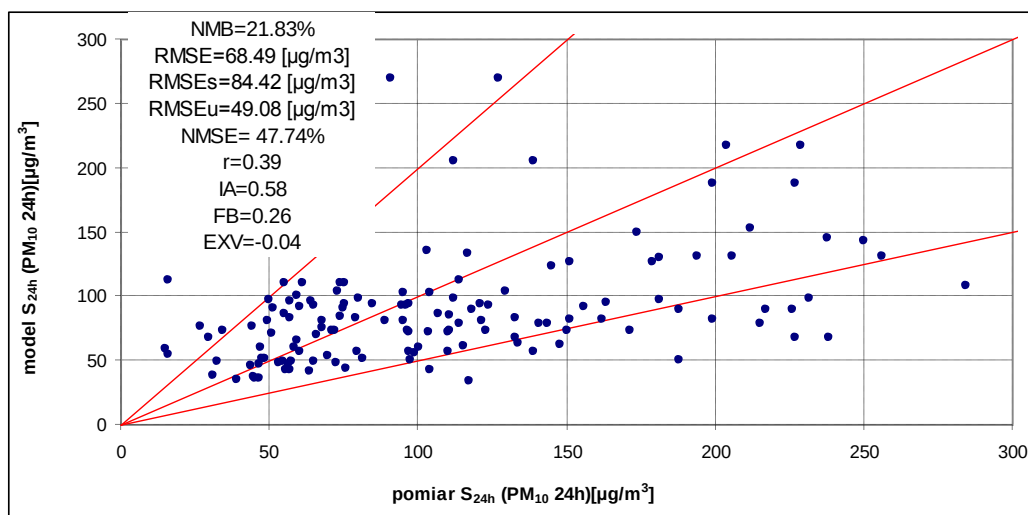
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





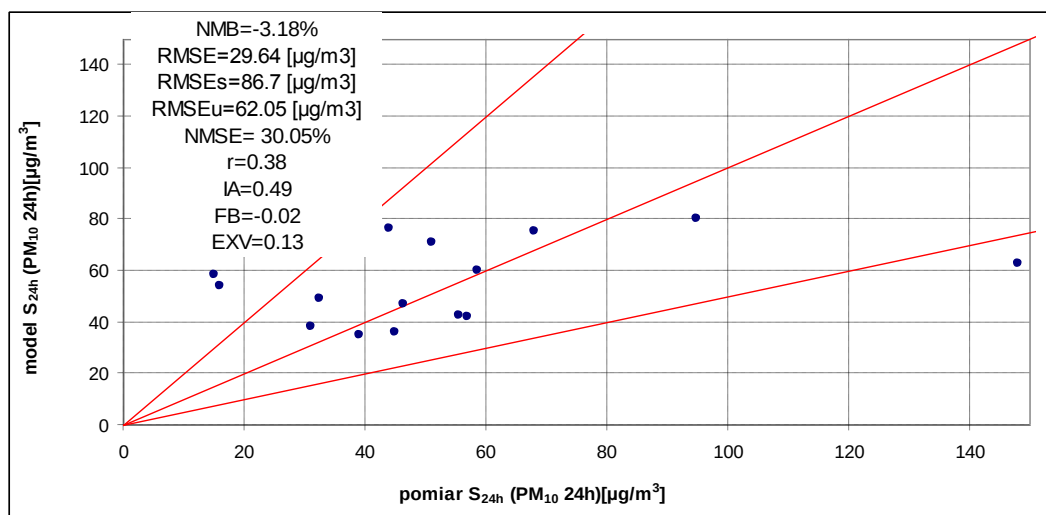
Rysunek 4-53 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 10-14.02.2012 r.

Stężenia pochodzące od emisji z terenu Polski wskazują raczej lokalny zasięg oddziaływania. 11 oraz 12 lutego miało miejsce pewne przeniesienie zanieczyszczeń ze Śląska w kierunku Ostrawy. Jednak w dniu maksymalnego zasięgu odpływ zanieczyszczeń odbywał się w kierunku północno wschodnim.



Rysunek 4-54 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 10.02.2012 - 14.02.2012r.

Błędy NMB i NMSE są trochę powyżej norm oznaczających poprawne modelowanie, indeks zgodności i współczynnik korelacji wskazują na umiarkowaną korelację. Wariancja wyjaśniona jest zbliżona do zera, przy czym dla dobrego modelu powinna być większa od 0,30. Błąd FB, który jest normowany do 2, jest bliski zera.



Rysunek 4-55 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 10.02.2012 - 14.02.2012r.

Kiedy z dalszej analizy usunięte zostaną stacje o charakterze miejskim, pozostaną jedynie 3 stacje: Czerniawa, Osieczów i Marwice. Miary błędów dla stacji pozamiejskich uległy znacznej poprawie: NMB, który dla dobrego modelu powinien być mniejszy niż 10%, w tym przypadku wyniósł około 3%. RMSE wskazuje, że model różni się średnio o 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ od pomiarów, a NMSE jest dużo mniejsze od 40%. Miary oznaczające współzależność wyników pomiarów i modelowania tj. współczynnik korelacji i indeks zgodności nadal są na poziomie istotnej zależności.

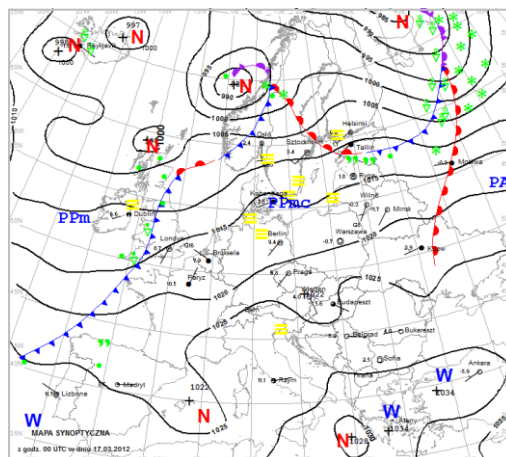
Jeżeli za prawidłowe zostaną uznane rezultaty modelowania znajdujące się pomiędzy ramionami oznaczającymi dwukrotnie większe i dwukrotnie mniejsze wyniki pomiarów, to otrzymany zgodność modelowania na poziomie 80%.

4.1.6. Epizod 6 od 16 do 18 marca 2012 r.

4.1.6.1. Sytuacja synoptyczna

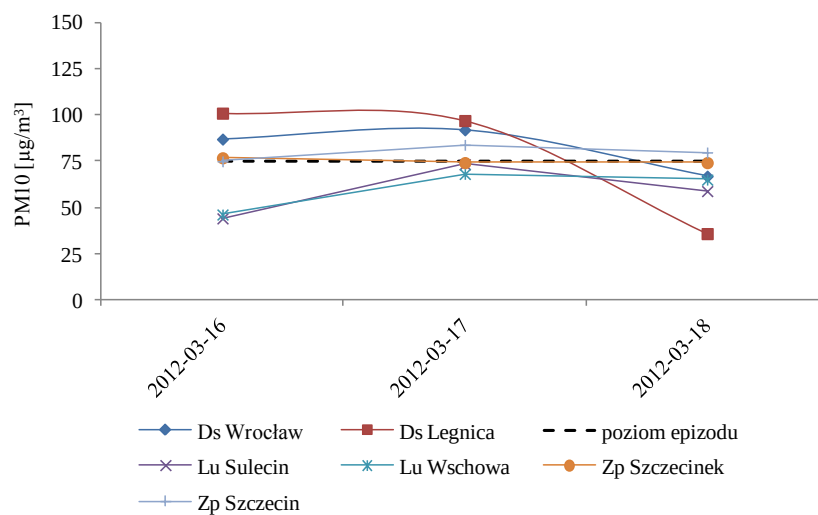
W dniach 16-18.03.2012 obszar Polski znajdował się w zasięgu wyżu, którego centrum wędrowało znad Czech nad Bałkany, a potem Turcję. W pierwszym dniu epizodu zaznaczała się płytka zatoka niżu znad Morza Norweskiego z ciepłym frontem atmosferycznym. Front ten dzielił kraj na obszary zalegania mas powietrza różnego pochodzenia. Na wschodzie napływało chłodne powietrze pochodzenia arktycznego (PA), na zachodzie – ciepłe powietrze polarno-morskie (PPmc). W ciągu dnia 16.03.2012 front przemieszczał się na wschód i nad cały kraj zaczęło napływać suche i ciepłe powietrze polarno-morskie (PPmc). Dnia 18.03.2012 na zachodzie zaczęła zaznaczać się zatoka niżu znad cieśnin duńskich. Do granicy Polski z zachodu nasunął się chłodny front atmosferyczny.

17.03.2012



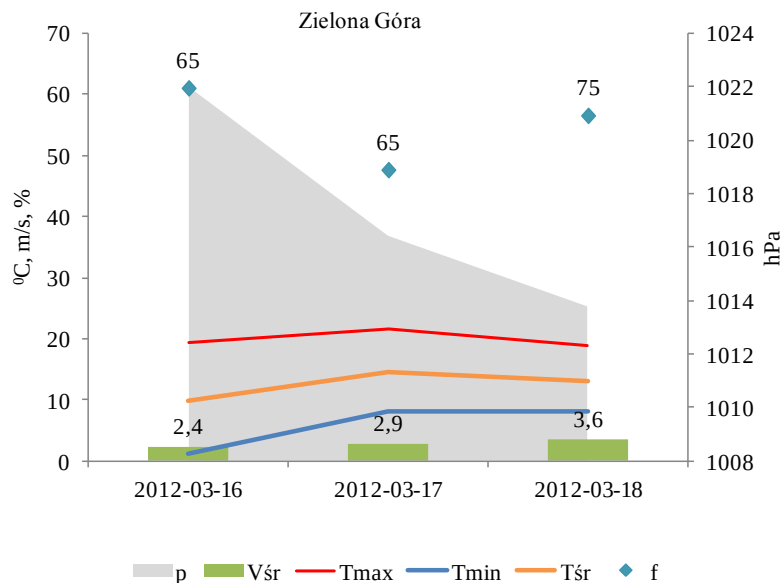
Rysunek 4-56 Mapa synoptyczna z dnia 17 marca 2012 roku, godzina 0 UTC

4.1.6.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne

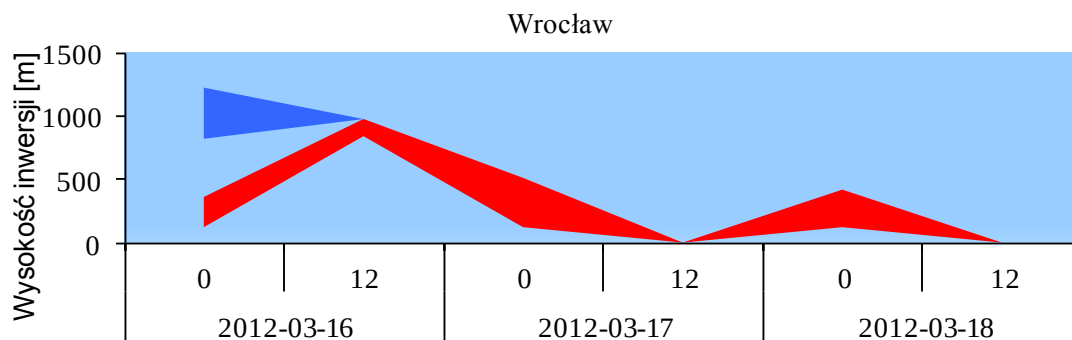


Rysunek 4-57 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

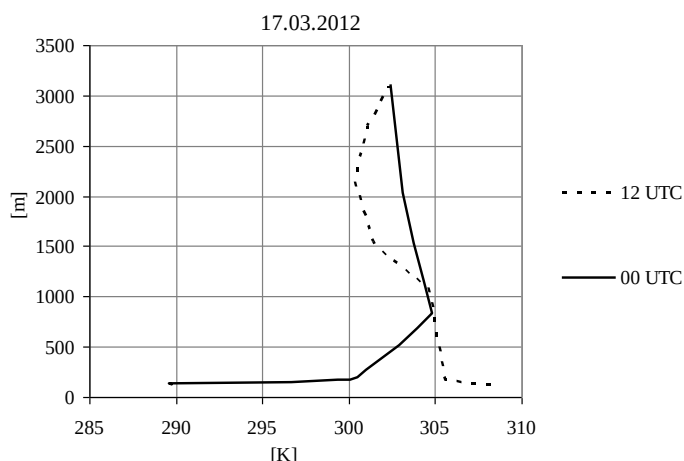


Rysunek 4-58 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V_{sr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-59 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

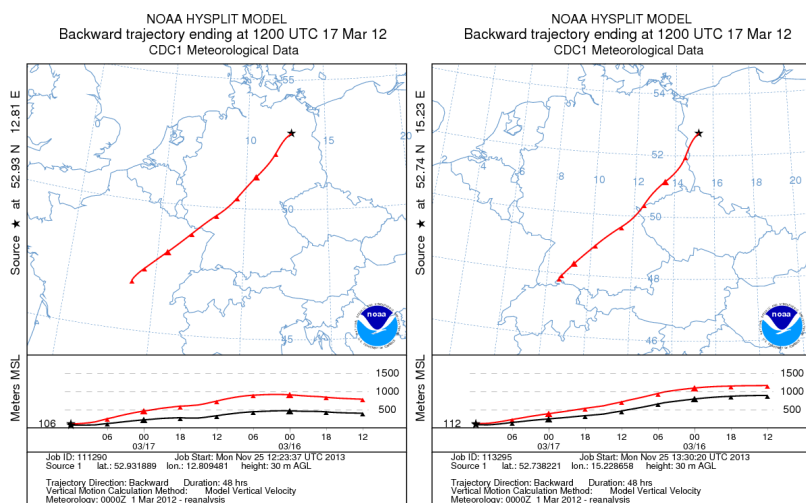
Przebieg wyniesionych warstw inwersyjnych podczas rozwoju tego epizodu wykazuje wyraźne zmniejszanie się wysokości spągu pierwszej warstwy z około 1000 m w przededniu maksimum stężeń do około 50 m podczas ich kulminacji. Stosunkowo wysoka temperatura i znaczna prędkość wiatru na stacji meteorologicznej raczej wykluczają inwersję przyziemną.



Rysunek 4-60 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.1.6.3. Trajektorie wsteczne

W czasie tego epizodu maksymalne stężenie zanotowano w Neuruppin ($77 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dnia 17.03.2012. Tego samego dnia przekroczenia wystąpiły także na stacjach położonych na zachodzie Polski – m.in. w Gorzowie Wielkopolskim ($122 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

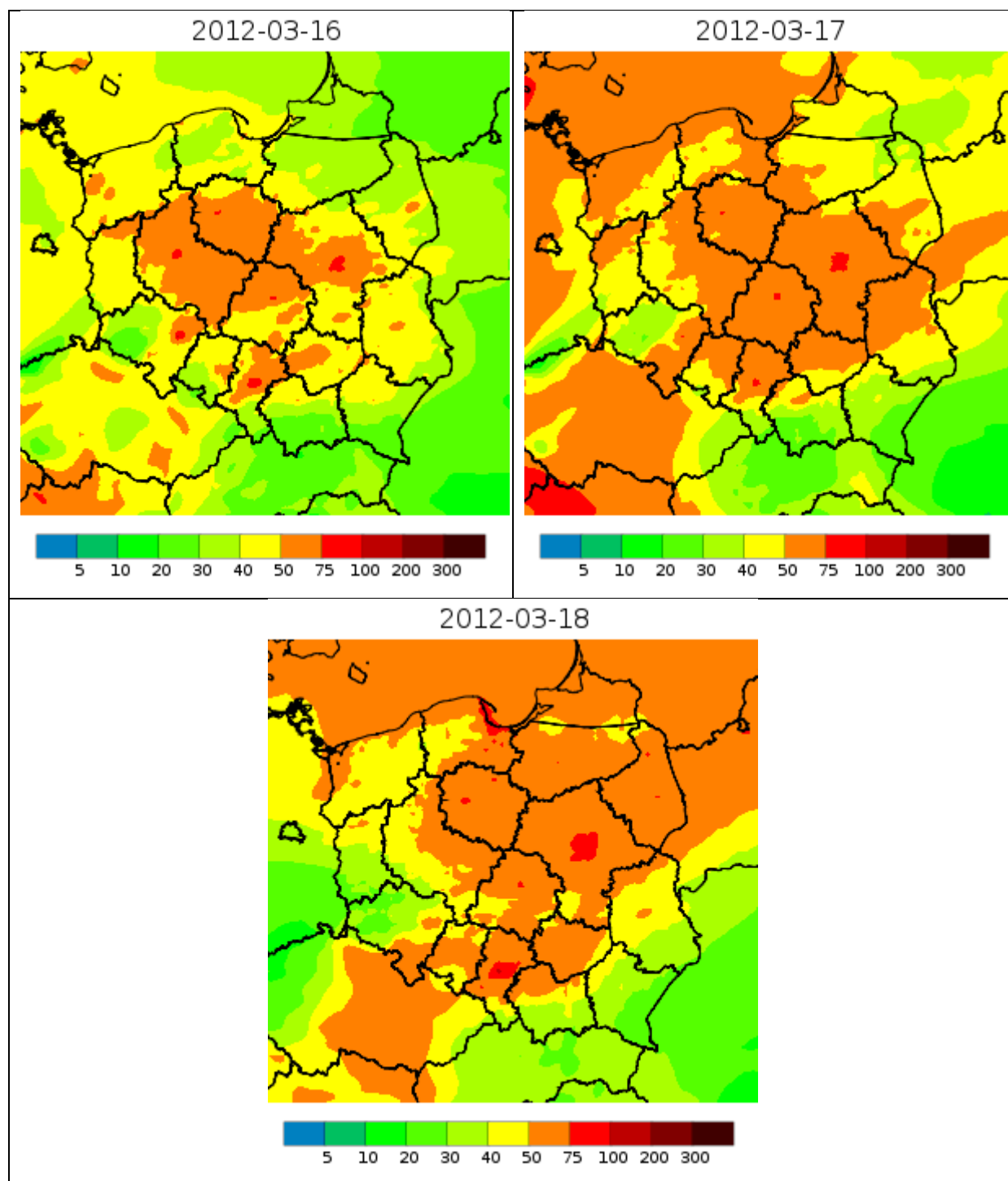


Rysunek 4-61 Trajektoria wsteczna w dniu 17.03.2012

Trajektoria wsteczna w czasie tego epizodu podnosiła się stopniowo, aby po 24 h osiągnąć wysokość 400 m, po czym pozostała na podobnym poziomie przez całą drugą dobę. Już po 7 h wyszła poza obręb warstwy mieszania, a następnie wchodziła i wychodziła z obrębu warstwy cyklicznie, stosownie do zmieniającej się głębokości mieszania. Wysokość mieszania zmieniała się od ponad 500 m w Neuruppin o 12 UTC do 70 m w nocy wzdłuż trajektorii. Duża wysokość warstwy mieszania w dzień i stosunkowo duża prędkość wiatru na wysokości trajektorii w Neuruppin wskazuje, że epizod ten kształtowały raczej źródła odległe i dominujące znaczenie w tej sytuacji powinny mieć przy dalekim napływie wysokie emitery.

4.1.6.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10

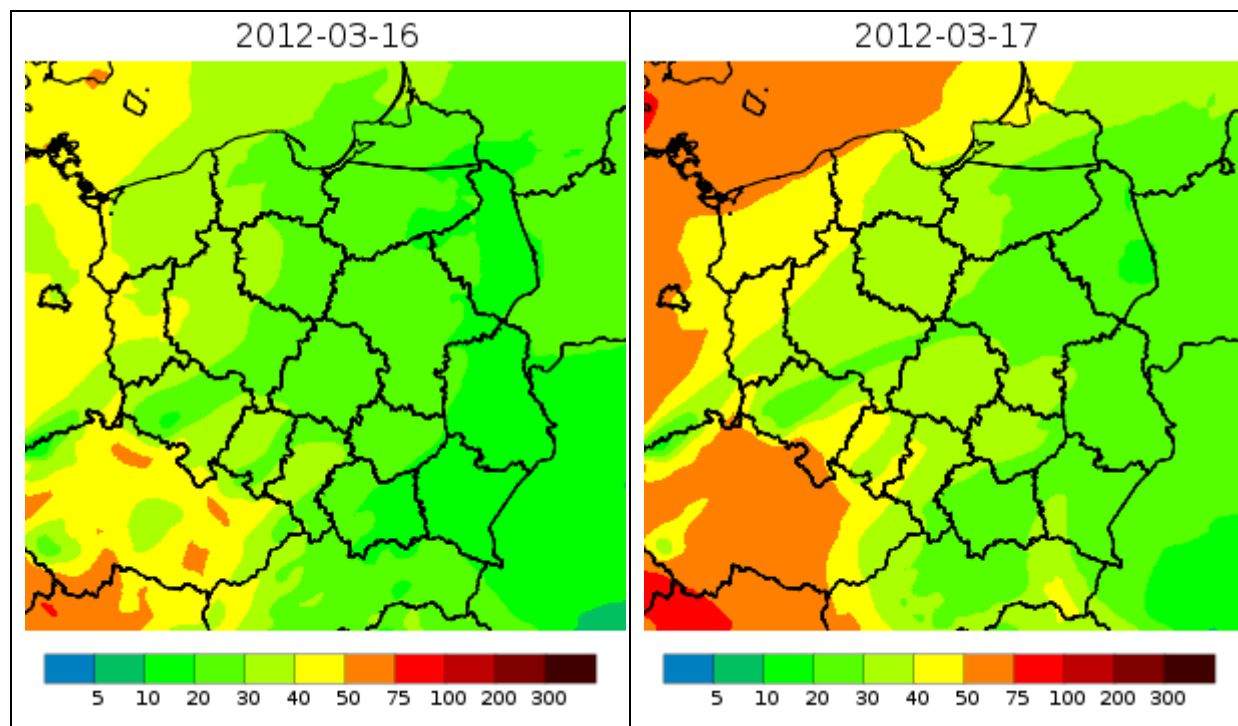


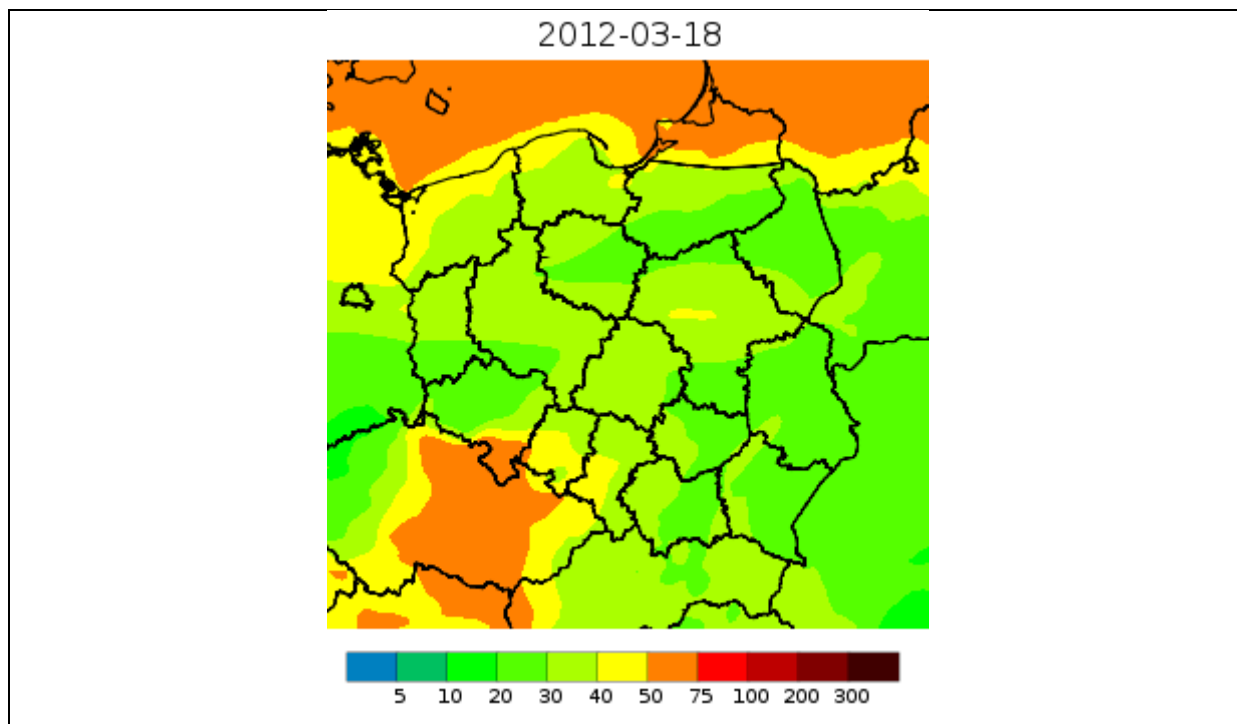
Rysunek 4-62 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 16-18.03.2012 r.

W trakcie trwania epizodu wysokich stężeń pyłu zawieszonego PM10 od 16 do 18 marca najwyższe stężenia zanieczyszczeń ($>75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zaznaczały się głównie na terenie

dużych miast oraz aglomeracji. Łączny, maksymalny zasięg izolinii $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dnia 18 marca wynosił około 5 tys. km^2 , a największe obszary obejmowały Warszawę, Aglomerację Trójmiejską oraz Aglomerację Górnośląską. Tego dnia również wystąpiły najwyższe stężenia. Równocześnie 17 i 18 marca na bardzo znacznym obszarze Polski stężenia przekraczały $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski

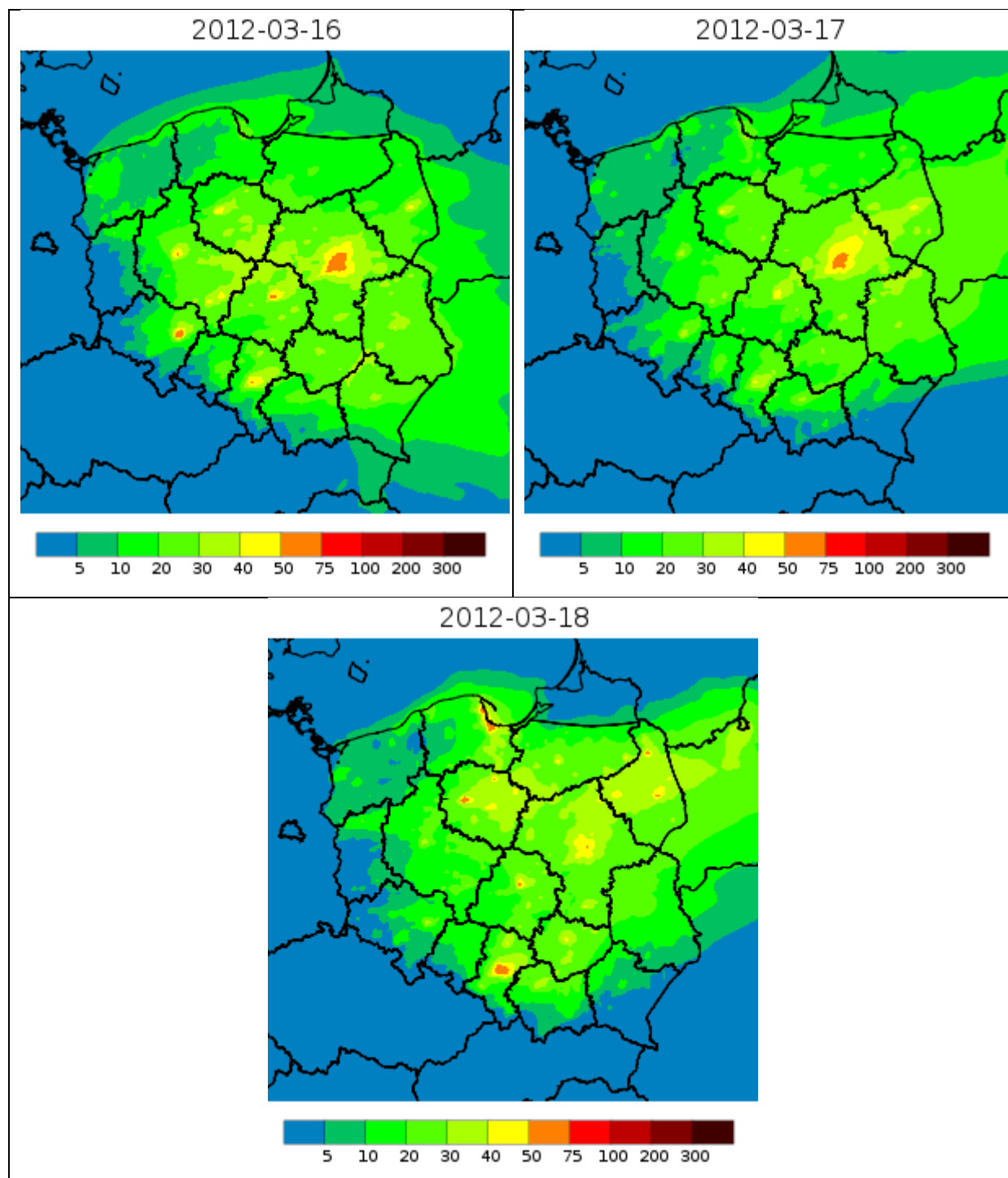




Rysunek 4-63 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 16-18.03.2012 r.

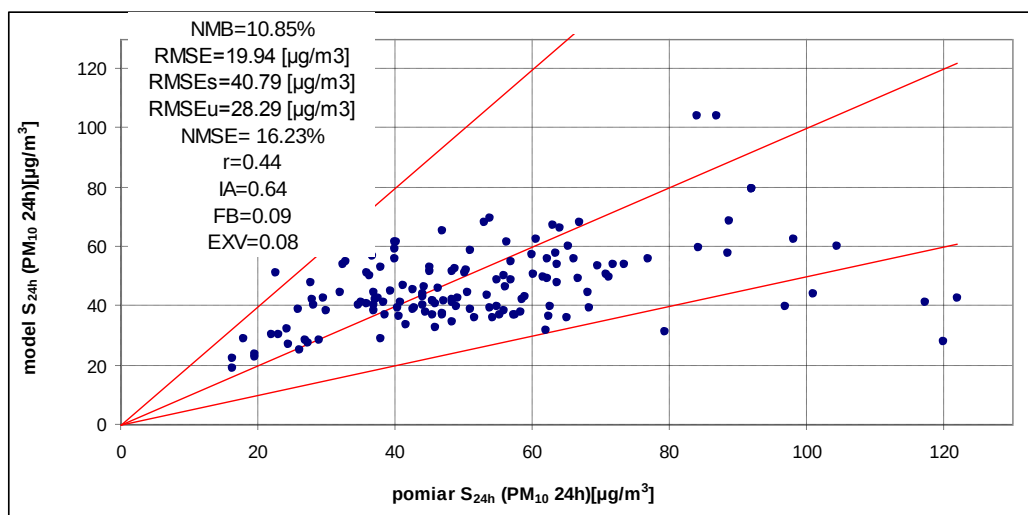
Epizod 16-18 marca 2012 r. charakteryzował się stosunkowo wysokim stężeniem transgranicznego napływu zanieczyszczeń z kierunku zachodniego, południowo-zachodniego oraz północno-zachodniego, który w obszarach przygranicznych i nad morzem przekraczał nawet $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na terenie reszty kraju stężenia te oscylowały w granicach $30\text{-}40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i najwyższe były 18 marca.

C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski



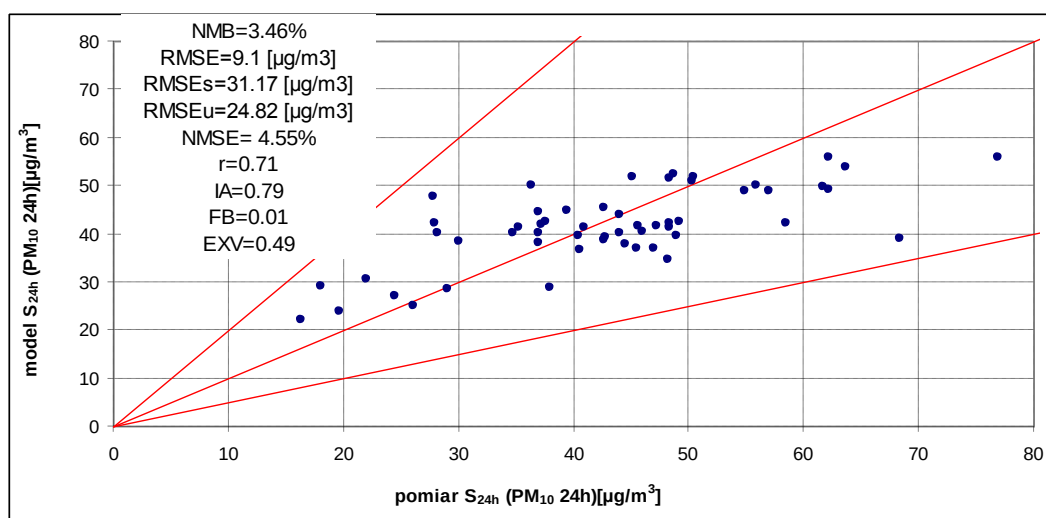
Rysunek 4-64 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 16-18.03.2012 r.

Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące od emisji z Polski na terenie całego kraju były stosunkowo niskie. Jedynie na obszarach dużych miast i aglomeracji osiągały maksymalnie wartość dopuszczalną (50 µg/m³). Największe zasięgi zaobserwowano na terenie Warszawy, Aglomeracji Śląskiej oraz Trójmiejskiej.



Rysunek 4-65 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 16.03.2012 - 18.03.2012r.

Znormalizowane odchylenie średnie (NMB), znormalizowany błąd średniokwadratowy (NMSE), znormalizowany błąd średni (FB) wskazują na dobrą jakość modelowania względem pomiarów. Natomiast indeksy zgodności i korelacji pokazują odpowiednio istotną i znaczną zależność. Średnio wyniki modelowania różnią się prawie o 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ względem pomiarów.



Rysunek 4-66 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 16.03.2012 - 18.03.2012r.

Analiza statystyczna miar błędów wyników modelowania i pomiarów dla pyłu zawieszonego PM₁₀ w stacjach pozamiejskich, wskazuje na bardzo dobrą jakość modelowania. Miary wskazujące na współzależność pomiędzy modelowaniem i pomiarami są na poziomie umiarkowanej korelacji. Błędy NMB, RMSE i NMSE są niskie, tym samym oznaczając poprawność modelowania. Znormalizowany błąd średni FB jest zbliżony do zera, a wariancja wyjaśniona EXV wskazująca, jak bardzo wariancja pomiarów jest wyjaśniona przez model, jest powyżej 0.30, oznaczając dobry model. Wykres przedstawiający zależność

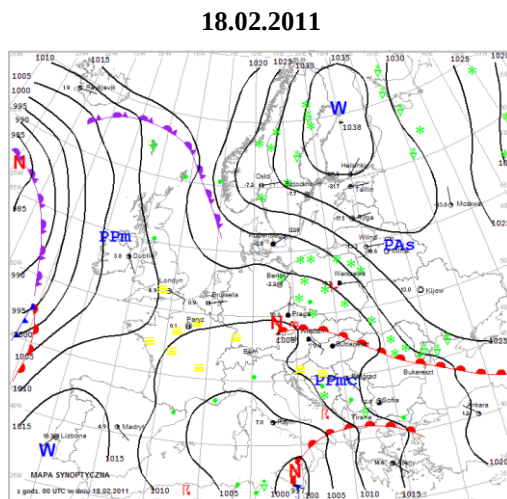
modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich jedynie potwierdza dobrą jakość modelowania, która wynika już z wyznaczonych wartości błędów.

4.2. Region 2 – województwo śląskie i opolskie

4.2.1. Epizod 1 od 16 do 20 lutego 2011 r.

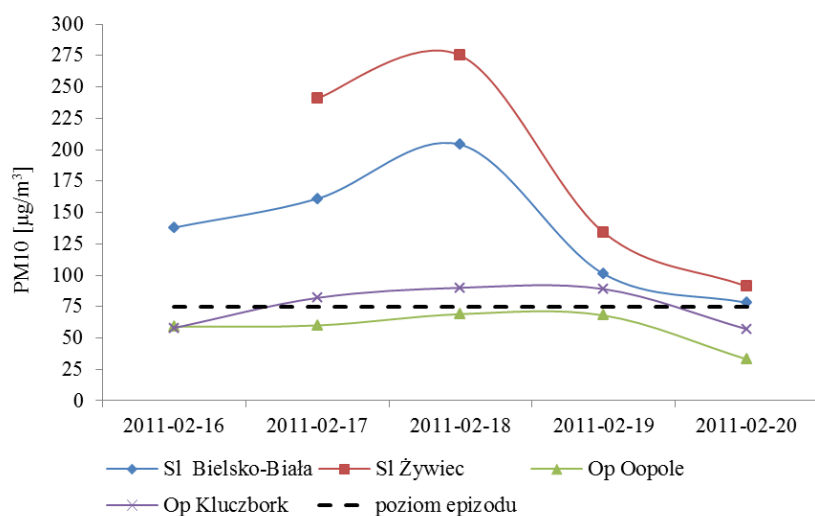
4.2.1.1. Sytuacja synoptyczna

W dniach 16-20.02.2011 Polska znajdowała się pod wpływem klina wyżu nad Skandynawią. Nad obszarem kraju zalegało chłodne powietrze pochodzenia arktycznego (PAs), które wcześniej napłynęło z północy. Skandynawski wyż skutecznie blokował postępowanie na wschód niżów z frontami atmosferycznymi dominującymi wówczas w zachodniej Europie, tylko przejściowo na zachodzie Polski zaznaczały się płytkie zatoki niżowe. Od dnia 19.02.2011 wyż zaczął ustępować, a na zachodzie i południu kraju zaznaczył się wpływ zatoki niżowej z ośrodkiem przemieszczającym się nad Bawarią w kierunku Rumunii i strefą pofalowanego frontu atmosferycznego. Jednocześnie z północnego-wschodu i wschodu zaczęła napływać masa powietrza polarno-kontynentalnego (PPk).

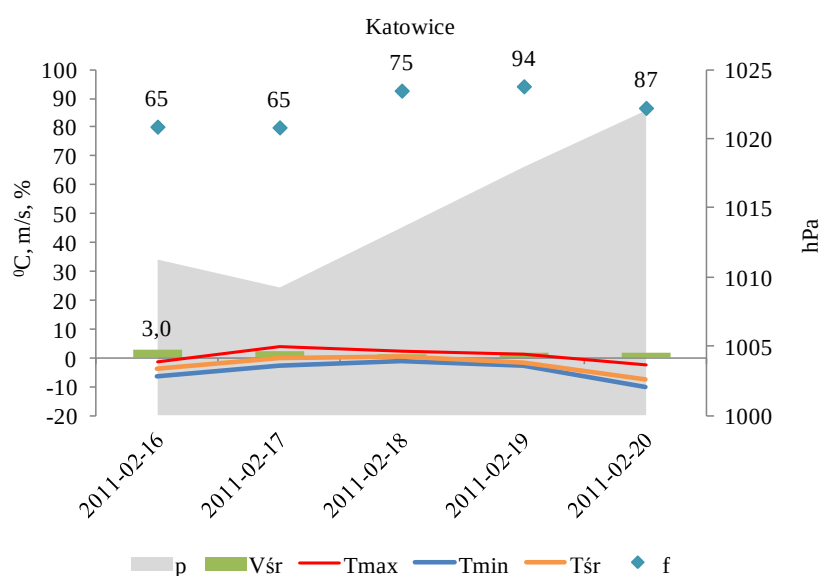


Rysunek 4-67 Mapa synoptyczna z dnia 18 lutego 2011 roku, godzina 0 UTC

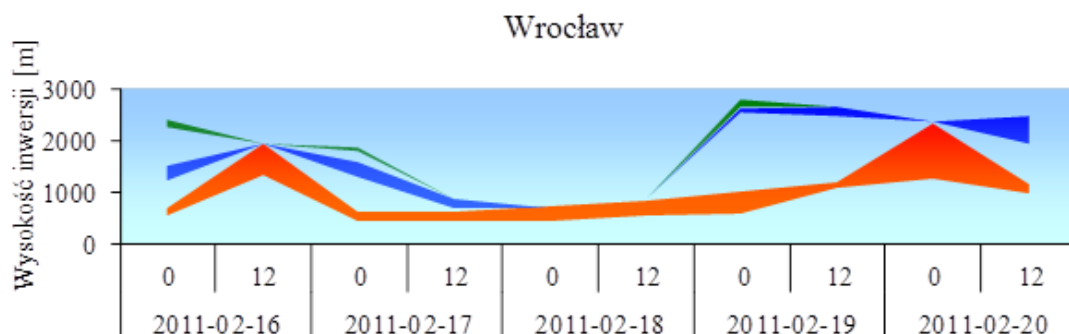
4.2.1.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne



Rysunek 4-68 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10

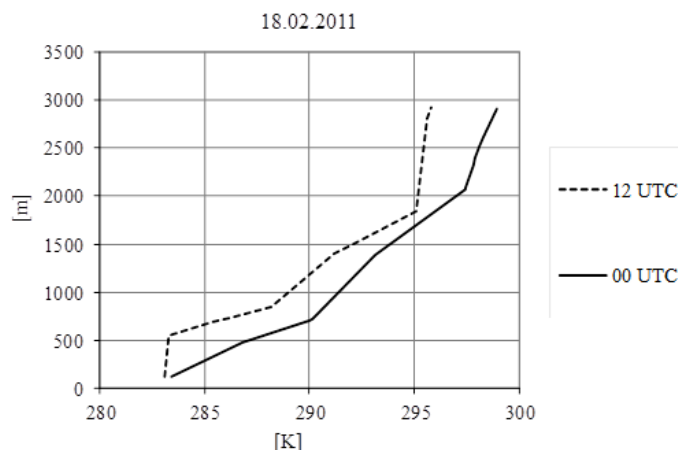


Rysunek 4-69 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vsr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-70 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

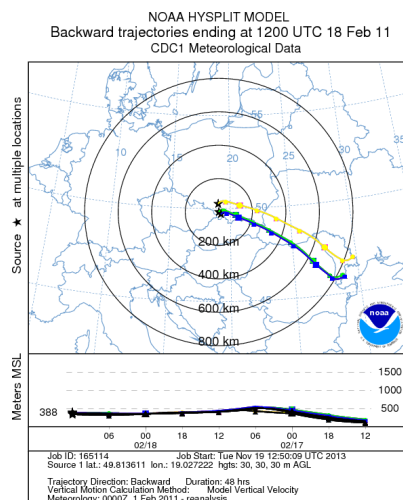
Podczas maksimum występowania stężeń pyłu PM₁₀ tj. 18.02.2011 r nie wystąpił typowy dla godzin około południowych wzrost wysokości zalegania pierwszej inwersji wzniesionej, co sugeruje całodobowe występowanie równowagi stałej atmosfery także w warstwie przyziemnej. Obserwowana kumulacja zanieczyszczeń jest zatem prawdopodobnie głównie wynikiem oddziaływania czynników lokalnych typowym dla sytuacji meteorologicznych związanych z temperaturą powietrza w nieznacznie poniżej 0°C.



Rysunek 4-71 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.2.1.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten objął swoim zasięgiem województwa śląskie i małopolskie oraz w mniejszym stopniu opolskie (niewielkie przekroczenie założonego poziomu stężeń w Kluczach) i podkarpackie (niewielkie przekroczenie założonego poziomu stężeń w Jasle). Maksymalne stężenia odnotowano dla większości stacji 18.02.2011.



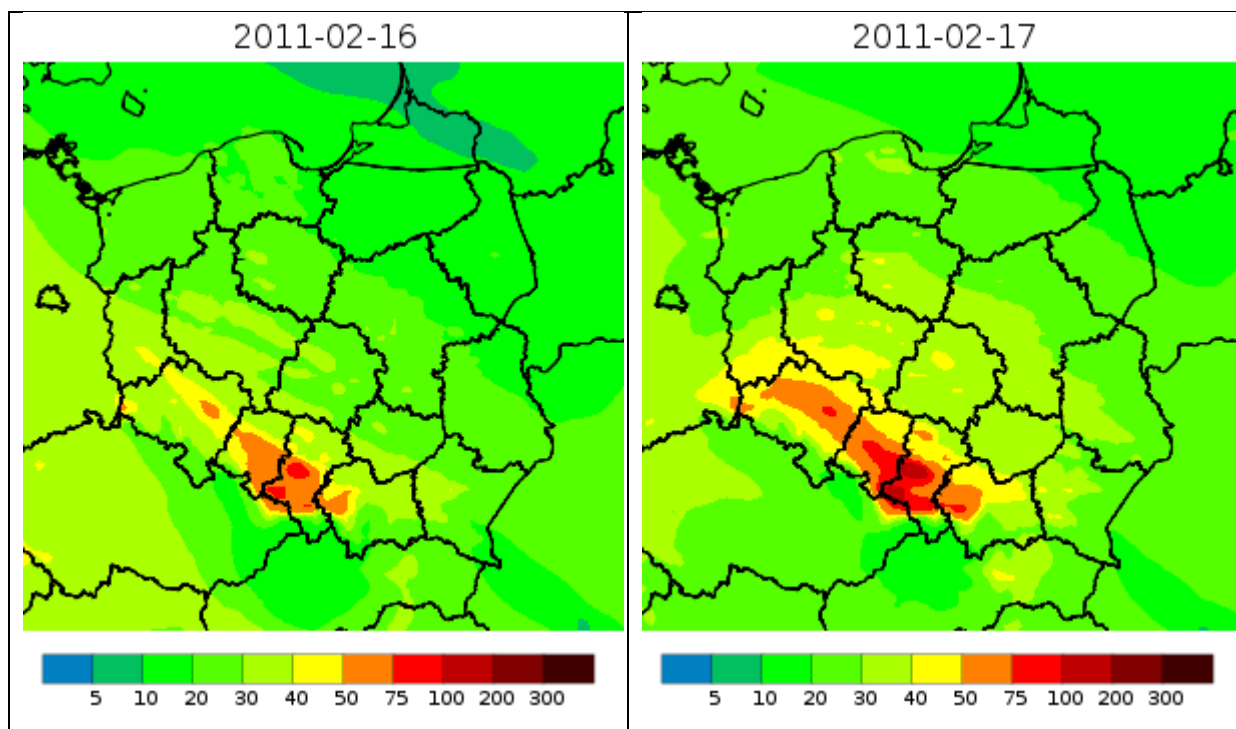
Rysunek 4-72 Trajektorie wsteczne dla wybranych stacji

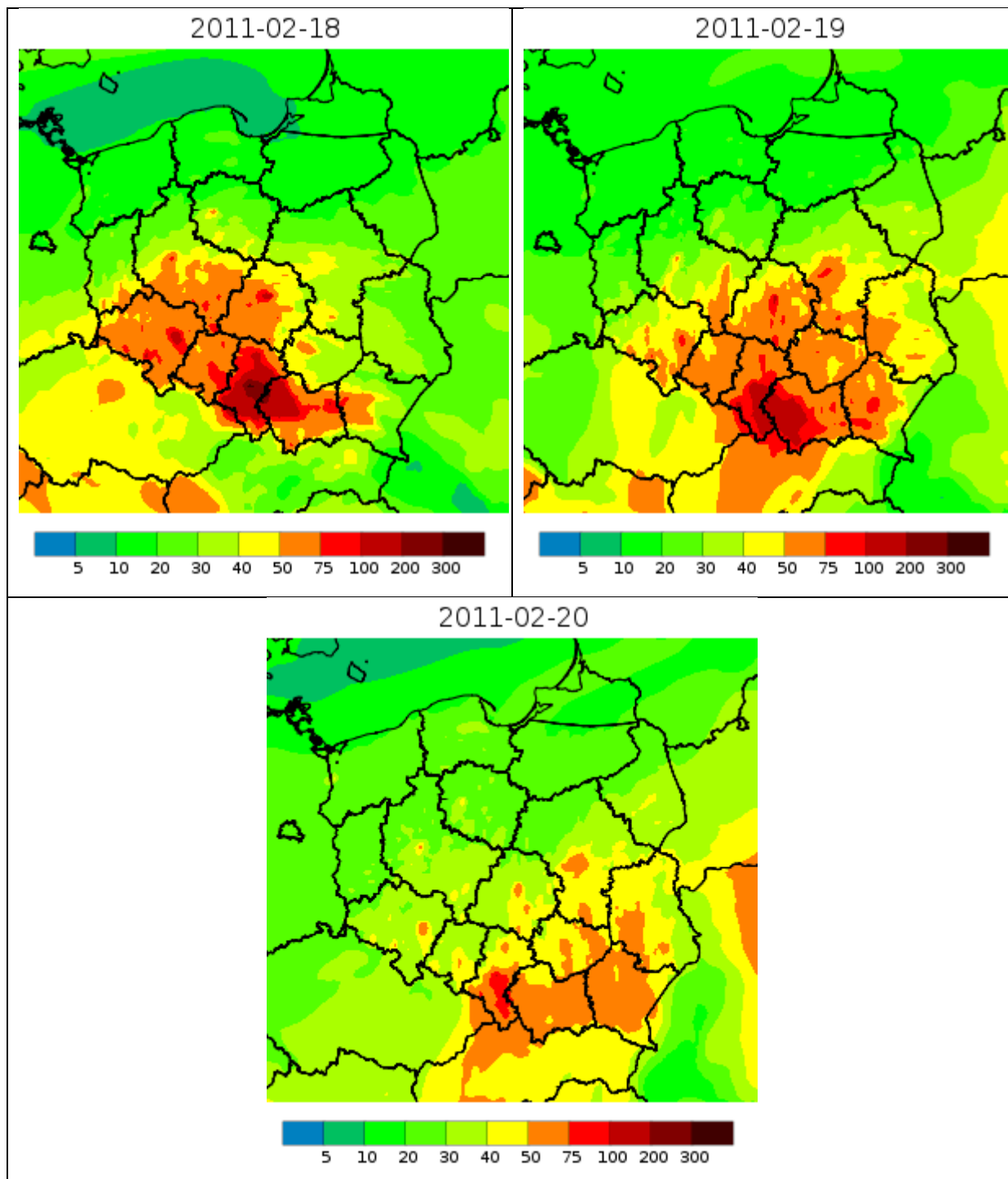
Trajektorie wsteczne wykreślono dla wybranych stacji, dla których w danym dniu wystąpiło maksymalne stężenie w czasie epizodu. Dla województwa śląskiego trajektorie

wsteczne wyznaczono dla stacji zlokalizowanych w Bielsku-Białej (204 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Katowicach (153, 148 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i Żywcu (275 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Wszystkie analizowane trajektorie wsteczne w czasie tego epizodu przebiegały przez Mołdawię, osiągając po 48 h wybrzeże Morza Czarnego. Trajektorie przebiegały na niskiej wysokości, w obrębie warstwy mieszanania. Wysokość tej warstwy wzdłuż analizowanych trajektorii zmieniała się w cyklu dobowym osiągając w nocy wartości przekraczające nieco 100 m, zaś dla dnia do około 400 m.

4.2.1.4. Modelowanie stężeń pyłu PM₁₀ 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀

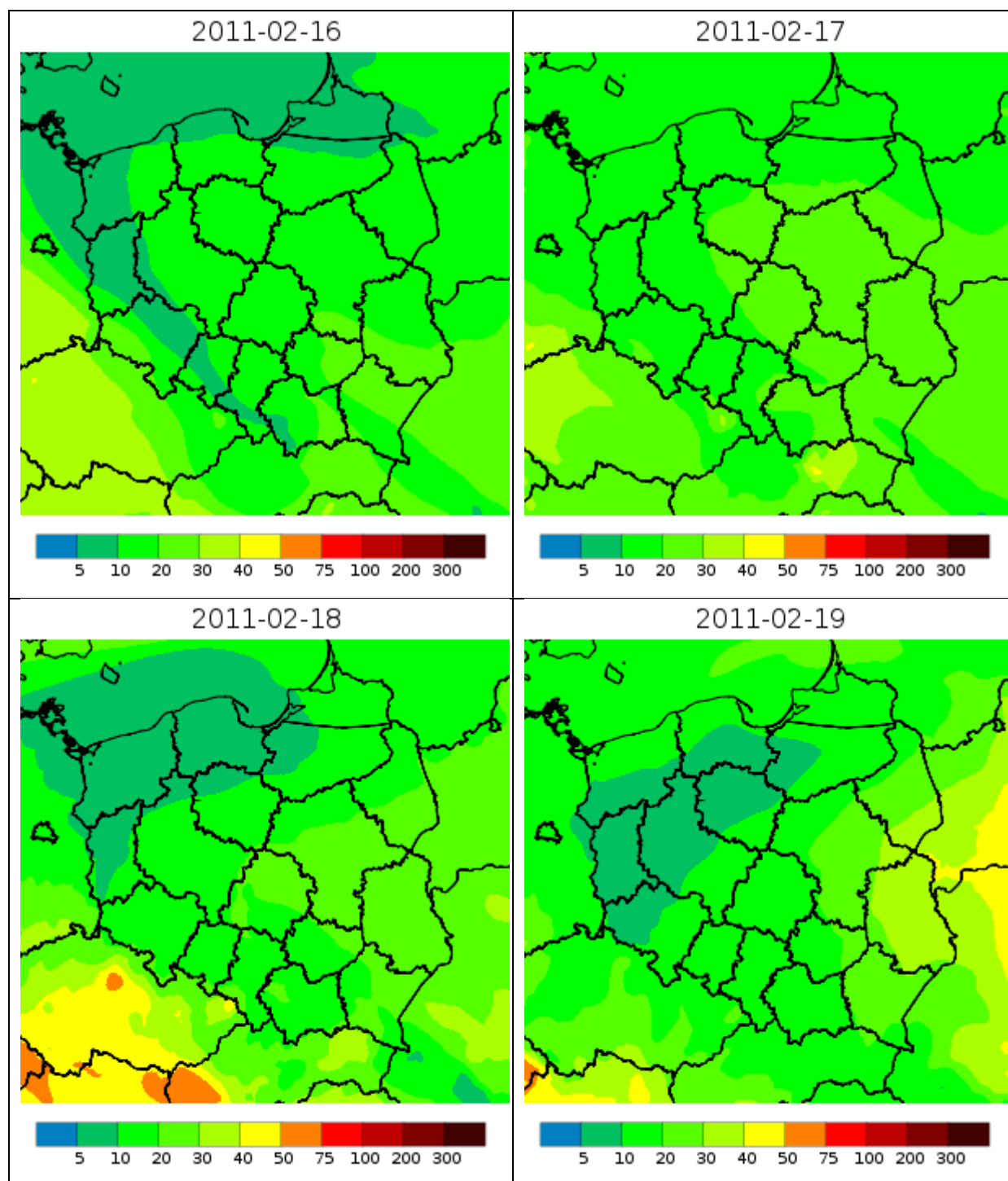


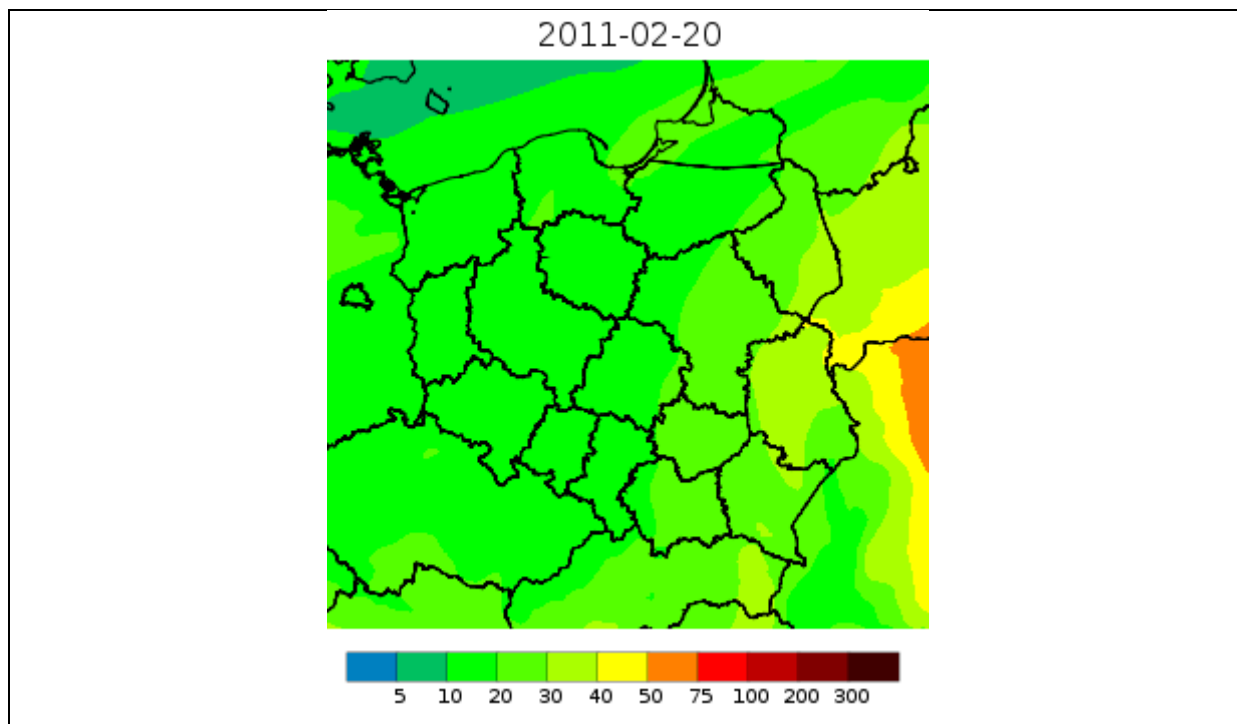


Rysunek 4-73 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 1-16.02.2011 r.

Epizod wysokich stężeń pyłu zawieszonego PM10 w dniach 16-20 lutego 2011 r. występował na terenie kilku województw. Największy zasięg oraz najwyższe stężenia w trakcie trwania epizodu zanotowano na terenie województwa śląskiego, opolskiego, małopolskiego i dolnośląskiego dnia 18 lutego. Obszar ograniczony izoliną $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na terenie wymienionych województw tego dnia wyniósł około 15 tys. km^2 . Równocześnie wysokie stężenia zanotowano na terenach Łodzi, Wrocławia, Poznania, Tarnowa, Wałbrzycha, Jeleniej Góry i Kalisza.

**B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego
na obszar Polski**

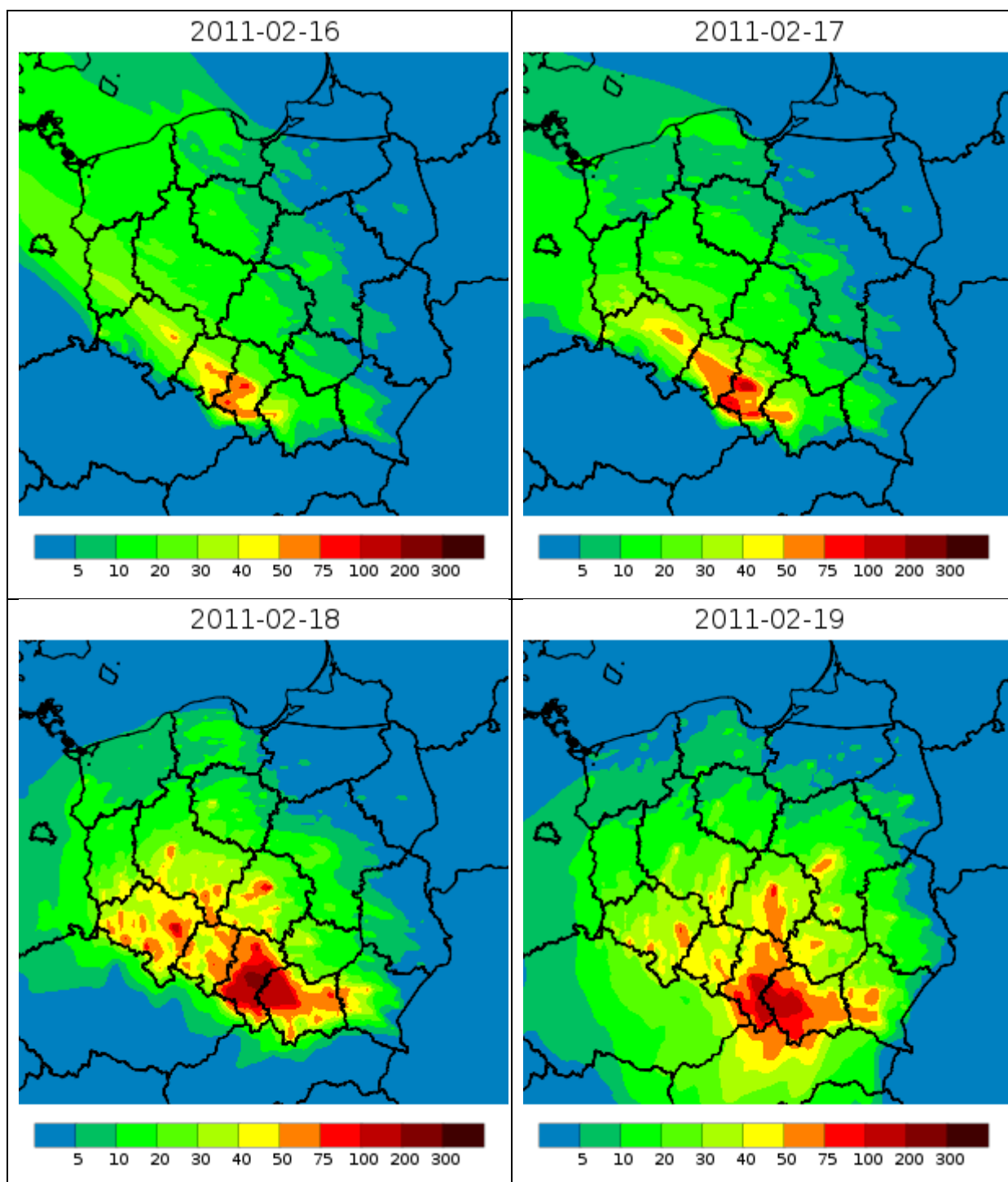


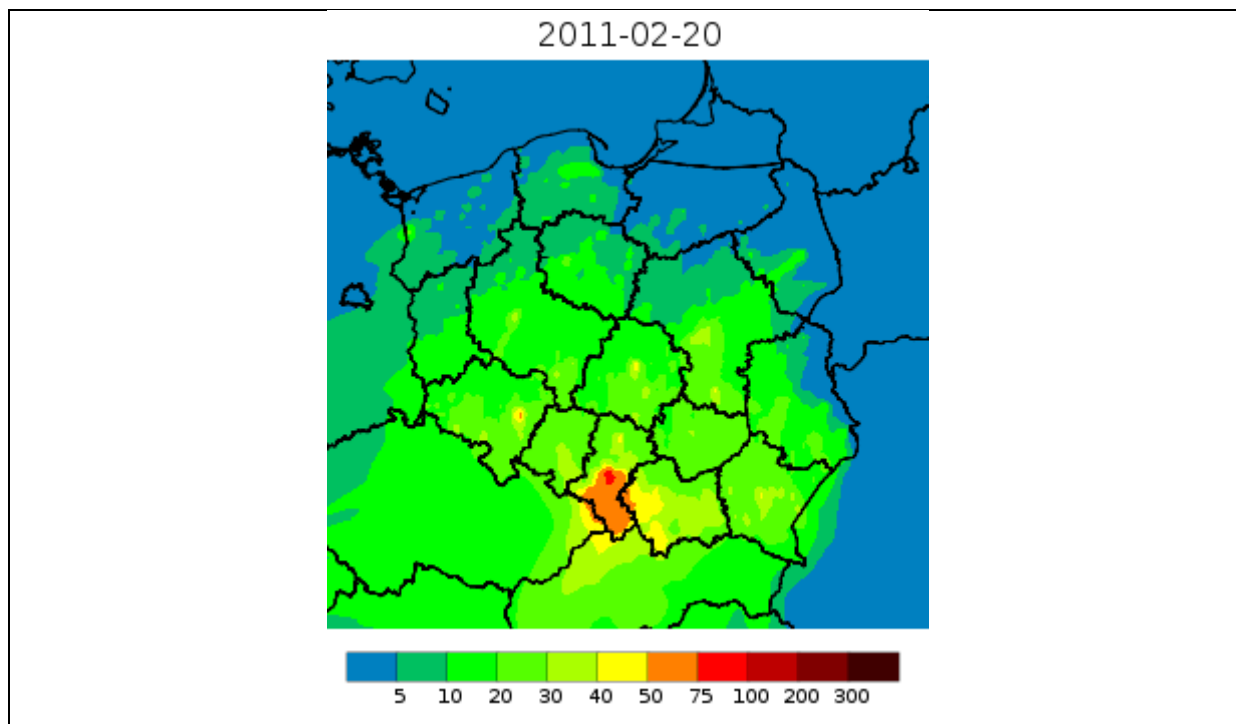


Rysunek 4-74 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 1-16.02.2011 r.

Napływ transgraniczny pyłu zawieszonego PM10 w dniach 16-20 luty był mały i na terenie Polski przeważnie wynosił do $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedynie wzdłuż granicy wschodniej 20 lutego stężenia lokalnie mogły osiągać około $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

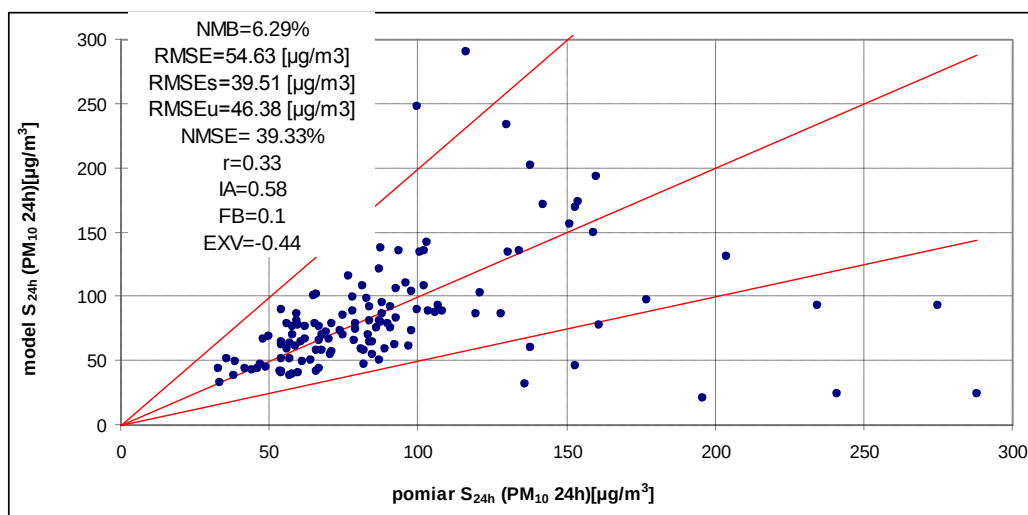
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





Rysunek 4-75 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 1-16.02.2011 r.

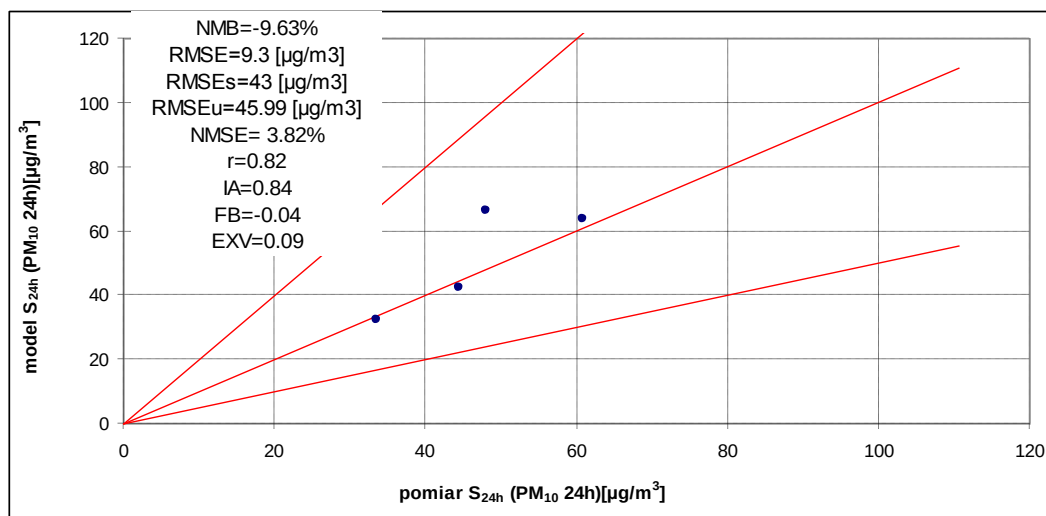
Maksymalne stężenia pochodzące od emisji z terenu Polski występowały na terenie województwa śląskiego oraz Wrocławia dnia 18 lutego. Równocześnie należy podkreślić, iż wysokie stężenia mają bardzo ograniczony zasięg. W kierunku Niemiec stężenia pochodzące od emisji z Polski dochodzą średnio do około 30 µg/m³, natomiast w kierunku południowym sporadycznie mogą osiągać 50 µg/m³.



Rysunek 4-76 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach opolskim i śląskim w terminie 16.02.2011 - 20.02.2011r.

Analiza błędów modelowania względem pomiarów dla terminu od 16.02.2011 do 20.02.2011 pokazuje jak trudno znaleźć jedną miarę oznaczającą poprawność modelowania.

Każda z przedstawionych statystyk prowadzi do różnych wniosków tzn. NMB jest bardzo niskie, także NMSE jest poniżej 40%, czyli model jest bardzo dobry, ale już indeksy korelacji i zgodności pokazują stosunkowo niską zależność.



Rysunek 4-77 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach opolskim i śląskim w terminie 16.02.2011 - 20.02.2011r.

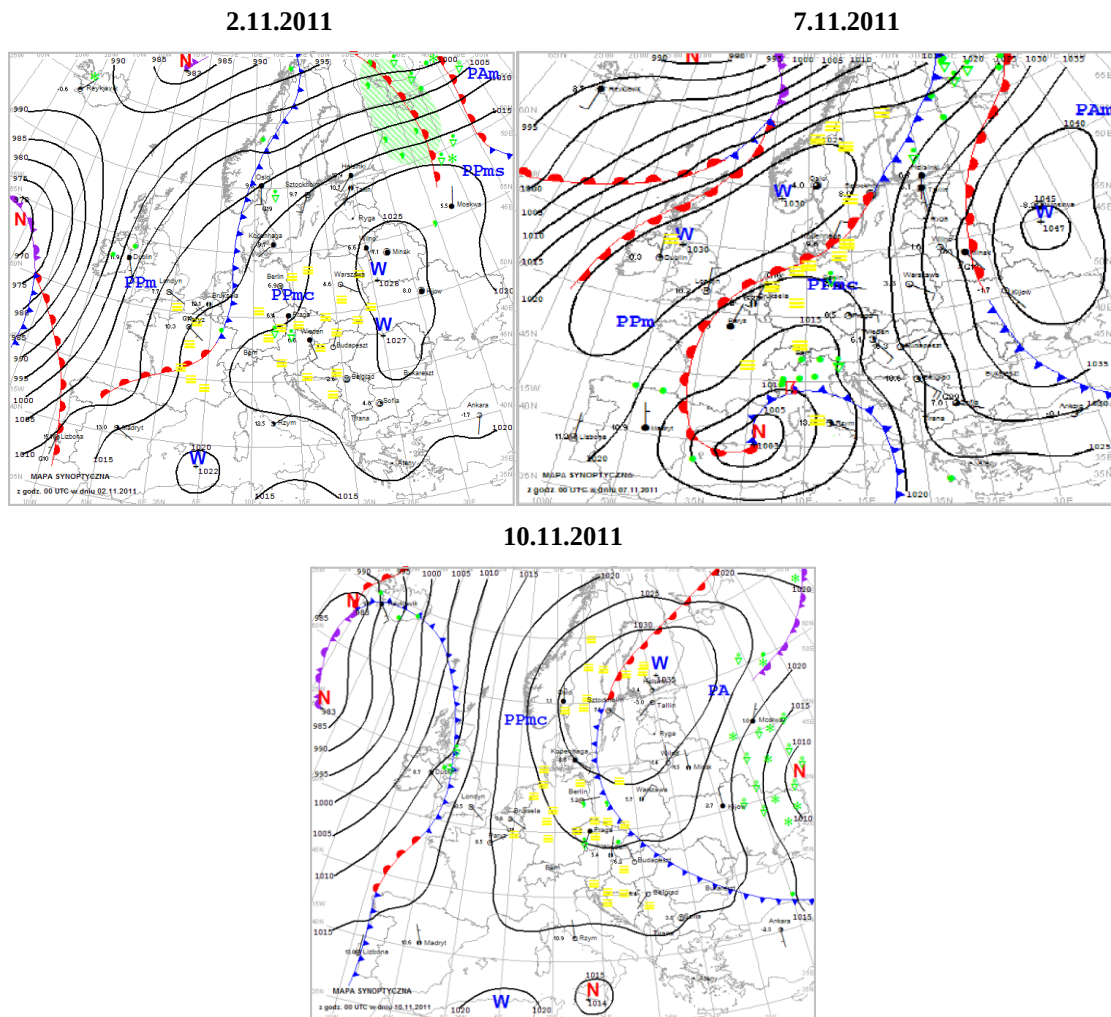
Po odrzuceniu z dalszej analizy stacji o charakterze miejskim dla epizodu, który miał miejsce od 16.02.2011 do 20.02.2011, pozostały wyniki pomiarów pyłu zawieszonego PM₁₀ ze stacji Złoty Potok. Zgodność modelowania względem pomiarów w tym przypadku jest bardzo dobra. Indeks zgodności i współczynnik korelacji wskazują na bardzo dużą zależność pomiędzy modelowaniem a pomiarami. Miara odchylenia NMB jest poniżej 10%, a rozbieżność modelu NMSE jest dużo niższa niż wymagane 40%. Model średnio różni się od pomiarów o 9,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedynie wariancja wyjaśniona, określająca jak bardzo wariancja pomiarów jest wyjaśniona przez model, jest stosunkowo niska, a dla dobrego modelu powinna być większa od 0.3.

4.2.2. Epizod 2 od 2 do 10 listopada 2011 r.

4.2.2.1. Sytuacja synoptyczna

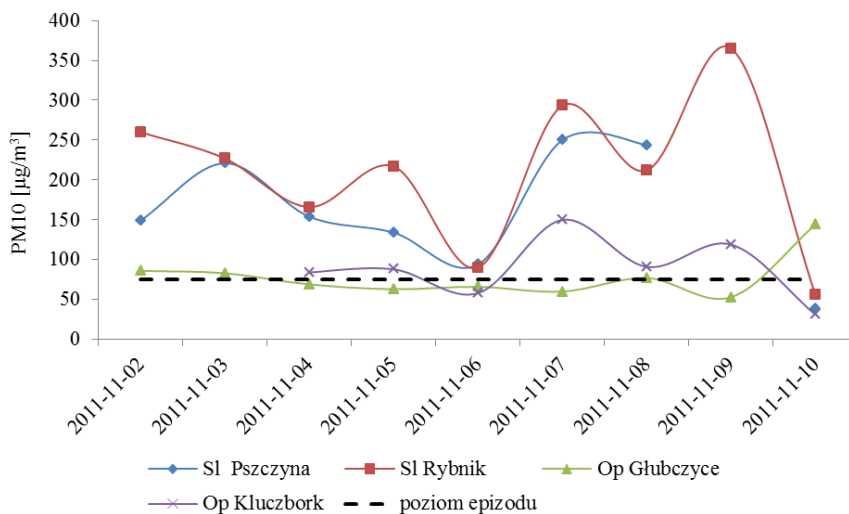
W dniach 2-10.11.2011 na obszar Polski oddziaływał rozległy wyż, którego centrum znajdowało się głównie nad Europą wschodnią i południowo-wschodnią. Nad Atlantykiem w tym okresie zalegał ośrodek niskiego ciśnienia. Z południa i południowego-zachodu nad Polskę napływało ciepłe powietrze polarno-morskie (PPmc).

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

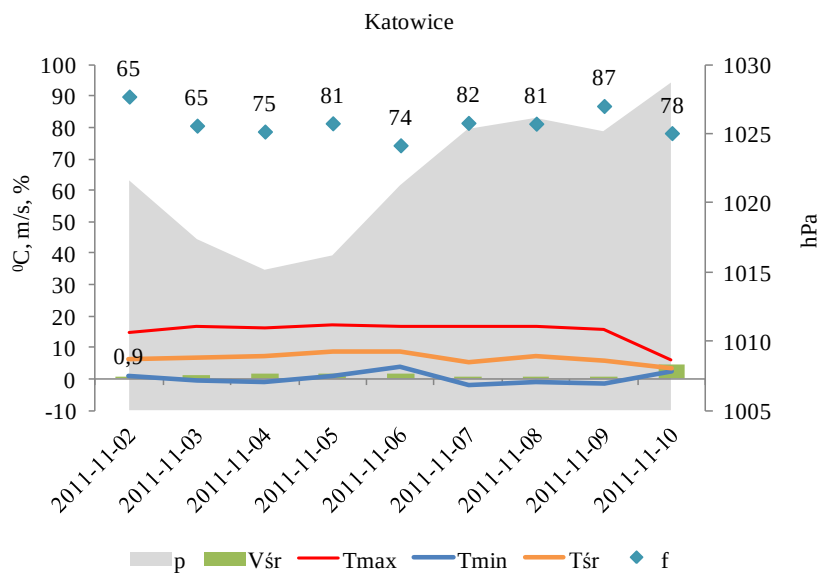


Rysunek 4-78 Mapa synoptyczna z dnia 2, 7, 10 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC

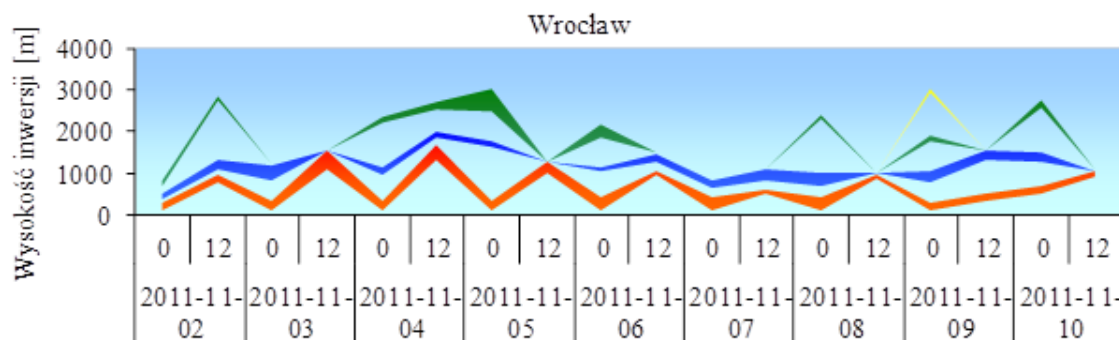
4.2.2.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne



Rysunek 4-79 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10

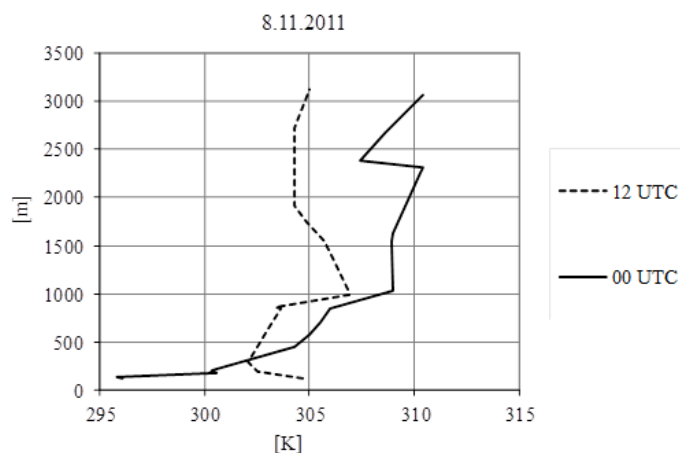


Rysunek 4-80 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-81 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

Przebieg wysokości pierwszej wzniesionej warstwy inwersyjnej podczas trwania całego epizodu wykazuje typowy rytm dobowy z maksimum w południe. Jednocześnie w dniach kulminacji stężeń zanieczyszczeń, szczególnie zaś 7 listopada 2011 roku wyniosłość warstwy ulega znacznemu obniżeniu osiągając w południe wysokość około 300 m n.p.m. Bardzo mała prędkość wiatru przyziemnego i niezbyt wysokie temperatury powietrza wskazują na możliwość wystąpienia inwersji przyziemnej (szczególnie w obszarach silnie urzeźbionych).

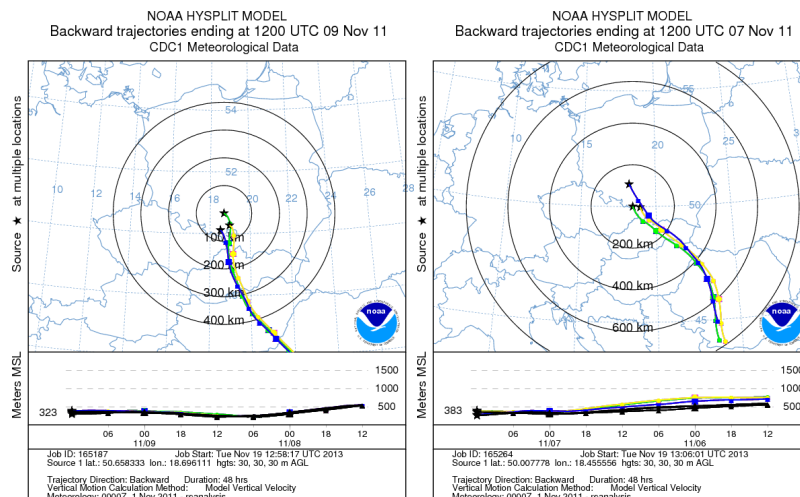


Rysunek 4-82 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.2.2.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten był epizodem, w którym znaczne podwyższenie stężeń PM₁₀ objęło swoim zasięgiem województwa śląskie, opolskie, małopolskie i podkarpackie. Maksymalne stężenia odnotowano na różnych stacjach w dniach 7, 8 i 9 listopada 2011.

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

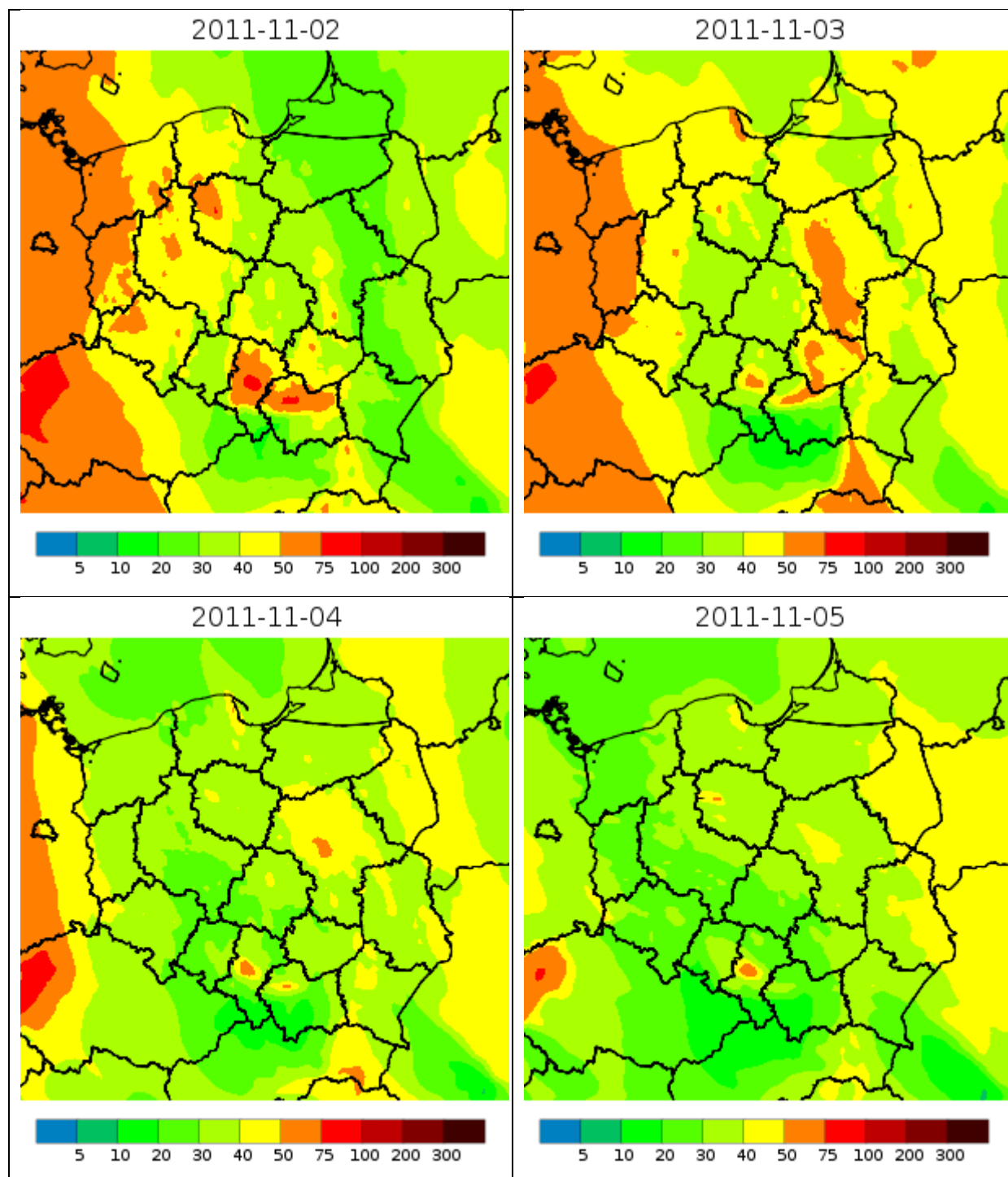


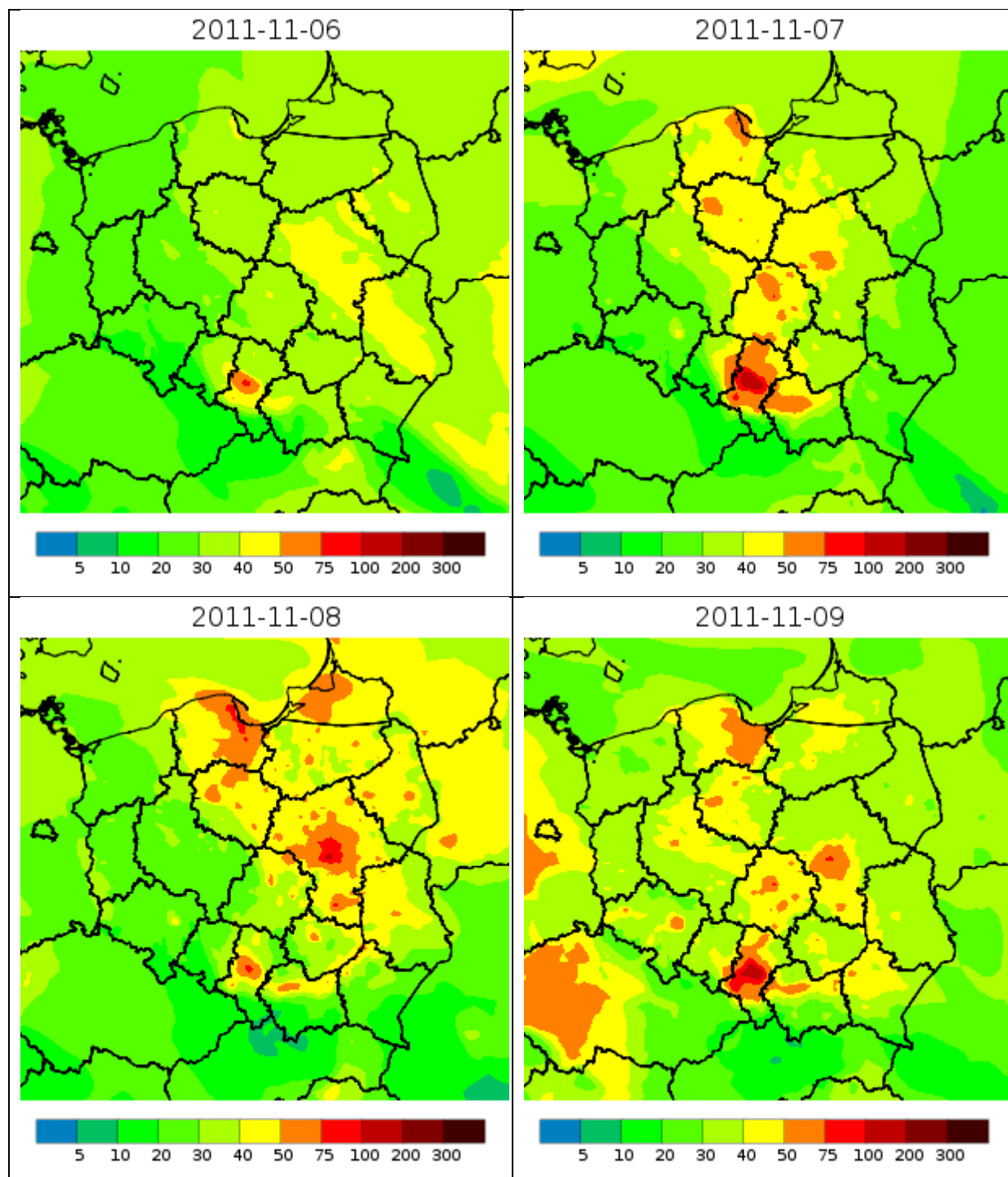
Rysunek 4-83 Trajektorie wsteczne dla 9.11.2011

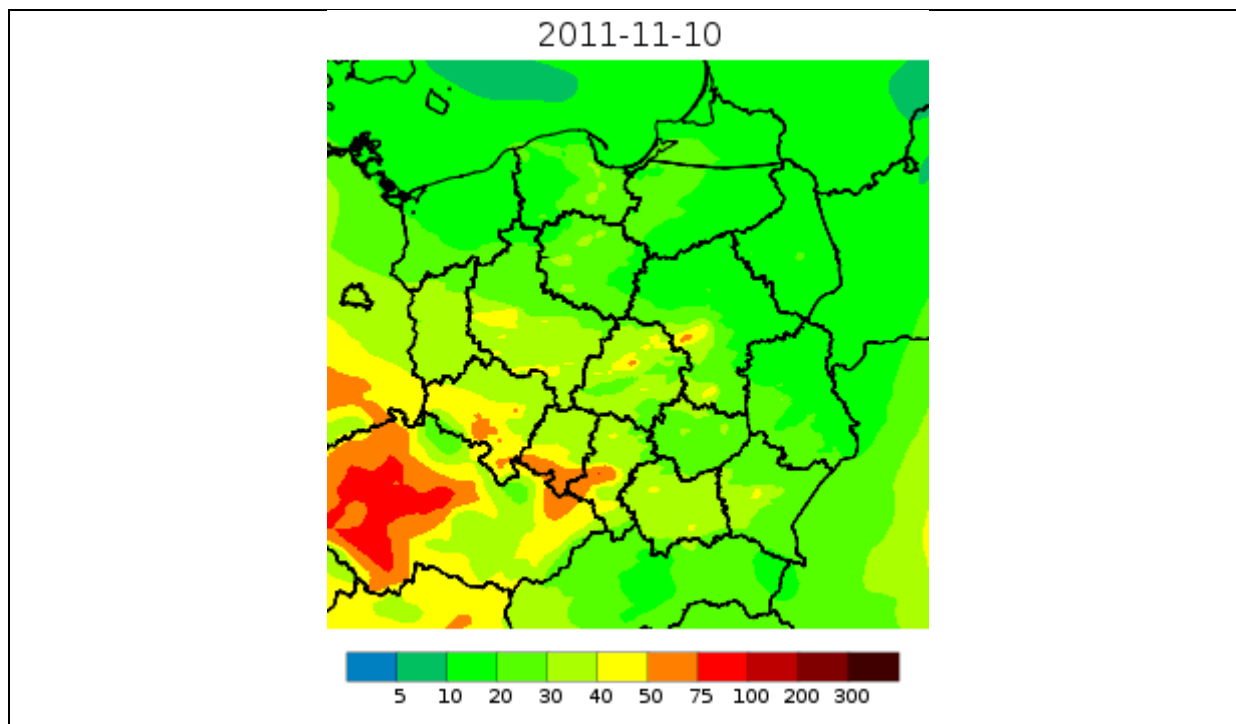
Powyżej trajektorie wsteczne dla 9.11.2011: Lubliniec ($130 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Katowice ($163 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Rybnik ($365 \mu\text{g}/\text{m}^3$), oraz trajektorie wsteczne dla 7.11.2011: Wodzisław ($233 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Pszczyna ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Kluczbork ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). W kolejnych trzech dniach, w których zaobserwowano maksymalne dla tego epizodu stężenia PM₁₀ na różnych stacjach, trajektorie wskazują na spływ mas powietrza z południa z terenu Słowacji, Węgier i Rumunii. Trajektorie dla różnych miejscowości i tego samego terminu pokrywają się, a dla kolejnych dni wykazują duże podobieństwo, świadcząc o małej zmienności cyrkulacji wpływającej na warunki meteorologiczne w badanym rejonie. Dnia 9.11.2011 trajektorie wsteczne przebiegały na niskiej wysokości, w obrębie warstwy mieszania, schodząc po około 26 h do powierzchni ziemi. Wysokość warstwy mieszania wzdłuż analizowanych trajektorii wynosiła od około 100 m w nocy do około 300 m w dzień. Dnia 7.11.2011 trajektorie wsteczne wznosiły się stopniowo, wychodząc poza warstwę mieszania po około 28 h. Wysokość warstwy mieszania wzdłuż analizowanych trajektorii była bardzo niska, zwłaszcza w ich początkowym biegu i wynosiła poniżej 100 m do 14 h wstecz. Następnie zmieniała się w cyklu dobowym osiągając w kolejne południa około 300 m. Dnia 8.11.2011 trajektorie wsteczne wznosiły się stopniowo począwszy od początku drugiej doby, wychodząc poza warstwę mieszania po około 30 h. Wysokość warstwy mieszania wzdłuż analizowanych trajektorii zmieniała się w cyklu dobowym osiągając w kolejne południa około 200, 600 i 350 m.

4.2.2.4. Modelowanie stężeń pyłu PM₁₀ 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀



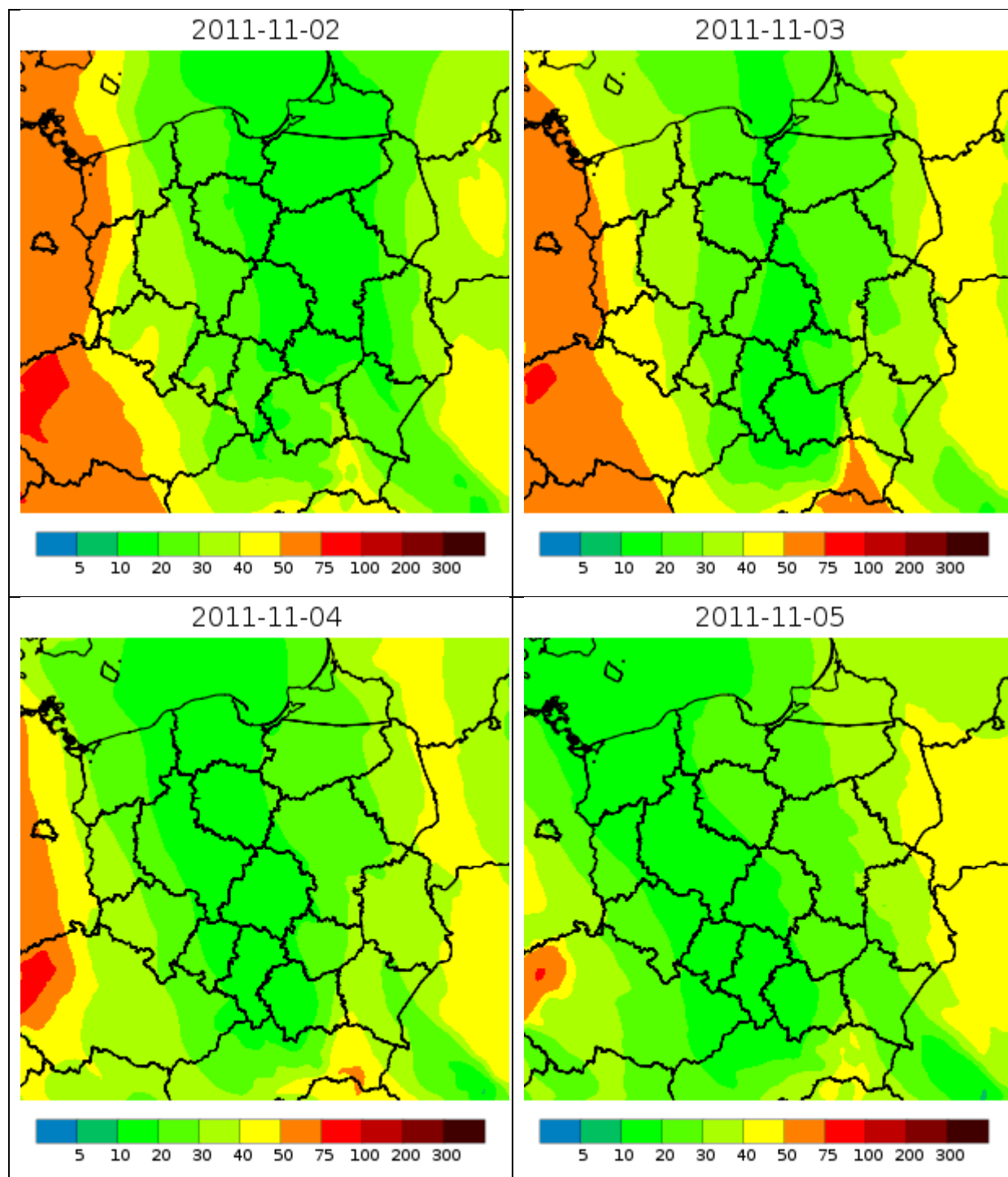




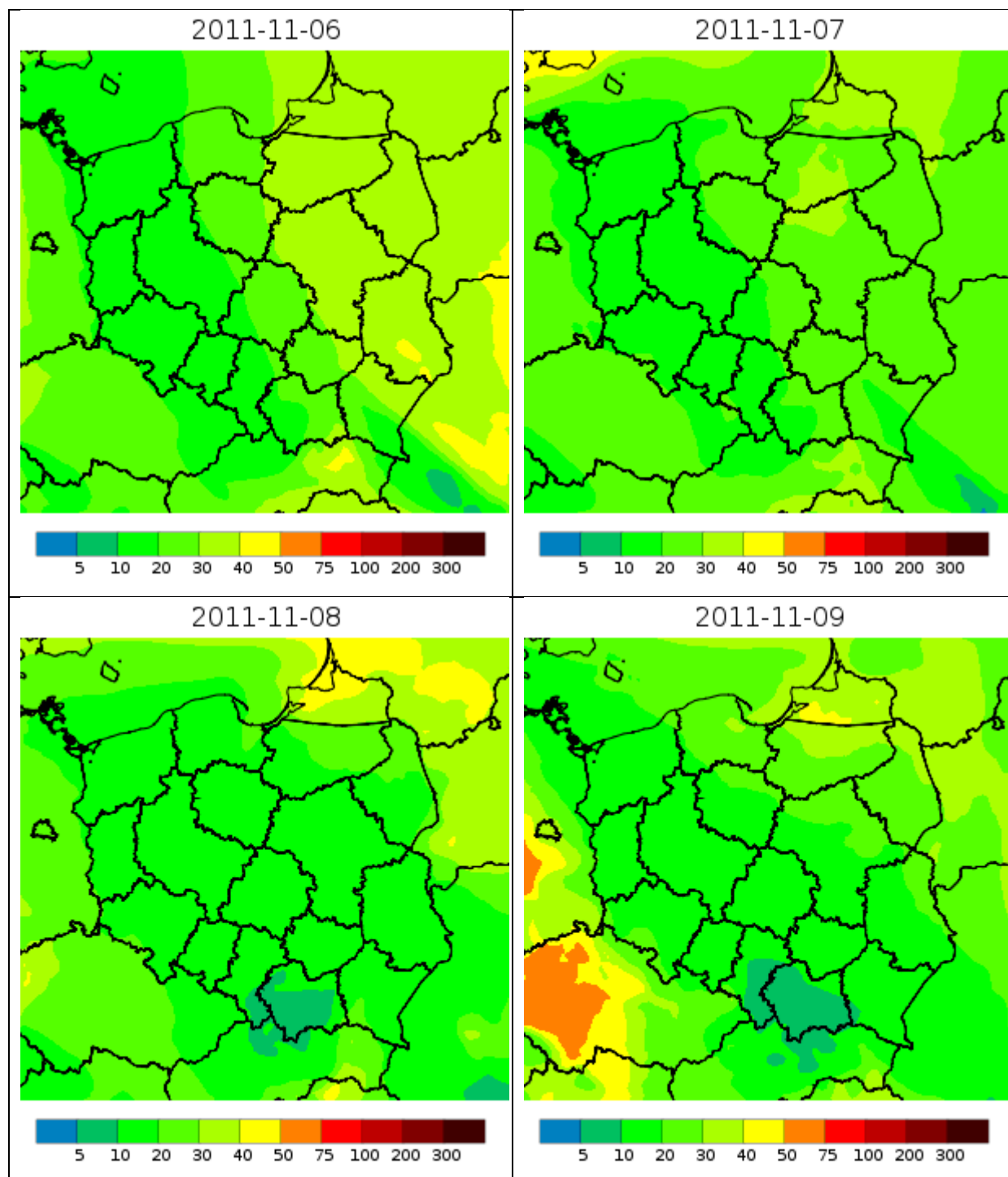
Rysunek 4-84 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 2-10.11.2011 r.

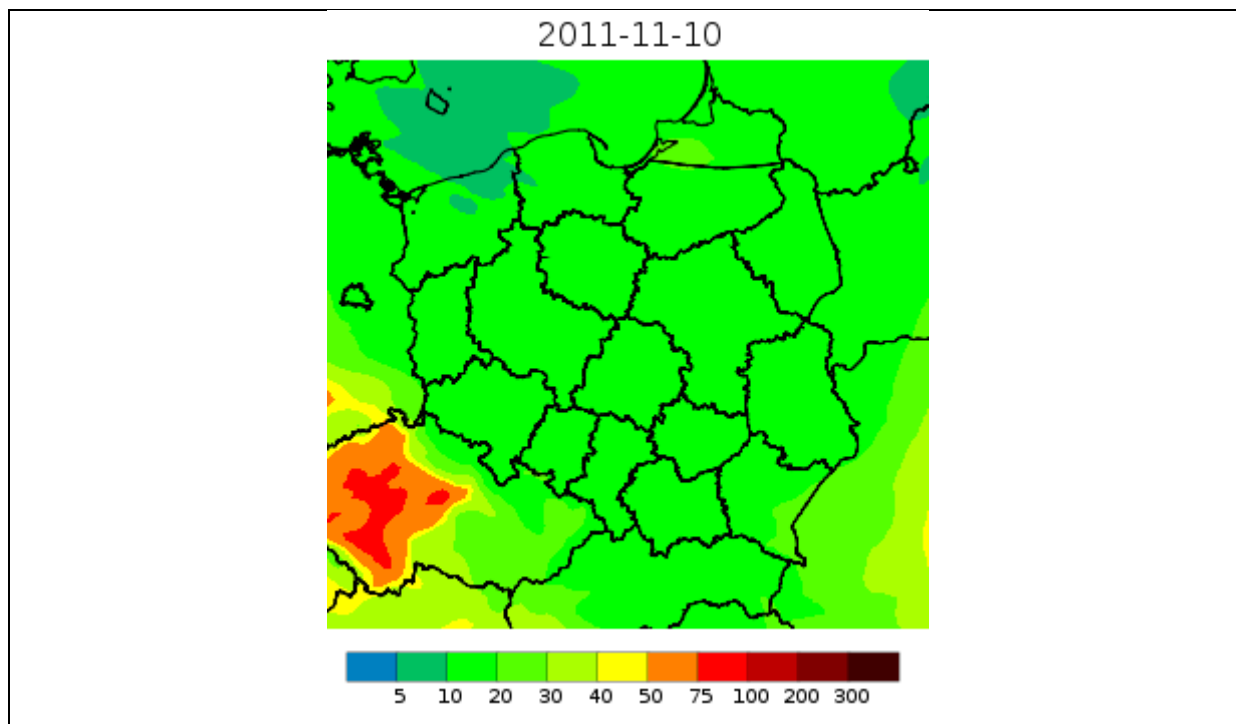
Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w trakcie trwania epizodu od 2-10 listopada 2011 r. największe wartości osiągały na terenie Aglomeracji Warszawskiej (8.11) oraz Aglomeracji Górnośląskiej (7 i 9.11). Maksymalny zasięg epizodu na terenie województwa śląskiego (9.11) wyniósł około 2 tys. km^2 , natomiast na terenie województwa mazowieckiego (8.11) 1,5 tys. km^2 . W tych terminach również wyraźnie zaznaczają się podwyższone stężenia na terenach większych miast oraz innych aglomeracji, np. Aglomeracja Trójmiejska, Bydgoszcz, Toruń, Włocławek, Łódź, Piotrków Trybunalski, Opoczno, Radom, Kielce, Olsztyn, Ełk itp.

B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski



Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

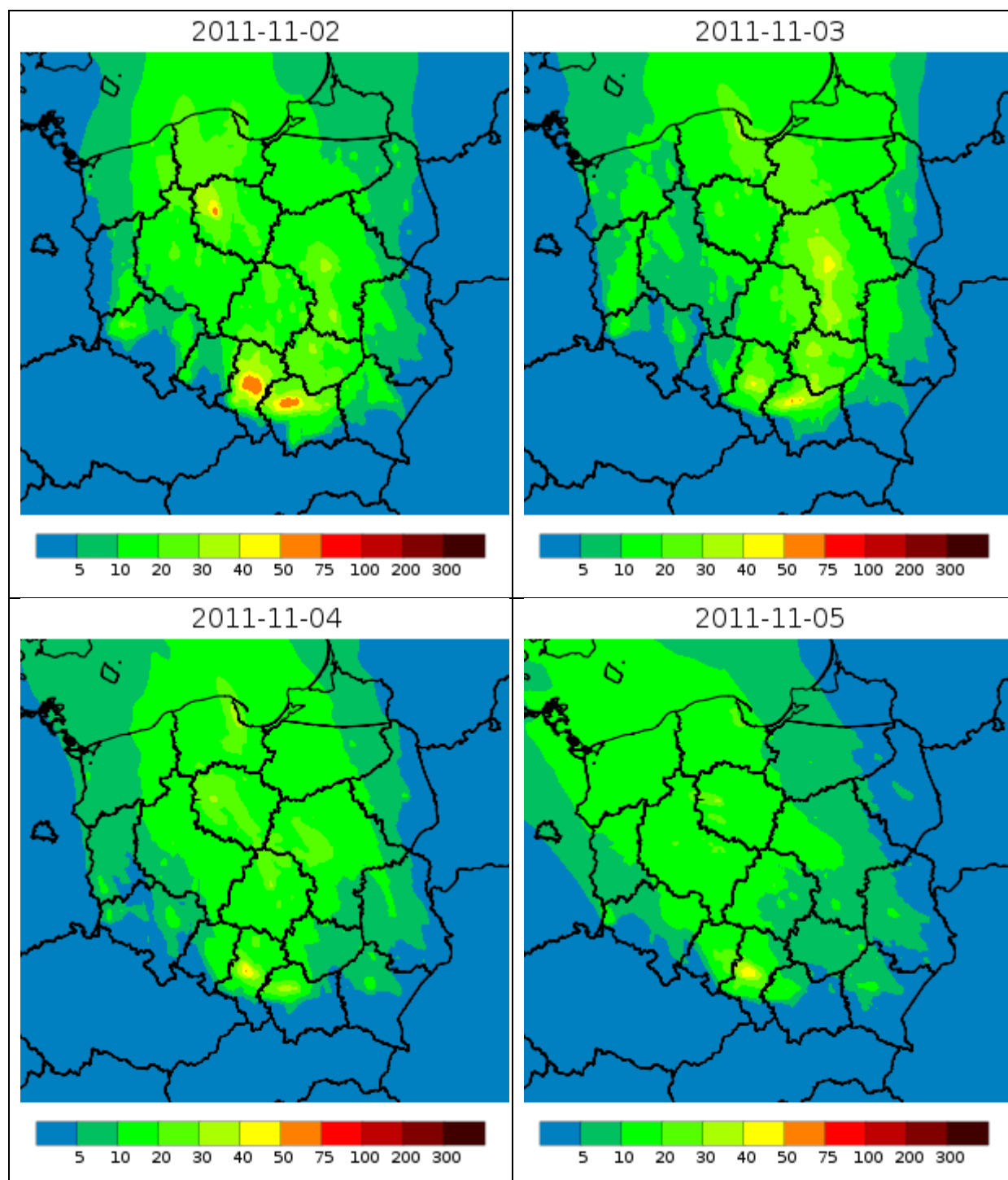




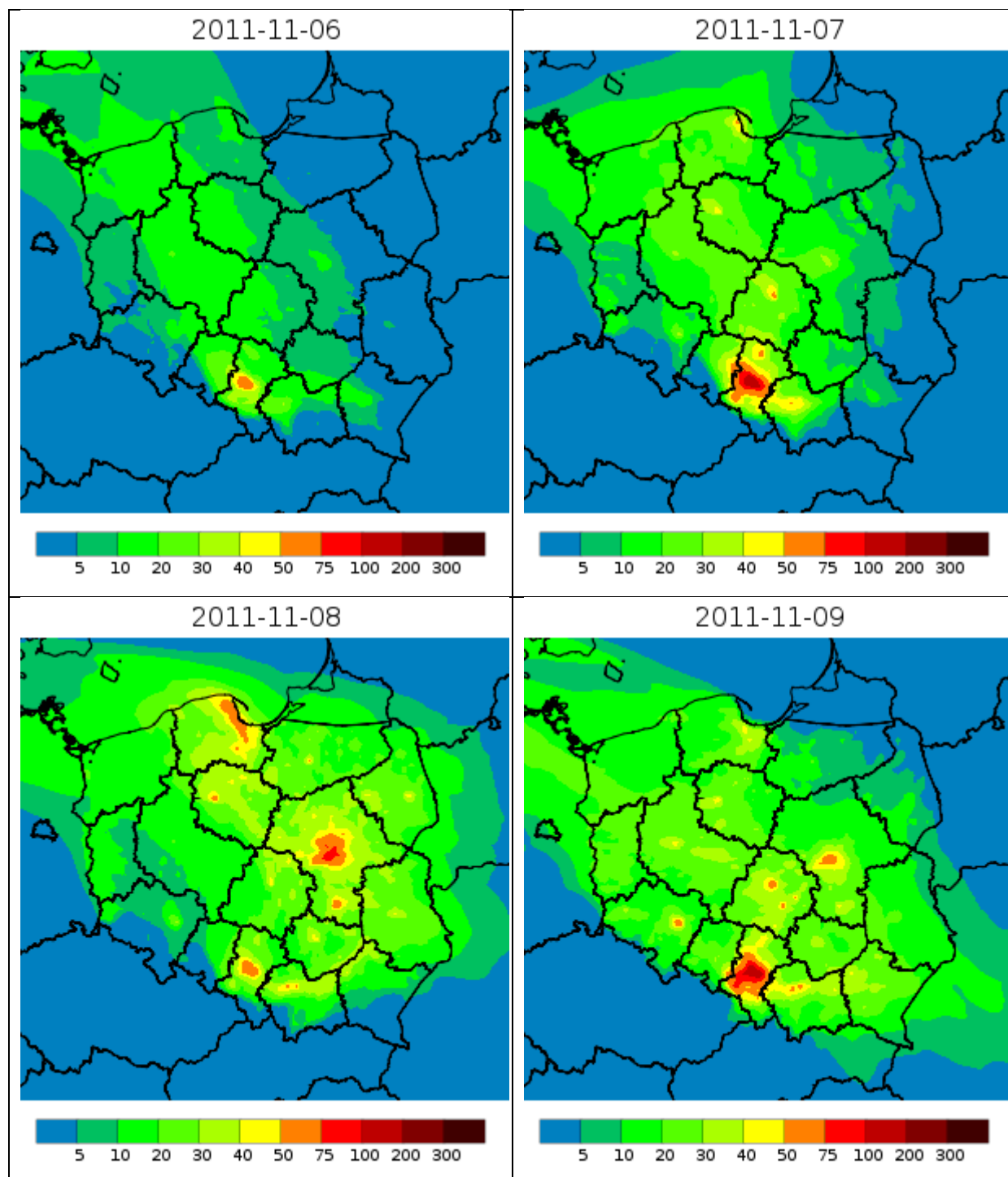
Rysunek 4-85 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 2-10.11.2011 r.

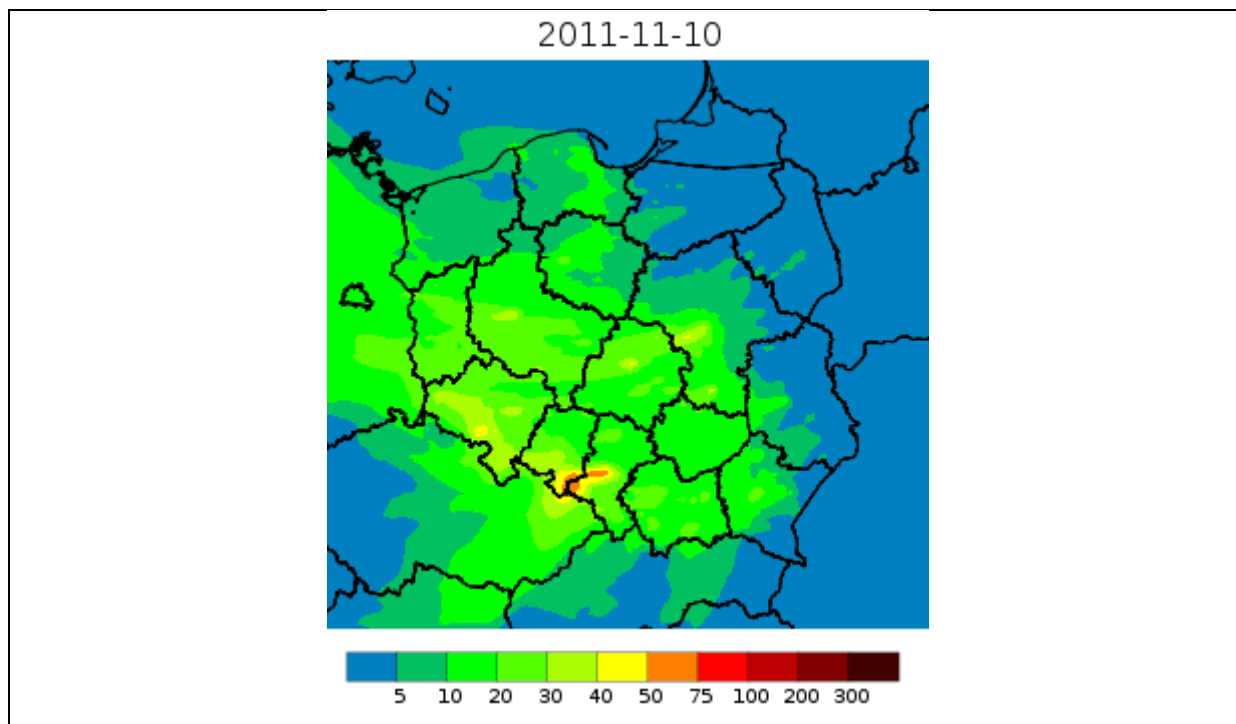
Na początku trwania epizodu zaznaczył się istotny wpływ transgraniczny stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ z kierunku zachodniego i południowego, sięgający nawet lokalnie do $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Jednakże w kolejnych dniach, a szczególnie w terminach najwyższych stężeń wpływ ten znacząco się zmniejszył, a stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego na terenie Polski osiągały około $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**



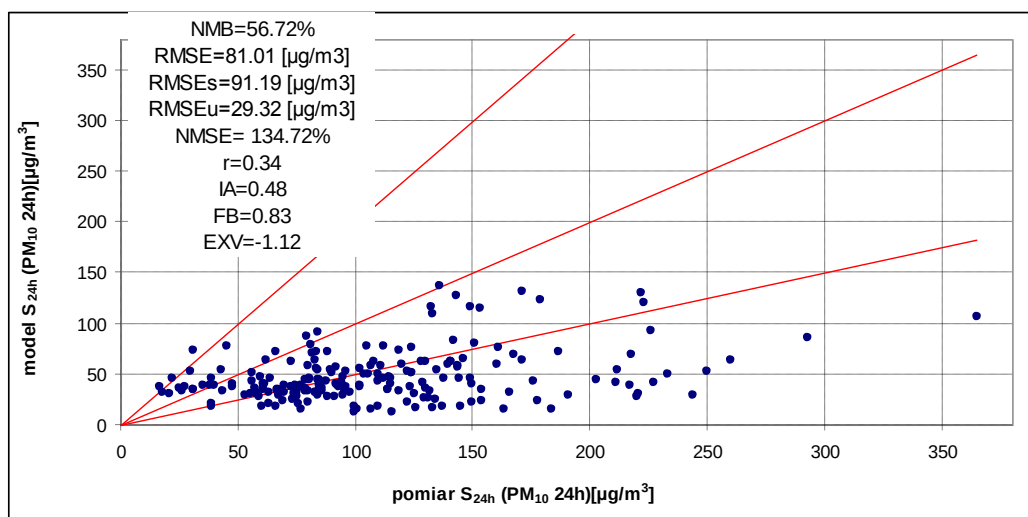
Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii





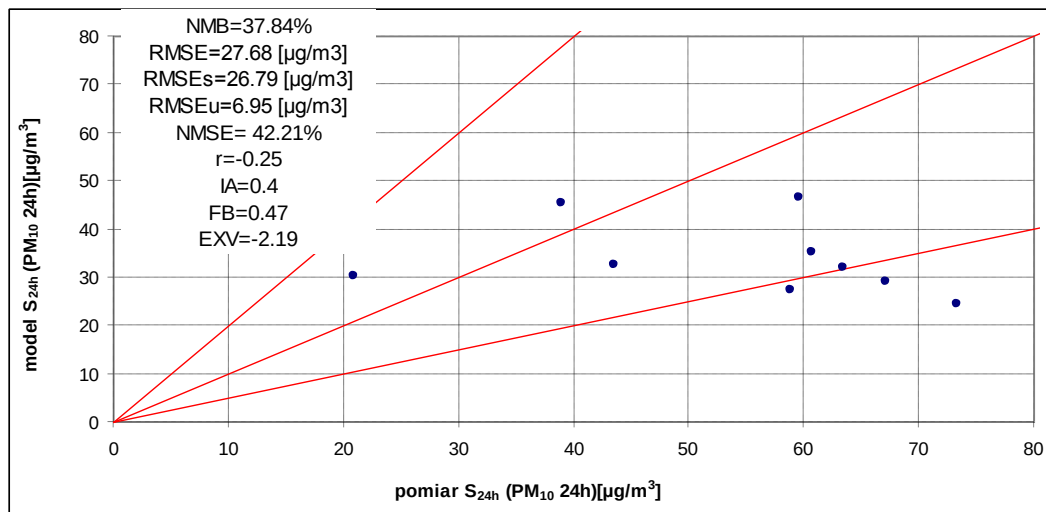
Rysunek 4-86 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 2-10.11.2011 r.

Stężenia pochodzące z emisji z terenu Polski maksymalne wartości osiągały w dniach 7-9 listopada, a ich zasięg był lokalny. Równocześnie wpływ emisji Polskiej na państwa ościennie był ograniczony – maksymalne stężenia dochodziły do 20-30 µg/m³. Przepływ zanieczyszczeń odbywał się w kierunku południowym i południowo-zachodnim, a ostatniego dnia trwania epizodu w kierunku zachodnim oraz południowo-zachodnim.



Rysunek 4-87 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach opolskim i śląskim w terminie 2.11.2011 - 10.11.2011r.

Dla powyższego epizodu wyniki modelowania pokazują dwukrotnie niższe stężenia niż pomiary. Wszystkie miary błędu znacznie odbiegają od wartości oznaczającej poprawność modelu. Jedynie współczynniki korelacji i zgodności określają umiarkowaną korelację.



Rysunek 4-88 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach opolskim i śląskim w terminie 2.11.2011 - 10.11.2011r.

Kiedy w analizie błędów uwzględnione zostaną tylko stacje o charakterze pozamiejskim oraz zostaną odrzucone pomiary wykazujące wysokie stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀, wówczas zgodność modelowania nie jest już na poziomie 41% (kiedy uwzględnimy wszystkie stacje), ale wzrośnie do 67%. Model różni się od pomiarów średnio o 27 µg/m³, z czego część systematyczna stanowi 26 µg/m³. Błąd RMSE_s określony jest jako różnica pomiędzy regresją liniową pomiarów i modelowania. Jak sama nazwa wskazuje, jest to błąd popełniany systematycznie przez model. Oznacza to, że po wprowadzeniu lepszej informacji o emisji możliwe jest otrzymanie lepszej jakości modelowania. Pozostałe miary błędów, pomimo poprawy w stosunku do wcześniejszej analizy, nadal wskazują na niedoszacowanie modelu względem pomiarów.

4.2.3. Epizod 3 od 24 stycznia do 14 lutego 2012 r.

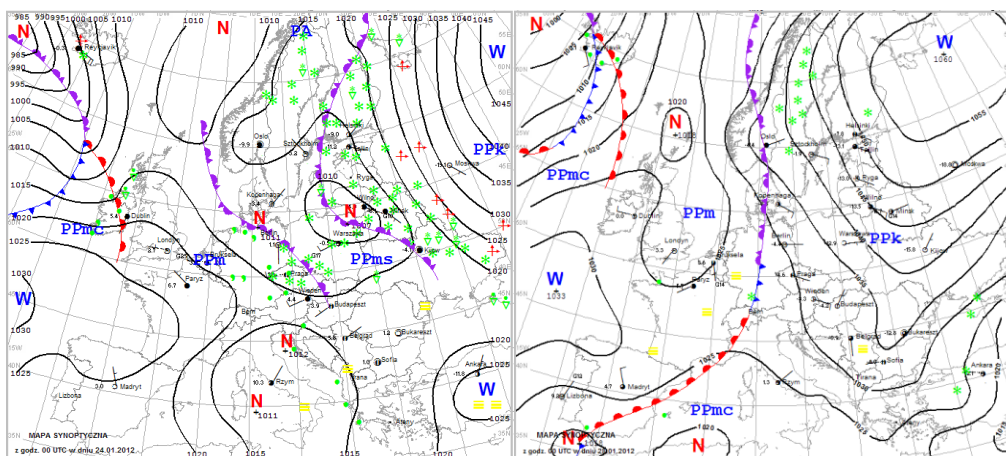
4.2.3.1. Sytuacja synoptyczna

Dnia 24.01.2012 pogodę w Polsce kształtowała zatoka niżowa związana z niżem nad Morzem Norweskim. Z zachodu napływała wówczas ciepła i wilgotna masa powietrza polarno-morskiego (PPms). Od dnia 25.01.2012 na obszar Polski zaczął oddziaływać rozległy wyż z centrum nad północną i północno-zachodnią Rosją. Z północnego wschodu zaczęła napływać mroźna i sucha masa powietrza polarno-kontynentalnego (PPk). Przejściowo, istotną zmianę pogody przyniosła zatoka niżu znad Morza Egejskiego, która w okresie 4-6.02.2012 objęła swym zasięgiem województwo podkarpackie, a w dniach 7-8.02.2012 wraz z frontem okluzji przemieszczała się przez cały obszar kraju ze wschodu na zachód. Dnia 9.02.2012 znad Bałtyku wzdłuż zachodnich województw przemieszczał się płytki, wypełniający się ośrodek niżowy. W okresie przejściowym nad obszarem kraju pozostawało mroźne, ale wzbogacone w wilgoć powietrze. Po tym okresie ze wschodu znów napłynęło mroźne i suche powietrze pochodzenia polarno-kontynentalnego (PPk). Od dnia 12.02.2012 zaznaczyło się stopniowe słabnięcie klina wyżowego, a z północnego zachodu zaczęła nasuwać się zatoka niżowa wraz z układem frontów atmosferycznych. Napłynęło wówczas cieplejsze, ale wciąż chłodne powietrze polarno-morskie (PPm).

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

24.01.2012

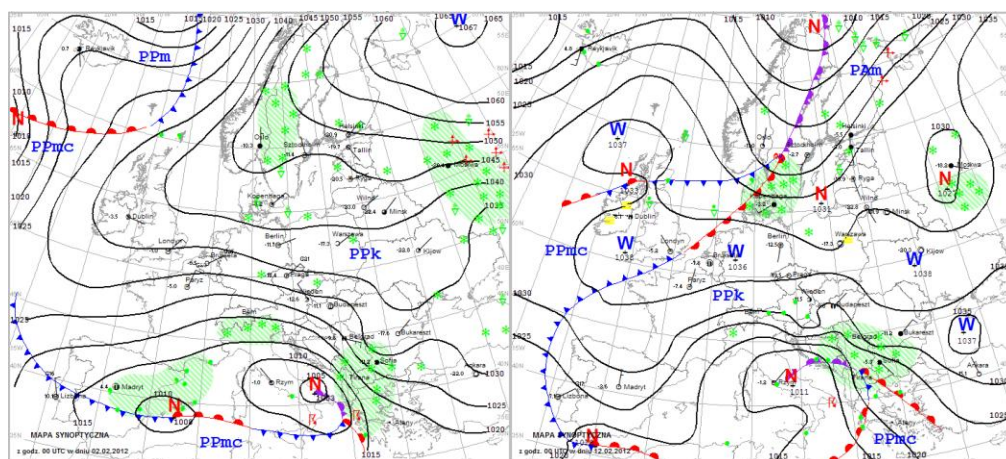
28.01.2012



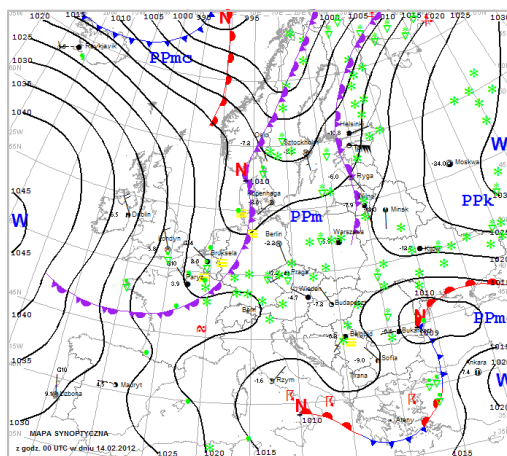
Rysunek 4-89 Mapa synoptyczna z dni 24 i 28 stycznia

2.02.2012

12.02.2012

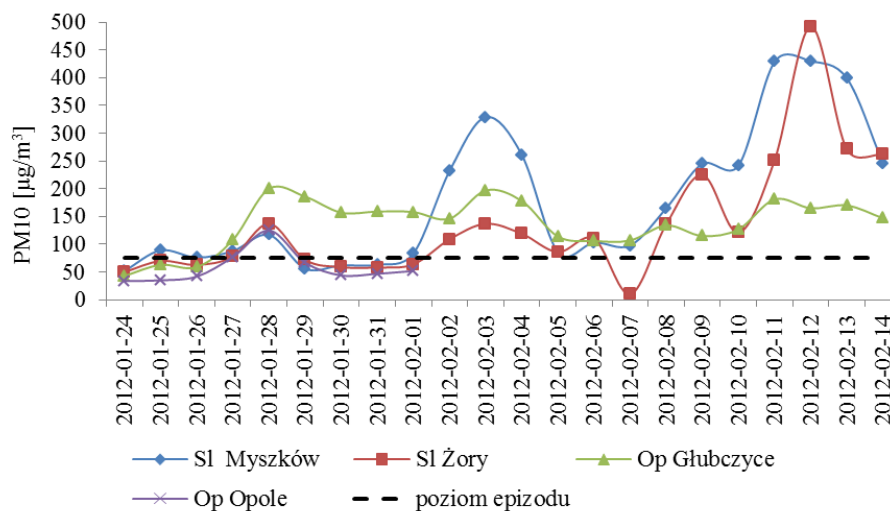


14.02.2012

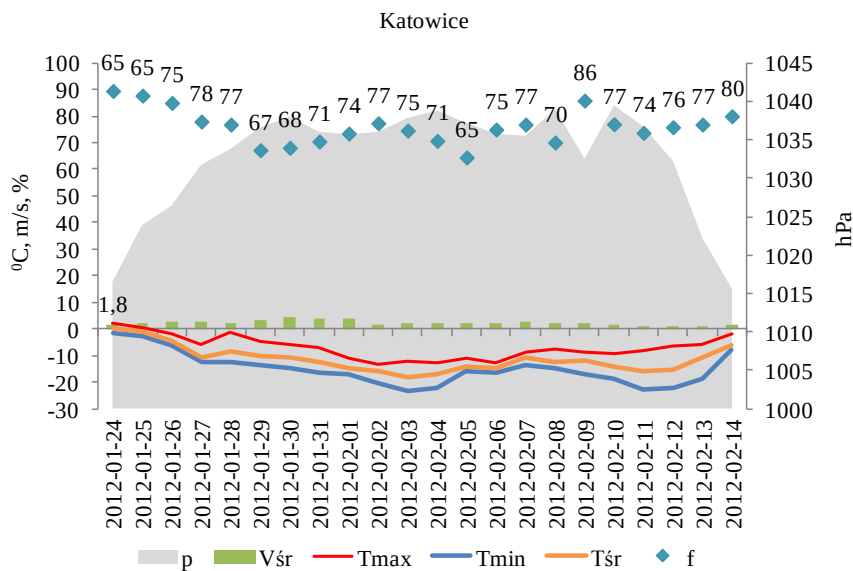


Rysunek 4-90 Mapa synoptyczna z dni 2,12, 14 lutego 2012 roku, godzina 0 UTC.

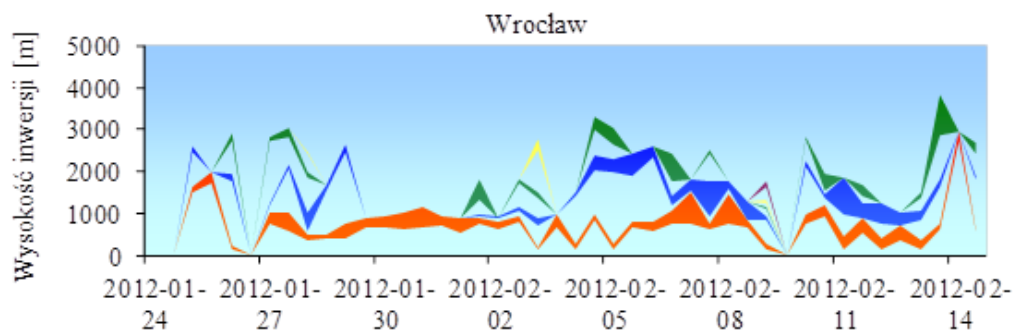
4.2.3.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne



Rysunek 4-91 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10

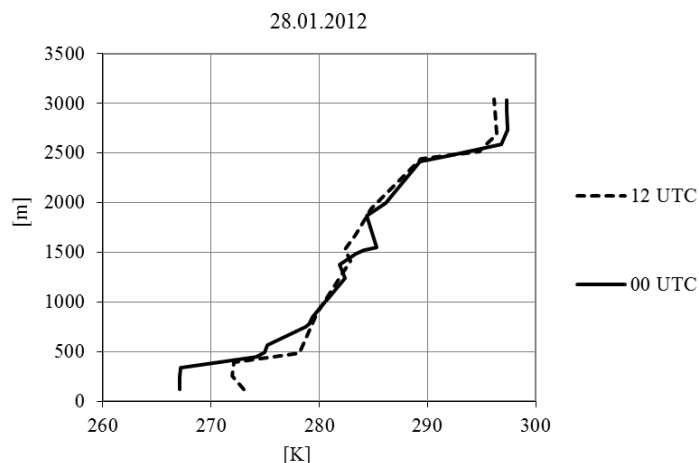


Rysunek 4-92 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-93 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

Podczas omawianego epizodu obserwowano dużą zmienność przebiegu wysokości zalegania pierwszej warstwy inwersji wzniesionej. Wynikało to ze znacznego zróżnicowania warunków synoptycznych podczas tego zdarzenia. Poza tym warstwa inwersji nakrywającej osiągała różną grubość co mogło w poszczególnych dniach powodować uwalnianie zanieczyszczeń pyłowych w niej uwięzionych. W dniu kulminacji stężeń zanieczyszczeń w województwie śląskim tj. 12.02.2012 r. jej dolna granica znajdowała się na wysokości około 300 m przy miąższości około 100 m. Jednocześnie epizod wydarzył się przy niskich temperaturach ujemnych i bardzo słabym wietrze, co sugeruje występowanie inwersji przyziemnej co najmniej w dniach kulminacji stężeń.

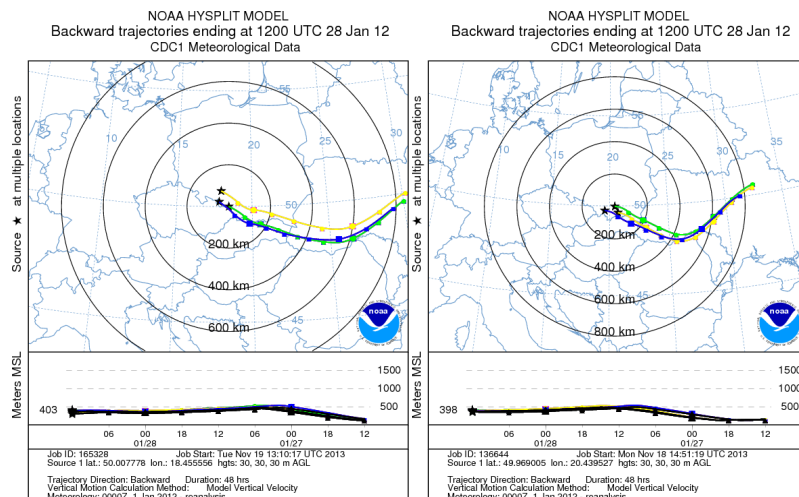


Rysunek 4-94 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.2.3.3. Trajektorie wsteczne

W czasie tego długotrwałego epizodu zanotowano kilka dni ze szczególnie wysokimi stężeniami PM₁₀. Najwyższe stężenia dla województwa śląskiego zanotowano 12.02. 2012 r. i ponieważ był to epizod obejmujący swym zasięgiem kilka regionów, przebieg trajektorii wstecznych dla województw śląskiego i opolskiego w tym dniu zaprezentowano na tle zachowania trajektorii wstecznych dla innych województw przy opisie epizodu 5 dla województw dolnośląskiego, lubuskiego i zachodniopomorskiego. Drugie co do wielkości maksimum w tym epizodzie dla województwa śląskiego i pierwsze co do wielkości dla województwa opolskiego zanotowano 28.01.2012. Tego dnia zanotowano także wyraźne podwyższenie stężeń PM₁₀ dla województw małopolskiego i podkarpackiego. Poniżej przedstawiono trajektorie wsteczne dla tego dnia dla wybranych stacji z tych województw.

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

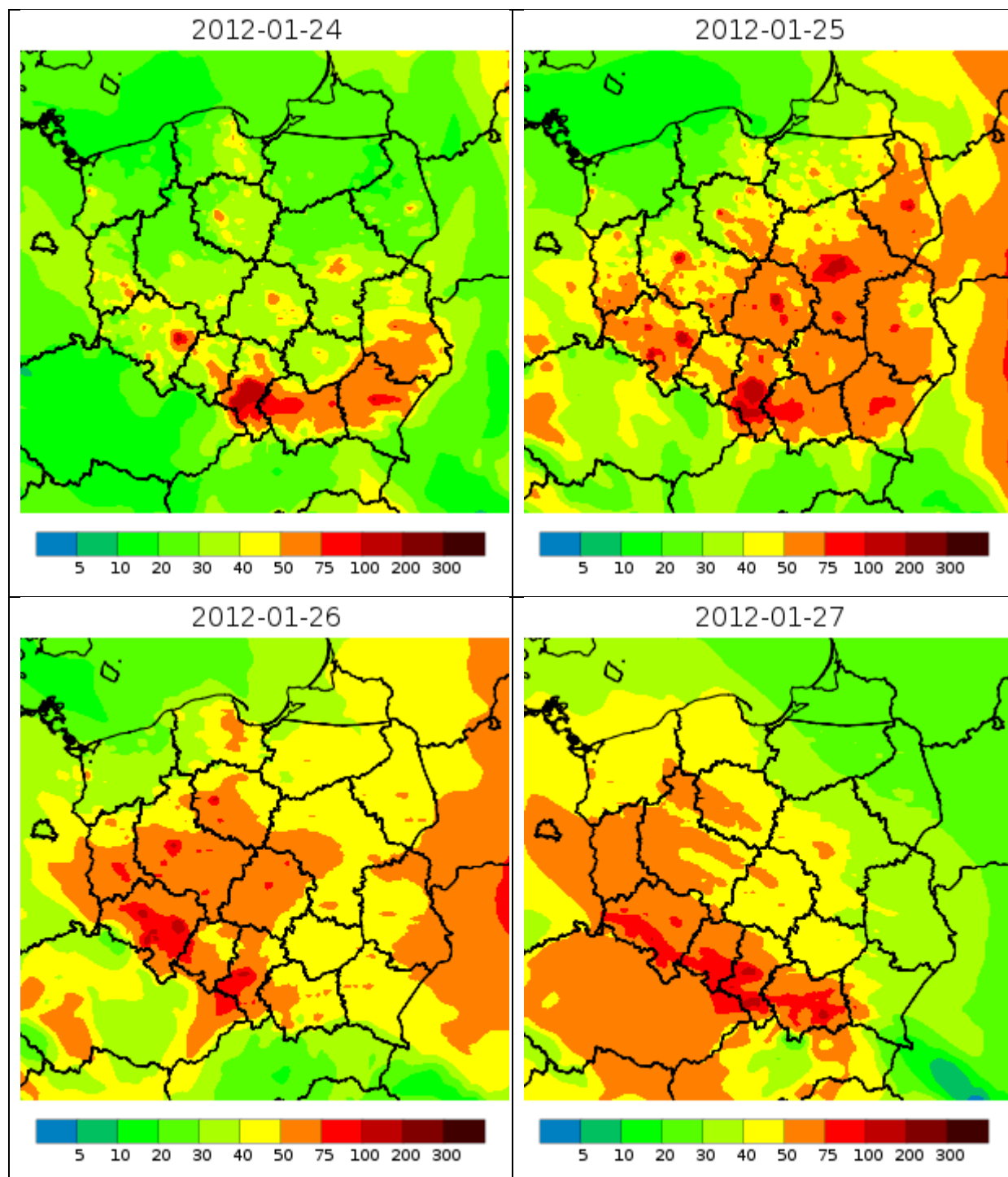


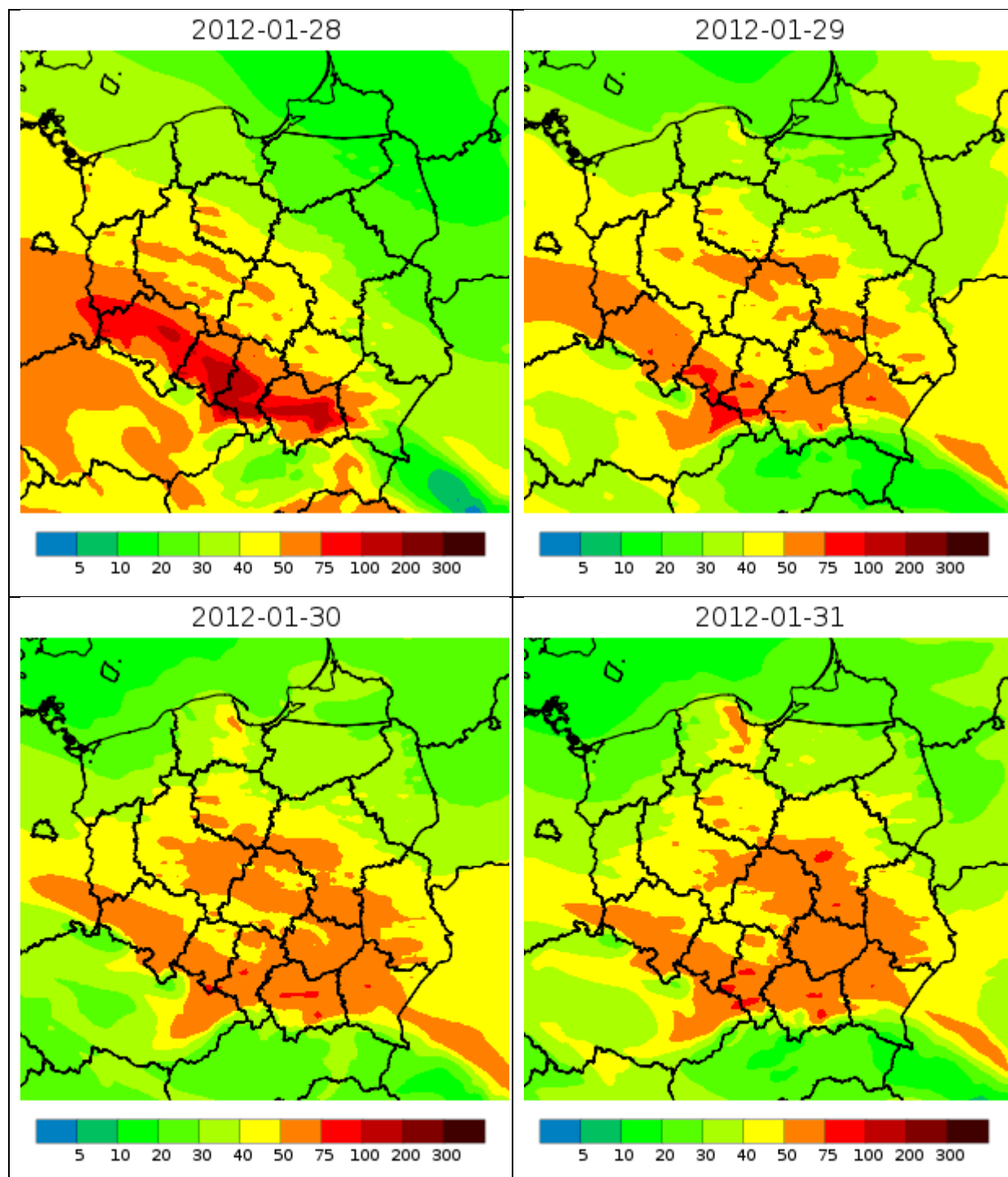
Rysunek 4-95 Trajektorie wsteczne dla stacji w Głubczycach, Opolu i Wodzisławiu

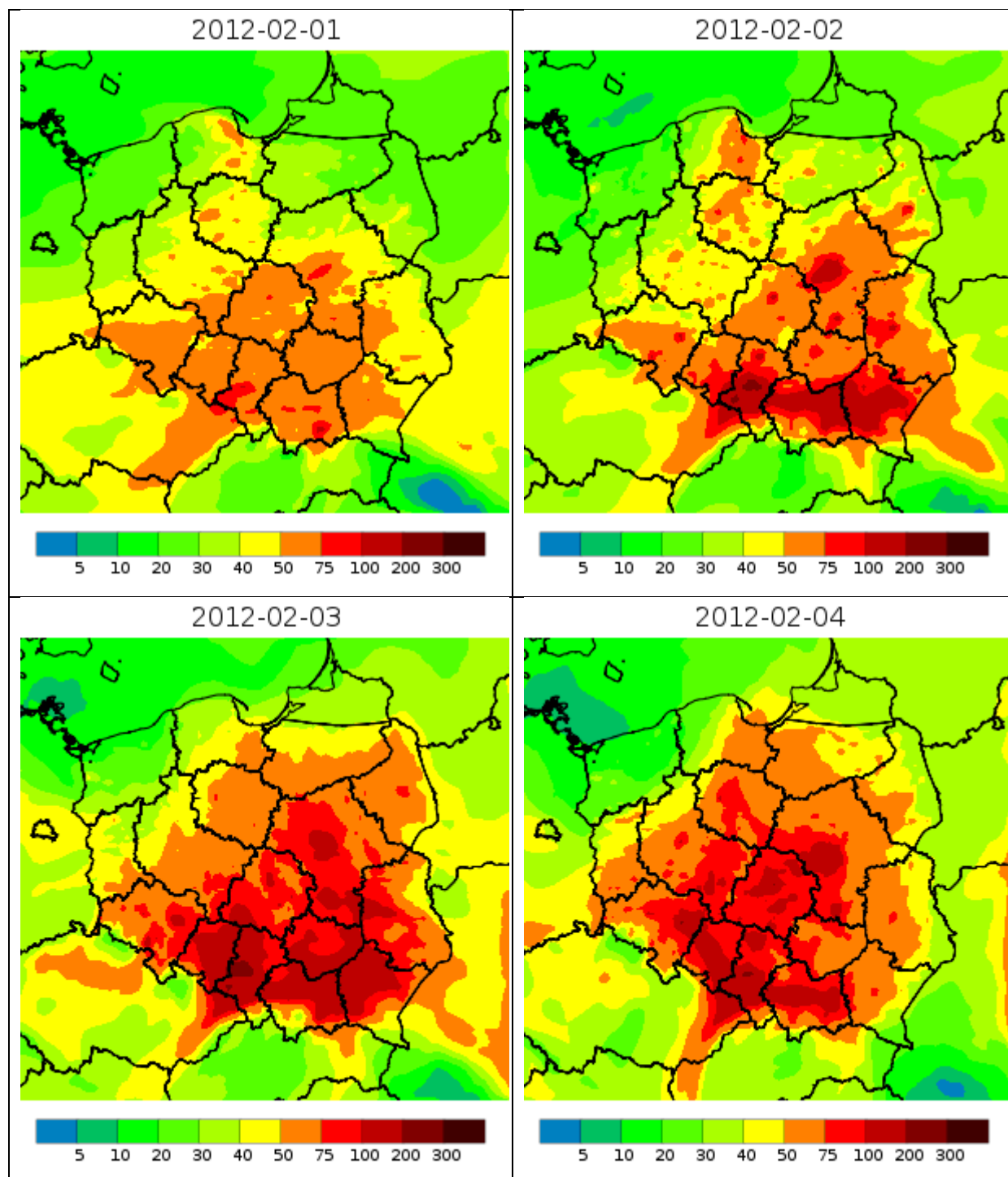
Na rysunku powyżej zaprezentowano przebieg trajektorii wstecznych dla stacji zlokalizowanych w Głubczycach ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Opolu ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Wodzisławiu ($194 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Trajektorie wsteczne wykazują, że spływ w tym dniu miał bardzo jednorodny charakter przenosząc masy powietrza znad północnej Słowacji i południowo-zachodniej Ukrainy. Trajektorie wsteczne w czasie tego epizodu podnosiły się stopniowo, osiągając po 30 h wysokość około 60 m, a następnie obniżając się. Przez cały czas znajdowały się w obrębie warstwy mieszania. Wysokość warstwy mieszania zmieniała się w cyklu dobowym od poniżej 100 m w nocy do około 200 m około południa.

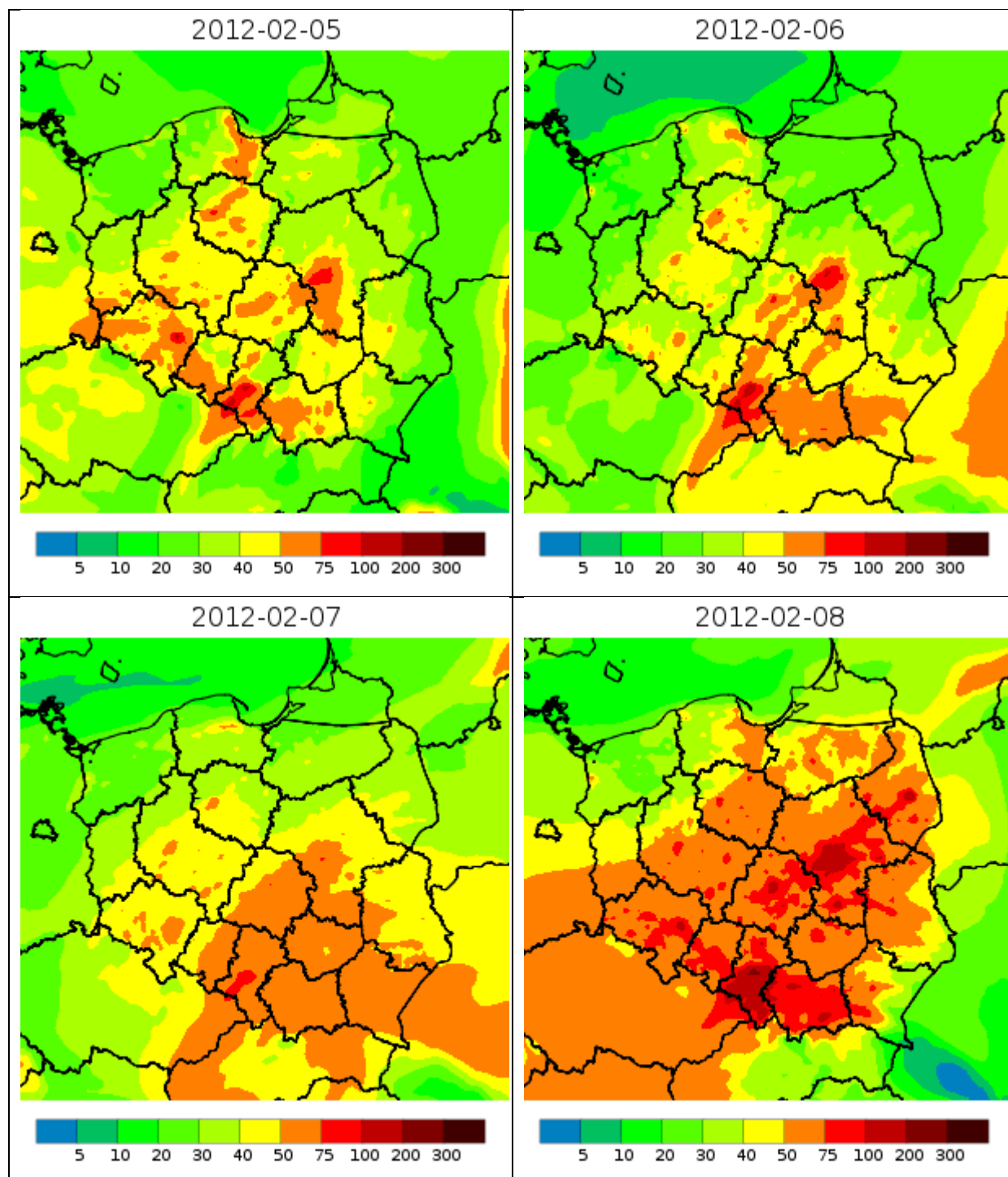
4.2.3.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

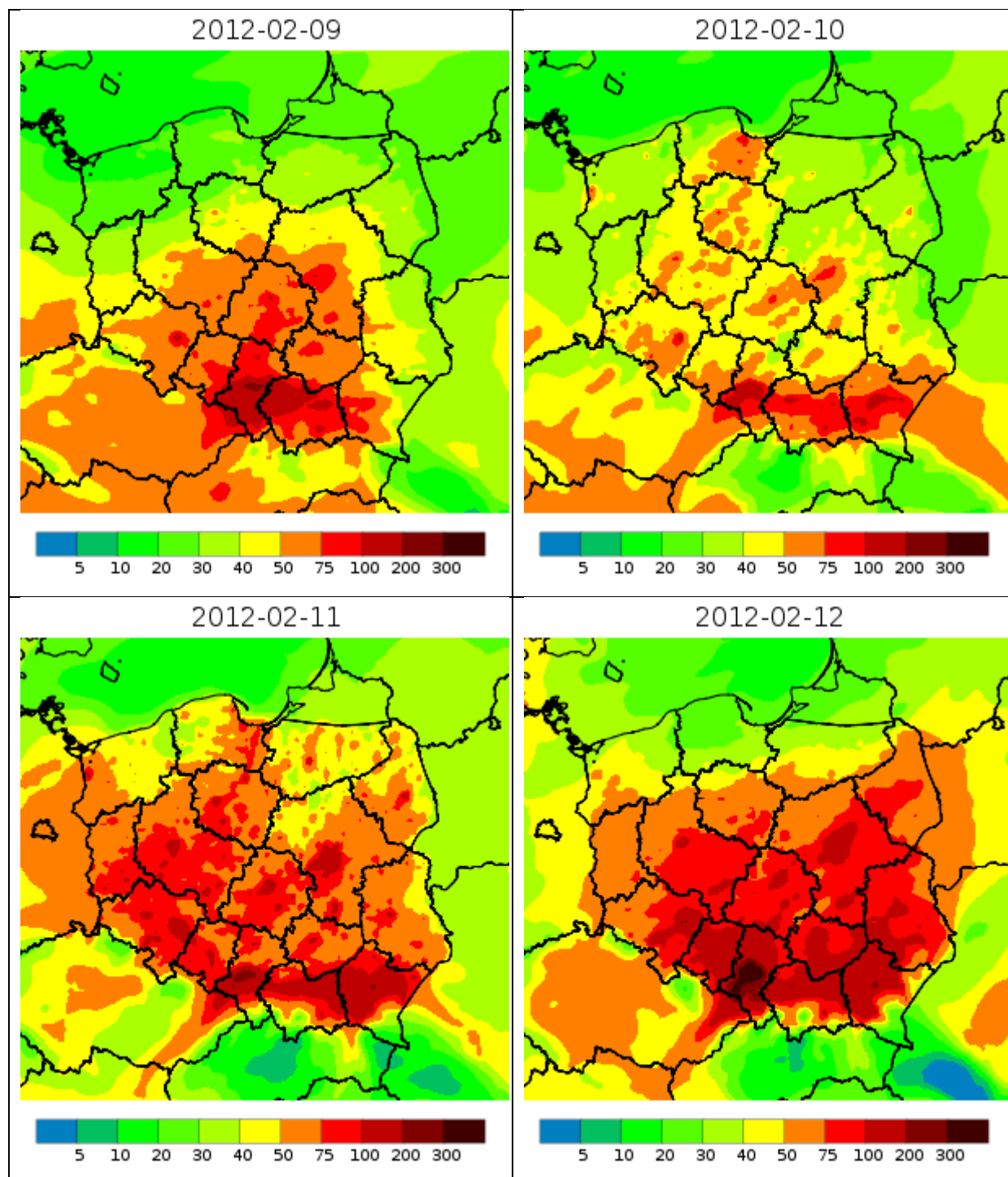
A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10

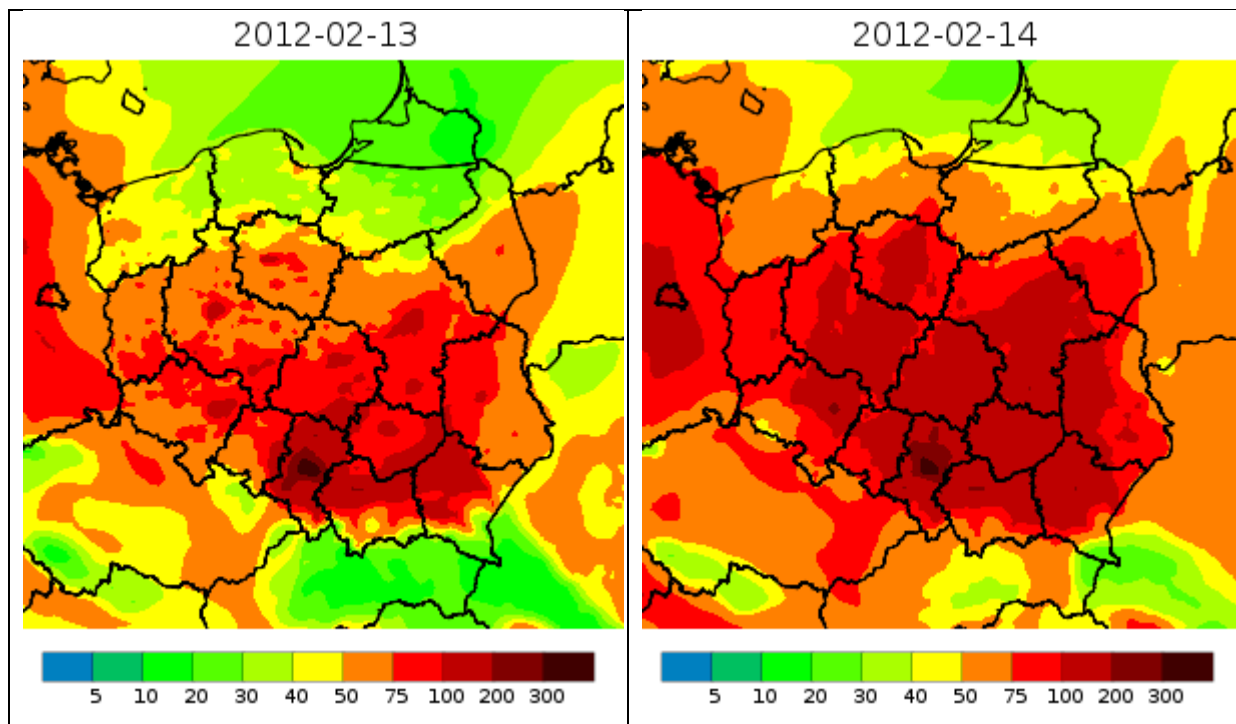








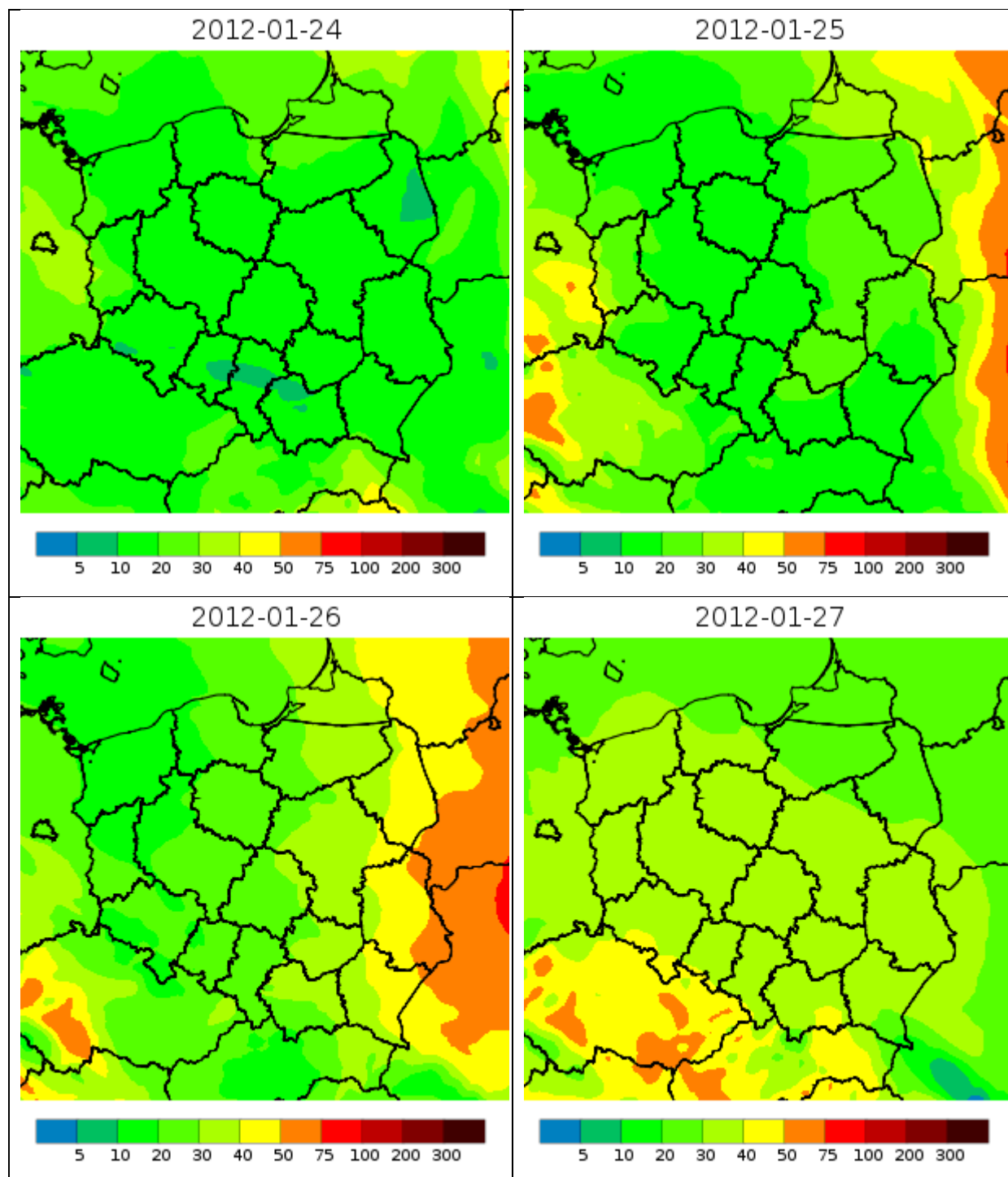




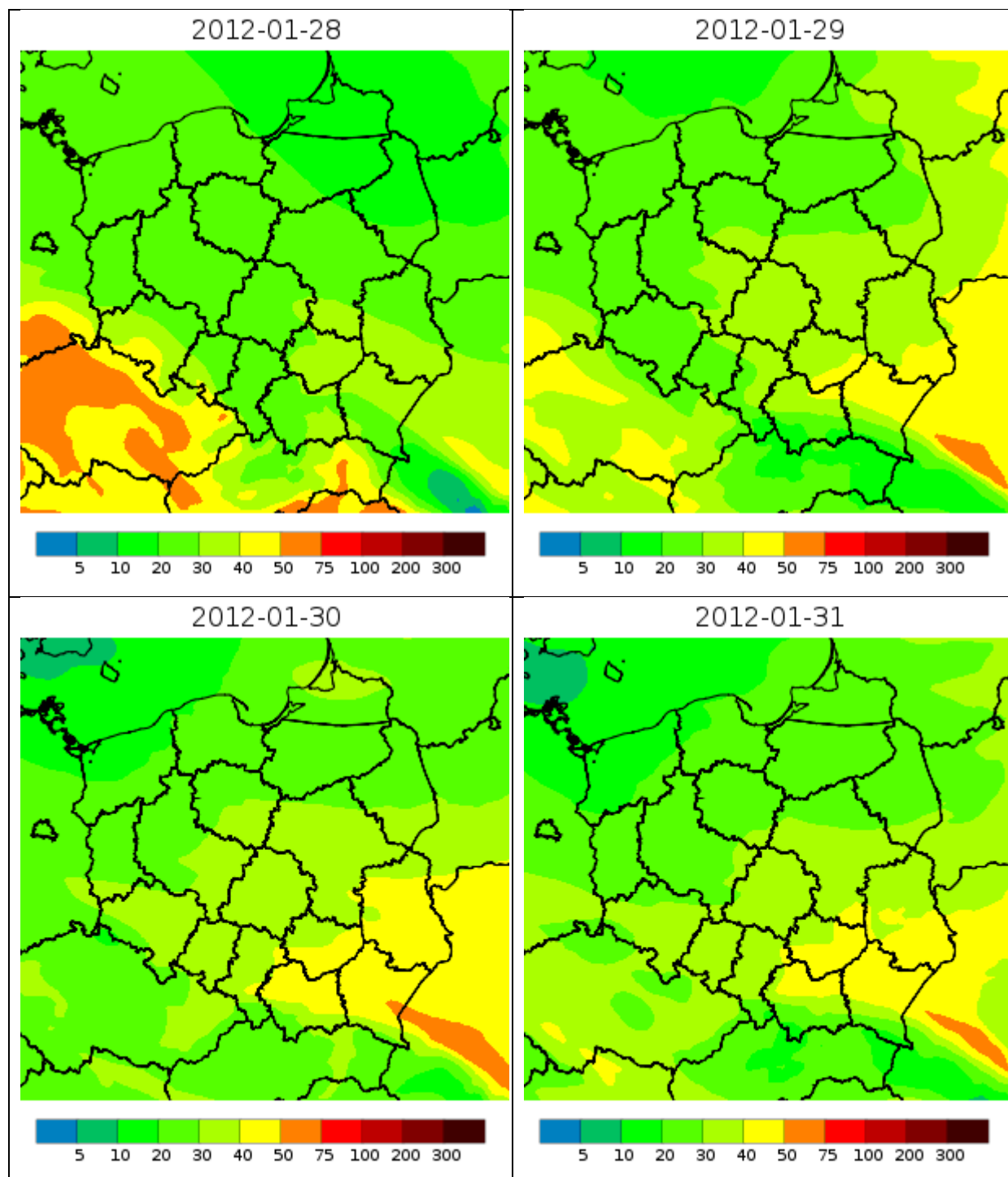
Rysunek 4-96 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 24.01-14.02.2012 r.

Epizod od 24.01-14.02 był najdłuższym z analizowanych epizodów i charakteryzował się wystąpieniem 2 szczytów w terminach 2-4 luty oraz 8-14 luty. Pierwszy szczyt charakteryzował się niższymi stężeniami oraz mniejszym zasięgiem. Ponadto wykazywał bardziej lokalny charakter. Na początku jego trwania podwyższone stężenia wyraźnie zaznaczały się na terenie miast, by 3 lutego osiągnąć największy zasięg, obejmujący województwa: opolskie, śląskie, małopolskie, świętokrzyskie, podkarpackie, łódzkie, a w mniejszym stopniu: mazowieckie, lubelskie, dolnośląskie i wielkopolskie. W trakcie trwania drugiego szczytu również wyraźnie zaznaczyły się podwyższone stężenia na terenach miast, szczególnie wyraźnie 10 i 11 lutego. Od 12 lutego obszar ograniczony izoliną $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ujednolicił się, a maksymalny zasięg terytorialny epizodu zanotowano 14 lutego, wyniósł on 250 tys. km^2 i objął praktycznie cały kraj, poza województwem warmińsko-mazurskim oraz w niewielkim stopniu zachodnio-pomorskie i pomorskie. Maksymalne stężenia pyłu zawieszonego PM10 w trakcie trwania całego epizodu wystąpiły 12 lutego na terenie Aglomeracji Górnośląskiej i przekroczyły poziom alarmowy. W trakcie trwania tego epizodu następował wypływ zanieczyszczeń przez Bramę Morawską w kierunku południowo-zachodnim.

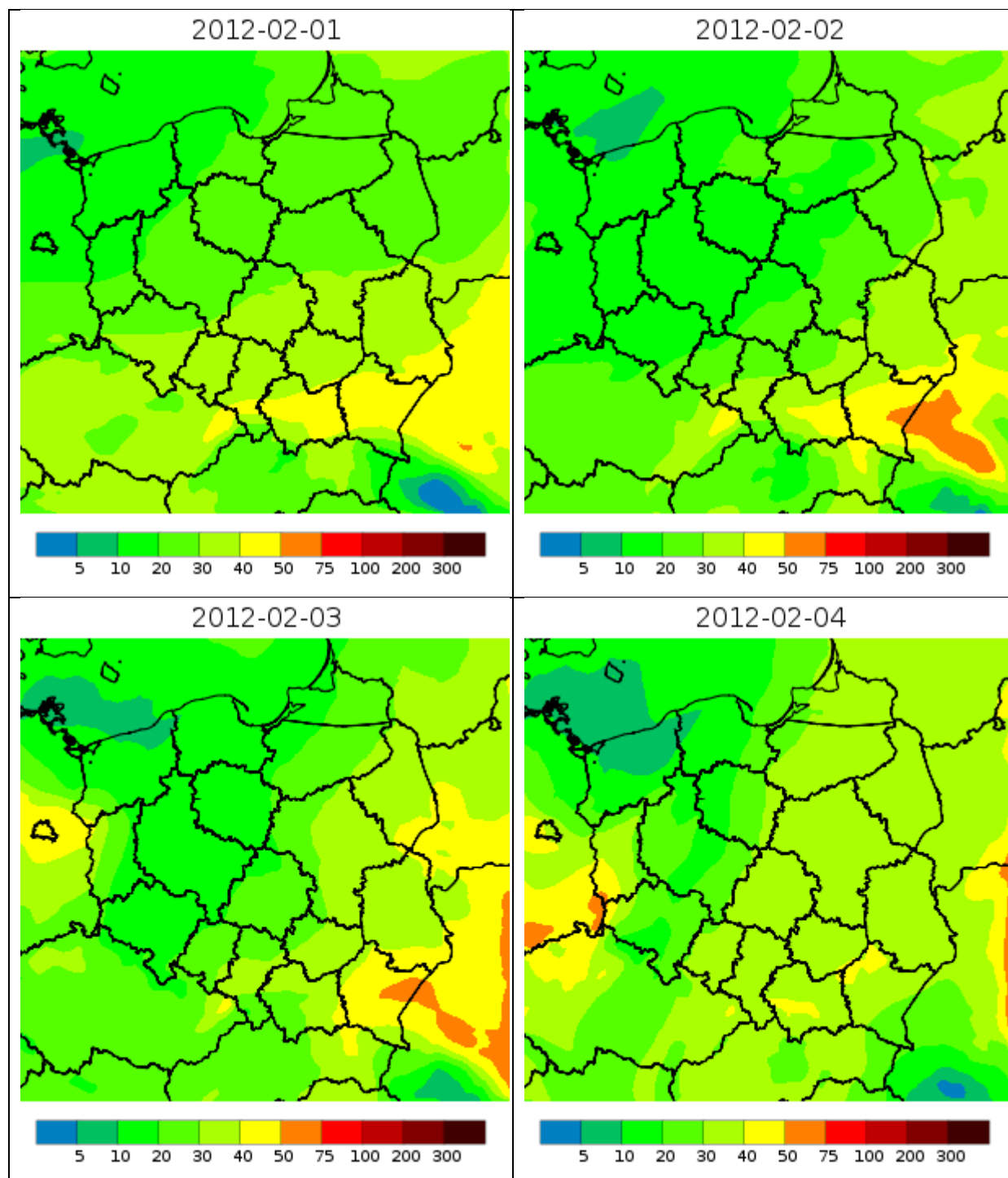
B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski

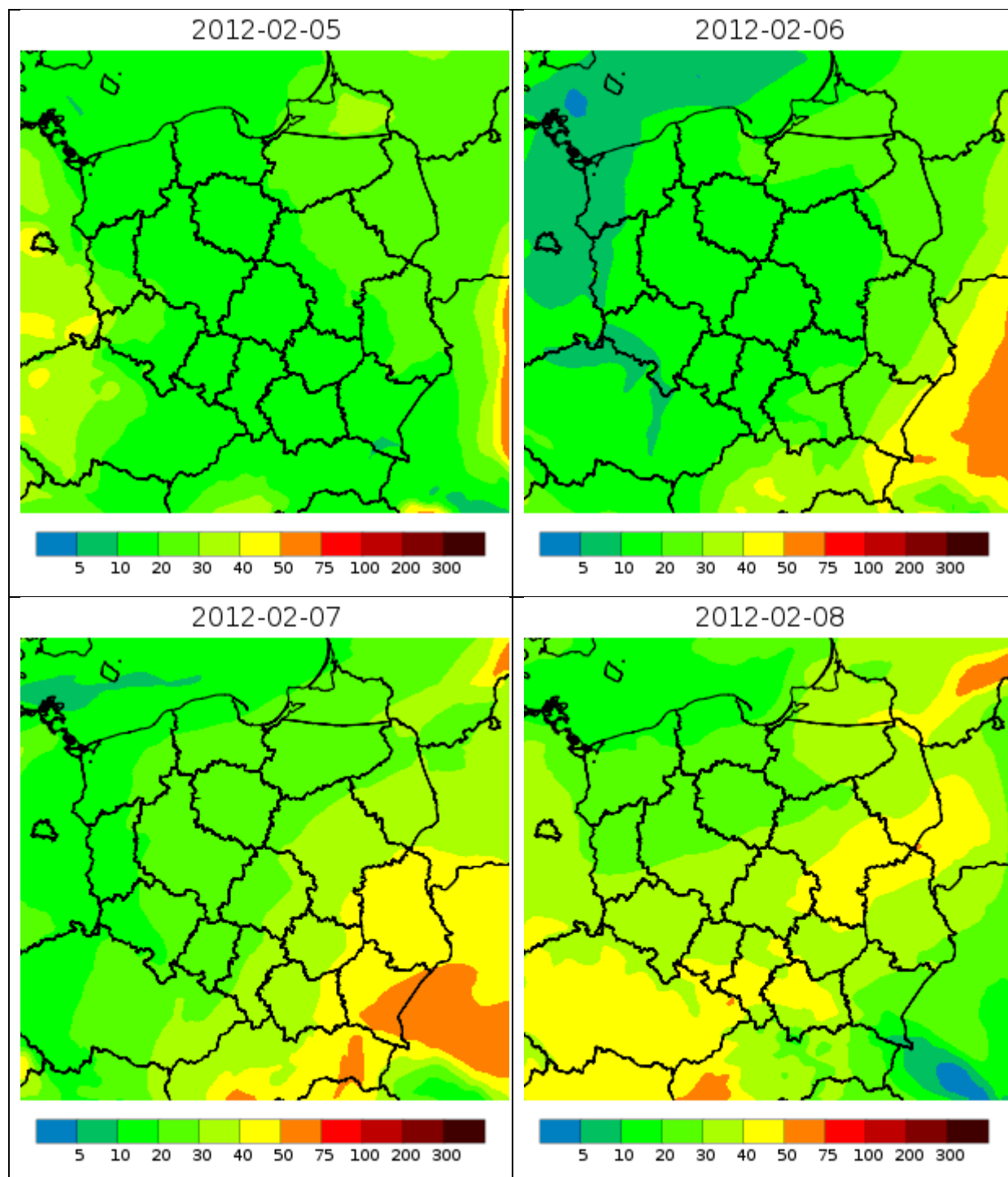


Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

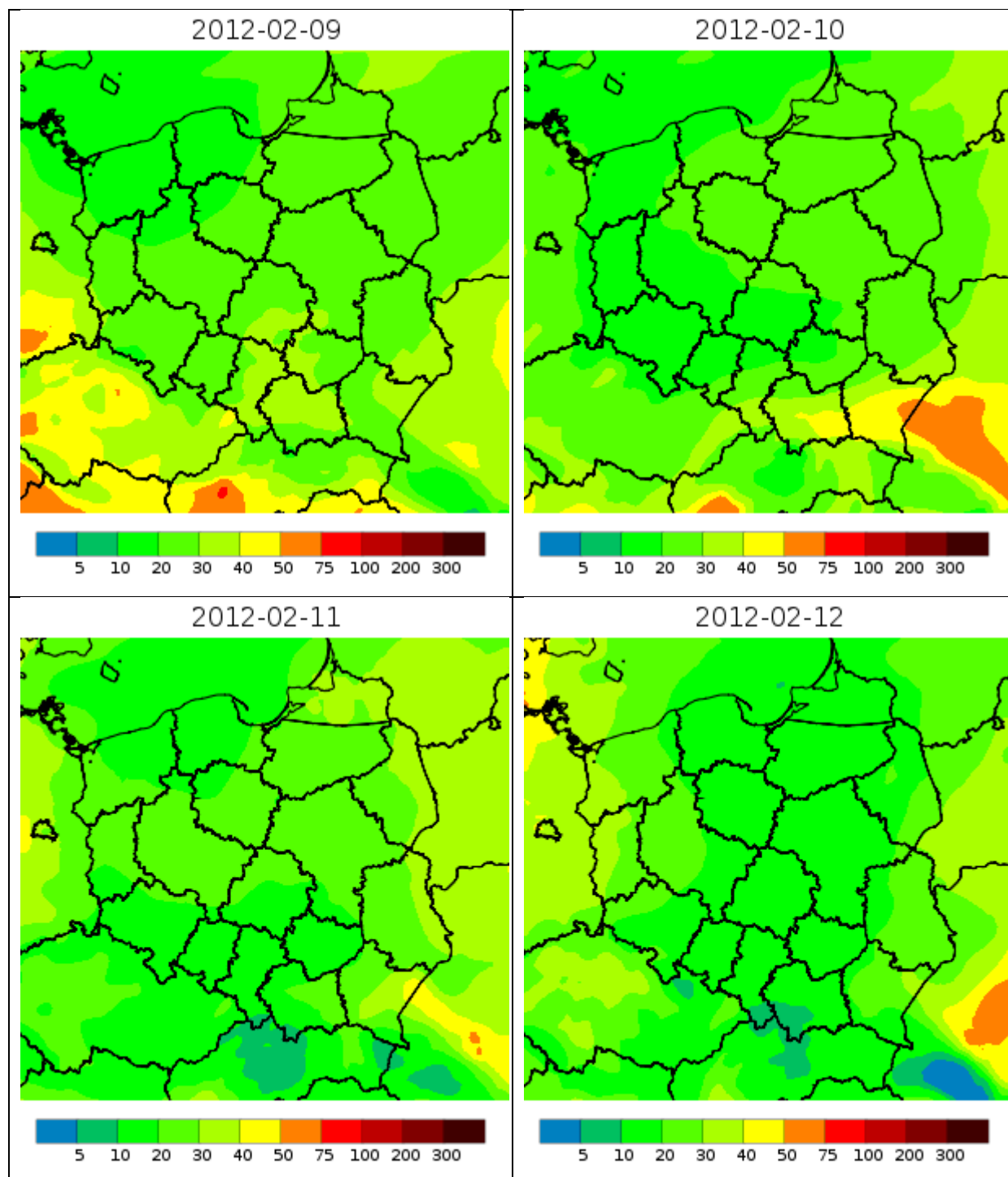


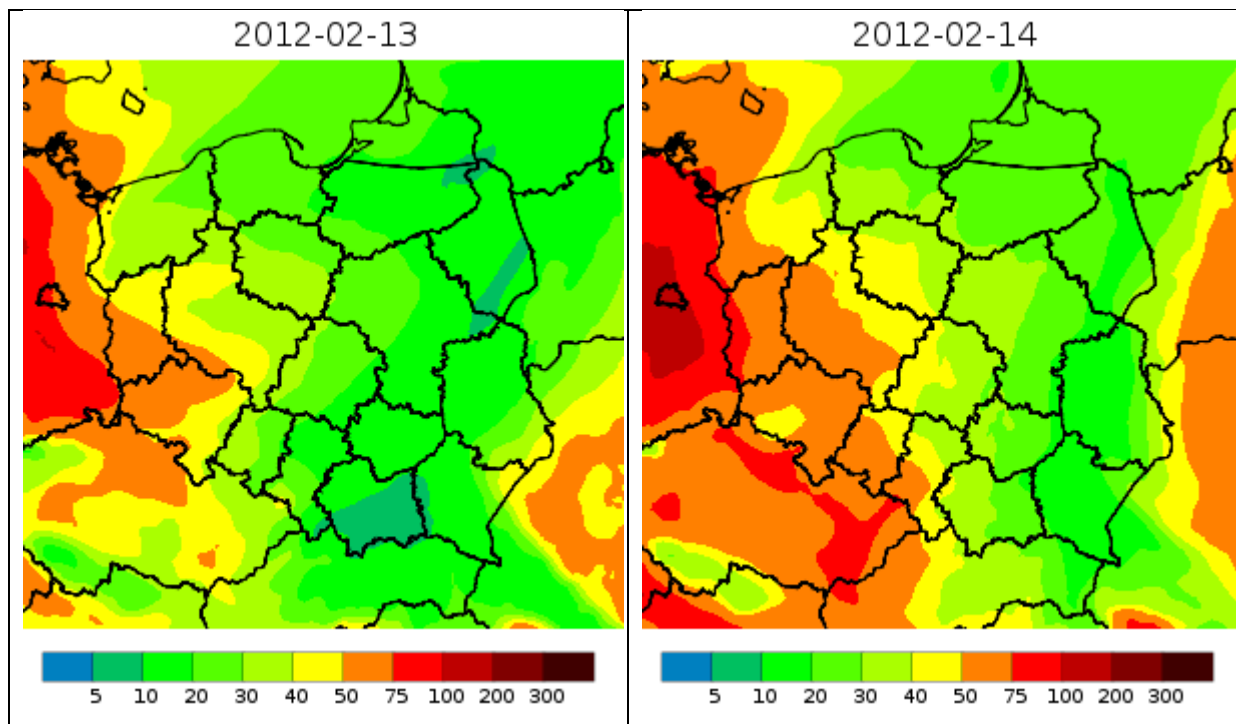
Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii





Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii



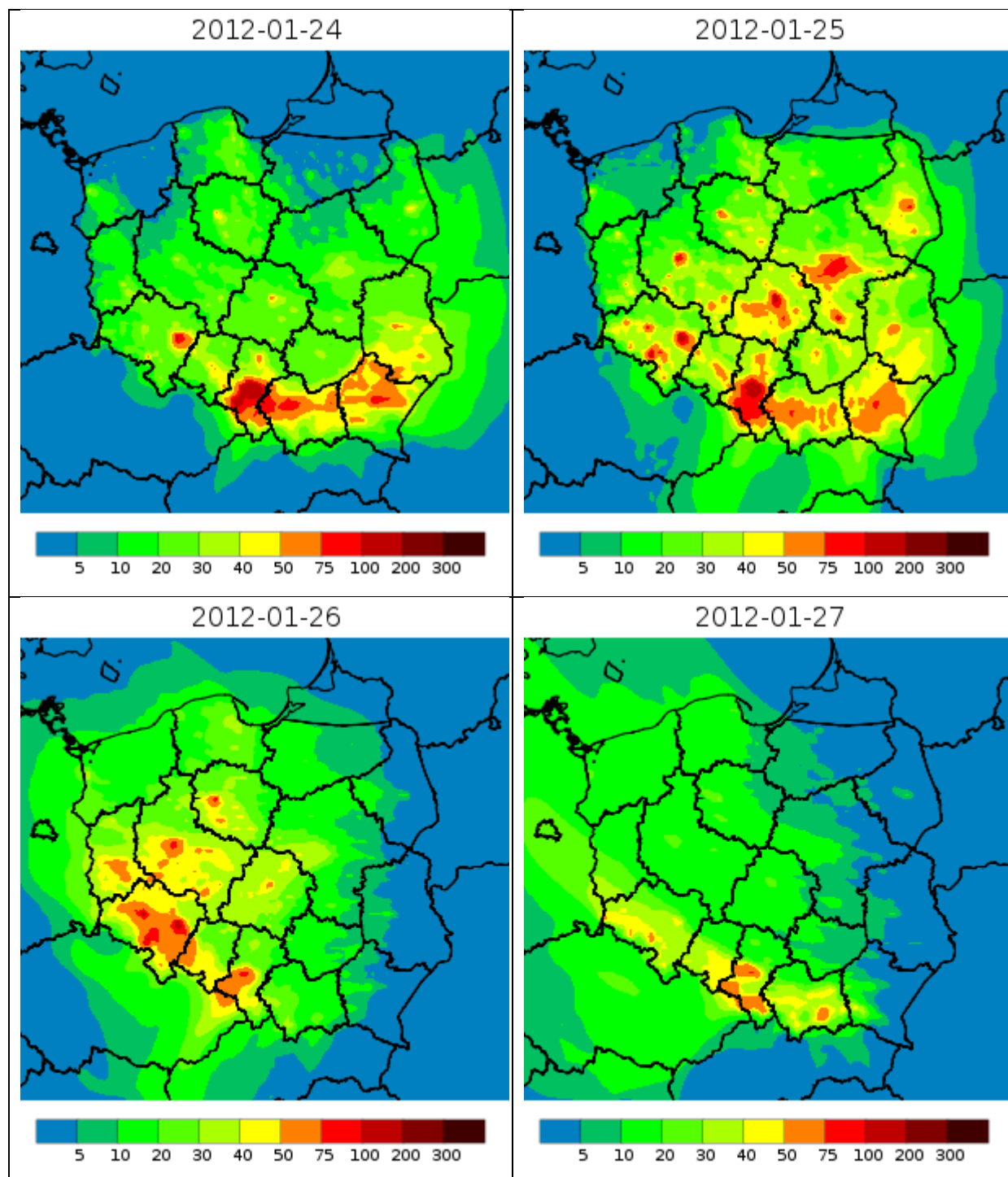


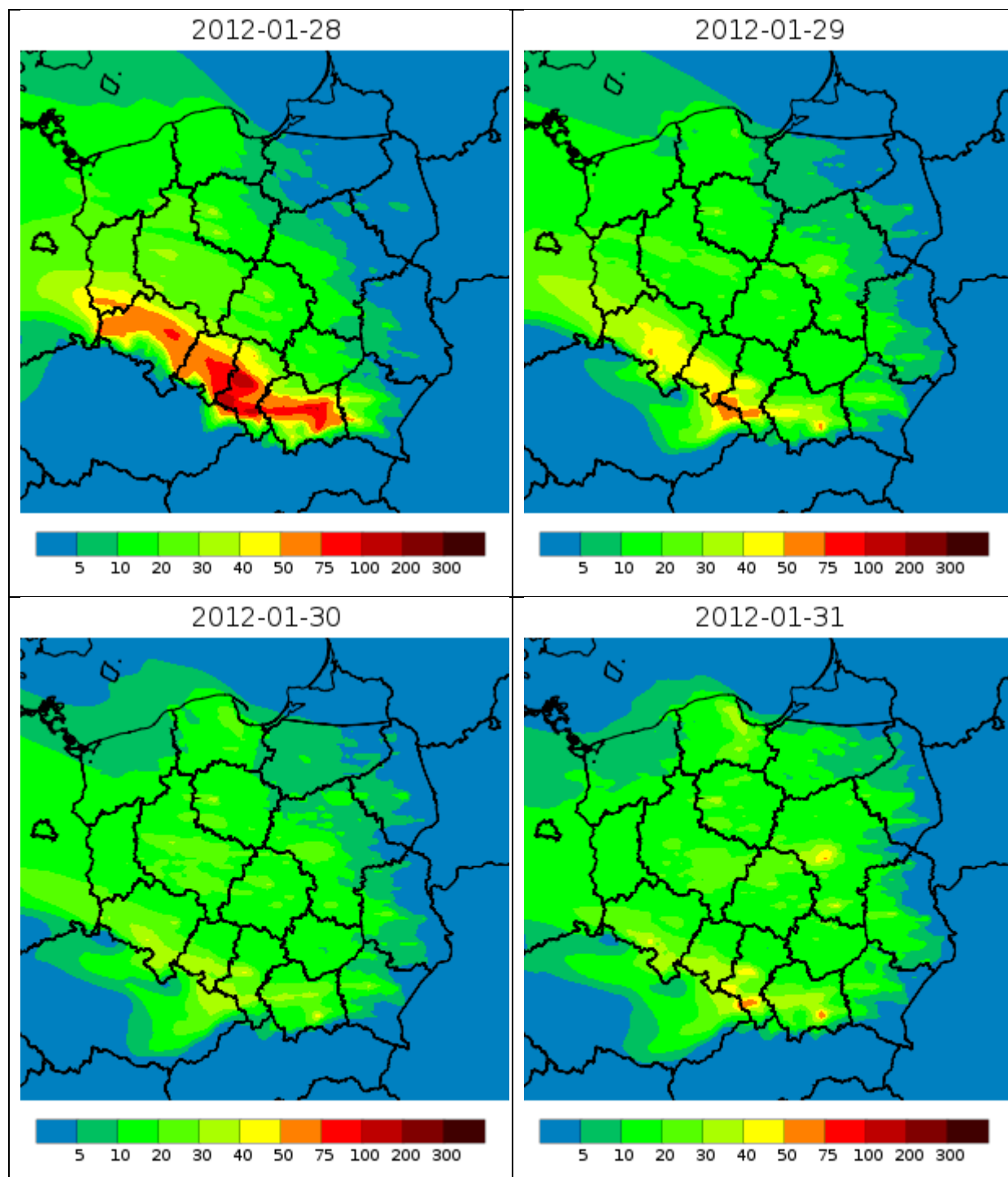
Rysunek 4-97 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 24.01-14.02.2011 r.

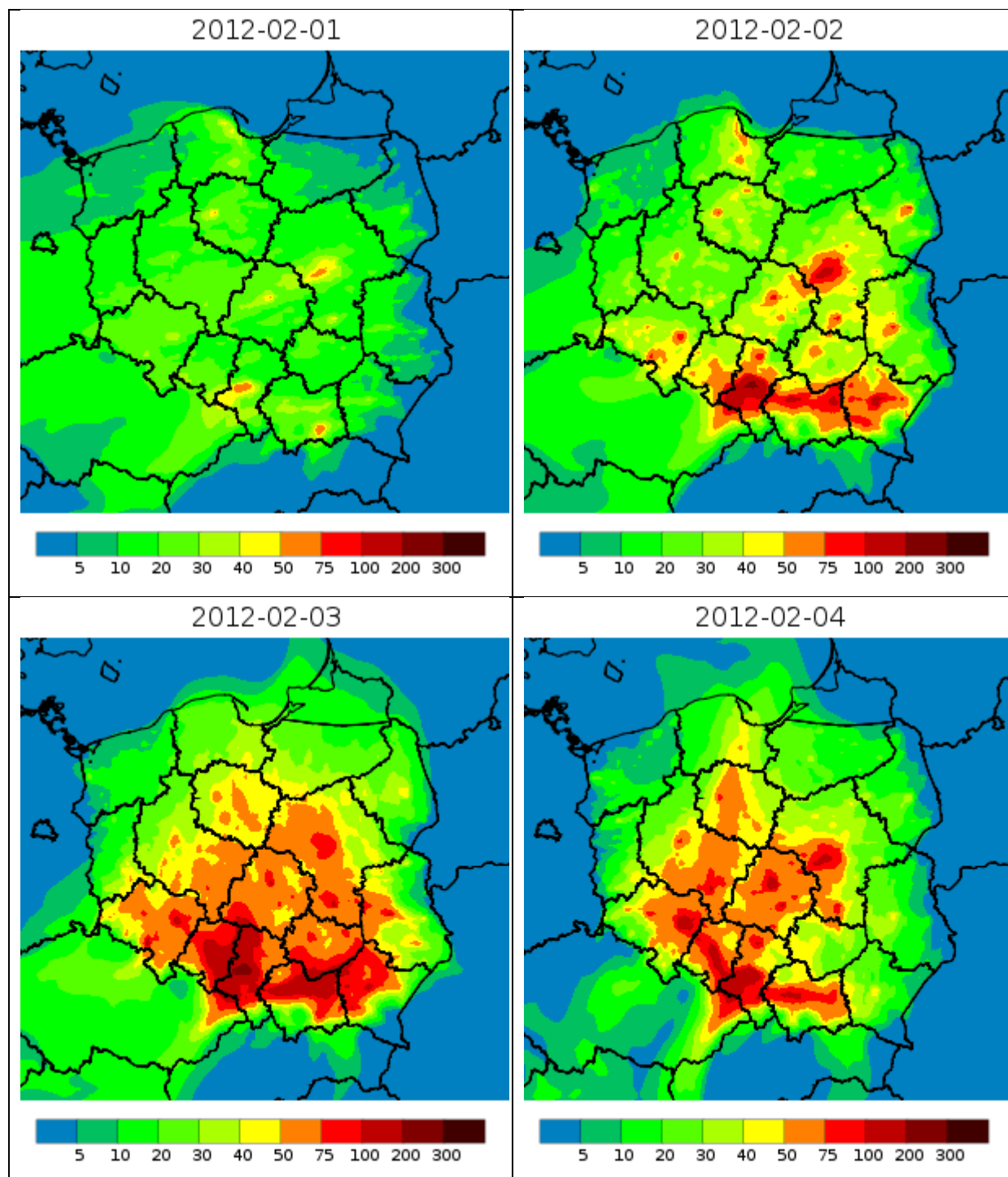
Napływ transgraniczny zanieczyszczeń, w trakcie trwania epizodu następował z dwóch kierunków. W trakcie trwania pierwszej fazy epizodu, czyli do 7 lutego wyższe stężenia pyłu PM₁₀ napływały z kierunku wschodniego i przy granicy z województwem lubelskim osiągały stężenia około $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (26.01). Jedynie 27 stycznia zaznaczył się pewien napływ z kierunku południowo-zachodniego i przy granicy województwa dolnośląskiego, opolskiego oraz śląskiego osiągał stężenia około $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ponadto w dniach 3, 6, 7 i 10 lutego wyższe stężenia z napływu transgranicznego PM₁₀ zaznaczyły się w województwie podkarpackim. Od 13 lutego napływ następował z kierunku zachodniego oraz południowo-zachodniego i był zdecydowanie wyższy niż w dniach poprzednich. Stężenia z napływu transgranicznego na pograniczu (województwo lubuskie, zachodniopomorskie, dolnośląskie oraz śląskie) dochodziły nawet do $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski

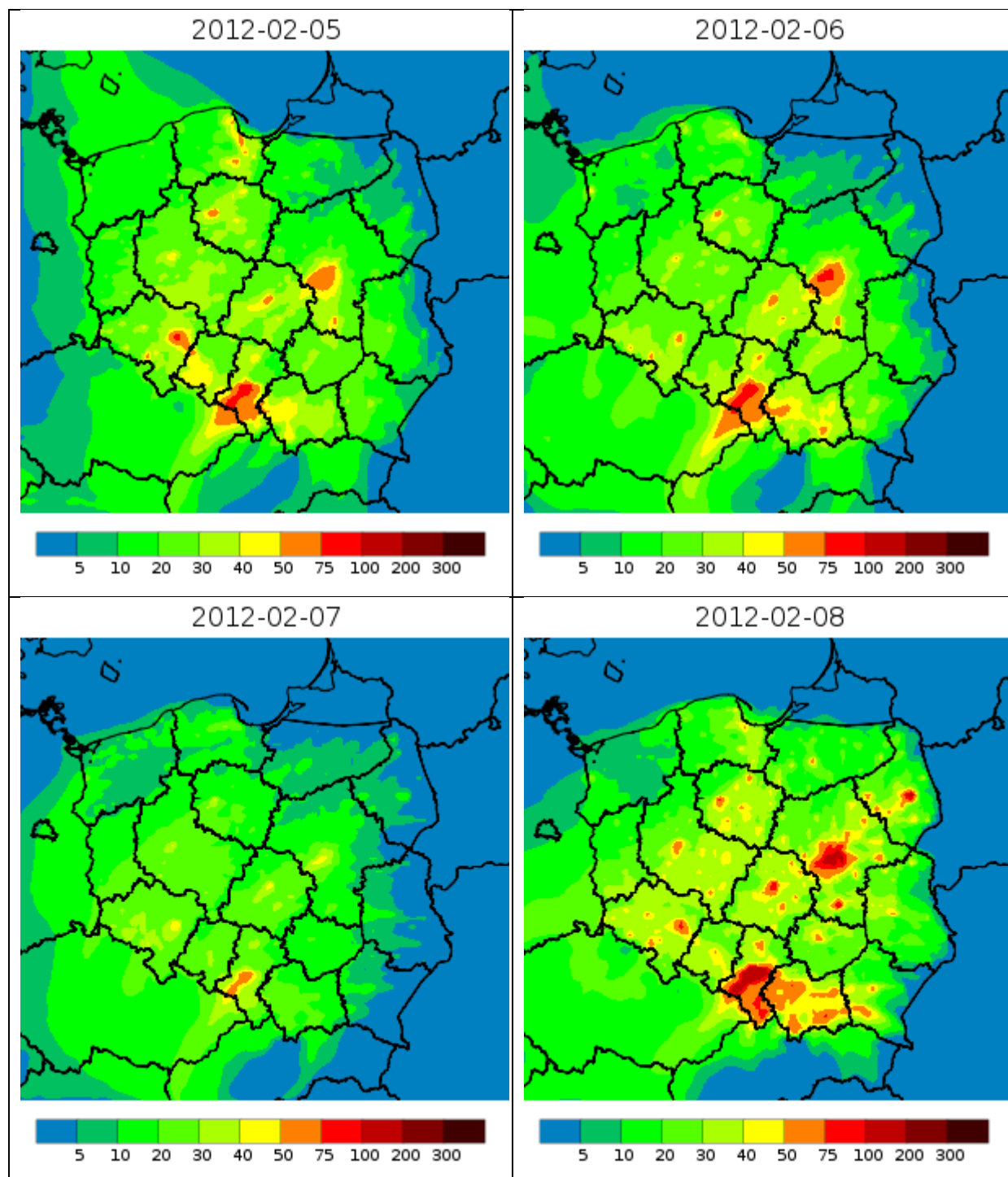
Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

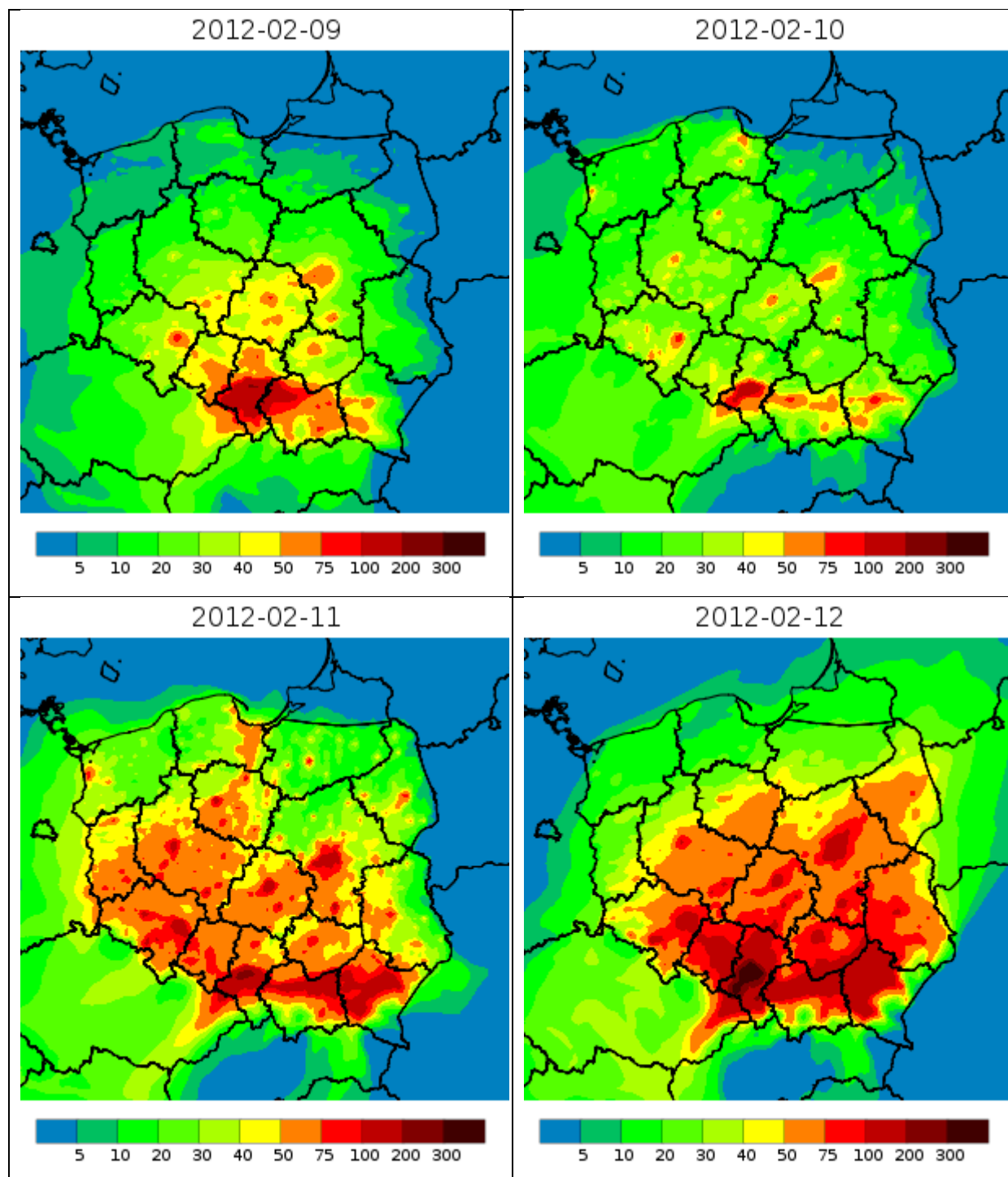


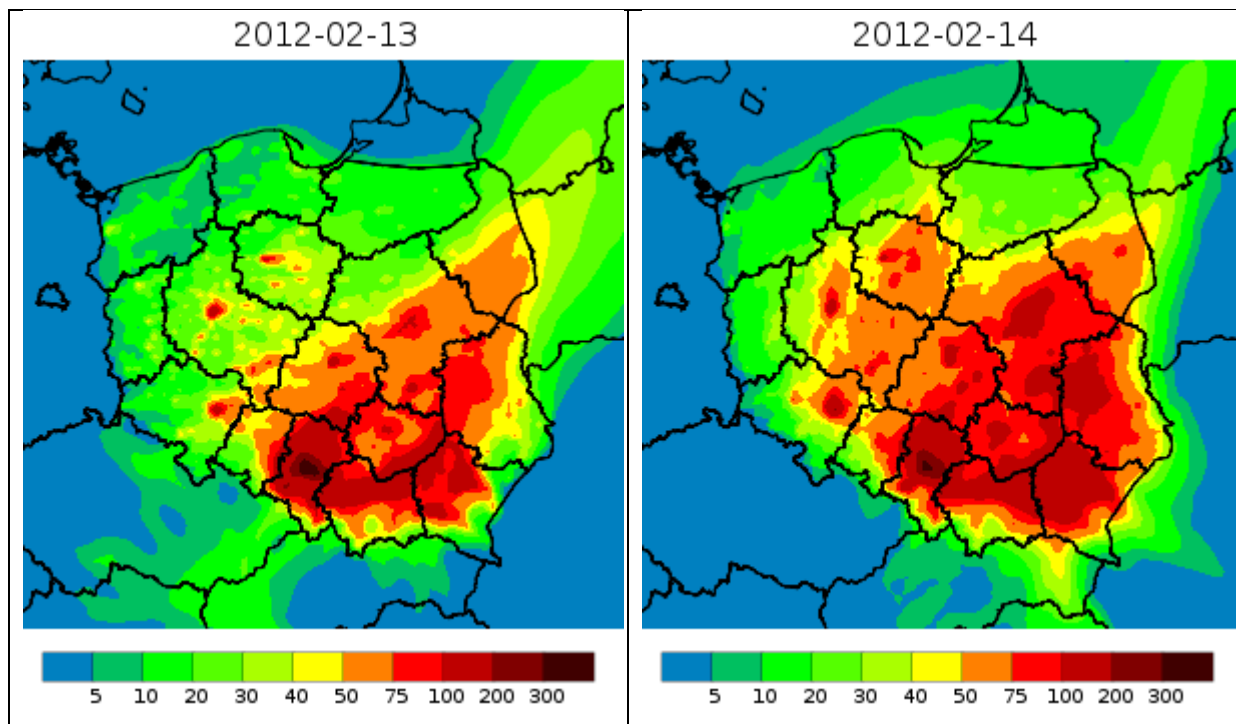




Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

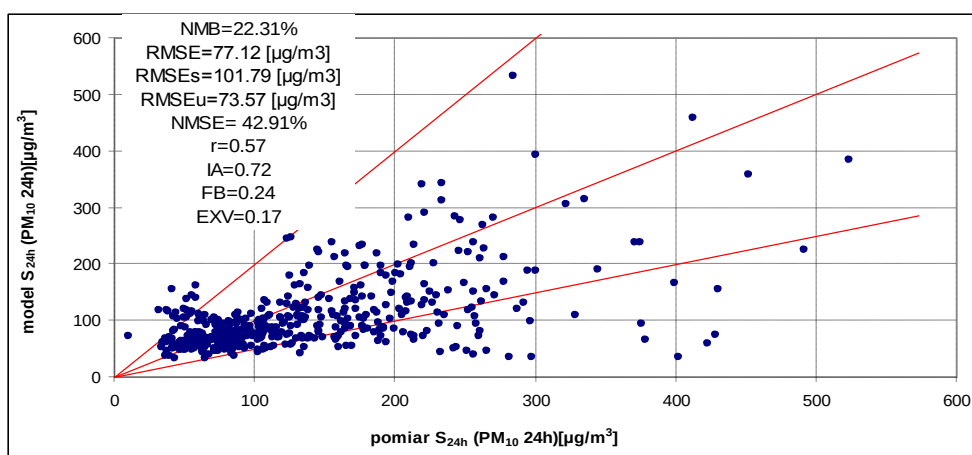






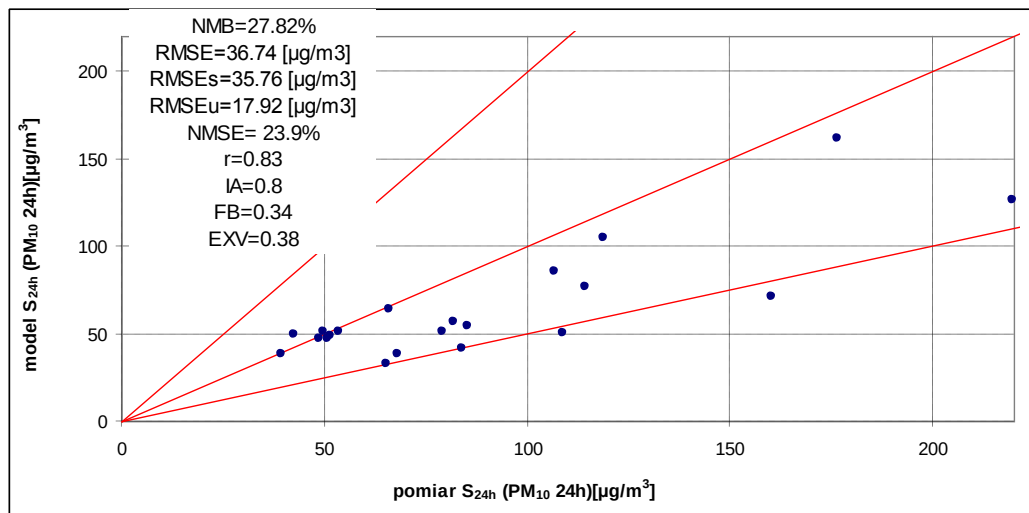
Rysunek 4-98 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 24.01-14.02.2011 r.

Transport zanieczyszczeń pochodzących z emisji z terenu Polski w trakcie trwania epizodu następował w różnych kierunkach. 24 i 25 stycznia zanieczyszczenia odpływały w kierunku wschodnim, a w ciągu następnych 7 dni w kierunku zachodnim. Równocześnie stężenia na granicy kraju nie przekraczały raczej $20\text{--}30\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. W kolejnych dniach zanieczyszczenia przemieszczały się w kierunku południowo-zachodnim i były istotnie wyższe (do $75\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$). Od 12 lutego kierunek przemieszczania się zanieczyszczeń zmienił się na południowo-wschodni, wówczas to wystąpiły maksymalne stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ na południu i południowym wschodzie kraju. W trakcie trwania tego epizodu wyraźnie zaznacza się wpływ emisji lokalnej w miastach i aglomeracjach. Ponadto w ciągu kilku dni zaznaczył się wypływ stężeń zanieczyszczeń z terenu Polski w stronę Czech (9-12 luty).



Rysunek 4-99 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach opolskim i śląskim w terminie 24.01.2012 - 14.02.2012r.

Błędy NMB i NMSE są bliskie wartościom określającym dobrą jakość modelowania. Również indeksy zgodności i korelacji wskazują na wysoką korelację, a wariancja wyjaśniona EXV jest zbliżona do wartości 0,3. Jednakże błąd średni kwadratowy wskazuje na niedoszacowanie modelu średnio o 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Rysunek 4-100 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach opolskim i śląskim w terminie 24.01.2012 - 14.02.2012r.

Po usunięciu z dalszej analizy stacji o charakterze miejskim, pozostały wyniki pomiarów pyłu zawieszonego PM₁₀ ze stacji Złoty Potok. Wyeliminowanie stacji miejskich spowodowało znaczne poprawienie jakości modelowania względem wyników pomiarów. Współczynnik korelacji i indeks zgodności wskazują na bardzo dużą zależność pomiędzy modelowaniem i pomiarami. Rozbieżność pomiędzy pomiarami, a wynikami modelowania (NMSE) jest mniejsza niż wymagane 40%. Średnio model różni się od pomiarów o 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, z czego część systematyczna wynosi 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedyne miara odchylenia NMB w porównaniu z wcześniejszą analizą nieznacznie wzrosła z 22% do 27%.

Jeżeli za prawidłowe uznane zostaną rezultaty modelowania znajdujące się w przedziale pomiędzy dwukrotnie zawyżonymi i dwukrotnie obniżonymi wartościami pomiarów, wówczas otrzymany zgodność modelowania na poziomie 86%.

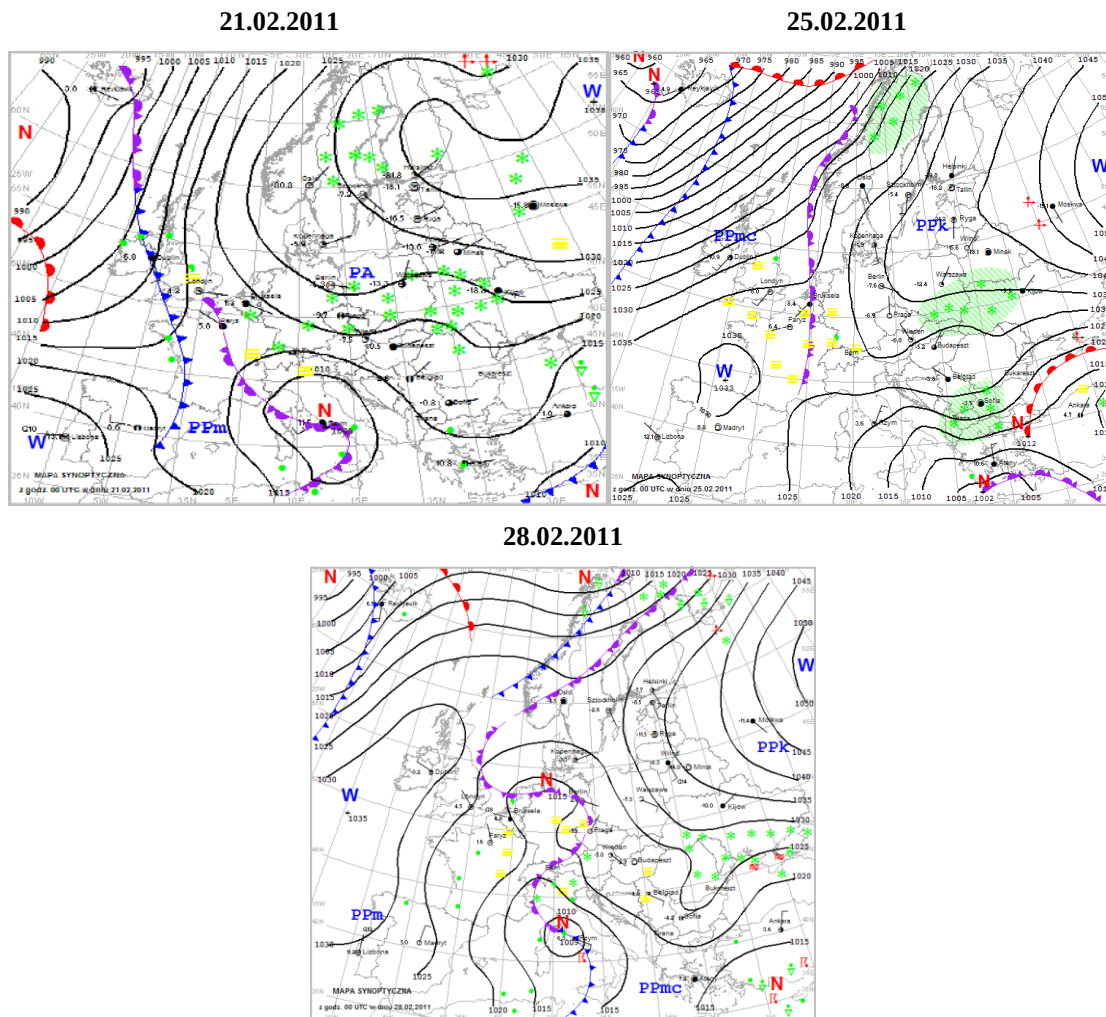
4.3. Region 3 – województwo małopolskie i podkarpackie

4.3.1. Epizod 1 od 21 do 28 lutego 2011 r.

4.3.1.1. Sytuacja synoptyczna

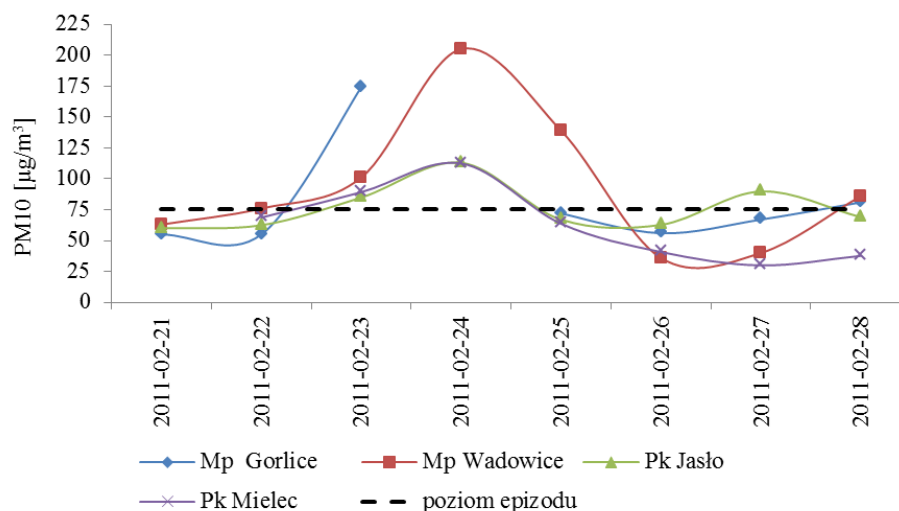
W okresie 21-28.02.2011 nad północną częścią Polski stopniowo zaczął rozbudowywać się wyż, z północnego-wschodu i wschodu napływała sucha i mroźna kontynentalna masa powietrza (PPk). Natomiast w Polsce południowo-wschodniej aż do 25.02.2011 istotnie zaznaczała się płytka zatoka niżu znad Rumunii i mimo napływającego chłodnego powietrza docierało też sporo wilgoci z rejonu Morza Czarnego.

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

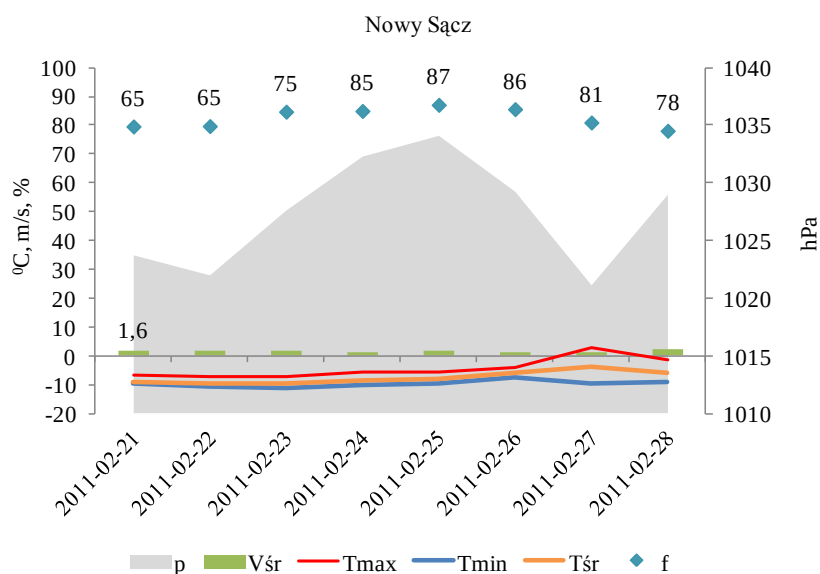


Rysunek 4-101 Mapa synoptyczna z dnia 21, 25, 28 lutego 2011 roku, godzina 0 UTC

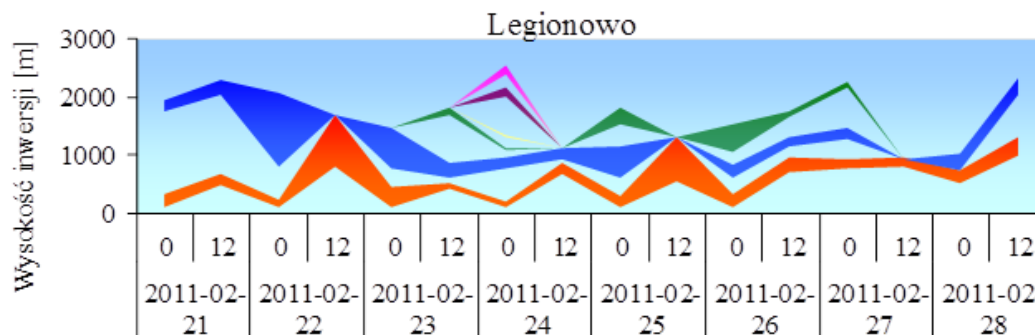
4.3.1.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne



Rysunek 4-102 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10

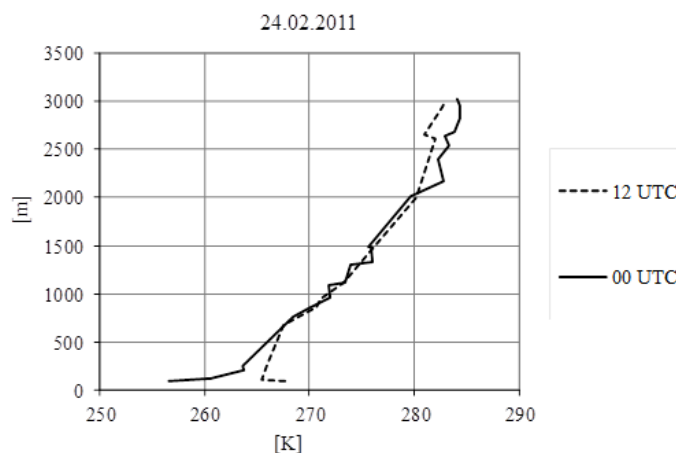


Rysunek 4-103 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-104 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

Podczas epizodu obserwowana wysokość pierwszej wzniesionej warstwy inwersyjnej początkowo wykazywała dobowy bieg z minimum w godzinach nocnych (około 200 m i maksimum w godzinach południowych około 600 – 800 m) przy jednoczesnej dużej ewolucji jej miąższości. W dniu maksimum stężeń na większości stacji tj. dnia 24 lutego 2011 roku maksymalna wysokość jej spagu sięgała 800 m przy miąższości około 50 m. Podczas epizodu występowały niskie temperatury powietrza i słaby wiatr. Sugeruje to, że zwłaszcza w terenach obniżen mogła występować silna inwersja przyziemna, która mogła utrzymywać się całą dobę.

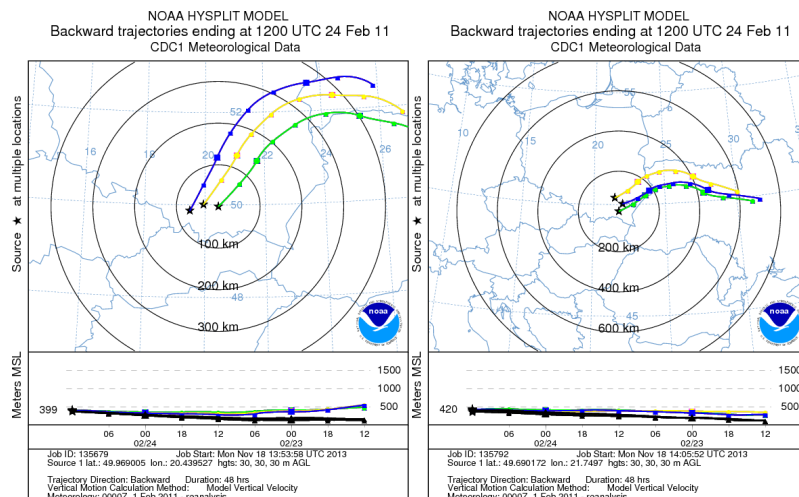


Rysunek 4-105 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.3.1.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten był epizodem, w którym podwyższenie stężeń PM₁₀ objęło niemal wszystkie analizowane obszary Polski. Maksymalne stężenia dla województw śląskiego, opolskiego, małopolskiego i podkarpackiego odnotowano dla większości stacji dnia 24.02.2011, zaś dla województw dolnośląskiego, lubuskiego, zachodniopomorskiego i warmińsko-mazurskiego dzień później 25.02.2011. Poniżej przedstawiono trajektorie wsteczne dla wybranych stacji z obu tych dni.

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

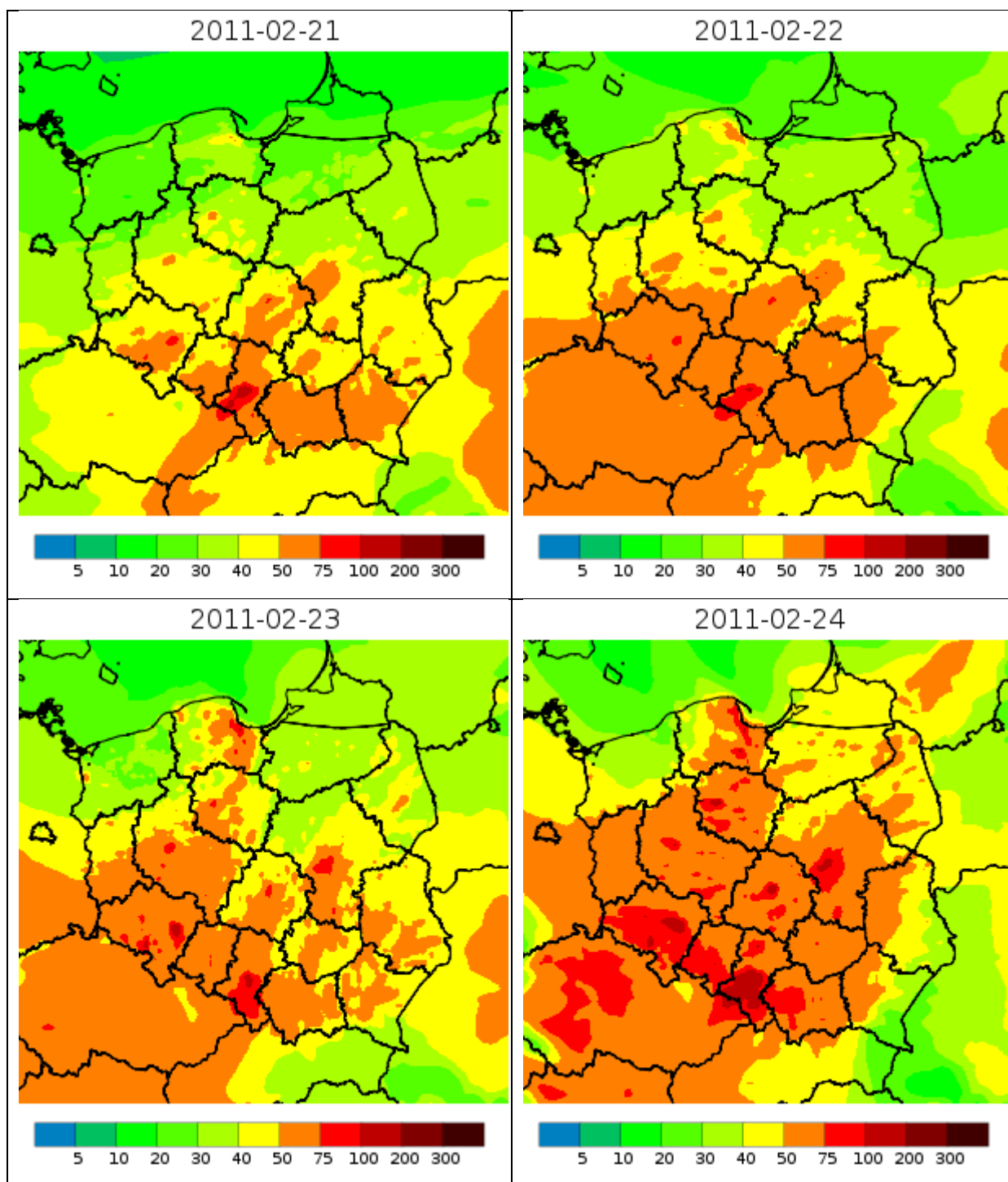


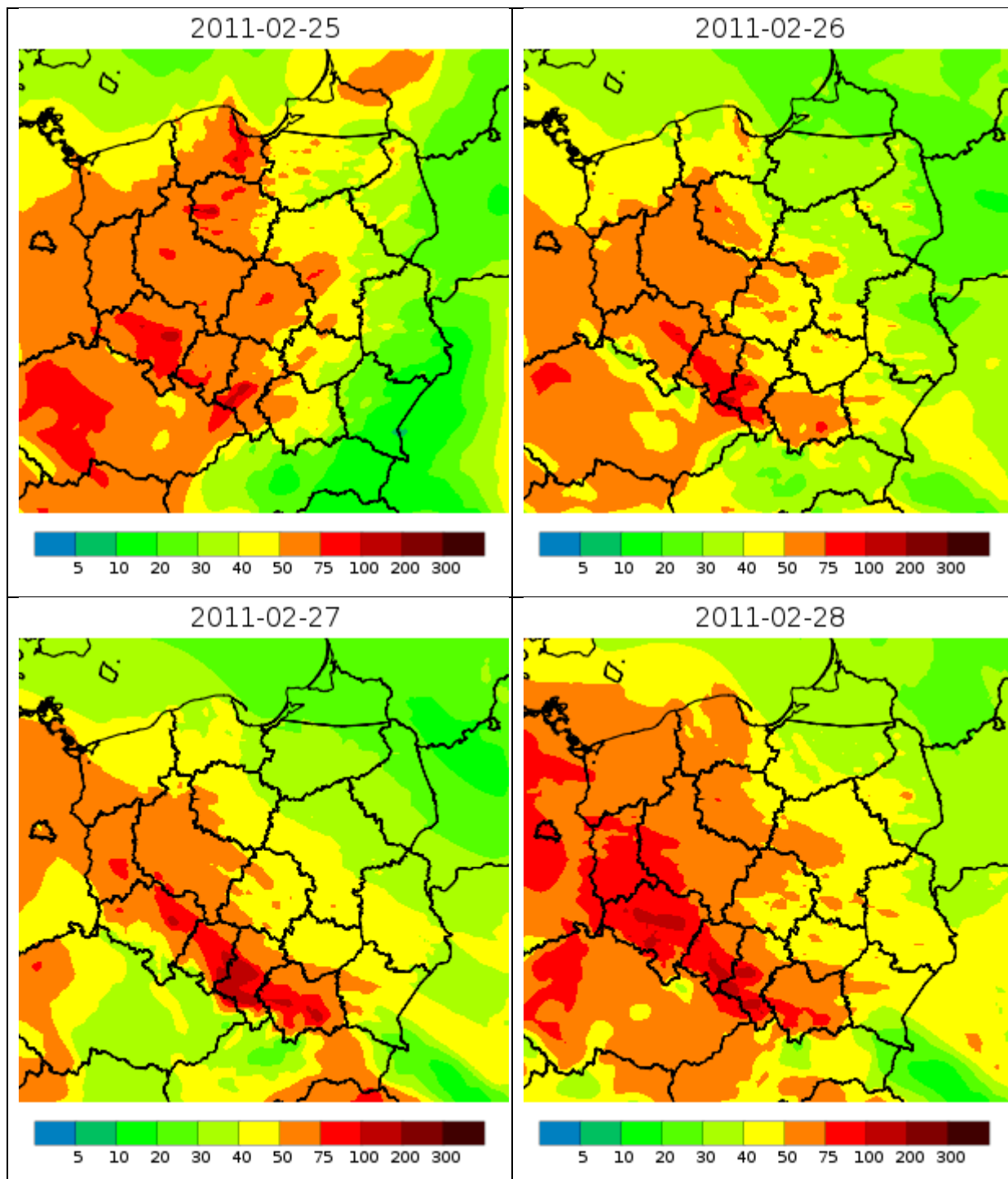
Rysunek 4-106 Trajektorie wsteczne dla 24.02.2011 dla Bochni, Krakowa i Tarnowa oraz Krosna, Mielca i Rzeszowa

Powyżej trajektorie wsteczne dla 24.02.2011: Bochnia ($124 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Kraków ($104 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Tarnów ($254 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Krosno ($95 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Mielec ($113 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Rzeszów ($96 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dnia 24.02.2011 trajektorie wsteczne podnosiły się stopniowo, osiągając po dwóch dobach wysokość 400 m. Przez pierwszą dobę pozostawały w obrębie warstwy mieszania. Wysokość warstwy zmieniała się w cyklu dobowym od poniżej 100 m w nocy do miejscowo nawet 600 m około południa. Dnia 25.02.2011 trajektorie wsteczne podnosiły się stopniowo, osiągając po dwóch dobach wysokość 120 m dla trajektorii z województwa warmińsko-mazurskiego i około 350 m dla trajektorii wyznaczonych dla zachodniej Polski. Trajektorie wyznaczone dla zachodniej Polski wzniosły się ponad warstwę mieszania po około 20 h. Wysokość warstwy zmieniała się w cyklu dobowym od poniżej 100 m w nocy do około 250 m około południa. Przebieg trajektorii w czasie trwania tego epizodu wskazuje wyraźnie, że jakość powietrza w Polsce w tych dniach była zdeterminowana przez napływ powietrza z północnej Ukrainy i/lub Białorusi. W masie tej mógł odbywać się transgraniczny transport zanieczyszczeń, z tych rejonów który mógł potęgować efekty lokalne.

4.3.1.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10

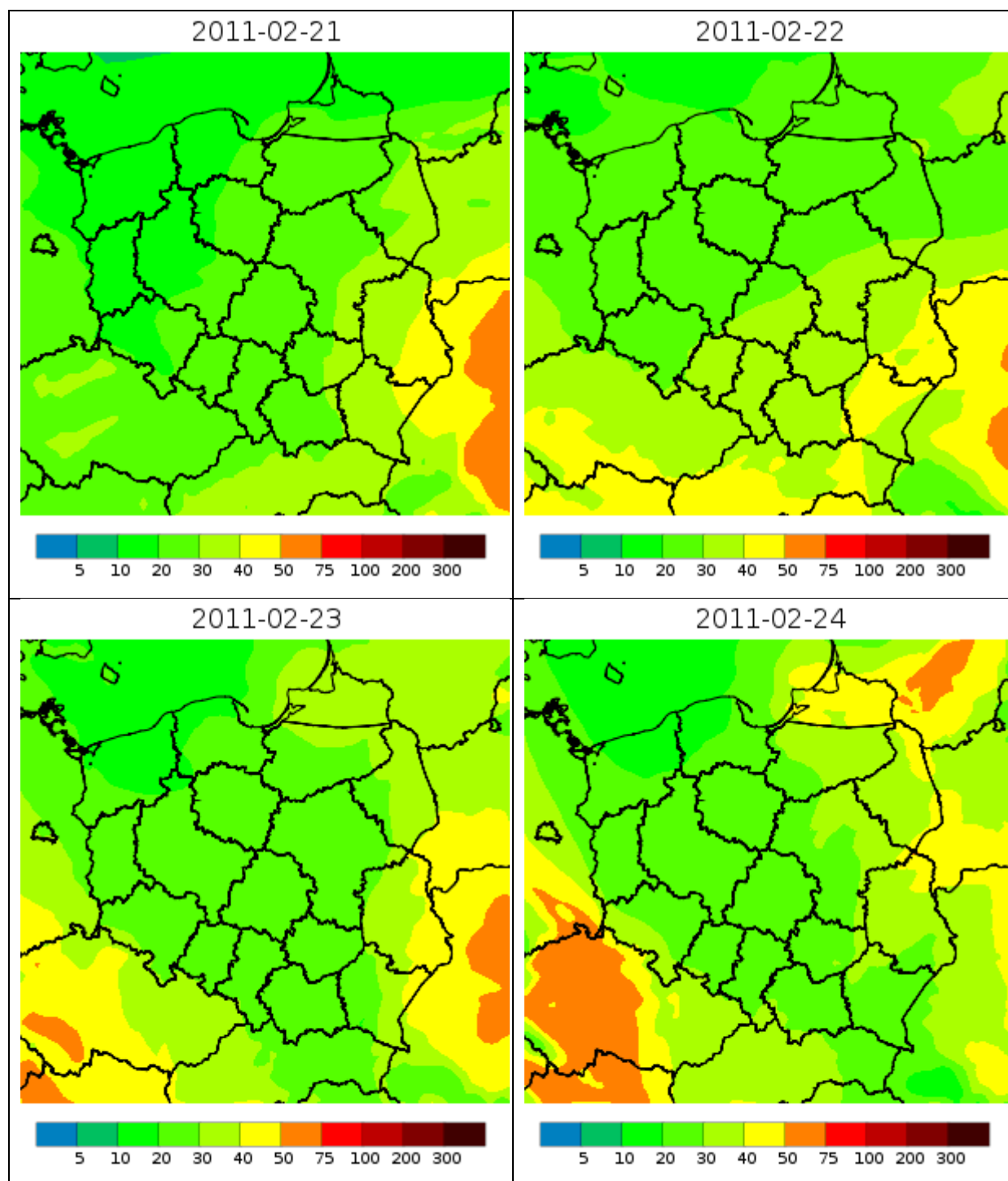


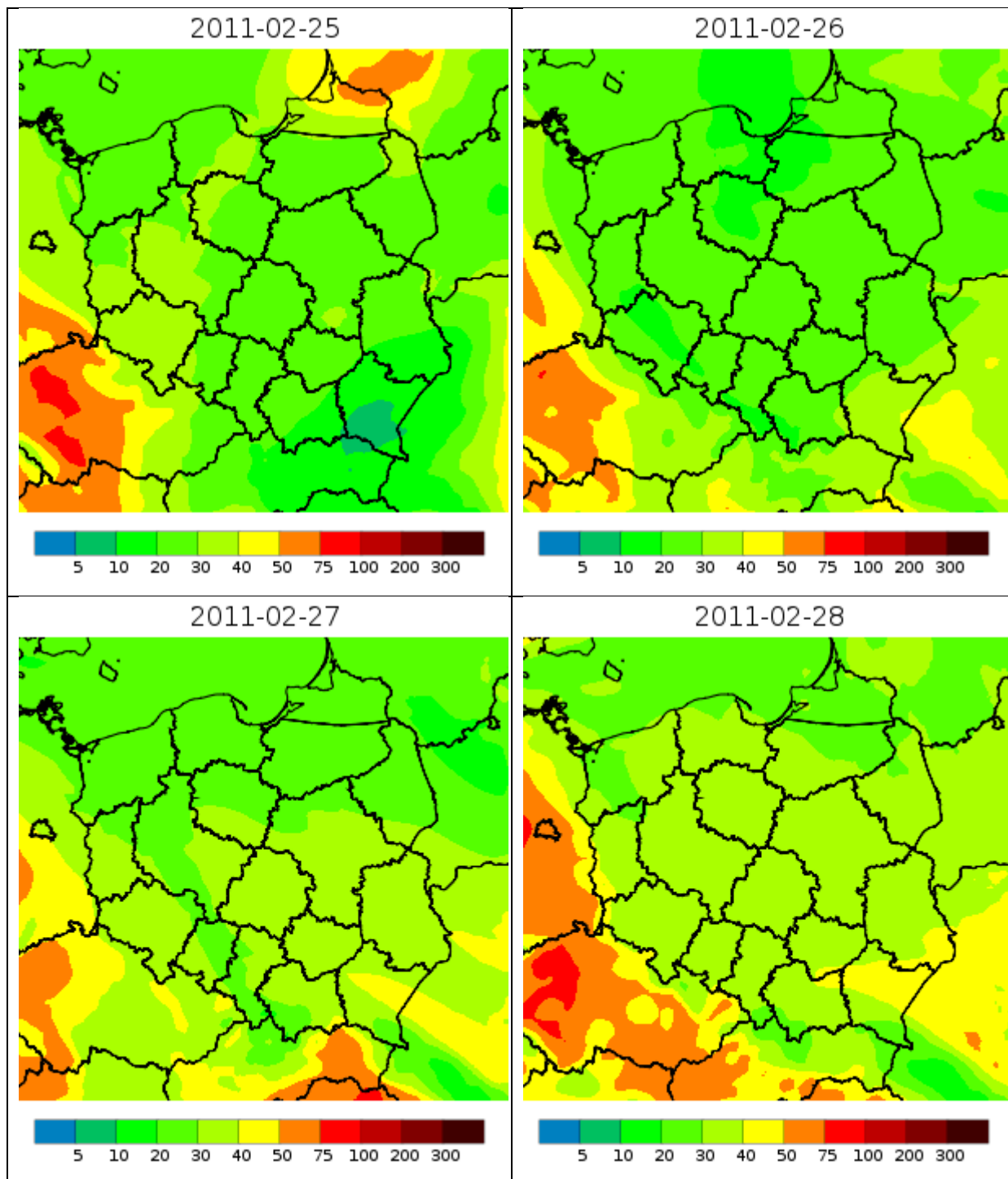


Rysunek 4-107 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 21-28.02.2011r.

Epizod wysokich stężeń pyłu zawieszonego PM10 mający miejsce od 21-28.02.2011 r. obejmował swym maksymalnym zasięgiem (zasięg izolinii $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ to około 50 tys. km^2) województwa lubuskie, dolnośląskie, opolskie, śląskie oraz małopolskie. Charakterystyczną cechą epizodu były również wysokie stężenia występujące na terenach dużych miast i aglomeracji w województwach pomorskim, łódzkim, kujawsko-pomorskim, mazowieckim i wielkopolskim. Najwyższe stężenia pyłu zawieszonego PM10 odnotowano 24 lutego w okolicach Aglomeracji Górnośląskiej oraz Rybnicko-Jastrzębskiej.

**B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego
na obszar Polski**

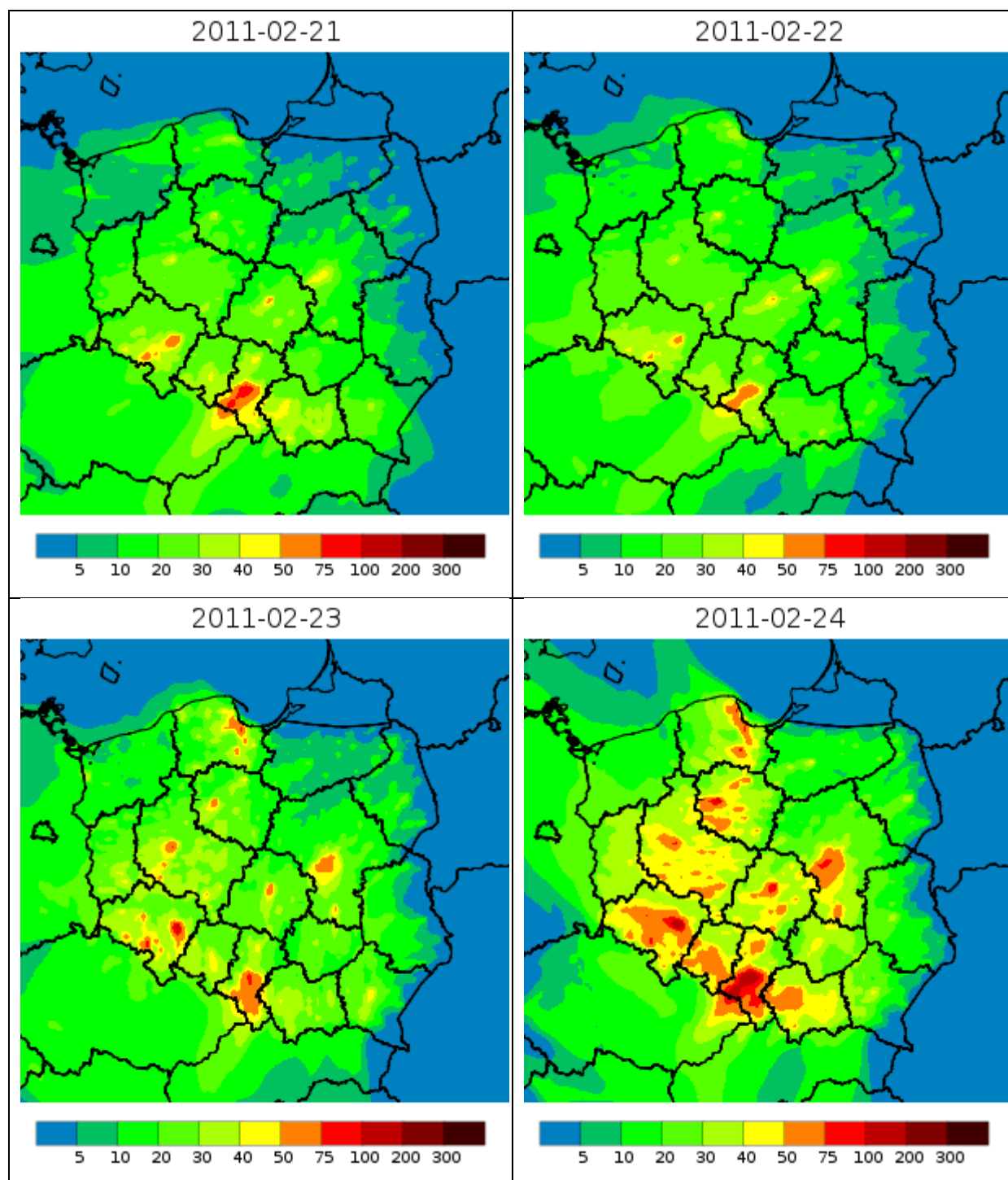


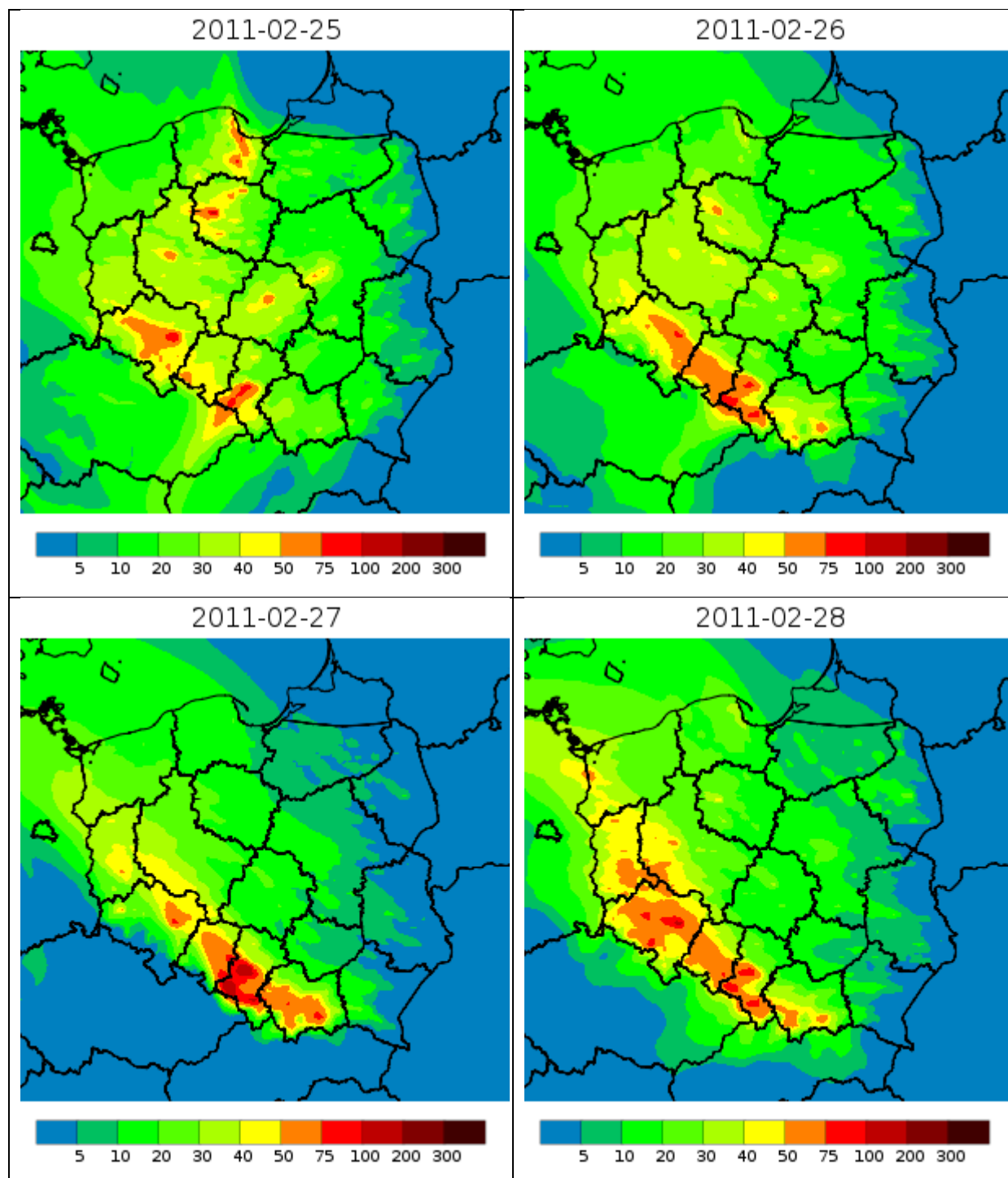


Rysunek 4-108 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 21-28.02.2011r.

W pierwszych dniach trwania epizodu wyraźnie zaznaczał się napływ transgraniczny zanieczyszczeń z kierunku południowo-wschodniego. Maksymalne stężenia występowały na terenie województwa podkarpackiego i dochodziły do $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Od 24 lutego napływ transgraniczny zmienił kierunek na południowo zachodni, a stężenia pochodzące od niego były istotnie wyższe, bo na terenach przygranicznych (województwo lubuskie, dolnośląskie) osiągały do $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

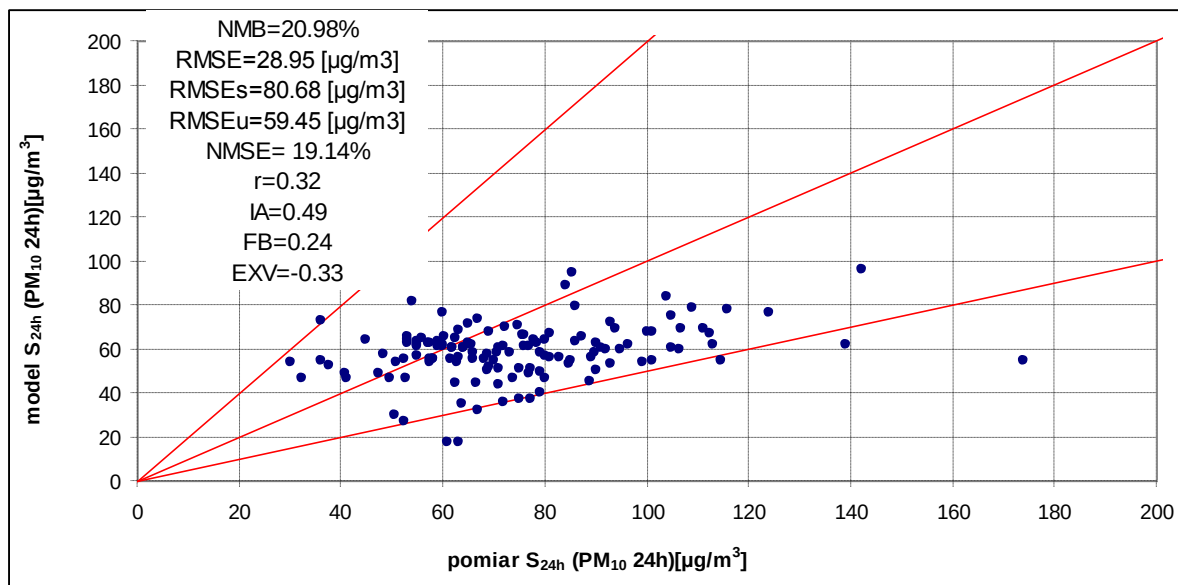
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





Rysunek 4-109 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 21-28.02.2011r.

W trakcie trwania epizodu istotnym źródłem emisji była emisja lokalna (z terenu Polski), która w głównej mierze była odpowiedzialna za maksymalne stężenia na analizowanym obszarze. Szczególnie wyraźnie zaznacza się to dla dużych miast i aglomeracji. Od 24 lutego wyraźnie zaznaczyło się oddziaływanie emisji z województw południowych, a odpływ zanieczyszczeń odbywał się w kierunku północnego-zachodu.



Rysunek 4-110 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach małopolskim i podkarpackim w terminie 21.02.2011 - 28.02.2011r.

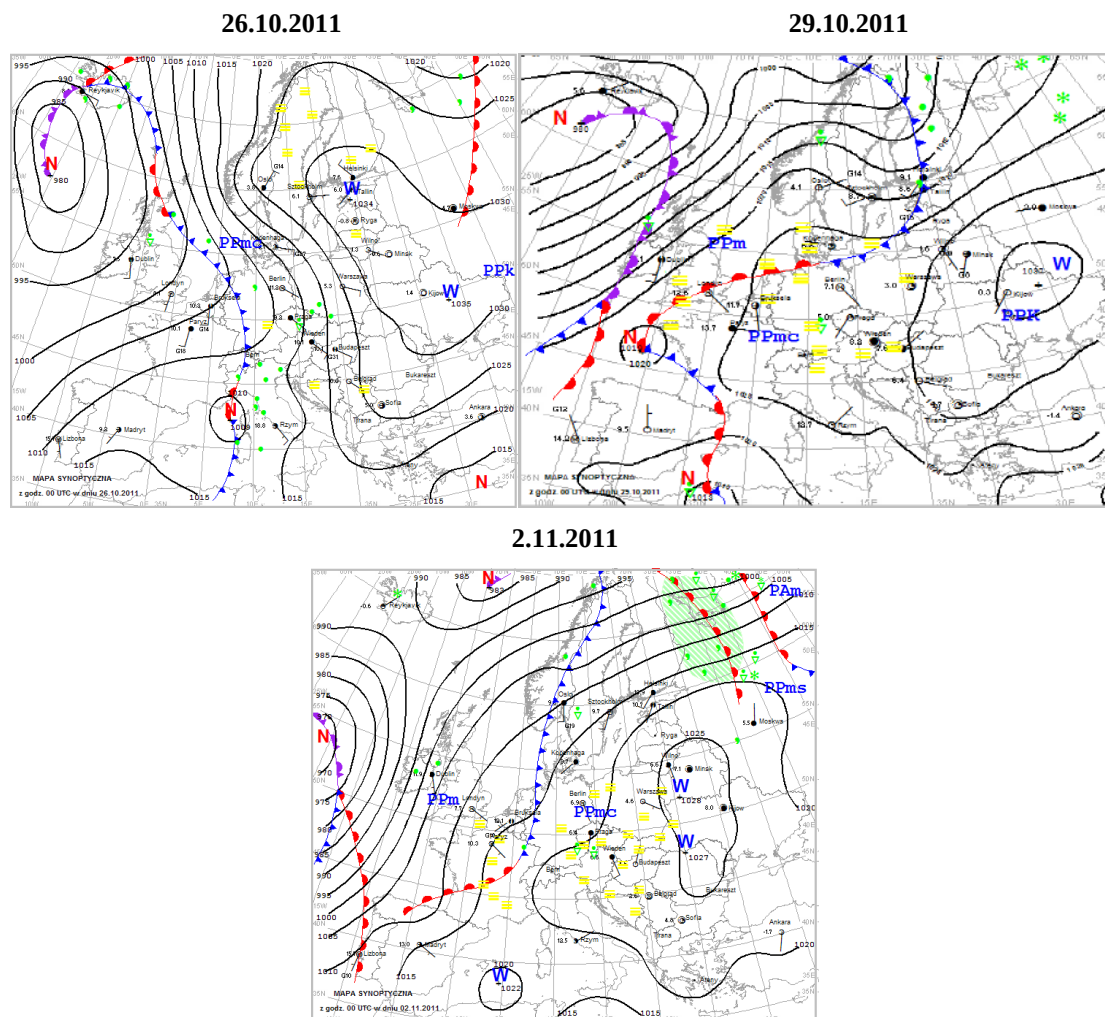
Pomimo, że większość punktów znajduje się pomiędzy ramionami określającymi obszar, w którym zależność modelowania względem pomiarów jest poprawna, to jednak współczynniki korelacji i zgodności pokazują odpowiednio niską i umiarkowaną korelację. Miara błędu NMSE jest poniżej 40%, zaś NMB jest o 10% wyższy niż dopuszczalna wartość oznaczająca dobrą jakość modelowania. Stosunkowo niski jest błąd średni standardowy.

Dla wybranego epizodu przeprowadzenie analizy zgodności modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich nie jest możliwe, ponieważ wszystkie stacje mają charakter miejski.

4.3.2. Epizod 2 od 26 października do 2 listopada 2011 r.

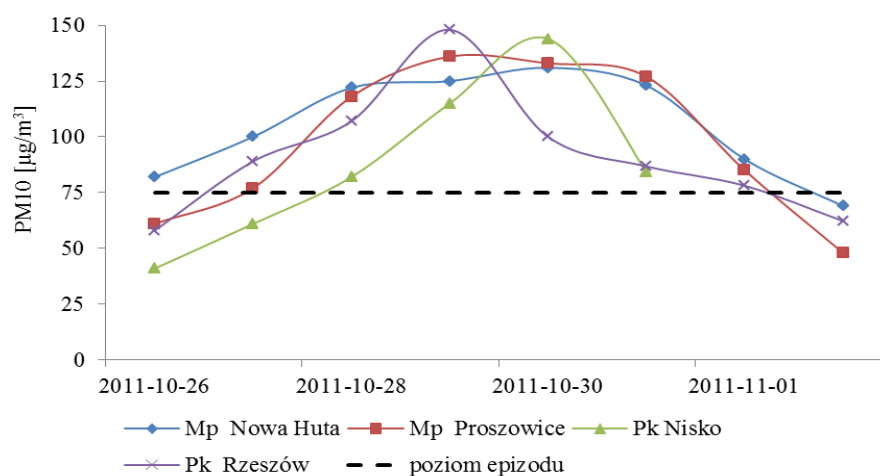
4.3.2.1. Sytuacja synoptyczna

W okresie 26.10-2.11.2011 obszar Polski znajdował się pod wpływem rozległego wyżu z centrum nad Europą wschodnią i południowo-wschodnią. Wówczas nad Atlantykiem zalegał ośrodek niskiego ciśnienia. Napływało dość ciepłe powietrze polarno-morskie (PPmc) z południowego wschodu, południa, południowego-zachodu.



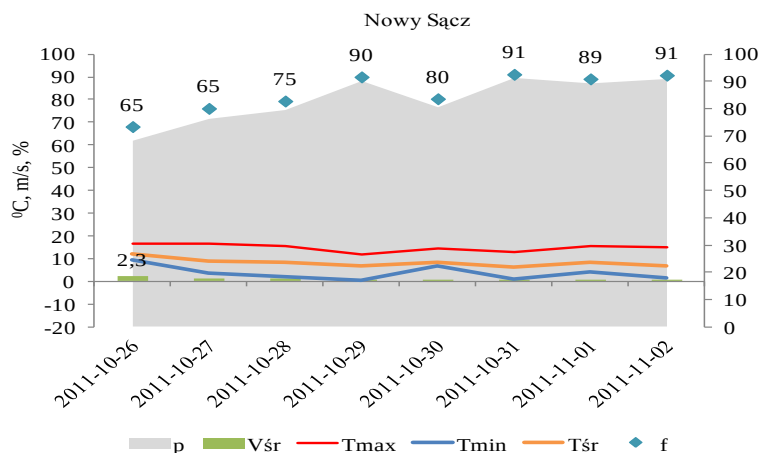
Rysunek 4-111 Mapa synoptyczna z dnia 26, 29 października i 2 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC

4.3.2.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne

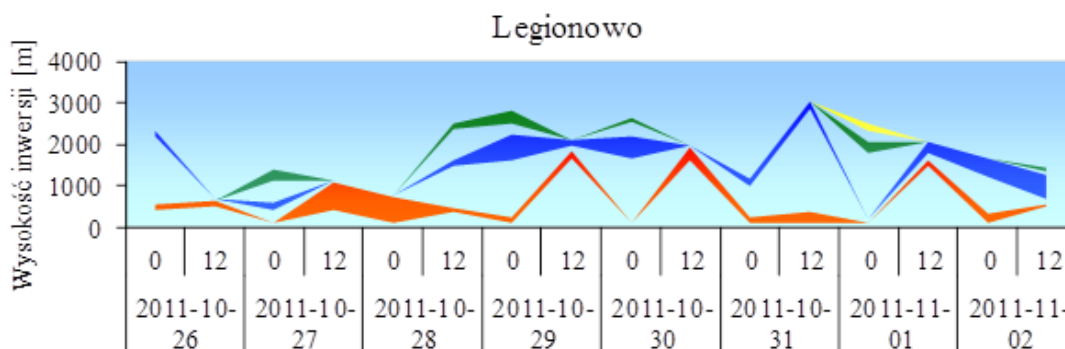


Rysunek 4-112 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

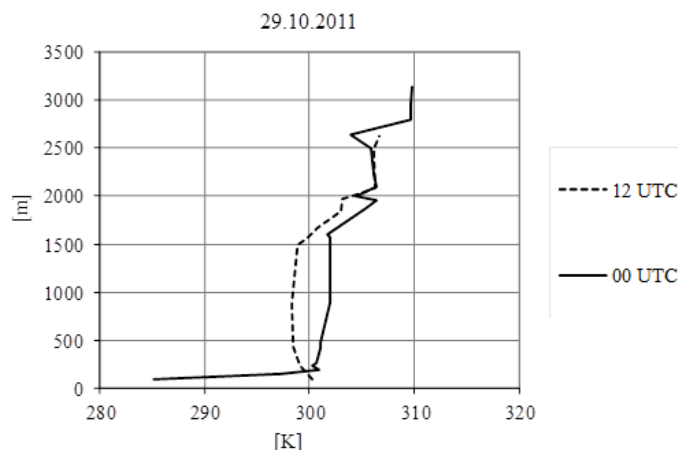


Rysunek 4-113 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-114 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego.

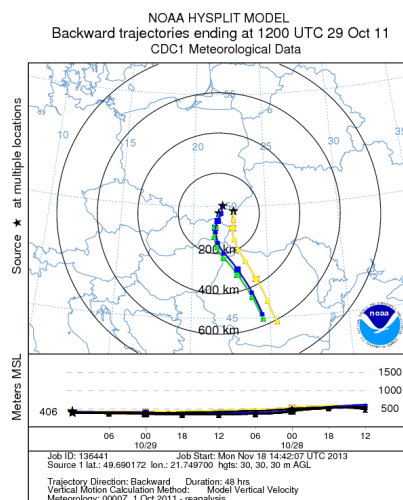
Obserwowany na diagramach aerologicznych przebieg wysokości spągu pierwszej warstwy inwersji wzniesionej charakteryzuje się typowym dobowym przebiegiem z minimum w nocy i maksimum w godzinach około południowych. W dniu występowania maksimum stężeń warstwa ta była stosunkowo płytka i wyniesiona ponad 2000 m. Jednocześnie brak informacji o inwersji przyziemnej może sugerować, że w tym przypadku warunki synoptyczne mogły sprzyjać dalekiemu transportowi zanieczyszczeń.



Rysunek 4-115 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego.

4.3.2.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten był epizodem, w którym podwyższenie stężeń PM₁₀ objęło swoim zasięgiem województwa śląskie, opolskie, małopolskie i podkarpackie. Najwyższe stężenia zanotowano dnia 29.10.2011 w województwie podkarpackim. Poniżej przedstawiono trajektorie wsteczne dla tego dnia wypuszczane wstecz ze stacji, w których zanotowano najwyższe stężenia.



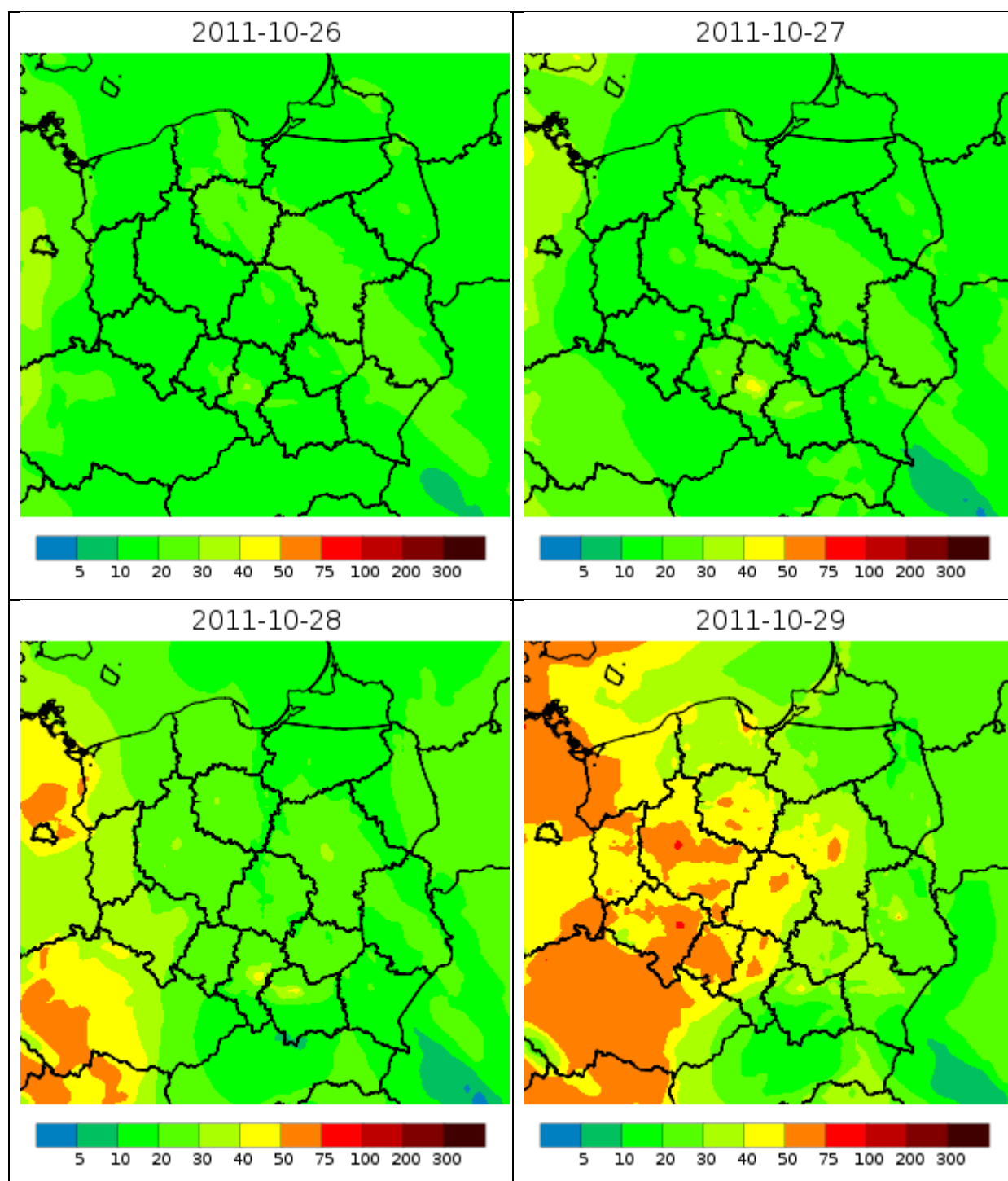
Rysunek 4-116 Trajektorie wsteczne dla stacji w Krośnie, Przemyślu i Rzeszowie dla 29.10.2011r.

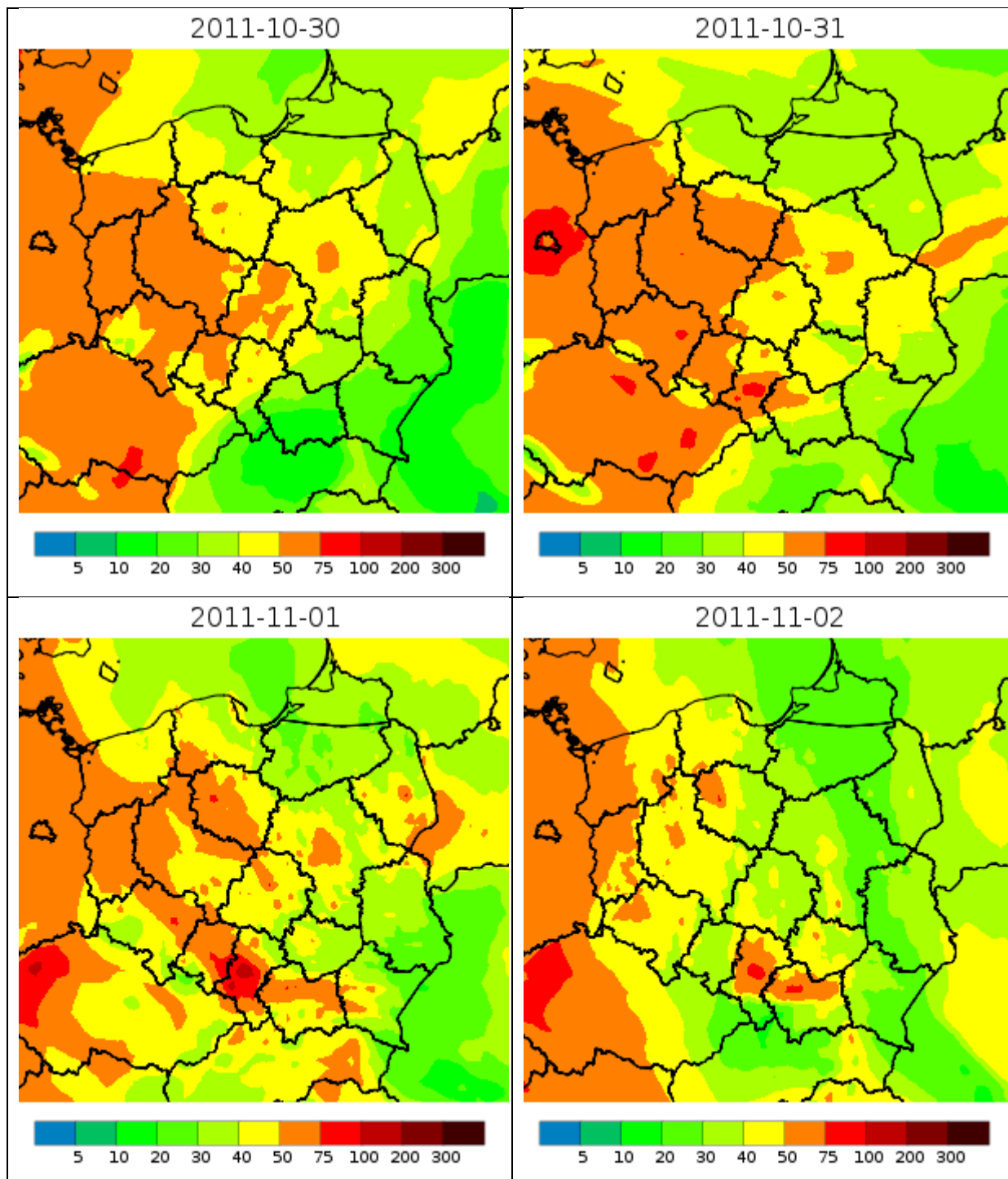
Na rysunku zaprezentowano przebieg trajektorii wstecznych dla stacji zlokalizowanych w Krośnie ($134 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Przemyślu ($133 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Rzeszowie ($148 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Trajektorie wsteczne wykazują, że spływ w tym dniu miał bardzo jednorodny charakter przenosząc masy powietrza z południa. Trajektorie wsteczne przebiegały przez Słowację, południowo-zachodnią Ukrainę, rejon graniczny pomiędzy Słowacją i Węgrami, osiągając po dwóch dobach rejon centralnej Rumunii. Trajektorie wsteczne w czasie tego epizodu podnosiły się stopniowo, osiągając po dwóch dobach wysokość około 60 m. Przez cały czas znajdowały się w obrębie warstwy mieszania. Wysokość warstwy mieszania zmieniała się w cyklu dobowym od poniżej 100 m w nocy do około 600 m około południa w Polsce i 350

około południa poza jej granicami. Ze względu na dużą wysokość warstwy mieszania w Polsce w ciągu dnia i obserwowany charakter zmienności przestrzennej wartości stężeń na stacjach makroregionu południowego można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że istotną komponentą obserwowanych stężeń PM10, są w czasie tego epizodu stężenia pochodzące z napływu z kierunku południowego.

4.3.2.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10

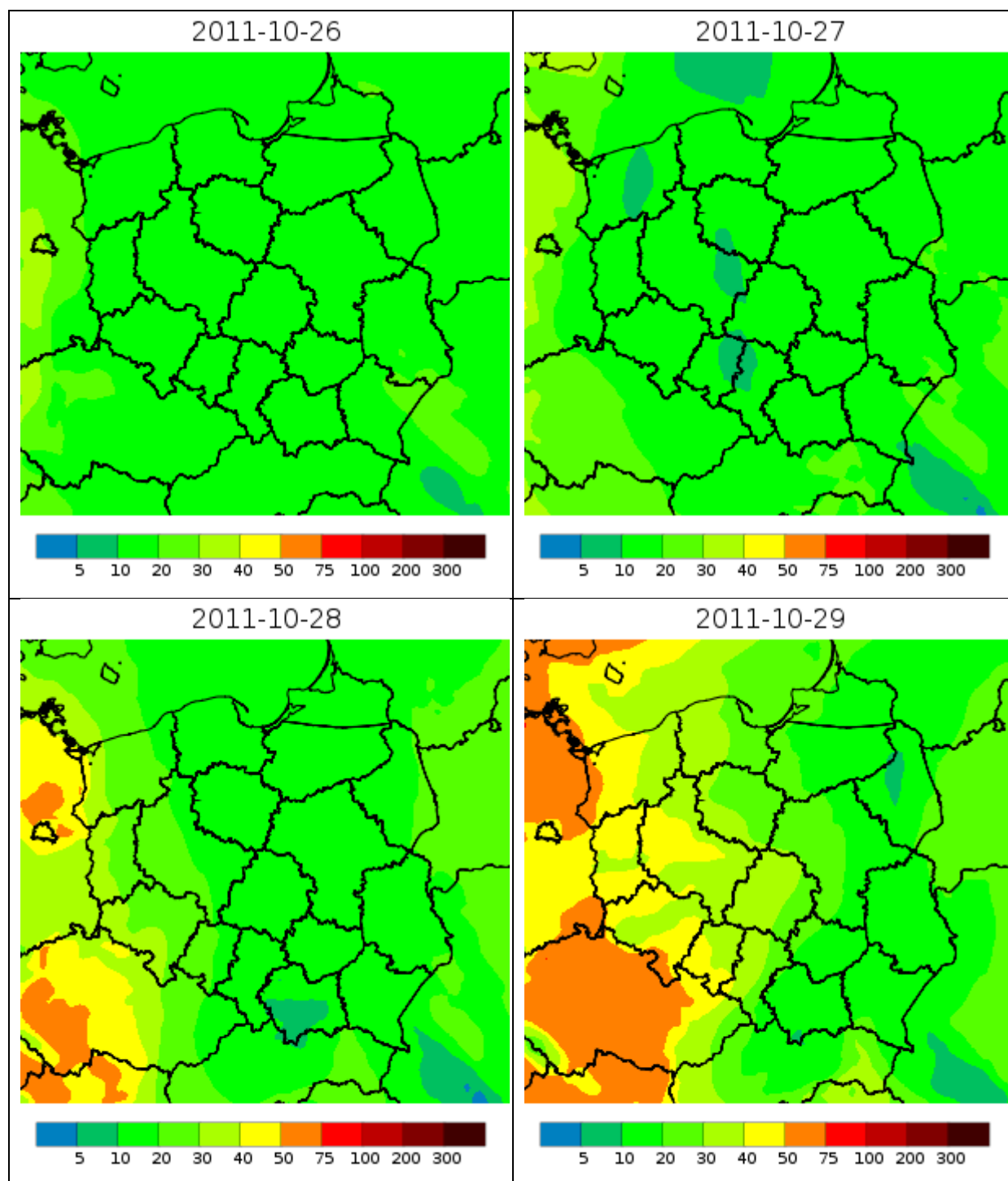


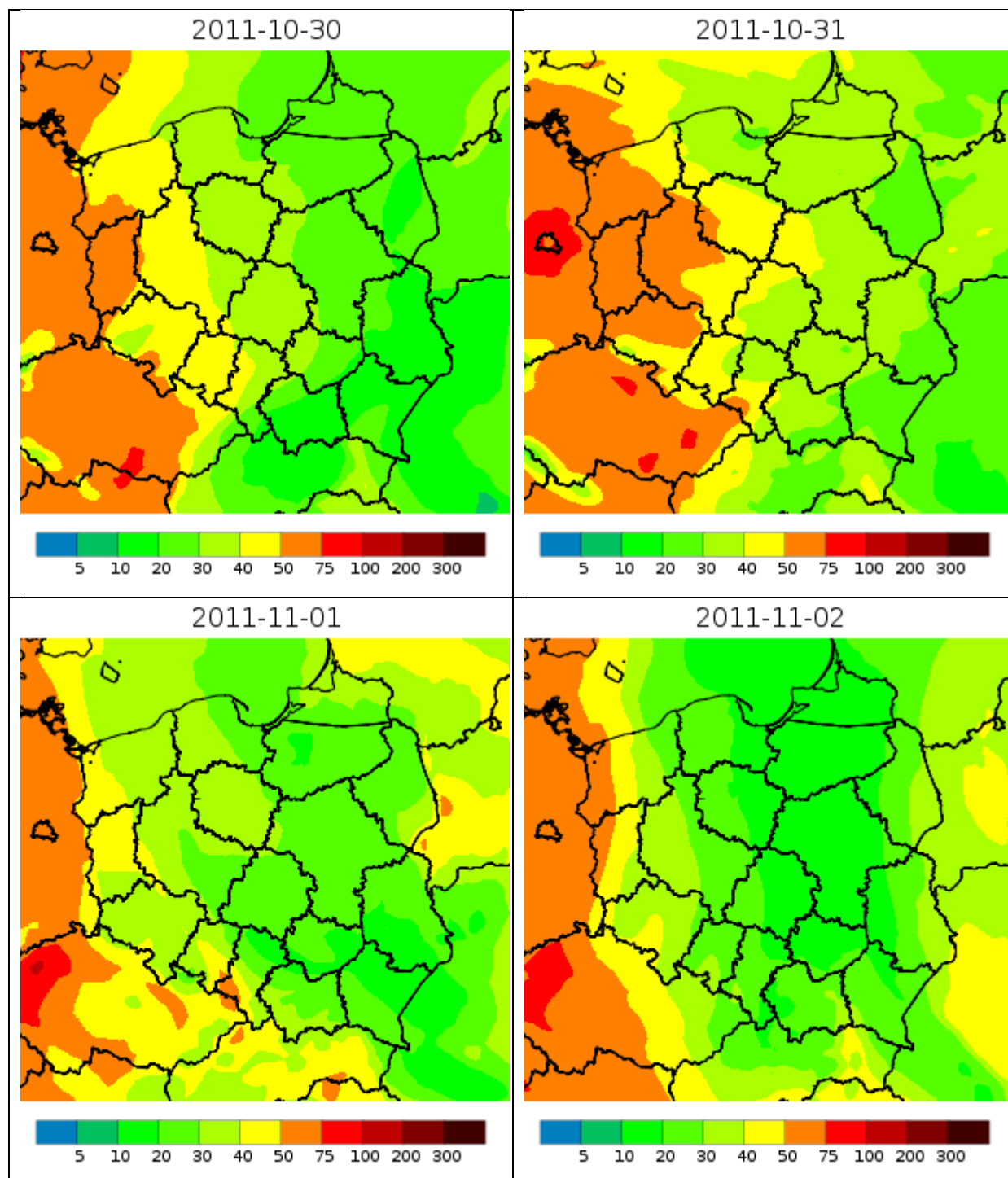


Rysunek 4-117 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] w trakcie trwania epizodu od 26.10-2.11.2011 r.

Pierwsze dni trwania epizodu charakteryzowały się niskimi stężeniami pyłu zawieszonego PM₁₀, które wyraźnie wzrosły 29 października. Wówczas na terenie województw zachodnich pojawiły się przekroczenia wartości dopuszczalnych pyłu zawieszonego PM₁₀ (50 µg/m³). Kolejne dni powodowały transport zanieczyszczeń w kierunku wschodnim a zasięg epizodu się rozszerzał. Maksymalny zasięg epizodu na terenie Polski wystąpił 1 listopada i wynosił około 5 tys. km². Wówczas również na terenie województwa śląskiego wystąpiły najwyższe stężenia.

**B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego
na obszar Polski**

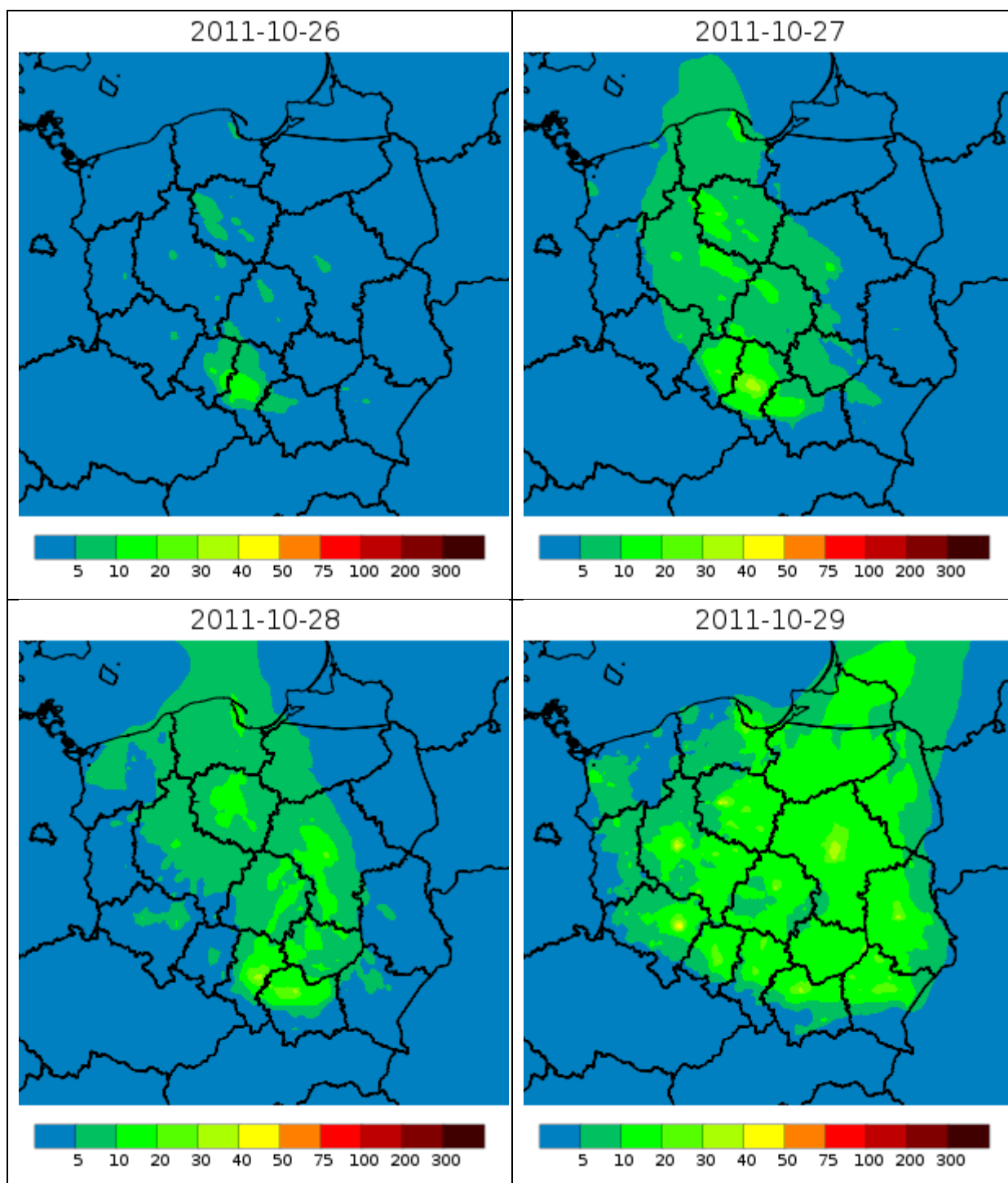


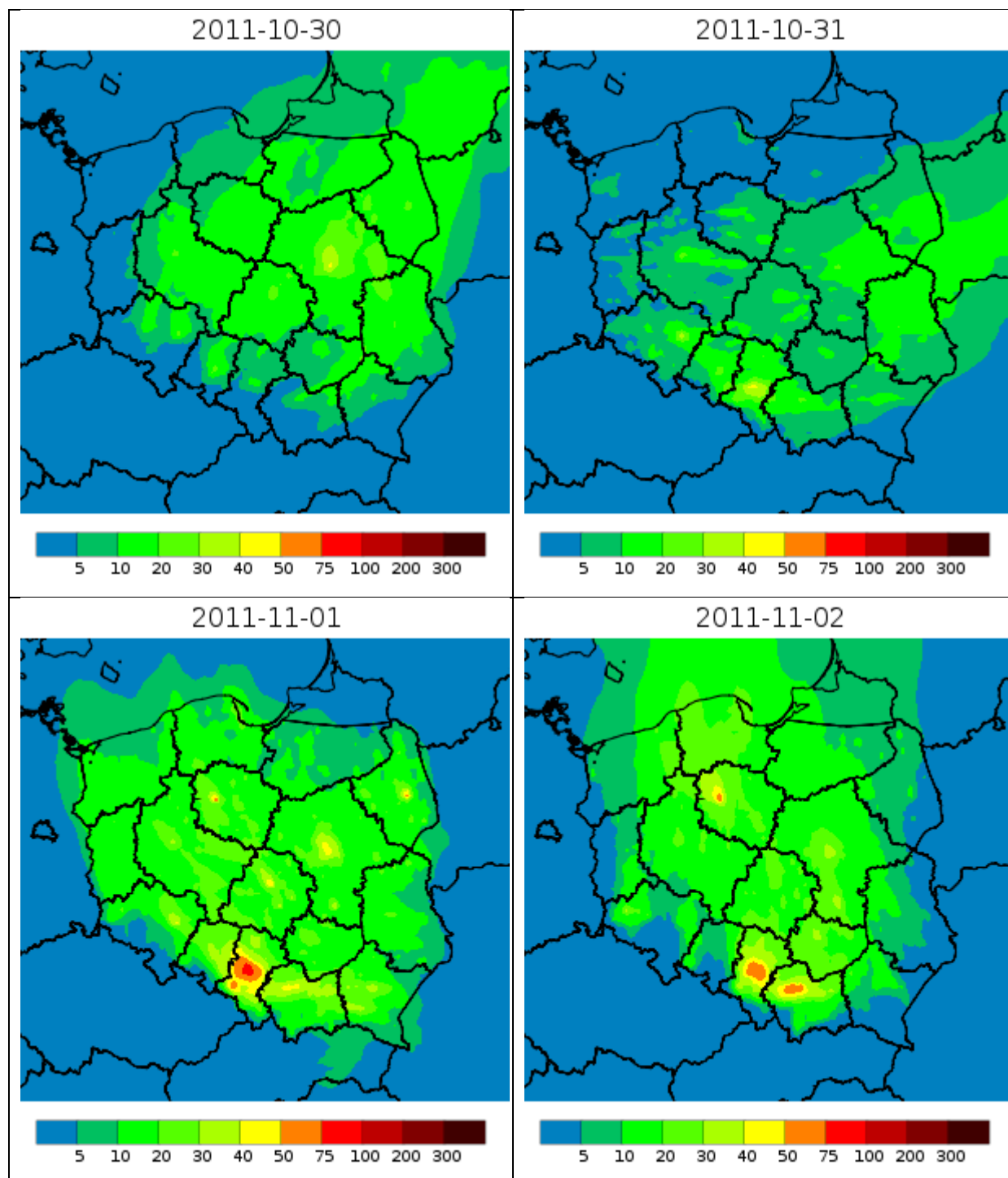


Rysunek 4-118 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 26.10-2.11.2011 r.

Jak widać powyżej termin wzrostu stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ na terenie Polski związany był z oddziaływaniem napływu transgranicznego z kierunku południowego zachodu i zachodu. Największy udział napływu transgranicznego na teren Polski zaznaczył się 31 października, stężenia pochodzące z napływu transgranicznego w zachodnich i południowych województwach przygranicznych osiągały nawet $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

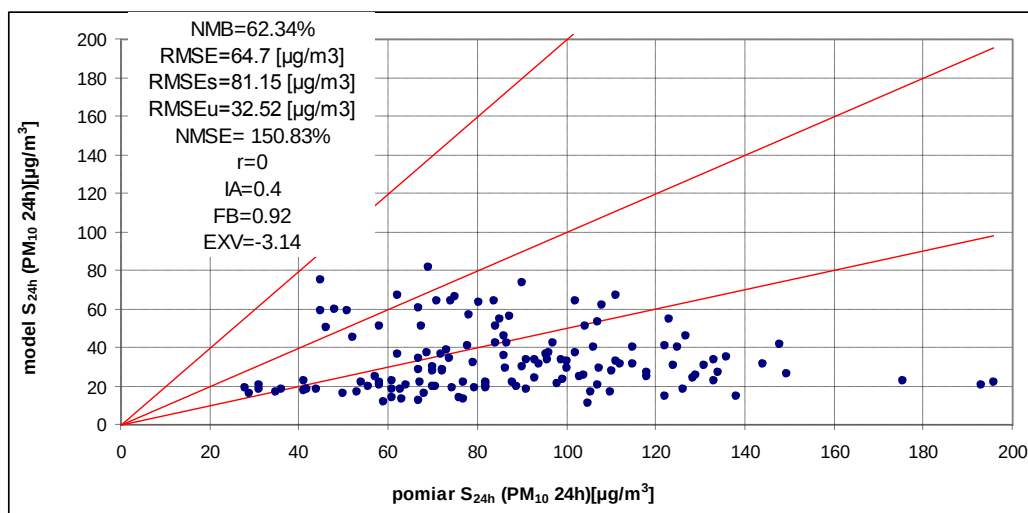
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





Rysunek 4-119 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 26.10-2.11.2011 r.

Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z emisji z terenu Polski w trakcie trwania epizodu na analizowanym obszarze są raczej bardzo niskie. 1 i 2 listopada wyraźnie zaznaczył się wpływ emisji lokalnej z Aglomeracji Górnośląskiej, Rybnicko-Jastrzębskiej, Bydgoszczy oraz Krakowa.



Rysunek 4-120 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach małopolskim i podkarpackim w terminie 21.02.2011 - 28.02.2011r.

Analiza błędu modelowania względem pomiaru dla terminu 21.02.2011 – 28.02.2011 wskazuje niedoszacowanie stężeń przez modelowanie. Wszystkie miary błędu są bardzo oddalone względem wartości oznaczających poprawność modelowania. Także wykres nie tylko dla wysokich stężeń, ale również dla niskich pokazuje niedoszacowanie modelowania. Po głębszej analizie zgromadzonych informacji okazało się, że wszystkie pomiary, które wzięto po uwagę pochodziły ze stacji o charakterze miejskim.

Przeprowadzenie analizy błędów dla stacji pozamiejskich dla epizodu, który miał miejsce w dniach od 21.02.2011 do 28.02.2011 nie jest możliwe, ze względu na brak pomiarów pyłu zawieszonego PM₁₀ w stacjach spełniających wspomniane kryterium. Jednocześnie przeprowadzenie głębszej analizy ze względu na złą jakość modelowania względem pomiarów nie jest zasadne dla stacji o charakterze miejskim.

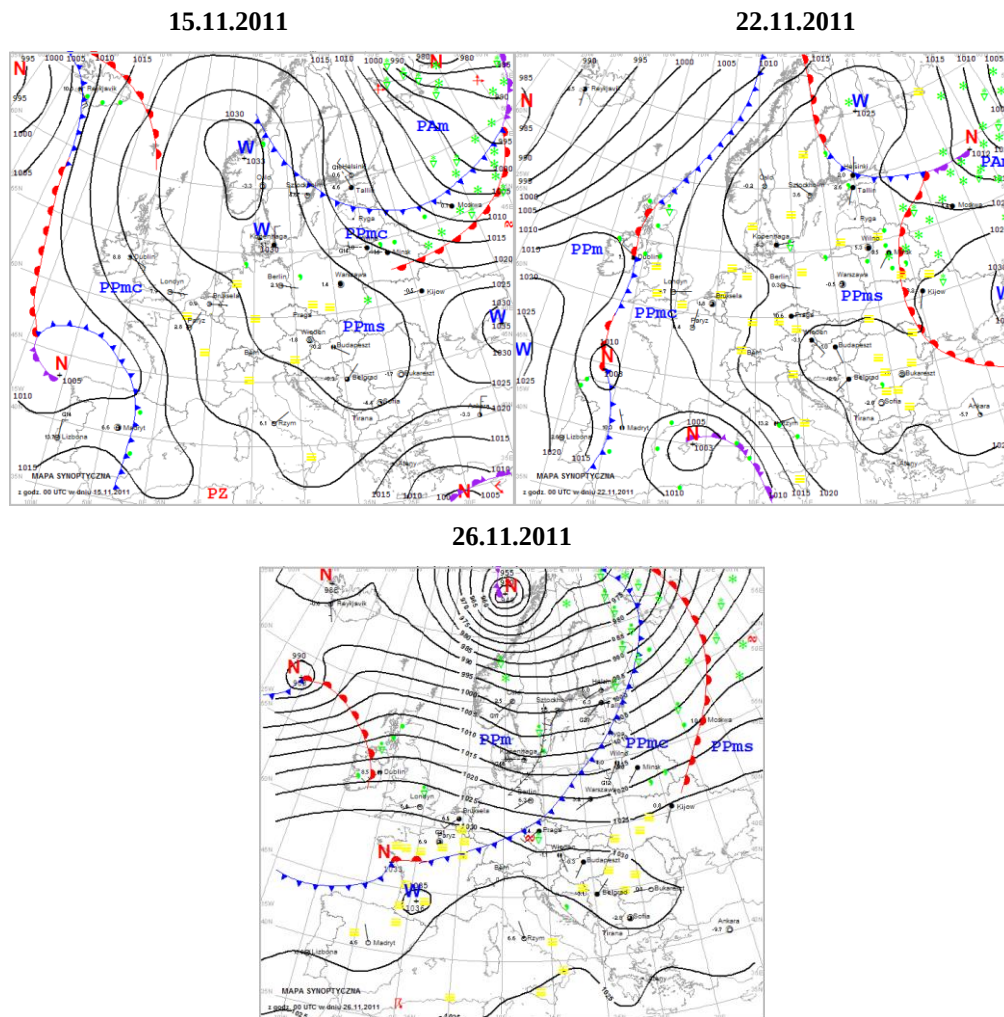
4.4. Region 4 – województwo lubelskie i podlaskie

4.4.1. Epizod 1 od 15 do 26 listopada 2011 r.

4.4.1.1. Sytuacja synoptyczna

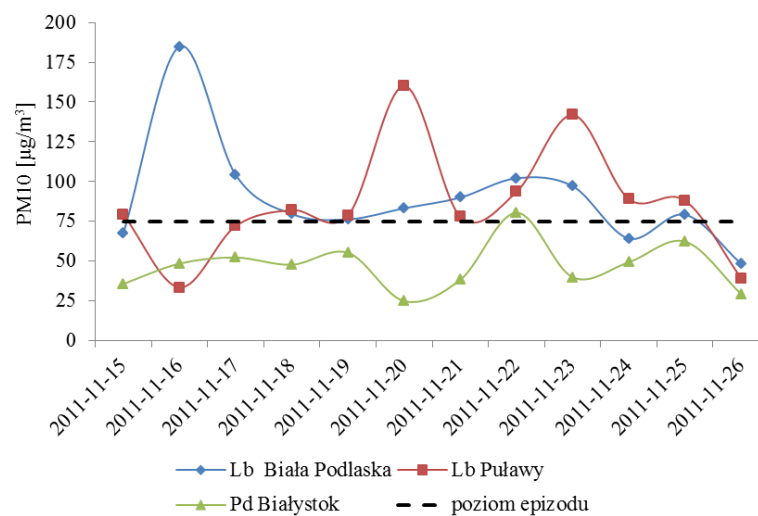
W dniach 15-24.11.2011 Polska znajdowała się w zasięgu oddziaływania rozległego wyżu z centrum nad środkową Europą. Nad przeważający obszar Polski z południa i południowego-zachodu napływało ciepłe powietrze polarno-morskie (PPmc). Przejściowo, w dniach 15-16.11.2012 nad północno-wschodnią i wschodnią część kraju napływało z północy powietrze pochodzenia arktycznego (PA). W dniach 25-26.11.2011 Polska została objęta zasięgiem układów niskiego ciśnienia, które utworzyły się nad Morzem Norweskim i Skandynawią i przemieszczały się na wschód Europy. Wówczas nad kraj zaczęło napływać silnym strumieniem ciepłe powietrze polarno-morskie (PPm/PPmc).

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii



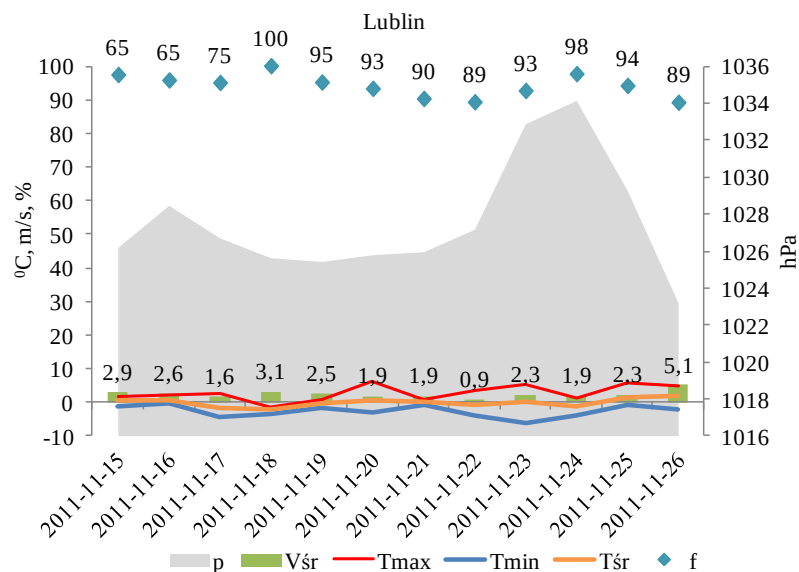
Rysunek 4-121 Mapa synoptyczna z dnia 15, 22, 26 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC

4.4.1.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne

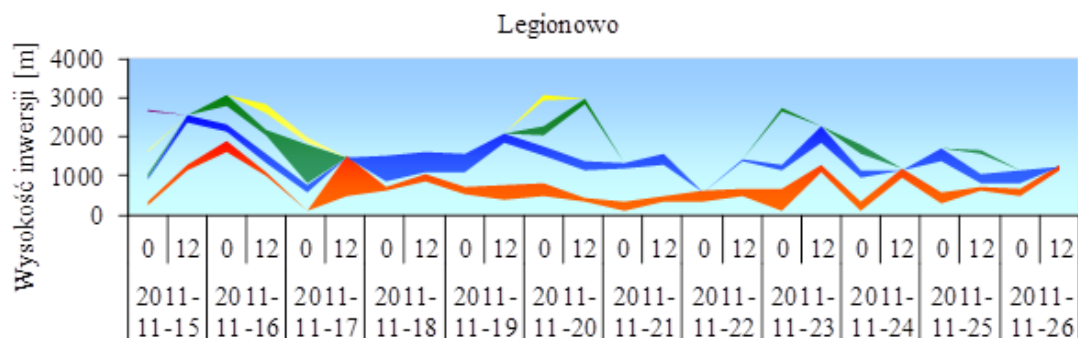


Rysunek 4-122 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

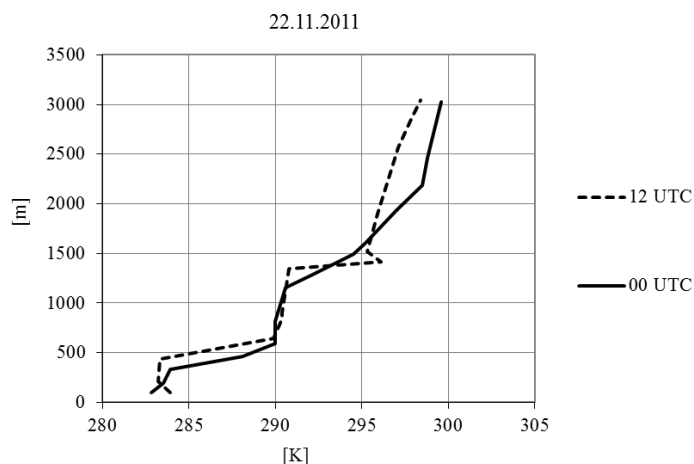


Rysunek 4-123 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-124 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

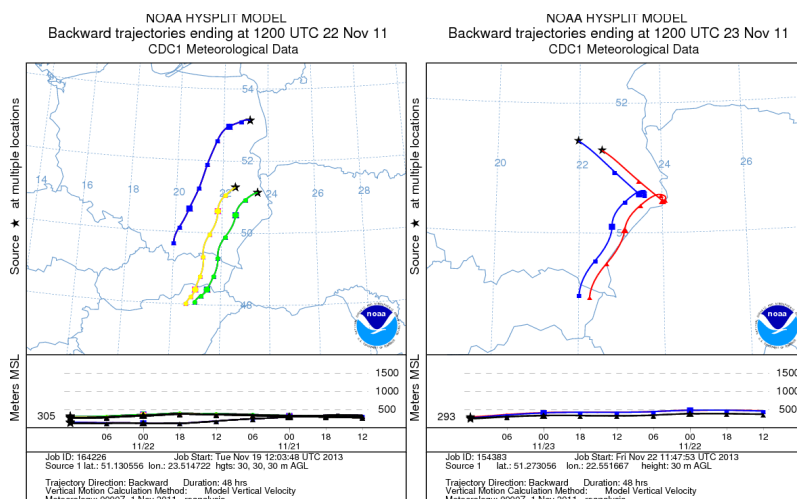
Podczas trwania całego epizodu obserwowano stosunkowo małą miąższość pierwszej wzniesionej inwersji, która dodatkowo przez większość epizodu nie wykazywała wyraźnego zróżnicowania dobowego.



Rysunek 4-125 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego.

4.4.1.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten był epizodem, w którym podwyższenie stężeń PM₁₀ objęło oprócz województw lubelskiego i podlaskiego także obszar województw małopolskiego i podkarpackiego. Maksymalne stężenia dla stacji województwa podlaskiego i wschodnich stacji województwa lubelskiego odnotowano dnia 22.11.2011, dla Puław i Lublina 23.11.2011, dla województwa podkarpackiego 24.11.2011, zaś dla województwa małopolskiego 25.11.2011. Poniżej przedstawiono trajektorie wsteczne dla wybranych stacji z tych dni.



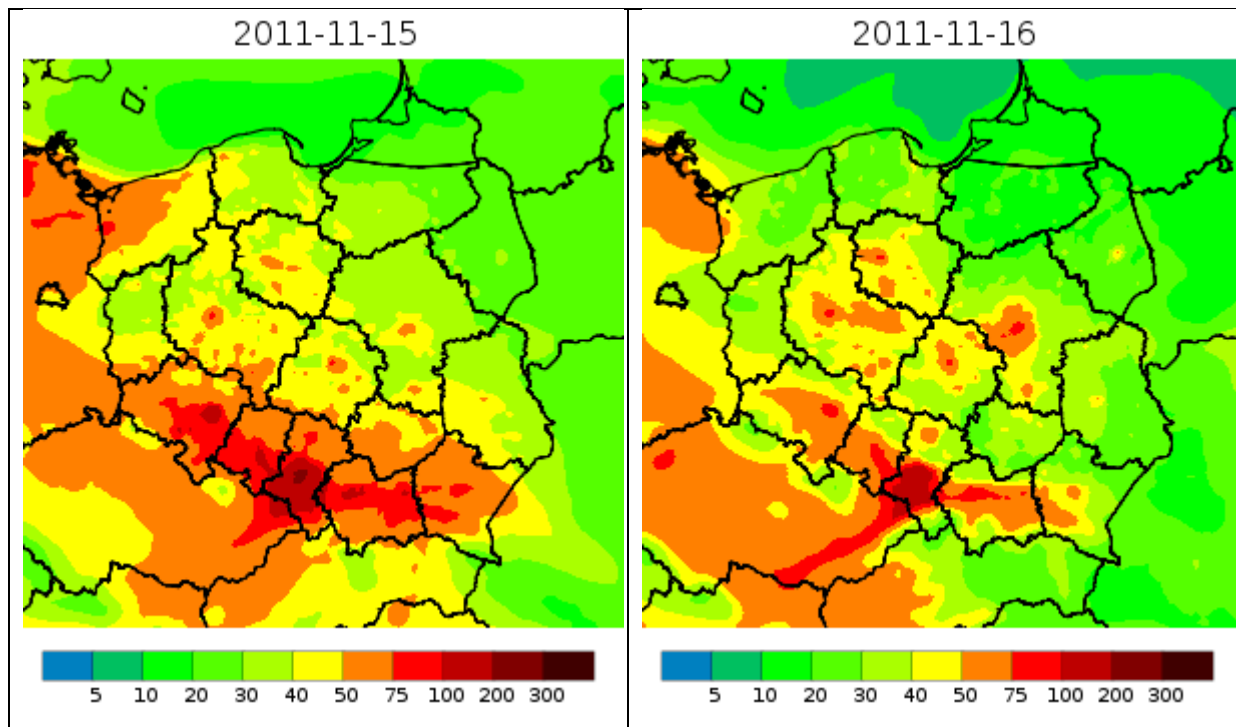
Rysunek 4-126 Trajektorie wsteczne dla 22.11.2011

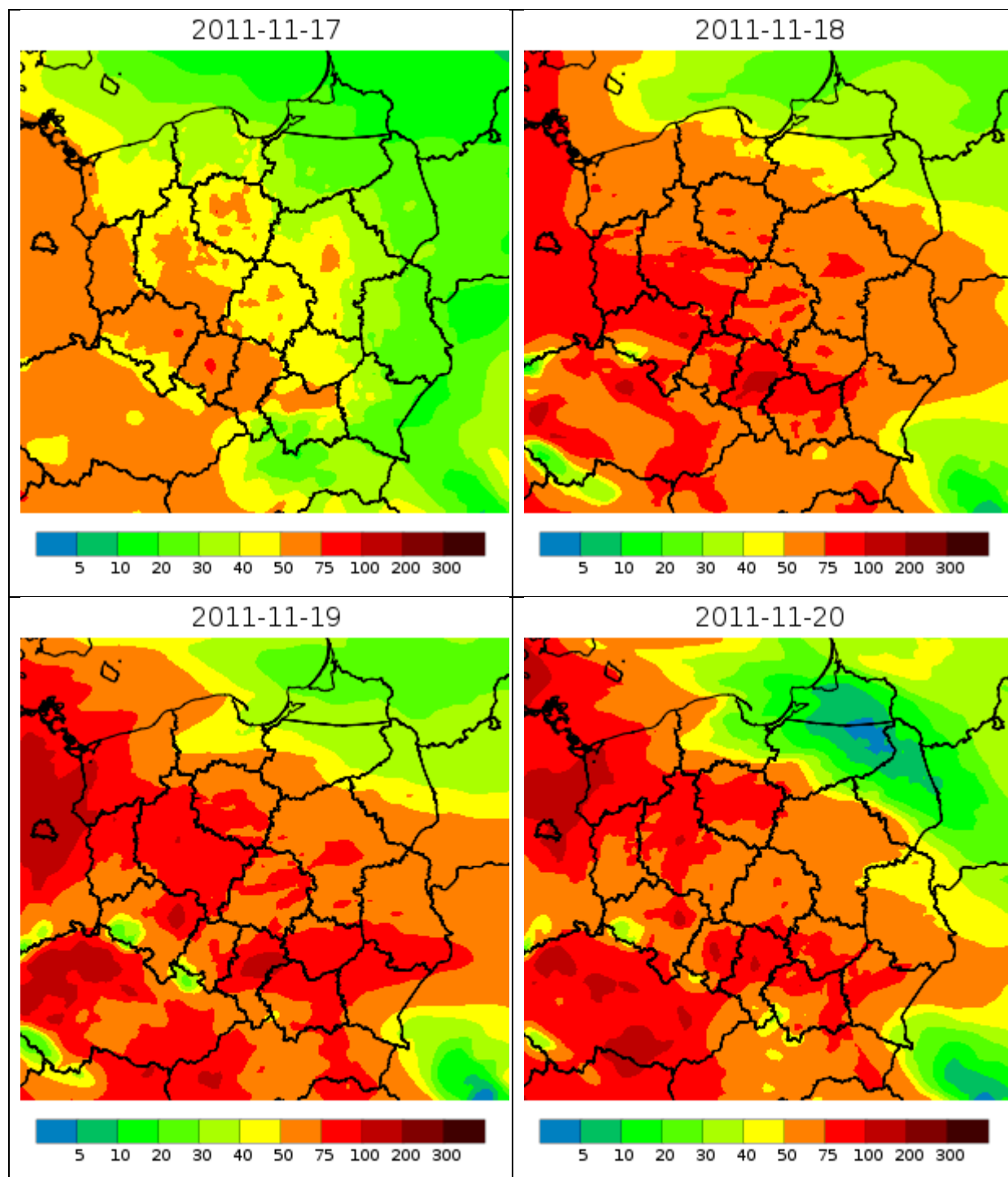
Powyżej trajektorie wsteczne dla 22.11.2011: Białystok ($81 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Lublin ($112 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Chełm ($144 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oraz trajektorie wsteczne dla 23.11.2011: Lublin ($116 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Puławy ($142 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dnia 22.11.2011 trajektorie wsteczne obniżały się stopniowo, osiągając poziom gruntu po około 30 h, cały czas znajdując się w obrębie warstwy mieszania. Na obszarze wyznaczonym przez trajektorie wypuszczane z obszaru województwa lubelskiego wysokość warstwy mieszania zmieniała się nieznacznie w cyklu dobowym od poniżej 100 m w nocy do maksymalnie nieco ponad 200 m w dzień. W tym przypadku,

oprócz lokalnej emisji na jakość powietrza może mieć wpływ napływ z terenu Słowacji. Trajektoria wypuszczona wstecz z Białegostoku przebiegała przez obszary o zmieniającej się nieregularnie wysokości warstwy mieszania w zakresie od nieco ponad 100 m do nieco powyżej 300 m. W tym przypadku na jakość powietrza może mieć wpływ oprócz lokalnej emisji napływ z Warszawy. Dnia 23.11.2011 trajektorie wsteczne podnosiły się stopniowo osiągając po 22 h poziom około 100 m, po czym pozostały na tej wysokości. Przez pierwsze 27 h znajdowały się w obrębie warstwy mieszania, potem w godzinach nocnych były ponad tą warstwą, a w dzień w jej obrębie. Na obszarze wyznaczonym przez trajektorie wysokość warstwy mieszania zmieniała się nieznacznie w cyklu dobowym od poniżej około 50 m w nocy do 150 m w dzień na terenie Polski i 250 m w dzień na terenie Słowacji. Ze względu na to, że trajektorie na terenie Polski przebiegały przez tereny bez znacznej emisji PM10, za jakość powietrza w tym dniu mogą odpowiadać emitory lokalne lub napływ ze Słowacji.

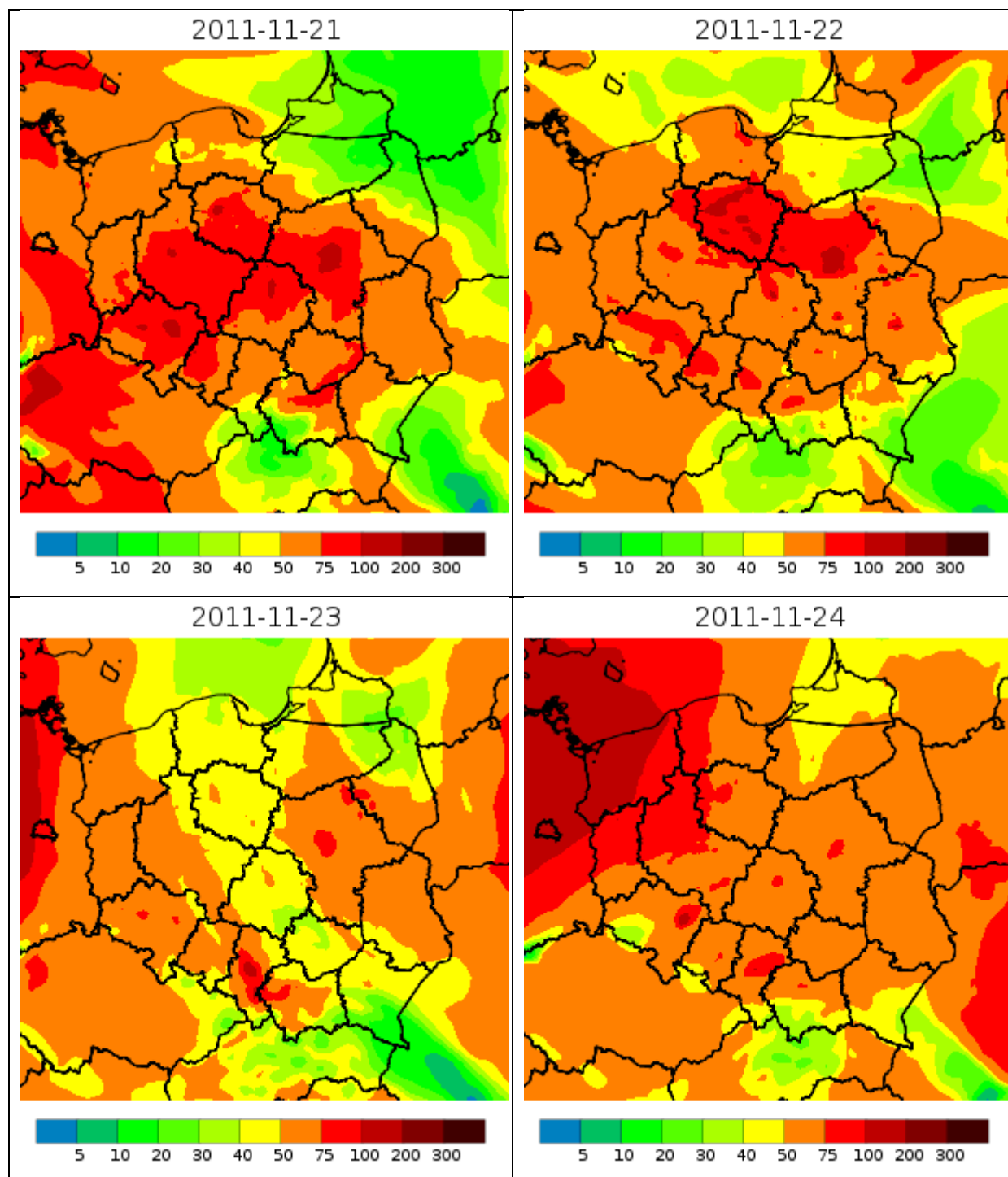
4.4.1.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

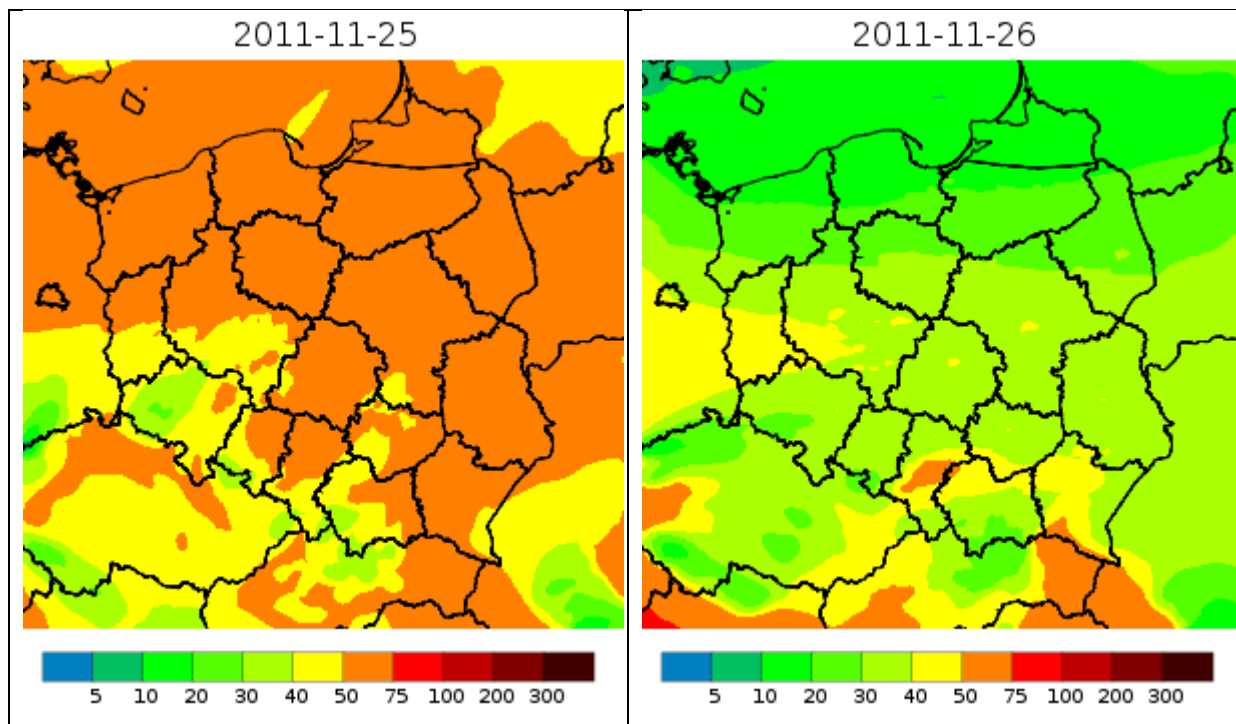
A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10





Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

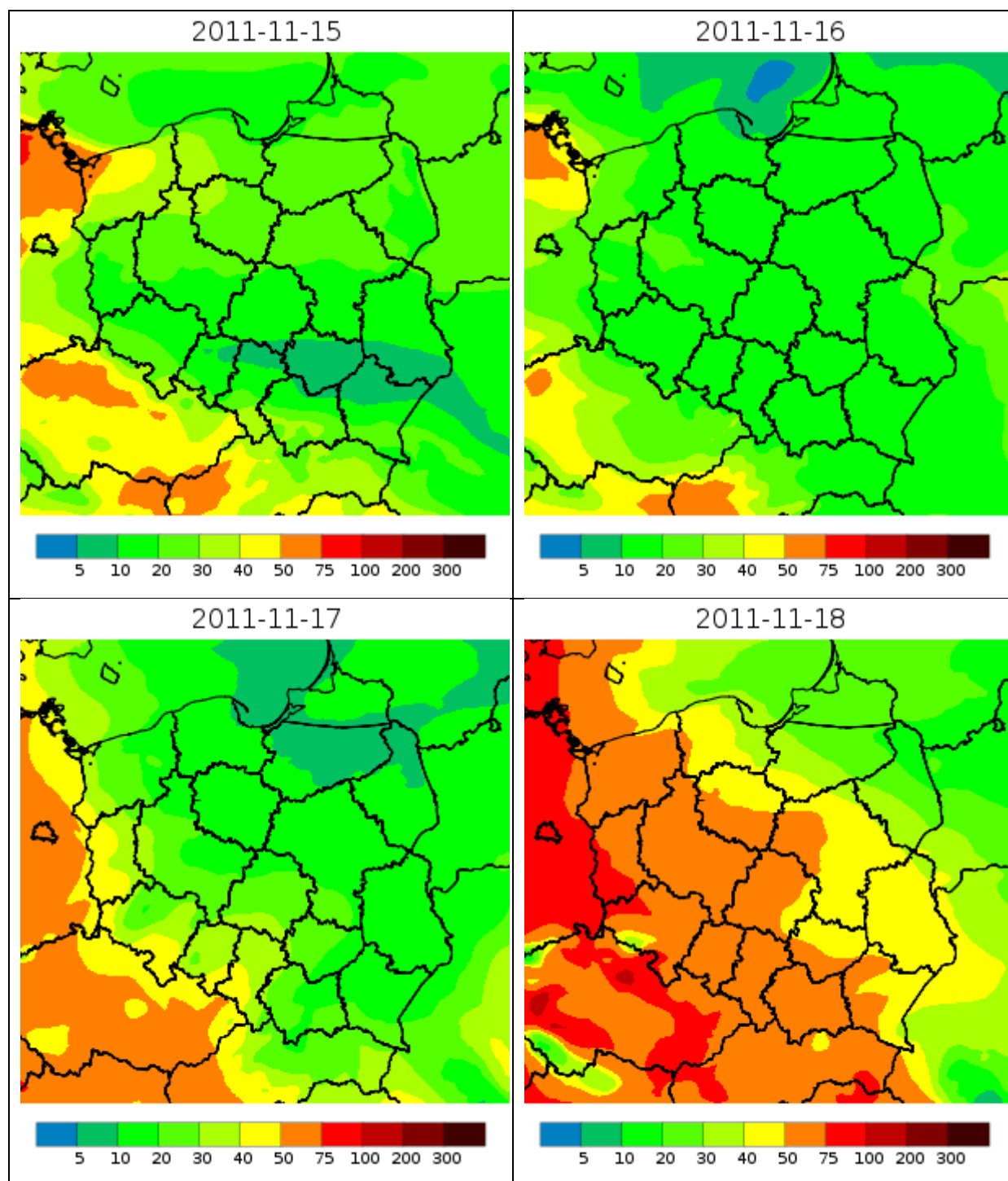


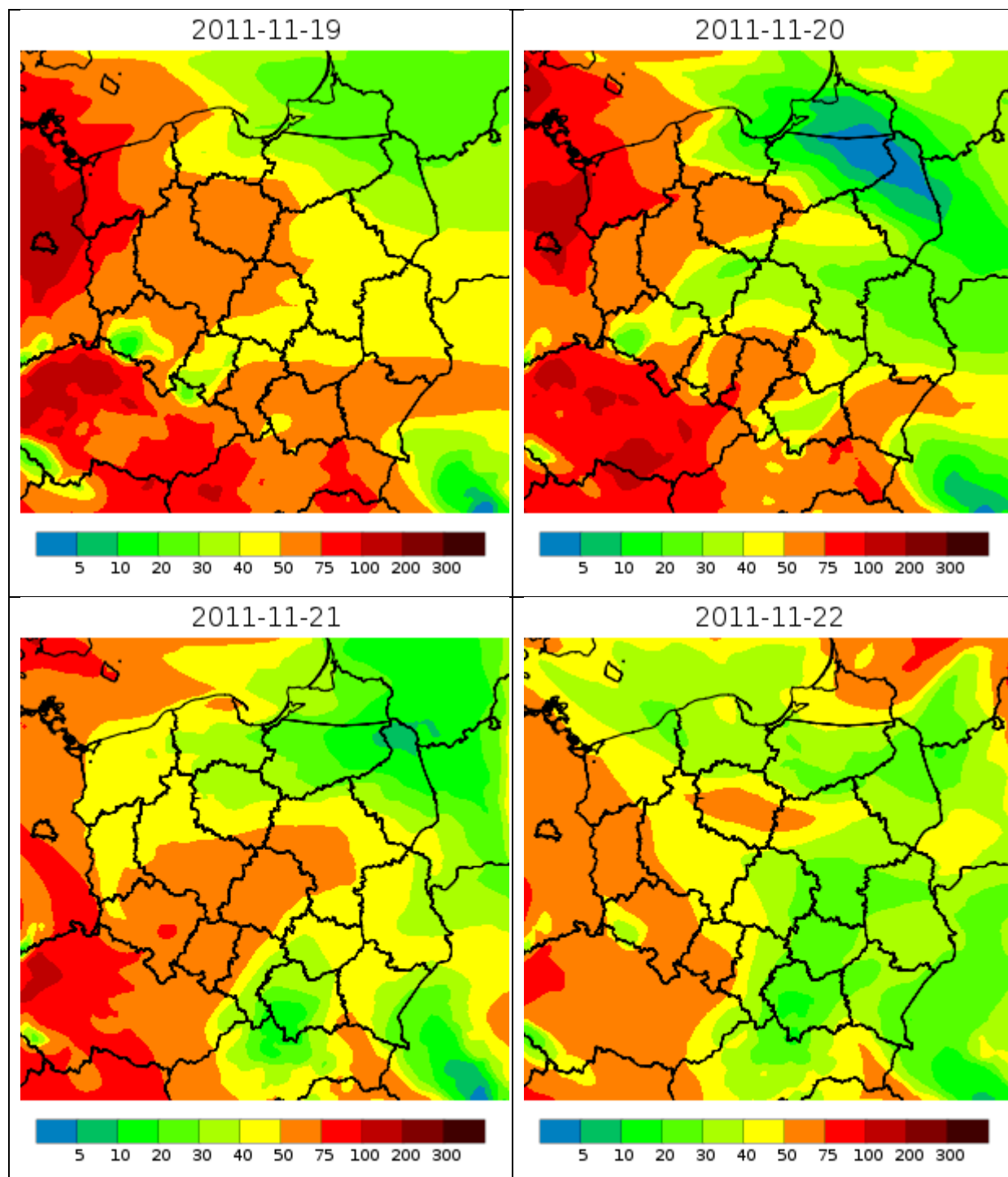


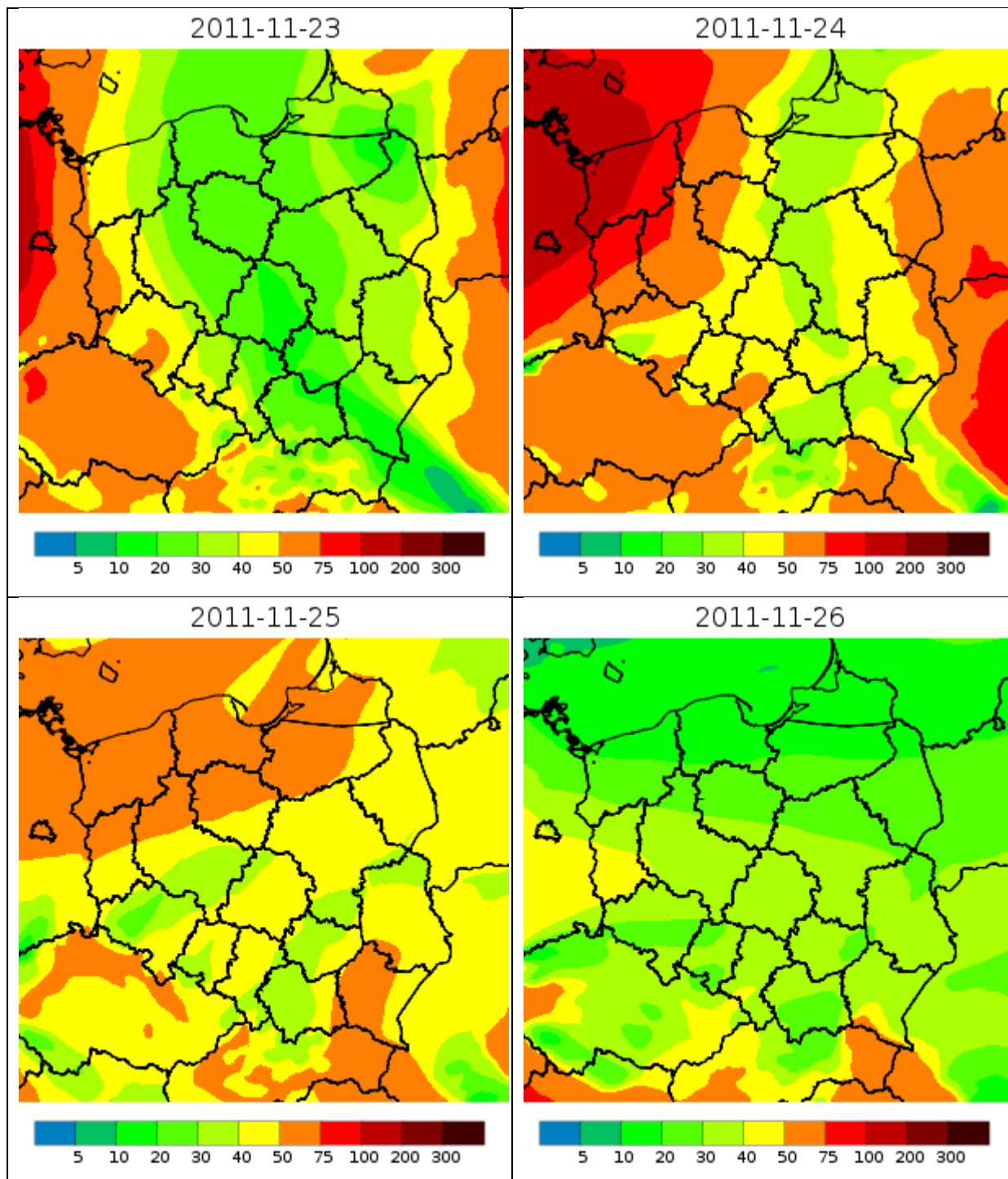
Rysunek 4-127 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 15-26.11.2011 r.

Epizod wysokich stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ od 15-26 listopada 2011 r. charakteryzował się wystąpieniem dwóch regionów wysokich stężeń. Początkowo wysokie stężenia występowały na południu kraju, ale od 18 listopada pojawił się obszar wysokich stężeń zlokalizowany w województwach zachodnich, który następnie przemieszczał się w kierunku wschodnim i północno-wschodnim (w kierunku województw: kujawsko-pomorskiego, mazowieckiego i podlaskiego). 24 listopada miała miejsce ciekawa sytuacja, gdyż pojawił się obszar wysokich stężeń ($>75 \mu\text{g}/\text{m}^3$), który objął głównie województwo zachodniopomorskie i częściowo województwa z nim sąsiadujące, a przeniesiony został z kierunku północno-zachodniego. Największy globalny zasięg epizodu osiągnął 19 listopada, wyniósł on łącznie około 150 tys. km².

**B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego
na obszar Polski**



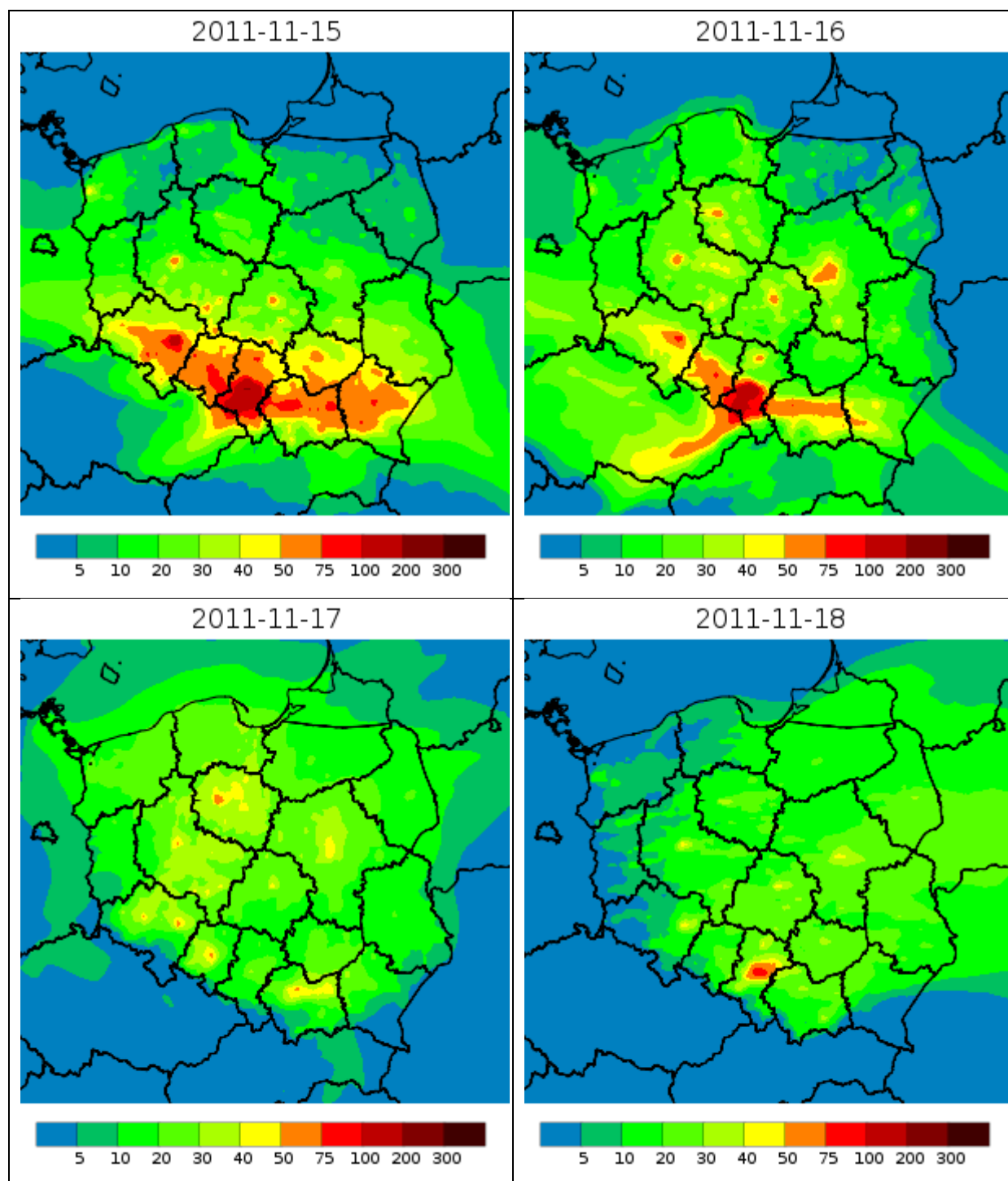




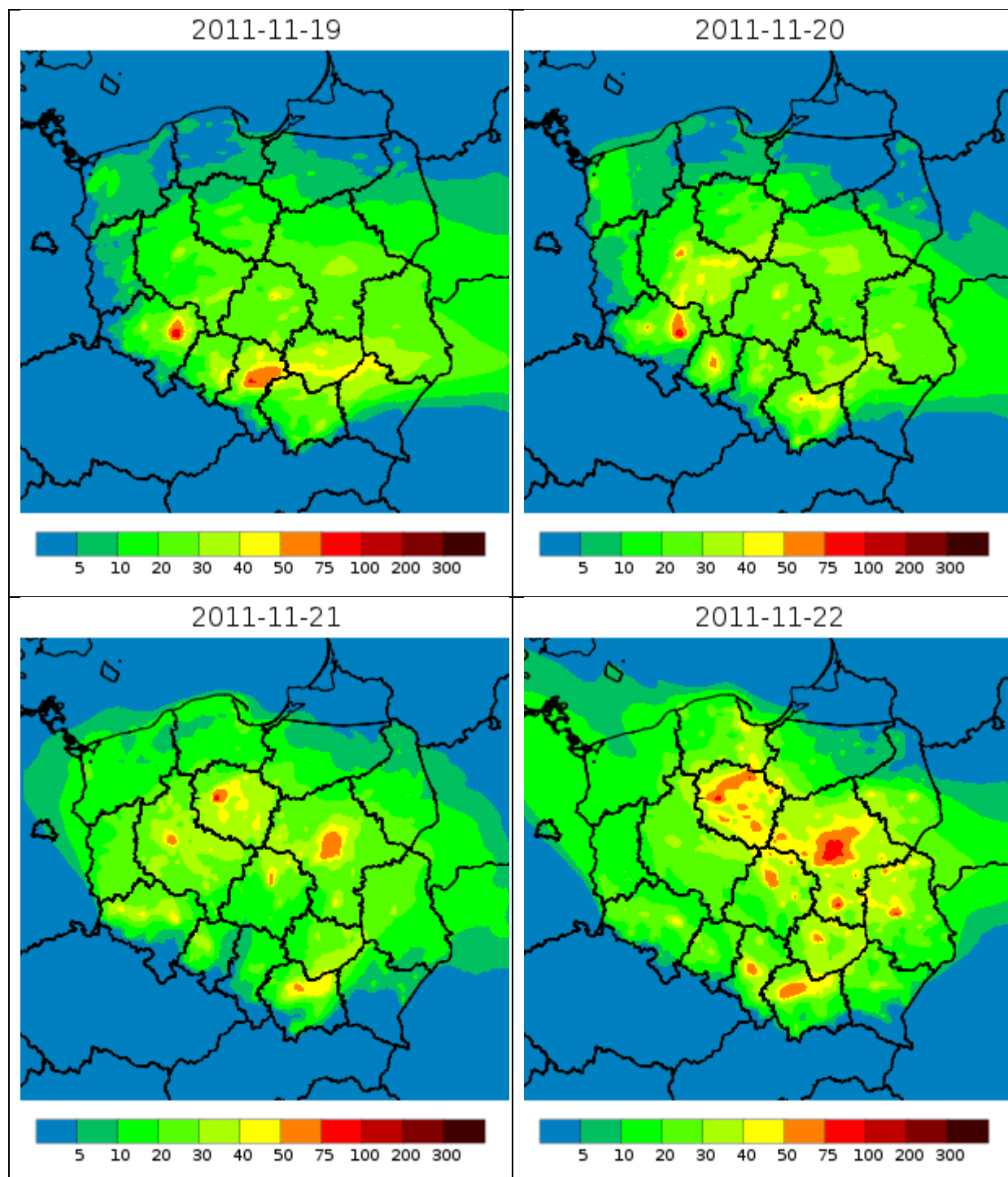
Rysunek 4-128 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 15-26.11.2011 r.

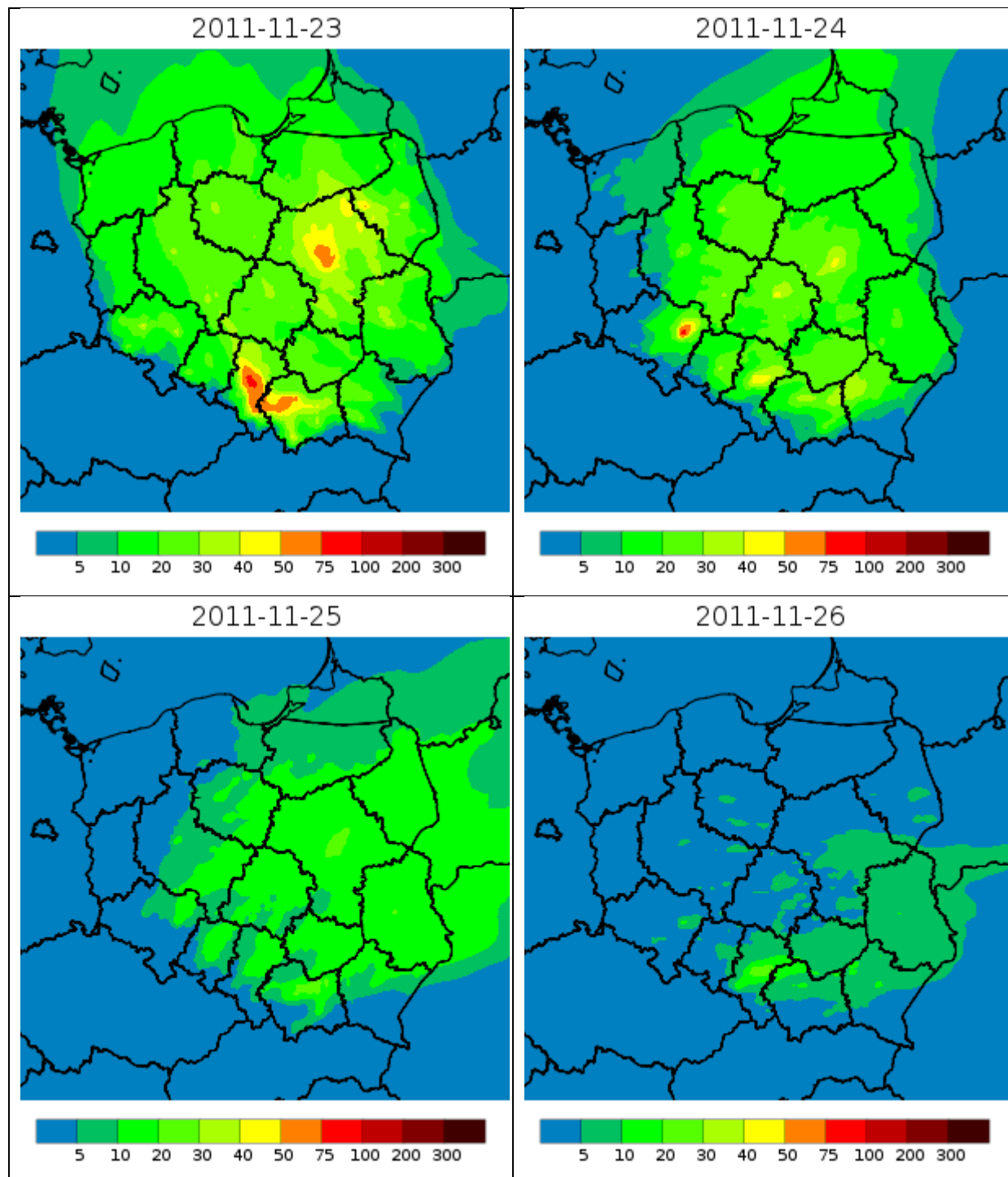
Napływ transgraniczny zanieczyszczeń w trakcie trwania analizowanego epizodu odbywał się głównie z kierunku zachodniego, a 20 i 21 listopada z południowego-zachodu. Stężenia pochodzące od napływu były bardzo wysokie, szczególnie w dniach występowania największych zasięgów izolinii $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maksymalne stężenia w województwach zachodnich (szczególnie województwo zachodniopomorskie) dochodziły nawet do $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**



Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

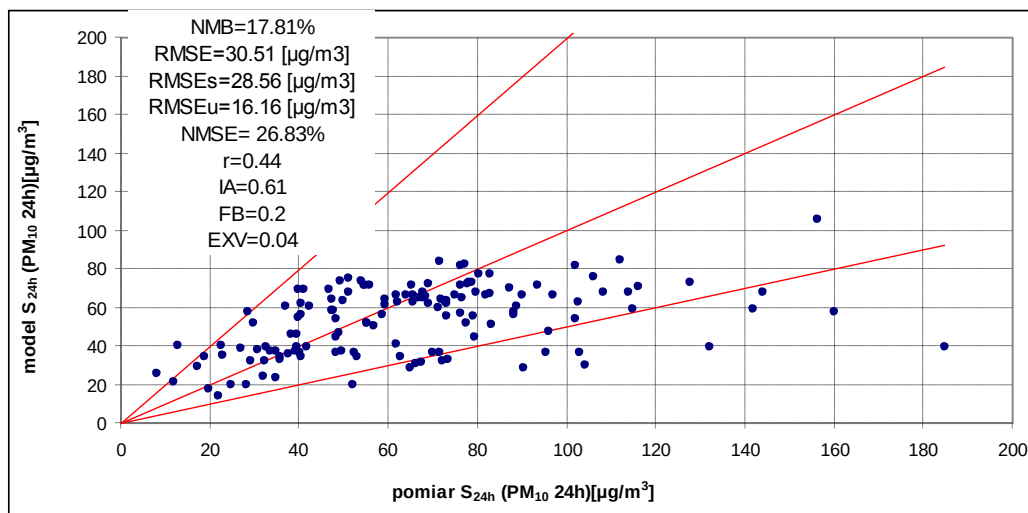




Rysunek 4-129 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 15-26.11.2011 r.

Stężenia pochodzące z emisji z terenu Polski w trakcie trwania epizodu miały charakter lokalny i skupiały się głównie w dużych miastach i aglomeracjach. Tam przekraczały wartość dopuszczalną dla pyłu zawieszonego PM₁₀ – $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedynie na początku trwania epizodu, tj. 15 i 16 listopada, zasięg podwyższonych stężeń pochodzących z emisji z Polski obejmował większy obszar na południu kraju. 16 listopada dodatkowo zaobserwowano pewien transport zanieczyszczeń przez Bramę Morawską, w kierunku

południowo-zachodnim. W kolejnych dniach zanieczyszczenia przemieszczały się w kierunku północnym i wschodnim.



Rysunek 4-130 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach lubelskim i podlaskim w terminie 21.02.2011 - 28.02.2011r.

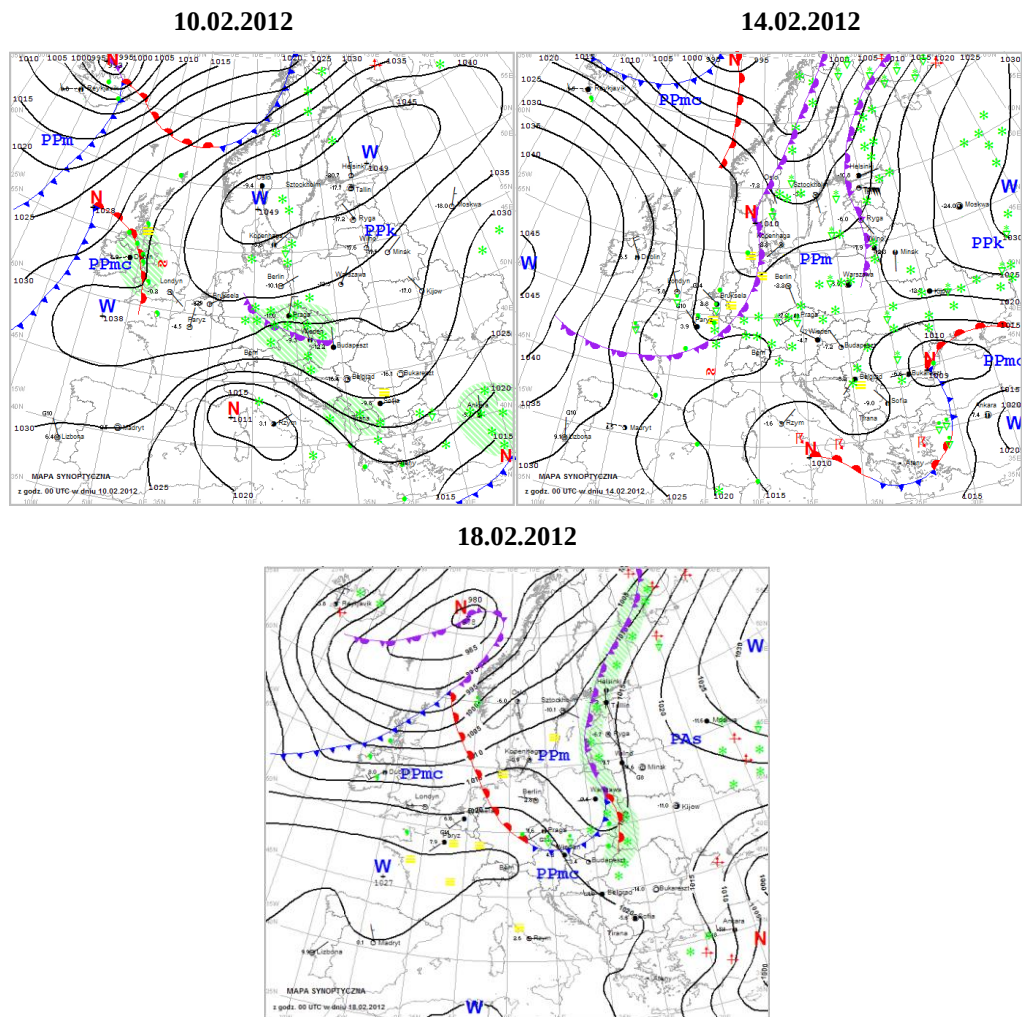
Błędy wyznaczone dla określenia modelowania wskazują na poprawne modelowanie. NMB jest bliski 10%, NMSE wynosi poniżej 40% a indeksy korelacji i zgodności są na poziomie umiarkowanej korelacji.

Dla epizodu, który wystąpił od 21.02.2011 do 28.02.2011 na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego, nie ma pomiarów pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzących ze stacji pozamiejskich.

4.4.2. Epizod 2 od 10 do 18 lutego 2012 r.

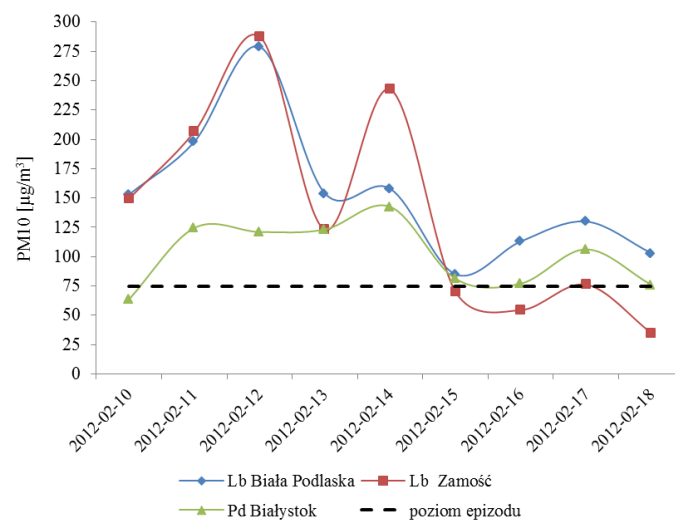
4.4.2.1. Sytuacja synoptyczna

W dniach 10-12.02.2012 Polska była w zasięgu klina silnego wyżu znad północno-zachodniej Rosji. Napływało wówczas z kierunków wschodnich suche i mroźne powietrze polarno-kontynentalne (PPk). Od dnia 12.02.2012 zaznaczyło się stopniowe słabnięcie klina wyżowego, a z kierunków zachodnich na wschód zaczęły przemieszczać się nad obszarem Polski kolejne zatoki niżowe wraz z układami frontów atmosferycznych. Szczególnie istotny wpływ na pogodę w tym okresie miał głęboki ośrodek niżowy, który w dniach 14-16.02.2012 wędrował znad Skandynawii przez Polskę nad Rumunię. Z zachodu lub północnego zachodu napływało wówczas chłodne powietrze polarno-morskie (PPm), a dnia 16.02.2012 przejściowo wystąpił napływ z północy mroźnej masy powietrza pochodzenia arktycznego (PAs). Dnia 17.02.2011 układ frontów związany z niżem znad Morza Norweskiego, przemieszczając się z zachodu na wschód przyniósł z południowego zachodu napływ ciepłej masy polanomorskiej (PPmc).



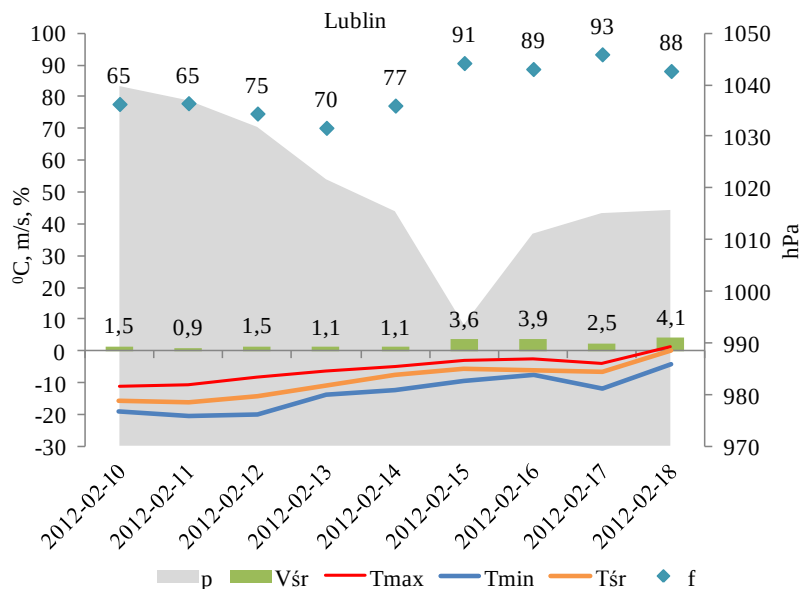
Rysunek 4-131 Mapa synoptyczna z dnia 10, 14, 18 lutego 2012 roku, godzina 0 UTC

4.4.2.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne

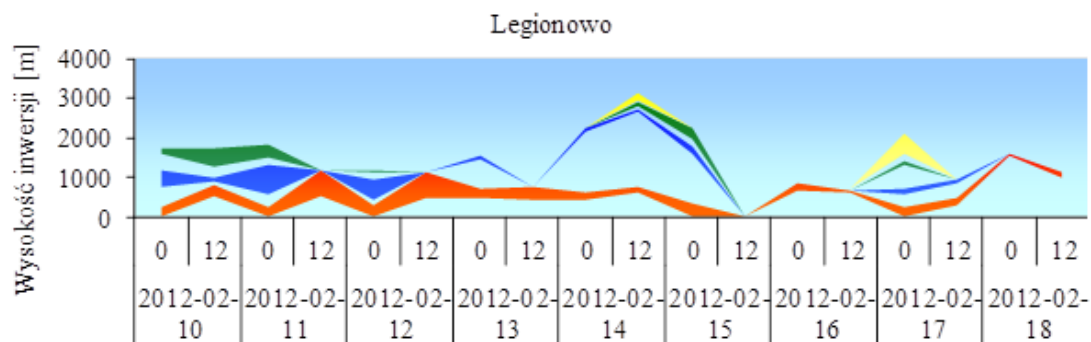


Rysunek 4-132 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

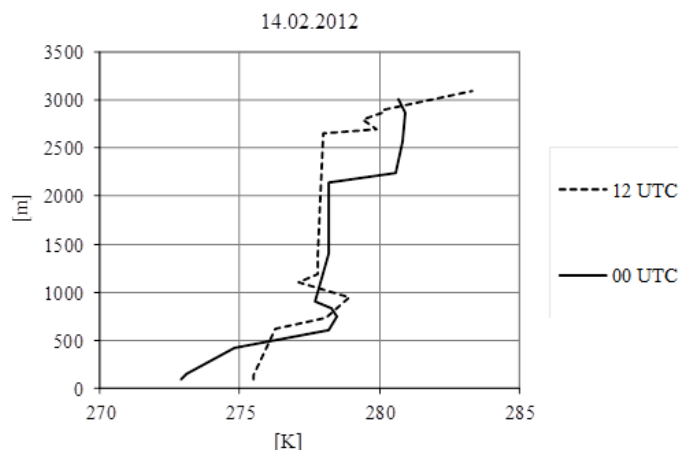


Rysunek 4-133 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-134 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

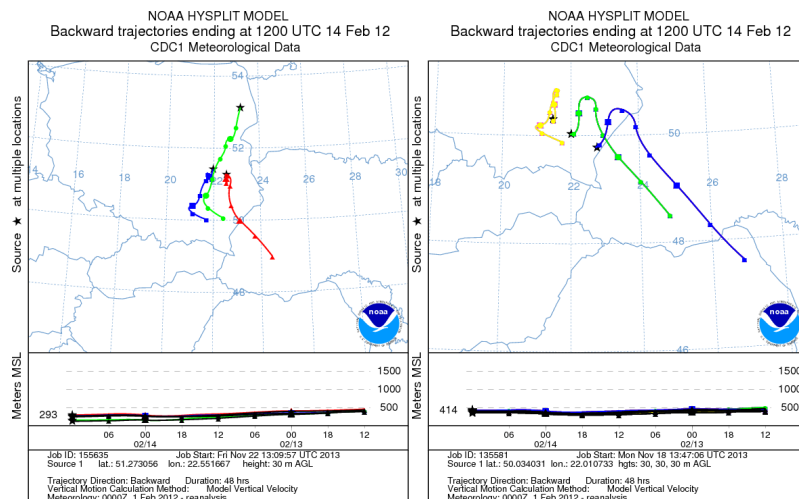
Przebieg wysokości inwersji wzniesionej podczas prezentowanego epizodu charakteryzuje się najpierw silnie zaznaczonym dobowym przebiegiem aby w dniach o najwyższych stężeniach pozostawać przez cały czas na niezmienniej wysokości około 300 m. Jednocześnie niska temperatura powietrza słaby wiatr w warstwie przyziemnej sugerują występowanie inwersji przyziemnej.



Rysunek 4-135 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.4.2.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten był epizodem, w którym podwyższenie stężeń PM10 objęło wszystkie analizowane obszary Polski. Maksymalne stężenia w czasie tego epizodu zaobserwowano dla województw lubelskiego, podlaskiego i warmińsko-mazurskiego dnia 14.02.2012, chociaż dla innych województw szczyt tego epizodu przypadł dwa dni wcześniej. Poniżej przedstawiono trajektorie wsteczne dla wybranych stacji z województw lubelskiego i podlaskiego, a także dla stacji województwa podkarpackiego, gdzie odnotowano również w tym dniu wyraźny wzrost stężeń.



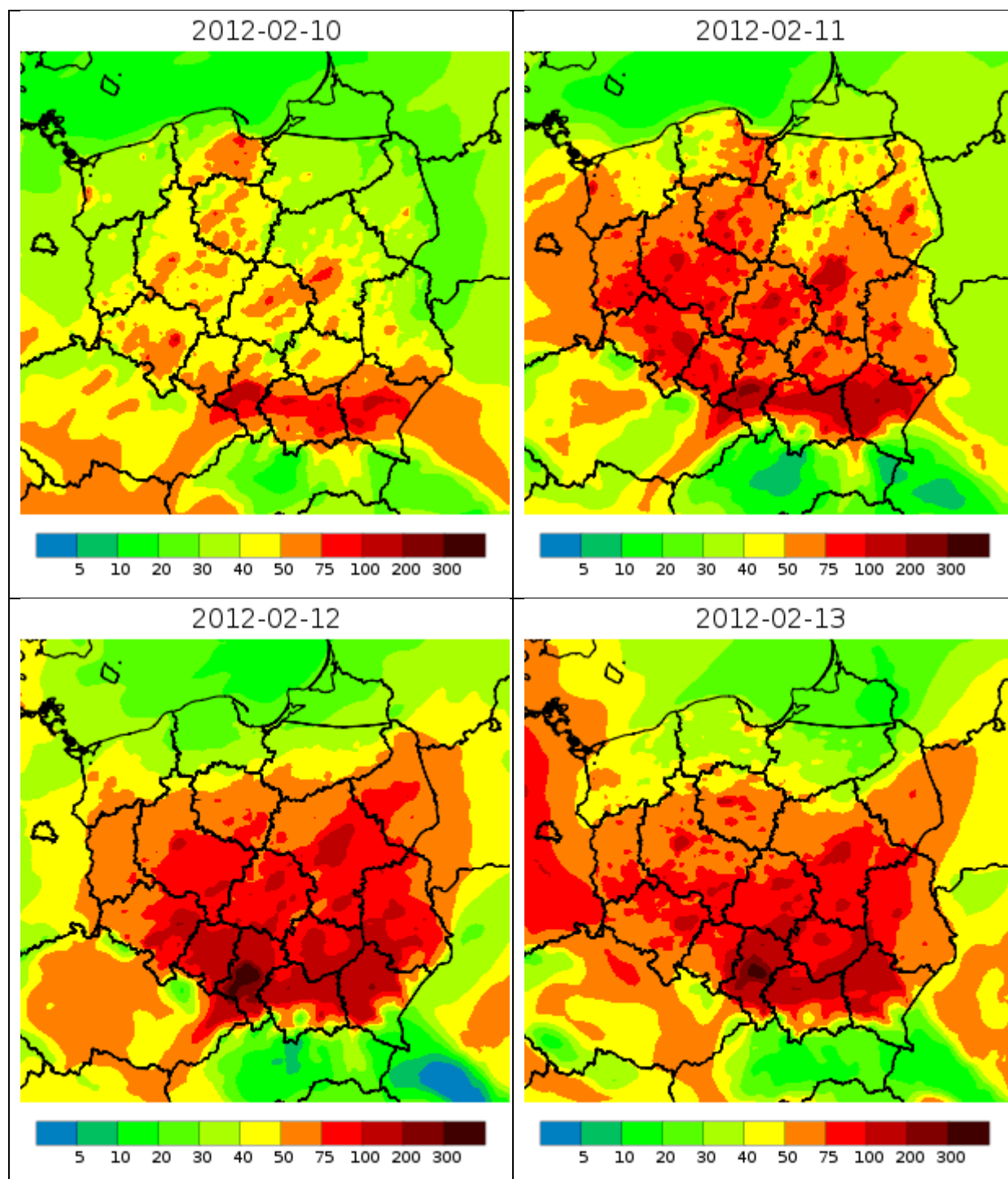
Rysunek 4-136 Trajektorie wsteczne dla Puław, Lublina i Białegostoku dla 14.02.2012r.

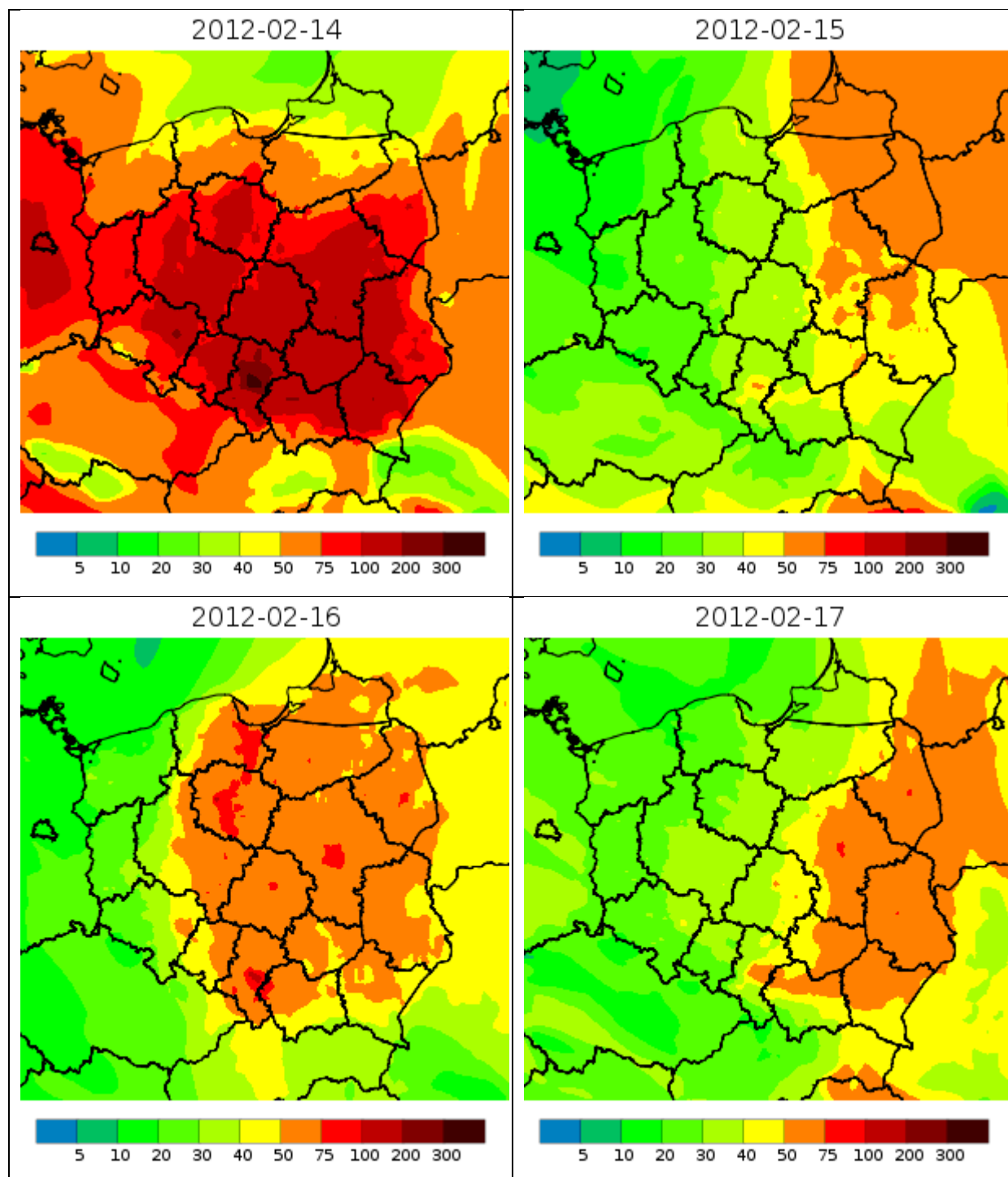
Na rysunku powyżej zaprezentowano przebieg trajektorii wstecznych dla stacji zlokalizowanych w Puławach ($272 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Lublinie ($241 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Białymstoku ($143 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Trajektorie wsteczne są bardzo krótkie (niska prędkość wiatru), wskazując na dominujący wpływ źródeł lokalnych. Trajektorie wsteczne obniżały się stopniowo, pozostając przez cały czas w obrębie warstwy mieszania. Wysokość warstwy mieszania była bardzo niska od 70 m w nocy do około 200 m około południa. Jeszcze mniejszą prędkość wiatru obserwuje się w

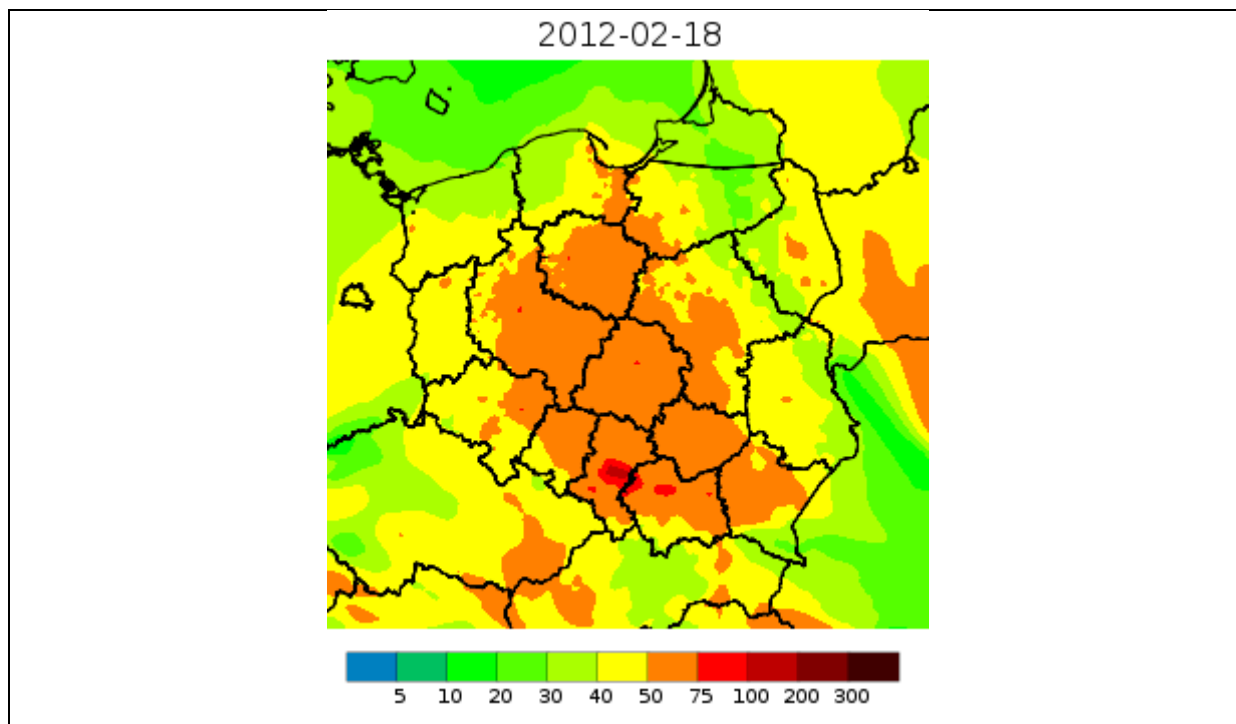
czasie tego epizodu dla województwa podkarpackiego, co także wskazuje na dominujący udział źródeł lokalnych w kształtowaniu jakości powietrza na tym obszarze.

4.4.2.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10



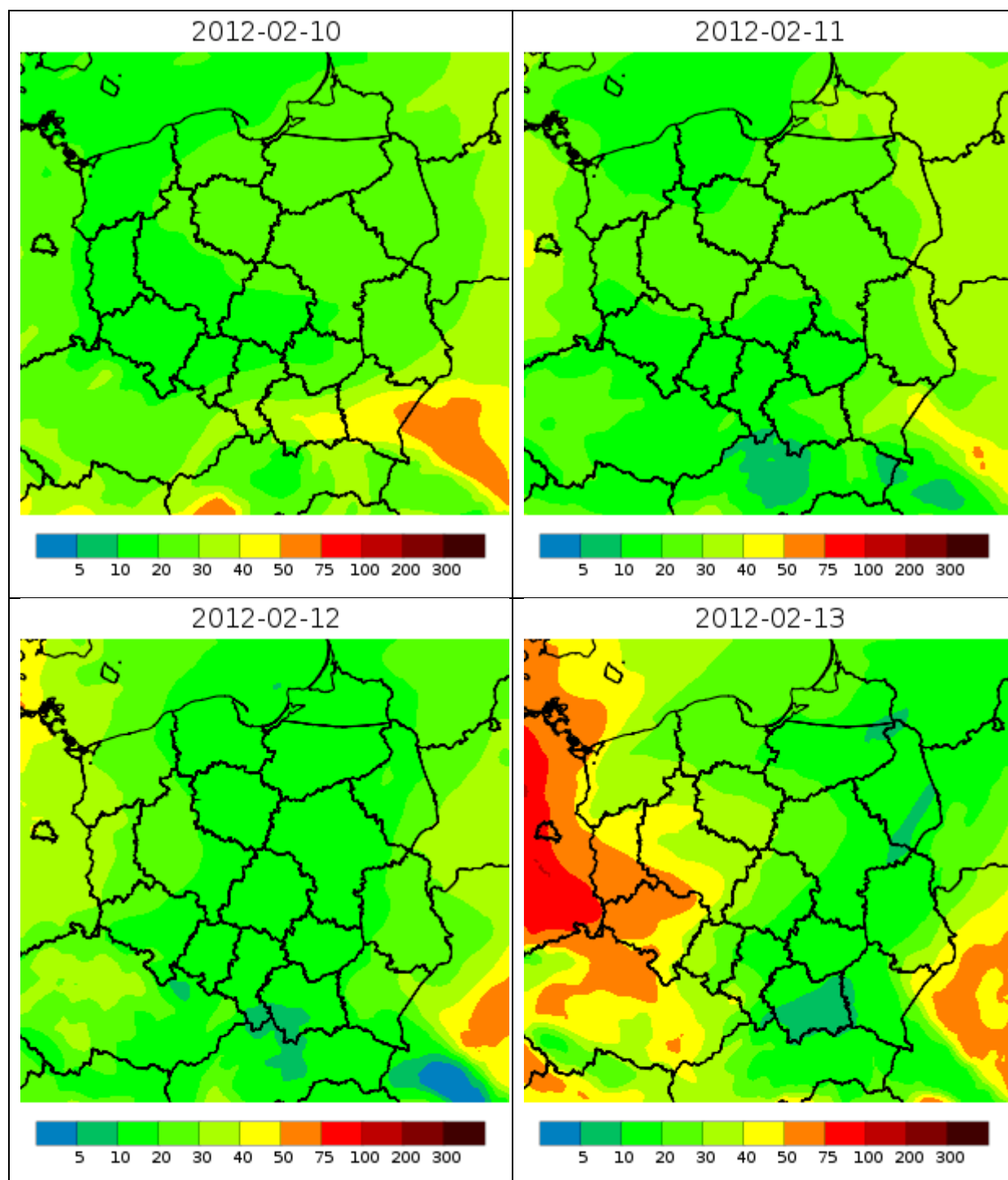


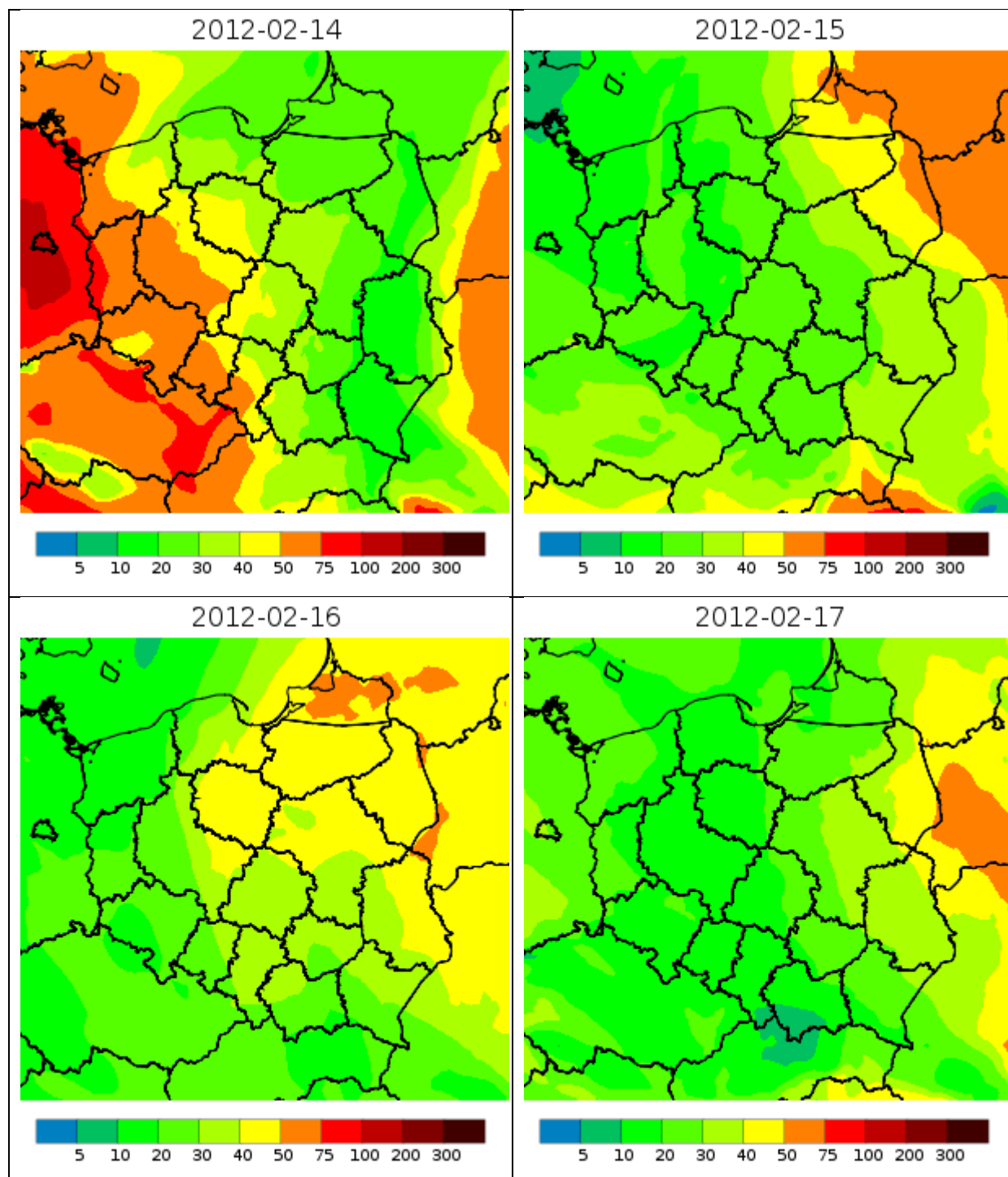


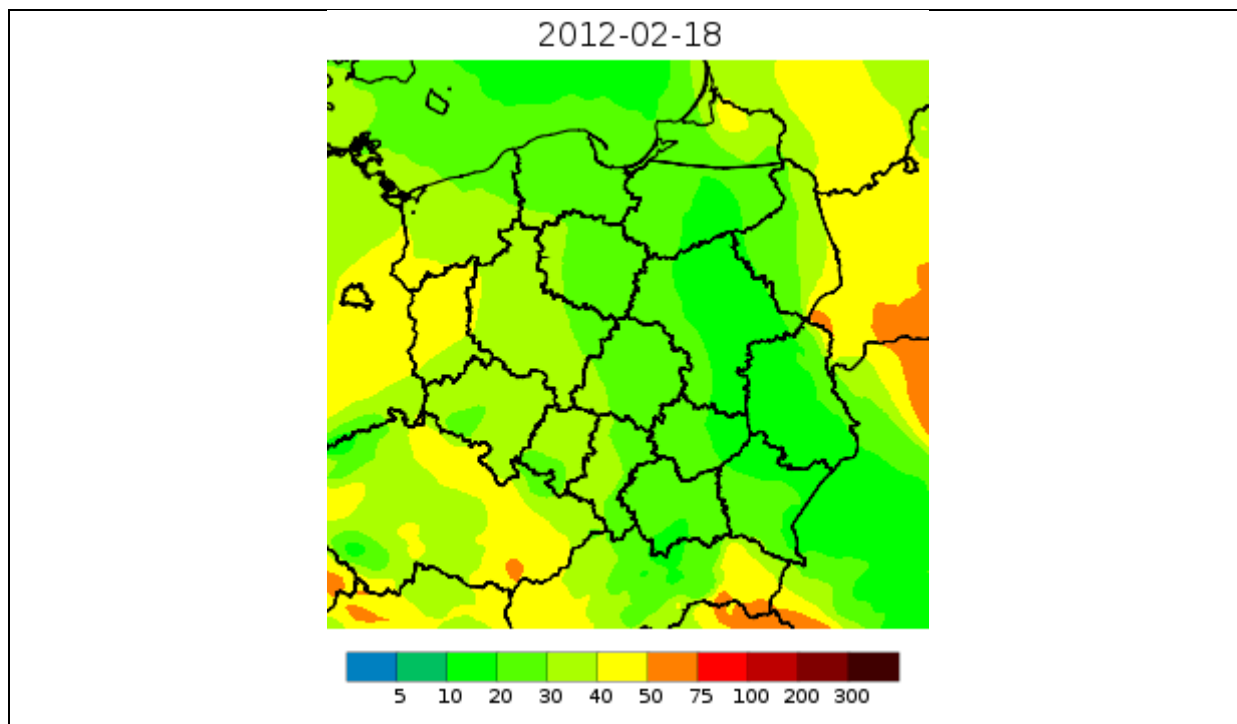
Rysunek 4-137 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 10-18.02.2012 r.

Na początku trwania analizowanego epizodu wysokich stężeń pyłu zawieszonego PM10 wyraźnie widać wpływ lokalnych źródeł (10-13.02). 14 lutego zaobserwowano największy zasięg epizodu – około 250 tys. km^2 i obejmował on wówczas praktycznie całą Polskę. Wówczas to wystąpiły najwyższe stężenia, które w województwie śląskim przekraczały poziom alarmowy dla pyłu zawieszonego PM10. Od 15 lutego zaobserwowano obniżenie się stężeń pyłu zawieszonego PM10 do poziomu dopuszczalnego ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i transport zanieczyszczeń w kierunku północnego – wschodu. W związku z tym zaobserwowano jeszcze przez pewien czas utrzymanie się podwyższonych stężeń w województwach wschodnich.

**B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego
na obszar Polski**



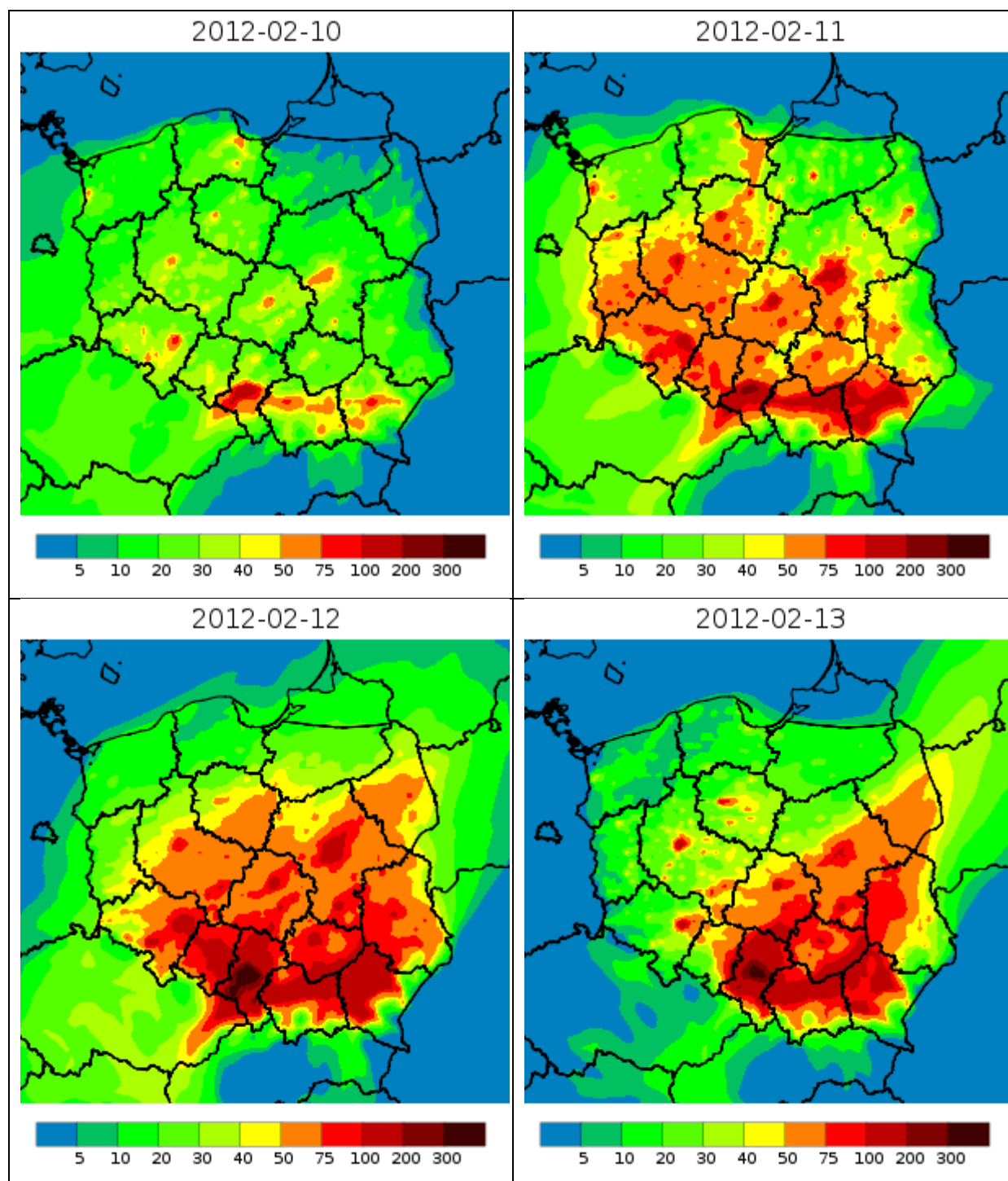




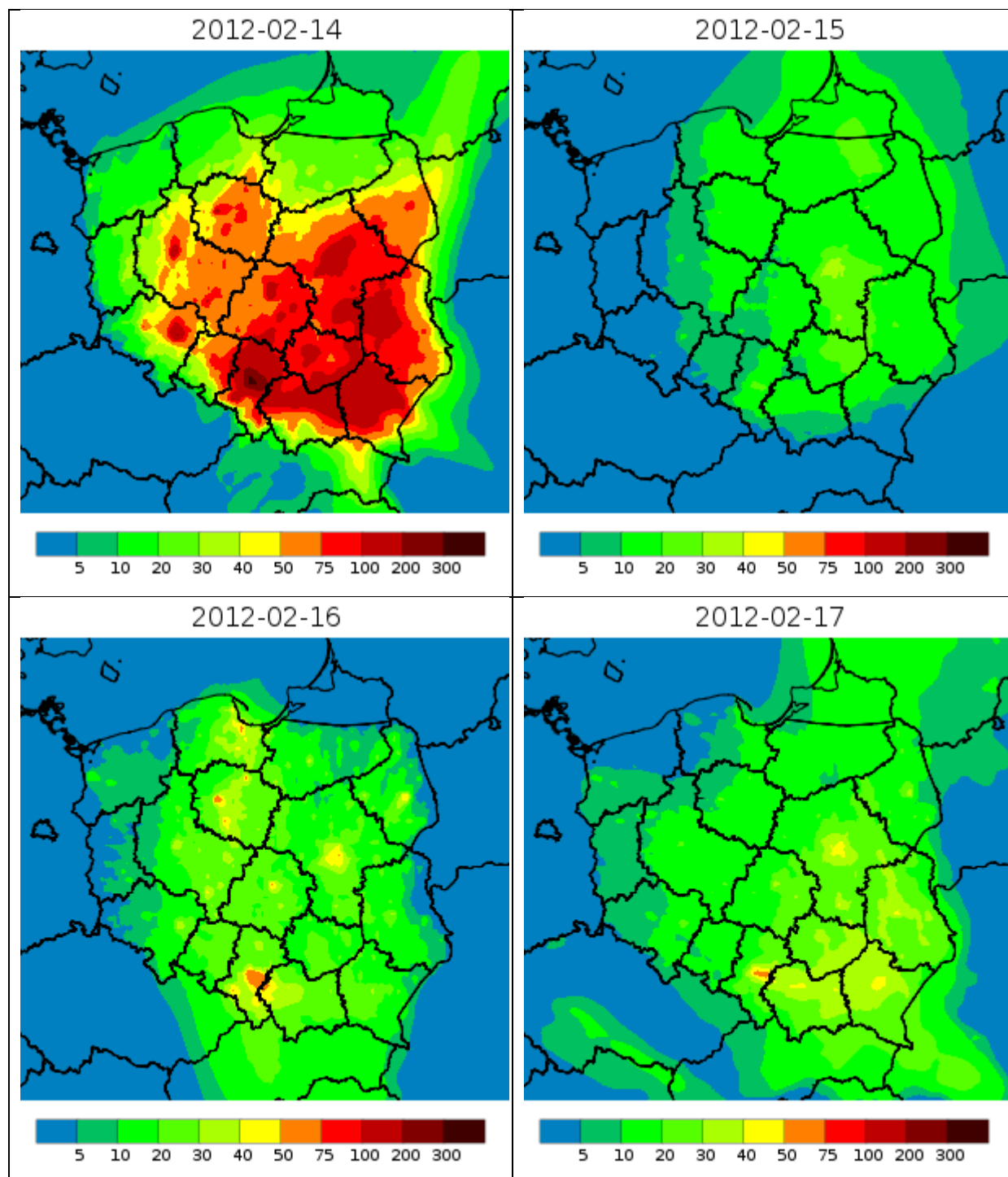
Rysunek 4-138 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 10-18.02.2012 r.

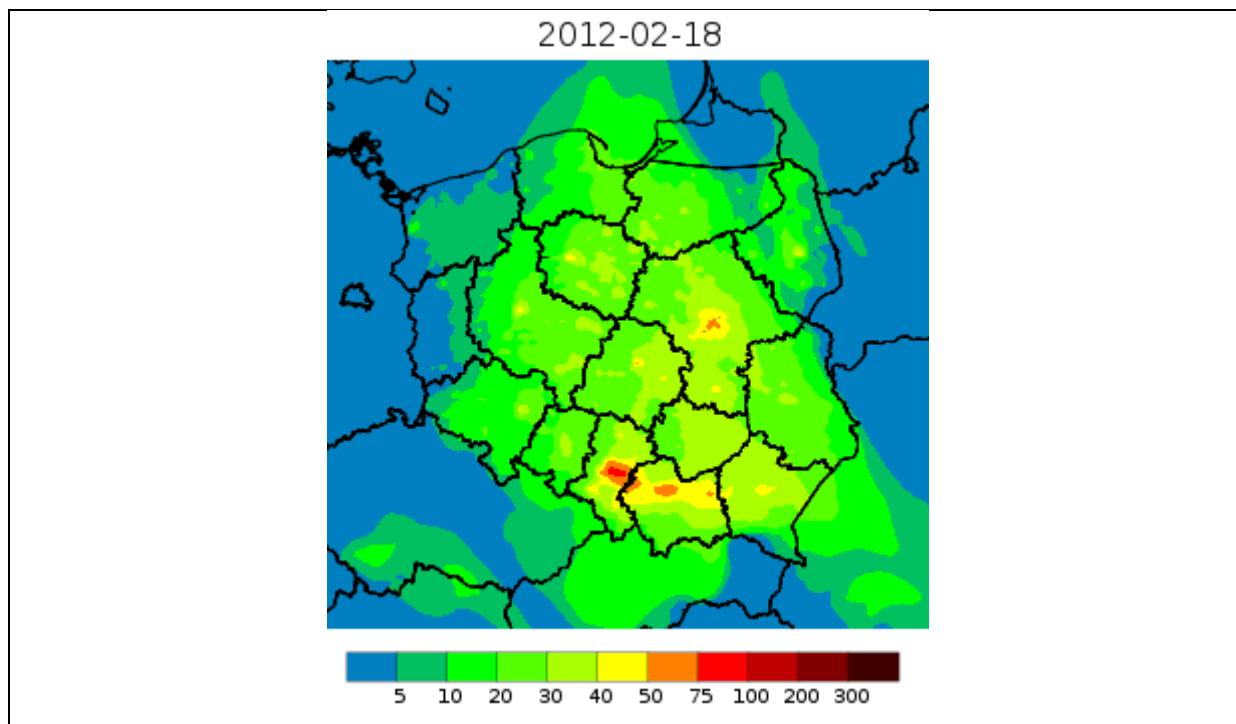
Na początku trwania epizodu napływ zanieczyszczeń transgranicznych był stosunkowo niewielki i odbywał się z kierunku południowo – wschodniego. 13 i 14 lutego zanotowano najwyższy napływ transgraniczny pochodzący z kierunku zachodniego, gdzie na terenach przygranicznych stężenia pyłu zawieszonego PM10 osiągały nawet $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Od 15 lutego napływ ponownie zmienił kierunek i podwyższone stężenia ($40 - 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) występowały na północnym wschodzie i wschodzie.

**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**



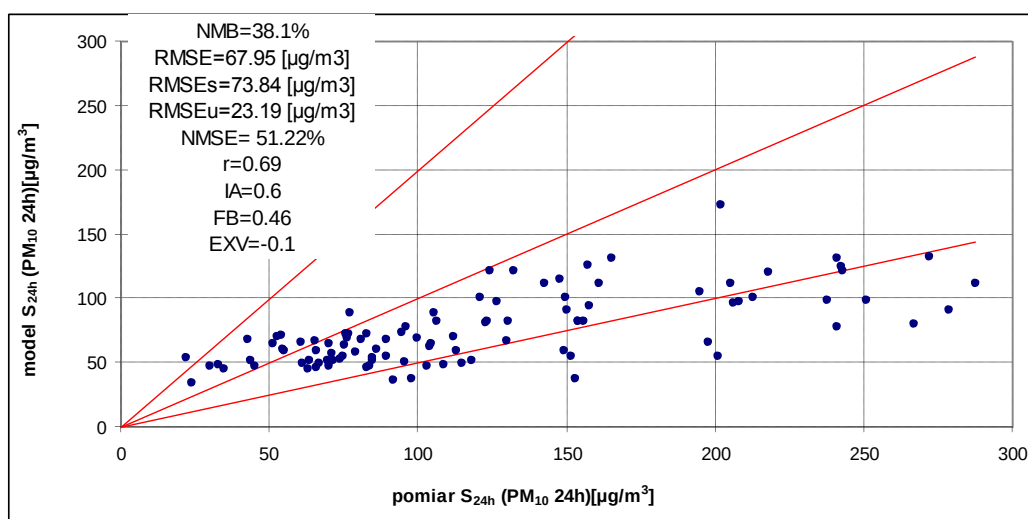
Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii





Rysunek 4-139 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 10-18.02.2012 r.

Modelowanie stężeń zanieczyszczeń pochodzących z emisji z terenu Polski wskazuje na jej przeważający wpływ na wartości stężeń osiągane podczas trwania epizodu w dniach 11-14 lutego. Równocześnie wyraźnie zaznacza się lokalny charakter oddziaływania źródeł. Od 15 lutego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące od emisji z Polski małe, a podwyższone ich wartości występowały wyłącznie w dużych miastach i aglomeracjach. Przepływ zanieczyszczeń na początku trwania epizodu odbywał się w kierunku południowo-zachodu, a od 12 lutego w kierunku północnego-wschodu.



Rysunek 4-140 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach lubelskim i podlaskim w terminie 10.02.2012 - 18.02.2012r.

Podobnie jak w poprzednich terminach, model wyraźnie niedoszacowuje stężenia dla wysokich wartości pomiaru pyłu zawieszonego PM₁₀. Powyżej 150 µg/m³ stężenia pochodzące z modelu utrzymują się na tym samym poziomie pokazując dwukrotnie niższe wartości. Miary błędów są powyżej wartości granicznych, oznaczających dobre dopasowanie. Natomiast współczynniki korelacji i zgodności wskazują na znaczną zależność modelowania i pomiarów.

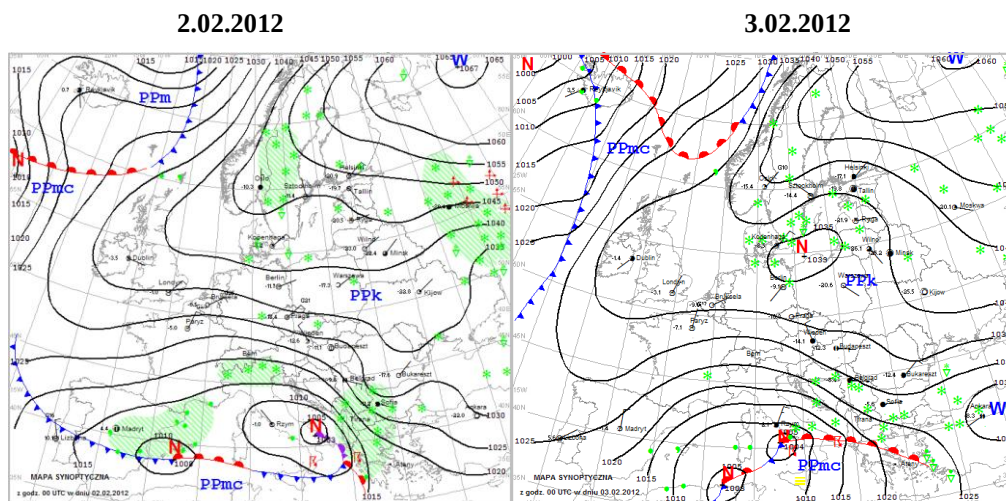
Po wyeliminowaniu pomiarów pyłu zawieszonego PM₁₀ ze stacji o charakterze miejskim, nie pozostały żadne wyniki pomiarów.

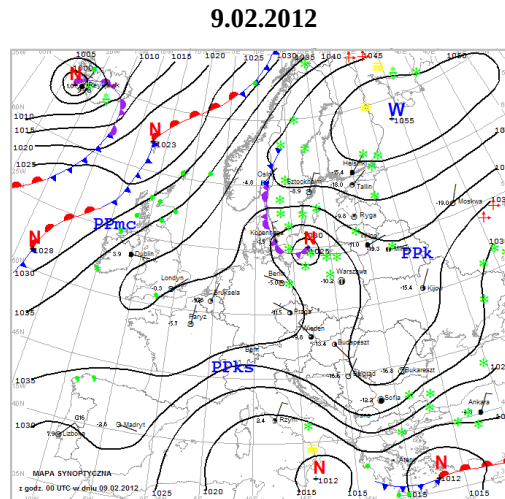
4.5. Region 5 – województwo warmińsko-mazurskie

4.5.1. Epizod 1 od 2 do 9 lutego 2012 r.

4.5.1.1. Sytuacja synoptyczna

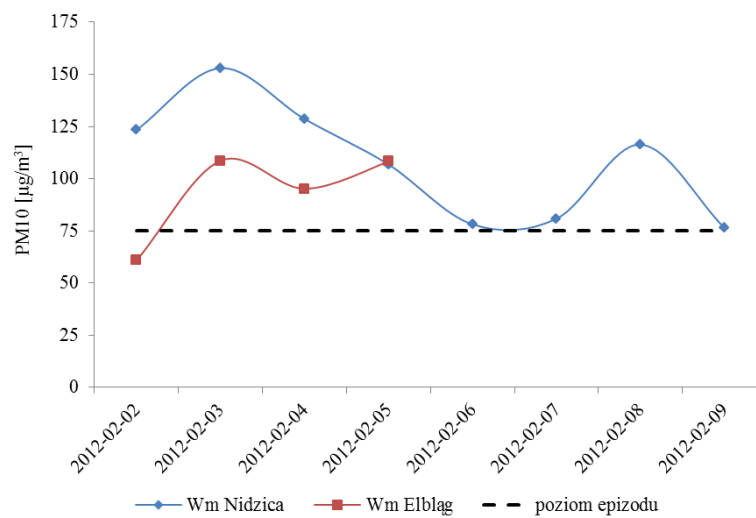
W dniach 2-6.02.2012 na obszar Polski oddziaływał rozległy wyż z centrum nad północną i północno-zachodnią Rosją. Z północnego wschodu napływała mroźna i sucha masa powietrza polarno-kontynentalnego (PPk). Przejściowo, istotną zmianę pogody przyniosła zatoka niżu znad Morza Egejskiego, która w okresie 4-6.02.2012 objęła swym zasięgiem województwo podkarpackie, a w dniach 7-8.02.2012 wraz z frontem okluzji przemieszczała się przez cały kraj ze wschodu na zachód. Dnia 9.02.2012 znad Bałtyku wzdłuż zachodnich województw przemieszczał się płytki, wypełniający się ośrodek niżowy. W okresie przejściowym nad obszarem kraju pozostawało mroźne, ale wzbogacone w wilgoć powietrze. Po tym okresie ze wschodu znów napłynęło mroźne i suche powietrze pochodzenia polarno-kontynentalnego (PPk).





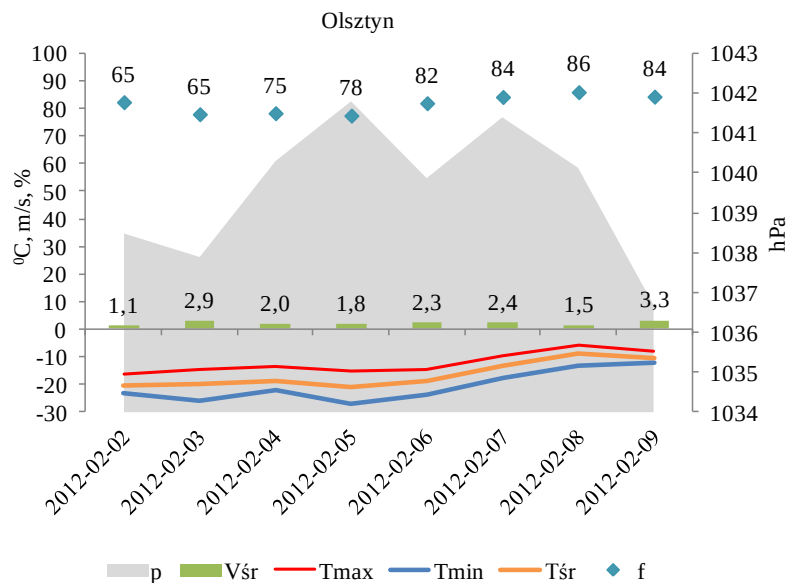
Rysunek 4-141 Mapa synoptyczna z dnia 2, 3, 9 lutego 2012 roku, godzina 0 UTC

4.5.1.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne

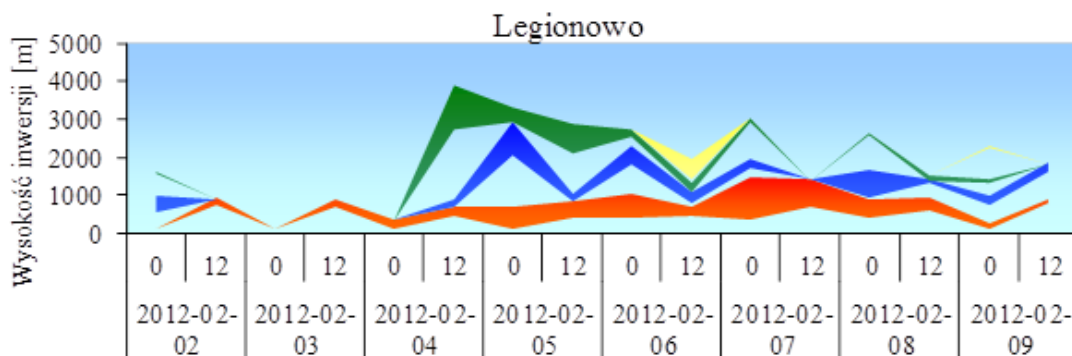


Rysunek 4-142 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀.

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

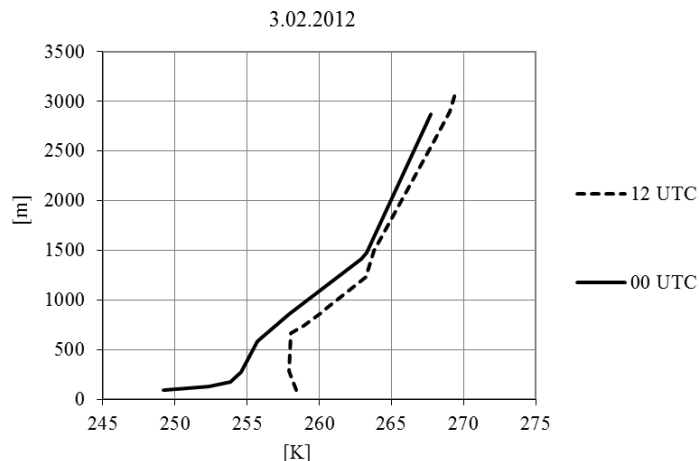


Rysunek 4-143 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-144 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

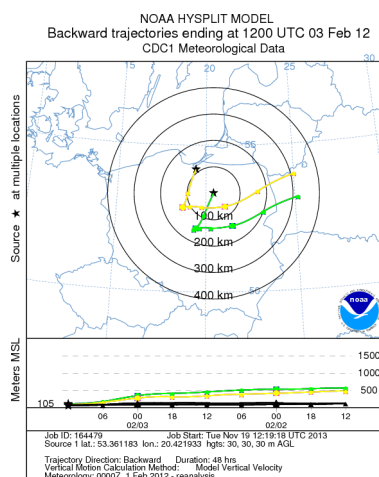
Przebieg pierwszego poziomu inwersji wzniesionej wykazuje typowy dobowy bieg w pierwszych dniach epizodu i słabe zróżnicowanie w fazie późniejszej. Jednocześnie mała miąższość tej warstwy w dniu maksimum stężeń pyłu PM10 dla województwa warmińsko-mazurskiego wskazuje na możliwość potencjalnego udziału czynników poza lokalnych w jego imisji.



Rysunek 4-145 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.5.1.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten był epizodem, w którym podwyższenie stężeń PM₁₀ objęło niemal wszystkie analizowane obszary Polski. Maksimum epizodu wystąpiło dla województwa warmińsko-mazurskiego dnia 3.02.2012. Tego dnia znaczne podwyższenie stężeń zanotowano także na terenie Czech. Wyraźny epizod zanotowano w województwach małopolskim i podkarpackim dzień wcześniej, a w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim dzień później. Poniżej przedstawiono trajektorie wsteczne dla wybranych stacji z tych dni.



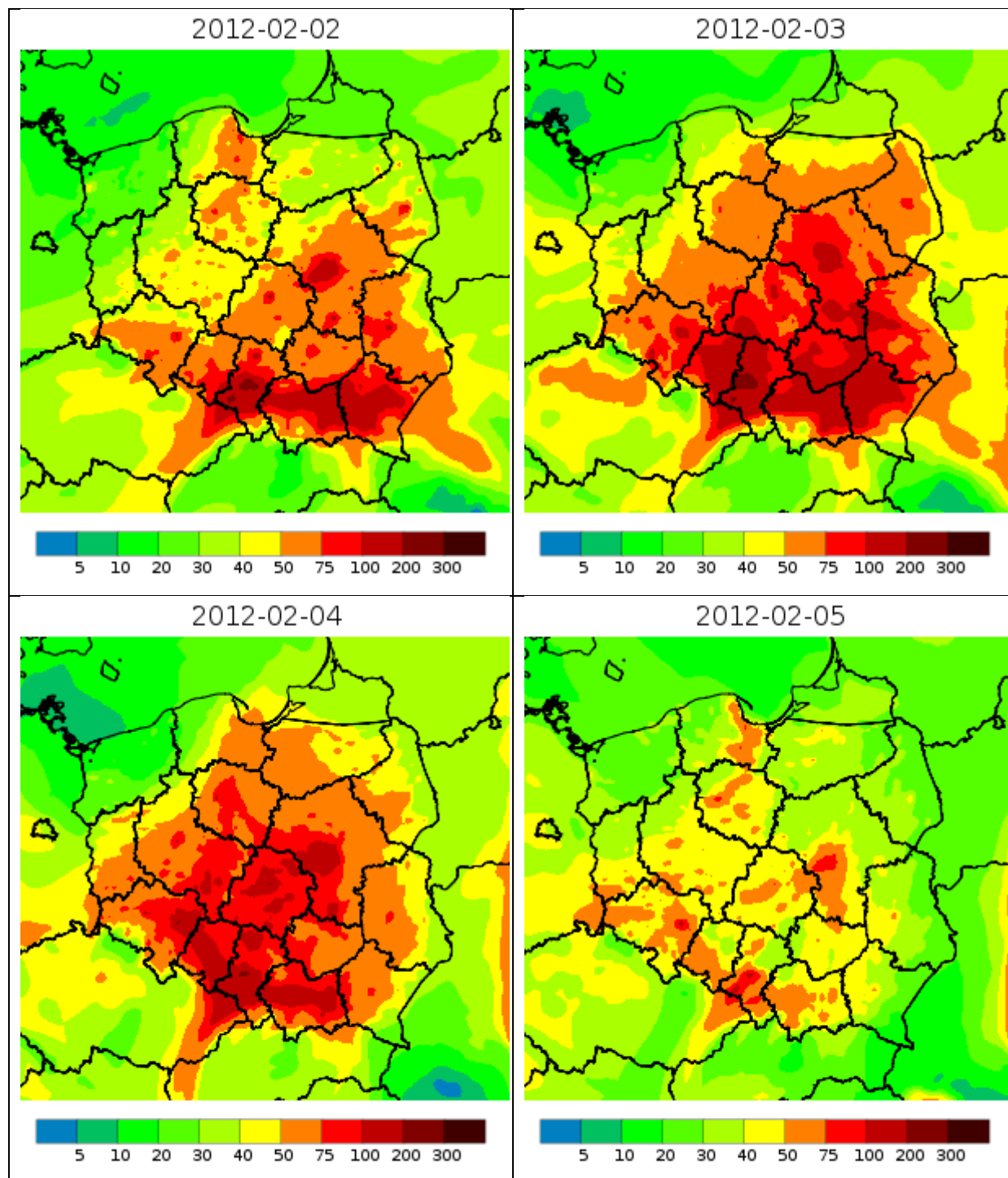
Rysunek 4-146 Trajektorie wsteczne dla 3.02.2012 dla stacji Nidzica i Elbląg

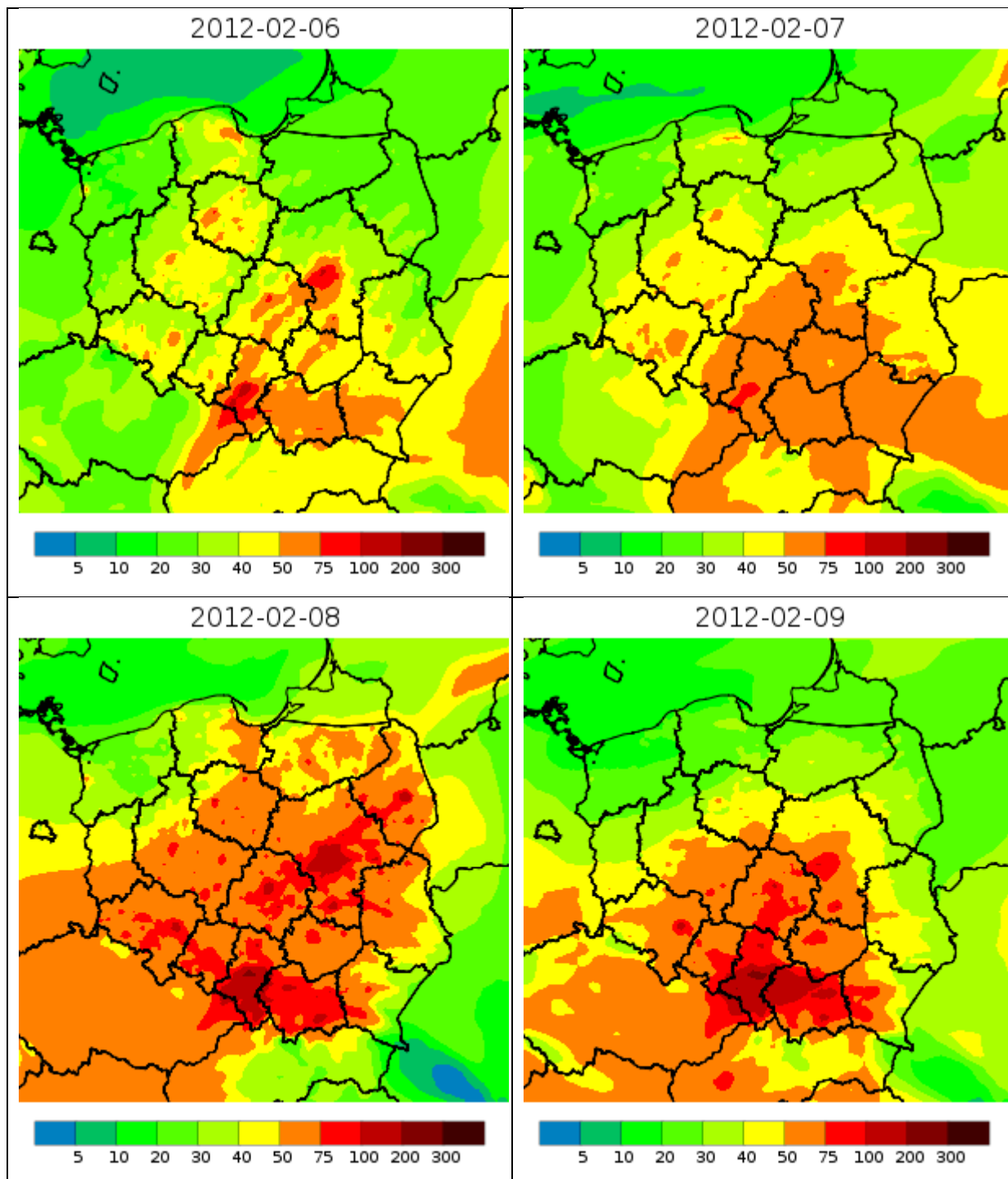
Trajektorie wsteczne dla 3.02.2012 dla stacji Nidzica ($153 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Elbląg ($109 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Zaprezentowany rozwój epizodu wykazuje odmienną przyczynę podwyższenia stężeń na stacjach dolnośląskich i lubuskich w dniu 4.02.2012 (głównie źródła lokalne) niż w dniach 2 i 3.02.2012 na stacjach małopolskich i warmińsko-mazurskich (prawdopodobny wpływ źródeł emisji zlokalizowanych na Ukrainie i/lub Białorusi) oraz 4.02.2012 na stacji w Szczecinku (prawdopodobny napływ z Estonii). Dnia 3.02.2011 trajektorie wsteczne podnosiły się stopniowo, osiągając po dwóch dobach wysokość około 400 m. Tylko przez

pierwszych kilka godzin pozostawały w obrębie warstwy mieszania. Wysokość warstwy zmieniała się w cyklu dobowym od poniżej 100 m w nocy do 300 m około południa.

4.5.1.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10



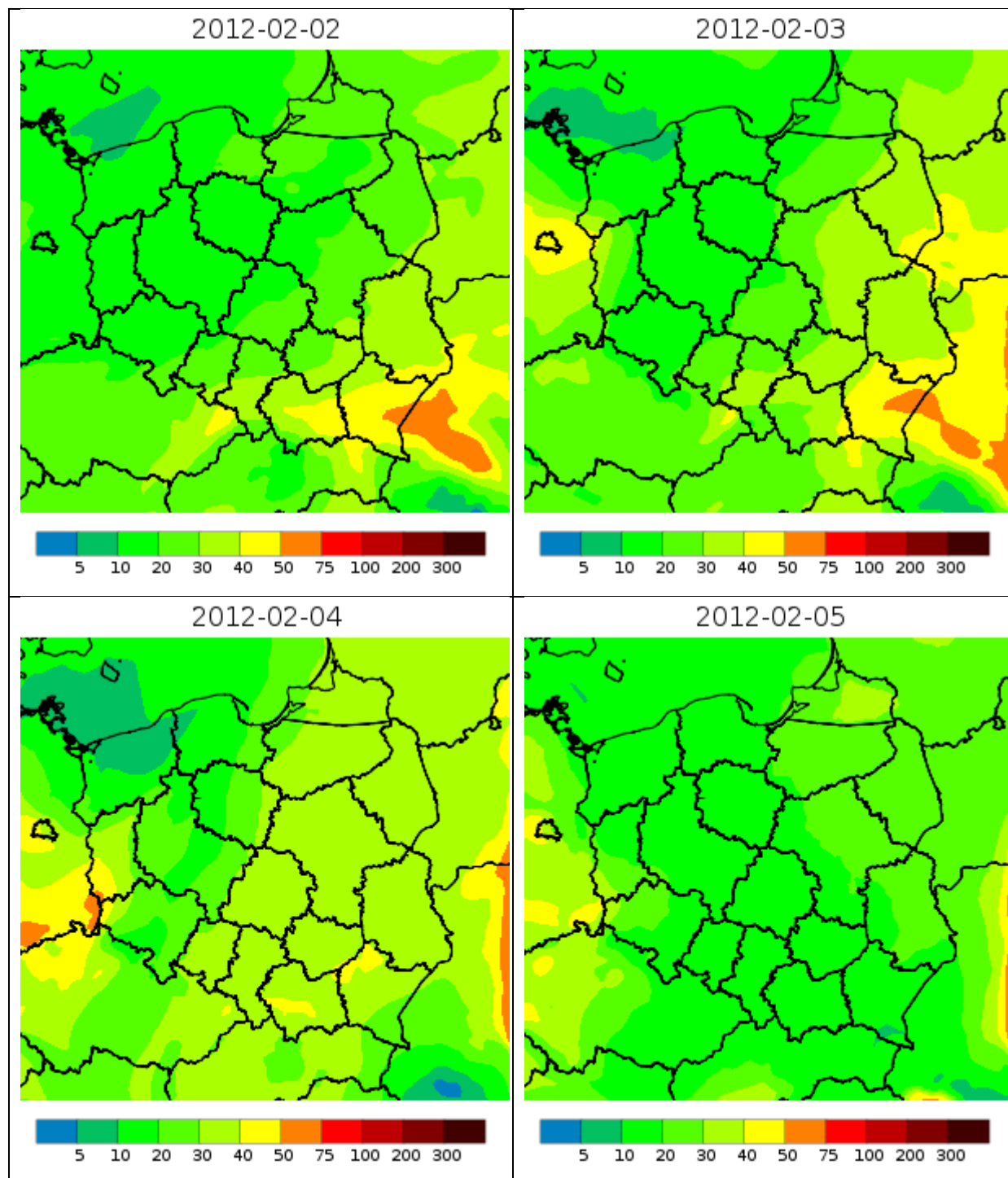


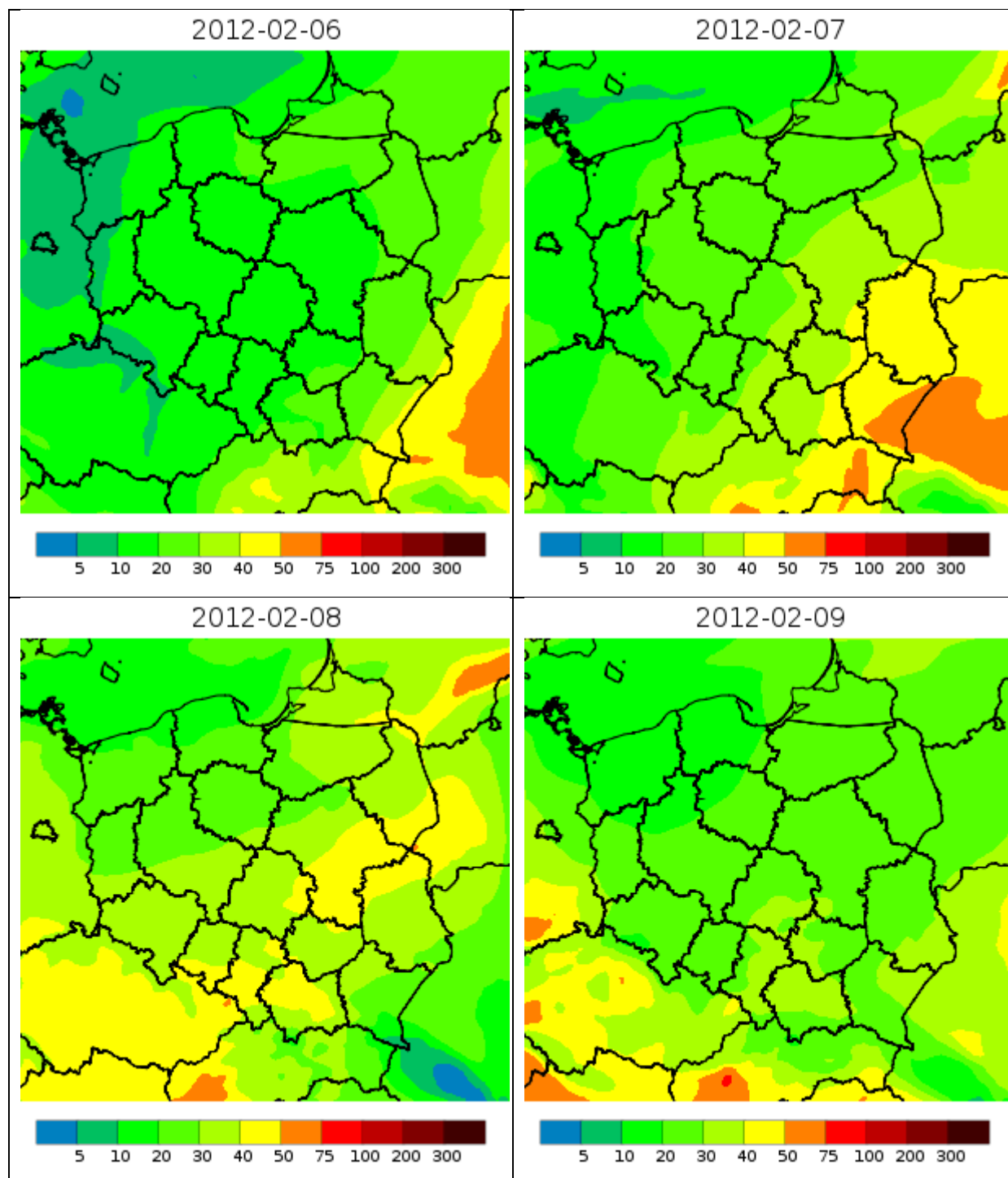
Rysunek 4-147 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 2-9.02.2012 r.

Epizod wysokich stężeń pyłu zawieszonego PM10 mający miejsce od 2-9.02.2012 r. maksymalny zasięg osiągnął 3 i 4 lutego. Objął on wówczas głównie województwa południowe, ale również świętokrzyskie, łódzkie, lubelskie oraz mazowieckie i wyniósł on około 90 tys. km². Wyniki modelowania nie wskazywały, aby na terenie województwa warmińsko-mazurskiego występowały bardzo wysokie stężenia ($>75 \mu\text{g}/\text{m}^3$), jednak już od 3 lutego większość województwa znajdowała się w zasięgu izolinii $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 8 lutego

wyraźnie zaznaczył się lokalny wpływ emisji z terenu Polski na wartości stężeń, szczególnie w dużych miastach i aglomeracjach.

B. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski

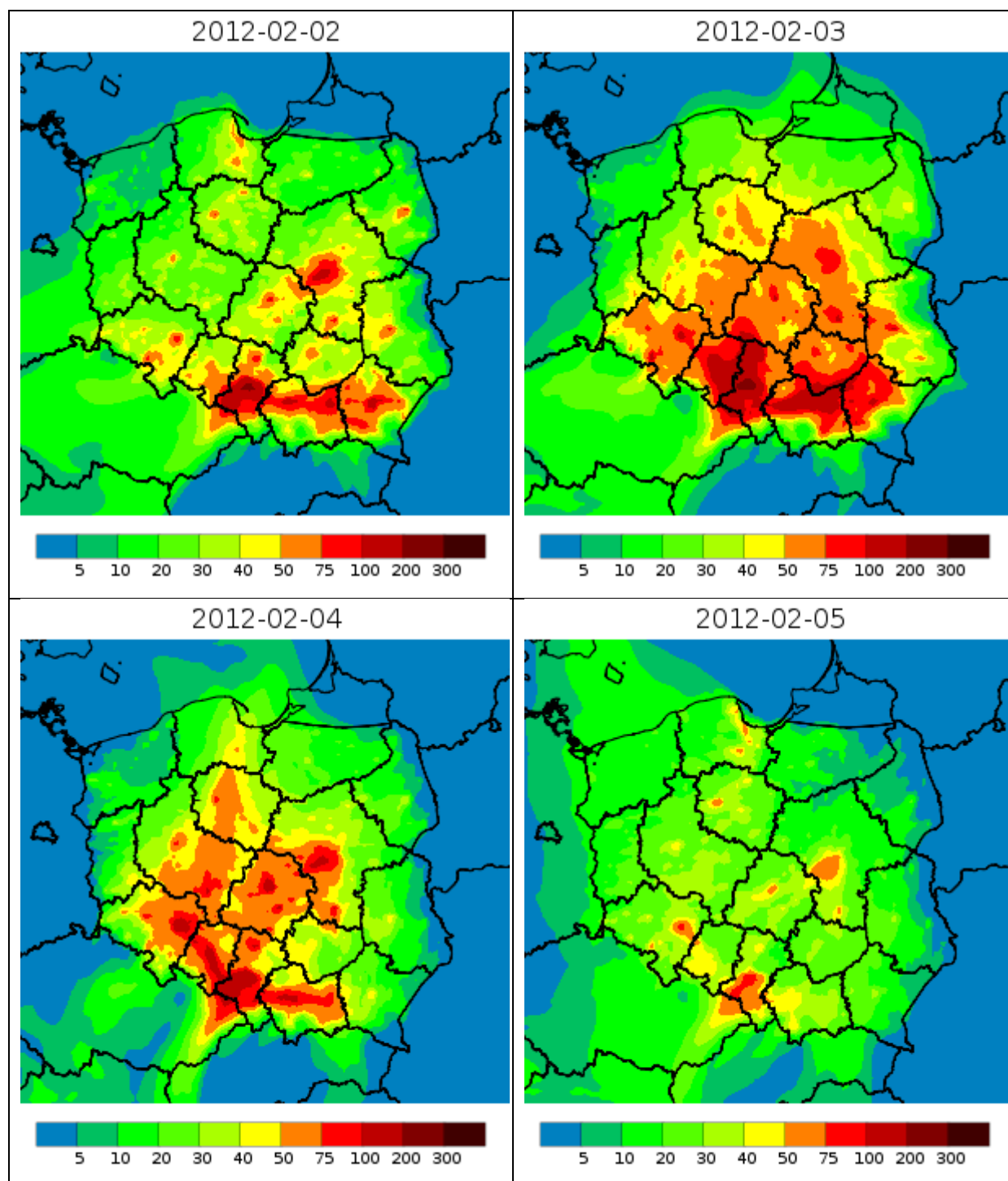


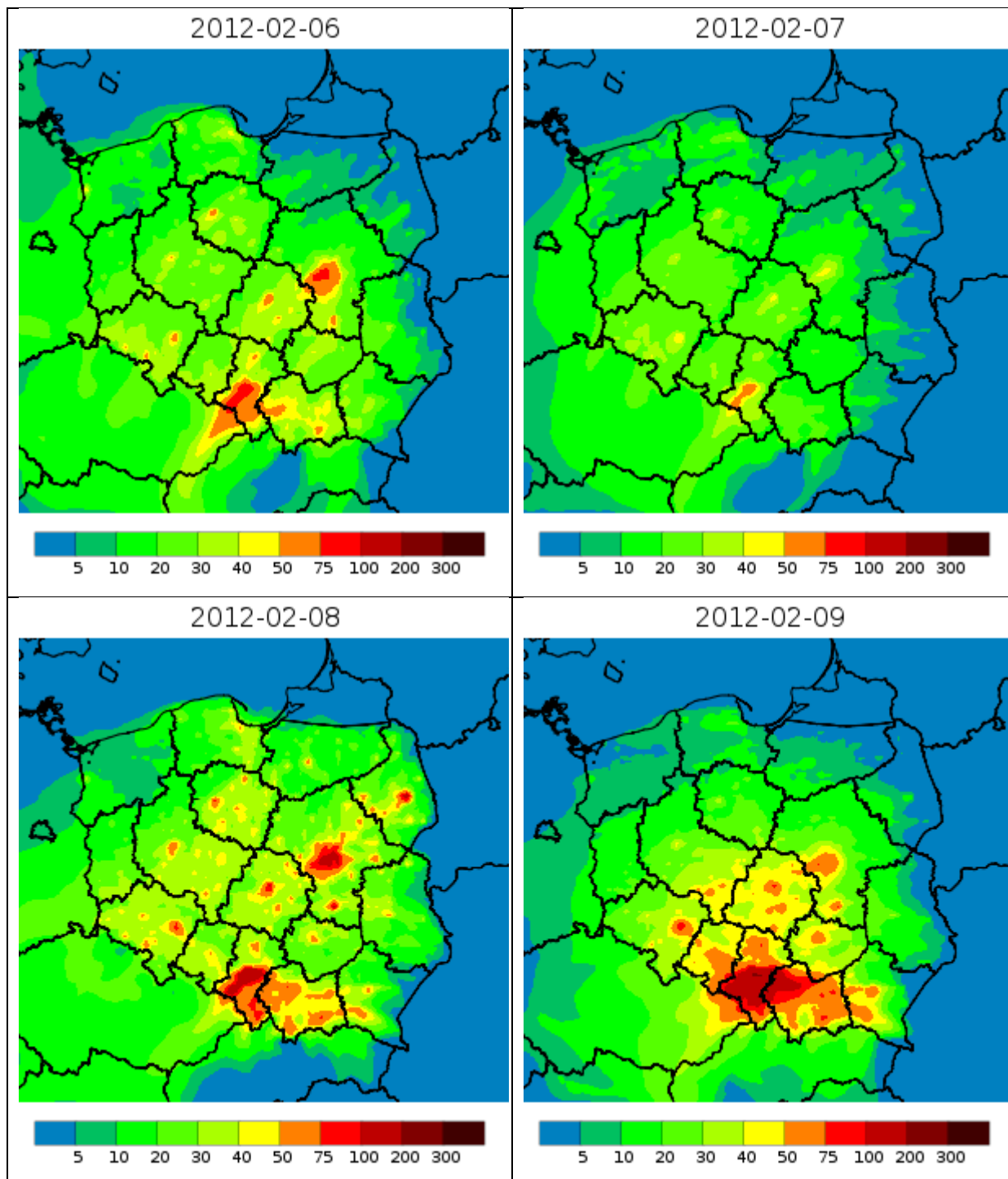


Rysunek 4-148 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 2-9.02.2012 r.

Napływ transgraniczny zanieczyszczeń na teren Polski w trakcie trwania epizodu wyraźnie zaznaczył się na terenie województwa podkarpackiego 2, 3 i 7 lutego i maksymalnie przekroczył 50 µg/m³. We wschodniej części Polski natomiast najwyższe stężenia z napływu transgranicznego wystąpiły 8 lutego i osiągnęły stężenia rzędu 40-50 µg/m³. 8 lutego napływ transgraniczny istotnie oddziaływał również w województwach: opolskim, śląskim oraz małopolskim.

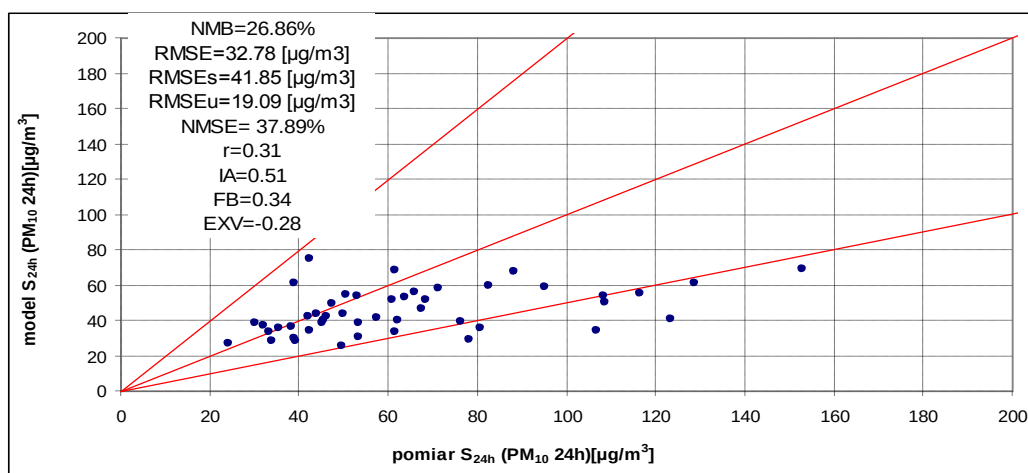
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





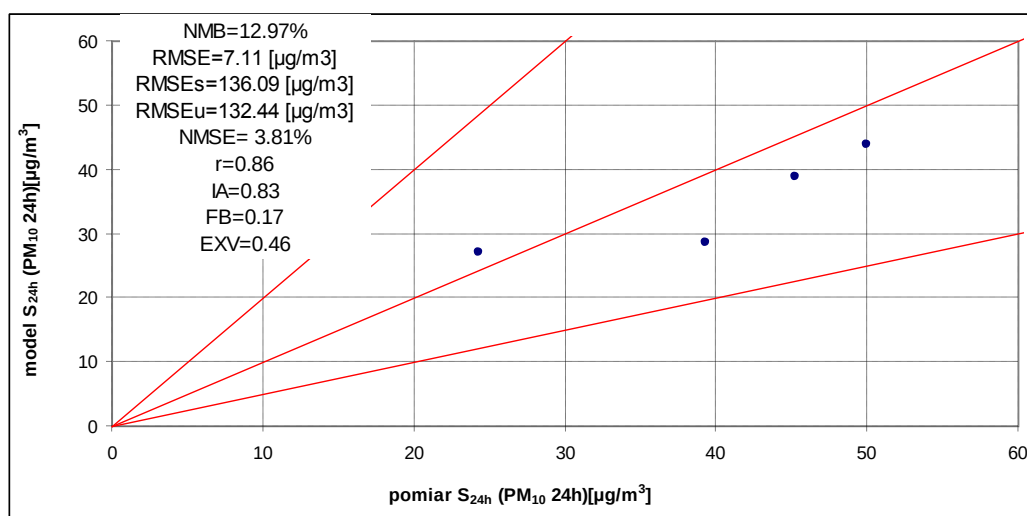
Rysunek 4-149 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 2-9.02.2012 r.

W większości terminów na maksymalne stężenia zanieczyszczeń występujące w trakcie trwania epizodu miała wpływ emisja lokalna, która szczególnie się zaznaczała w dużych miastach i aglomeracjach. Podczas gdy na początku trwania epizodu zanieczyszczenia przemieszczały się w kierunku północnym, to od 6 -7 lutego zmieniły kierunek przemieszczania się na południowo-zachodni, a 8 i 9 lutego praktycznie nie ulegały przenoszeniu.



Rysunek 4-150 Zależność modelowania względem pomiarów w województwie warmińsko-mazurskim w terminie 2.02.2012 - 9.02.2012r.

Miara błędu NMSE jest nieco poniżej 40%, czyli według niej wyniki modelowania są dobre, ale już NMB jest stosunkowo wysoki, a współczynnik korelacji wskazuje na niską korelację. Z kolei na podstawie analizy wykresu zależności modelowania względem pomiaru większość punktów znajduje się pomiędzy ramionami ograniczającymi obszar oznaczający poprawne modelowanie.



Rysunek 4-151 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwie warmińsko-mazurskim w terminie 2.02.2012 - 9.02.2012r.

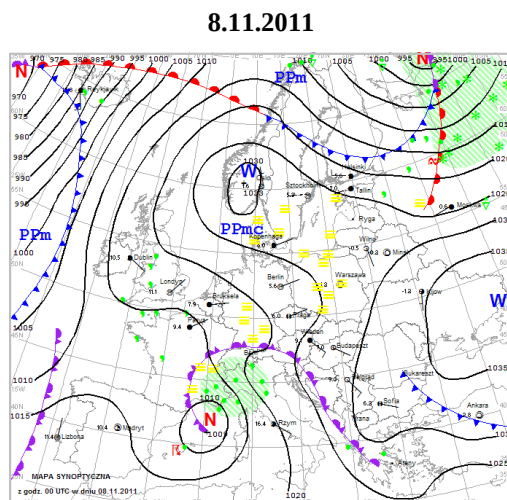
Po usunięciu z analizy pomiarów pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzących ze stacji pomiarowych o charakterze miejskim, pozostały jedynie wyniki ze stacji KM Puszcza Borecka. Błąd średni standardowy RMSE wskazuje, że model różni się od pomiarów średnio o 7 µg/m³. Znormalizowane odchylenie średnie (NMB) dla dobrego modelu jest mniejsze niż 10%, a dla analizowanego epizodu wyniosło ono ok. 13%. Z kolei rozrzut modelu, czyli NMSE, wynosi zaledwie 4%. Wszystkie rezultaty znajdują się pomiędzy przedziałem oznaczającym prawidłowe wyniki oszacowania.

4.6. Region 6 – polsko-niemiecki

4.6.1. Epizod 1 od 5 do 9 listopada 2011 r.

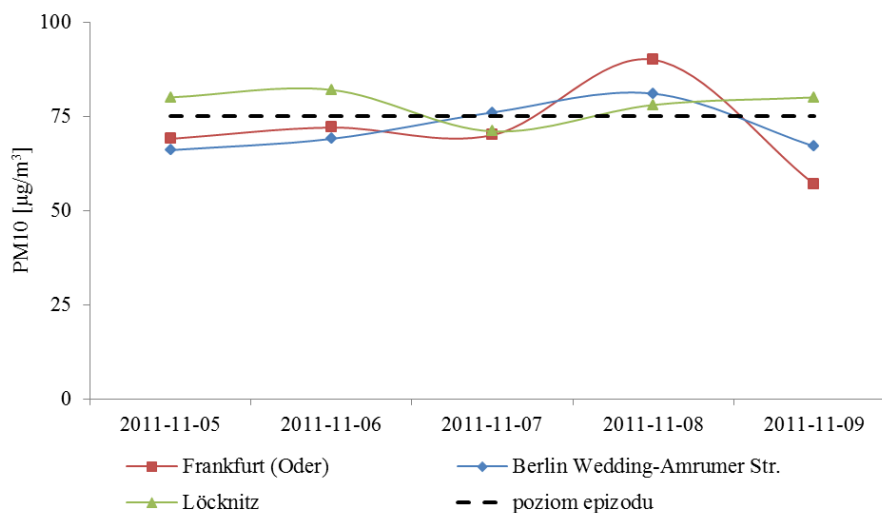
4.6.1.1. Sytuacja synoptyczna

W dniach 5-9.11.2011 obszar Polski znajdował się pod wpływem rozległego wyżu z centrum nad Europą wschodnią i południowo-wschodnią. Z południa i południowego zachodu nad kraj napływało ciepłe powietrze polarno-morskie (PPmc).



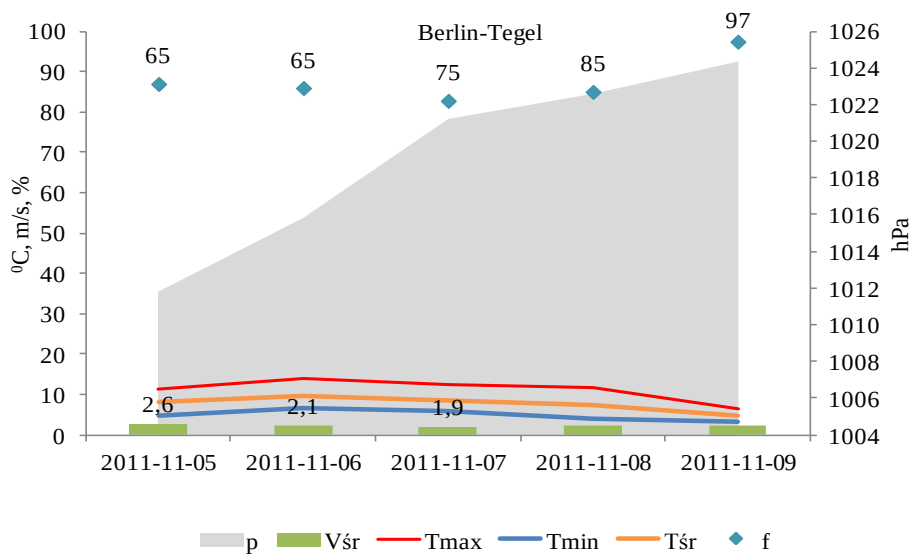
Rysunek 4-152 Mapa synoptyczna z dnia 8 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC

4.6.1.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne

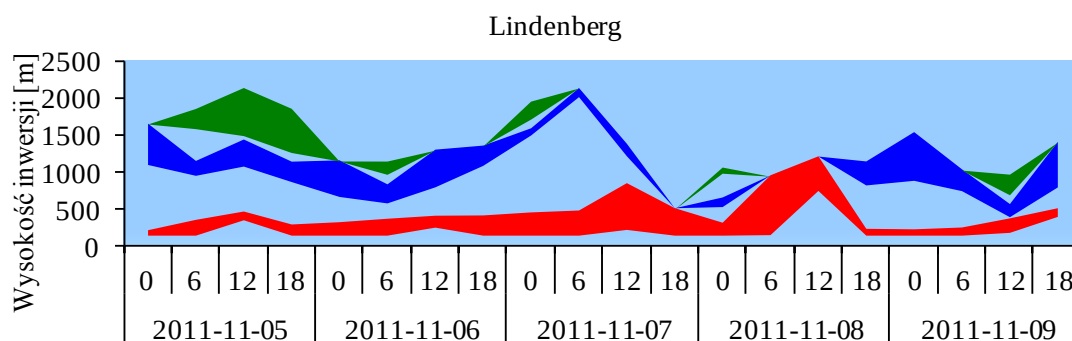


Rysunek 4-153 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

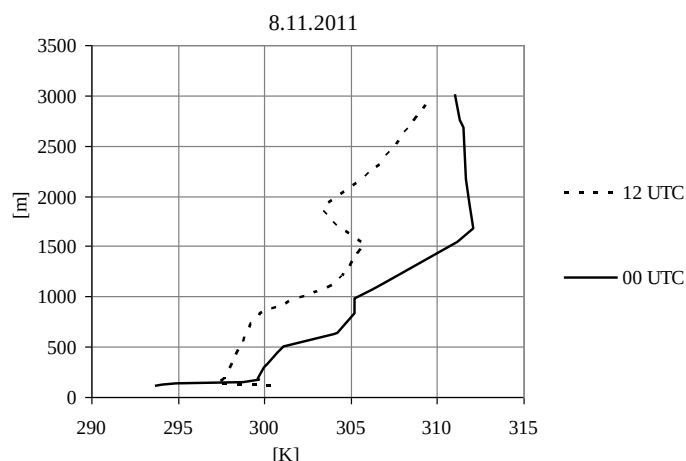


Rysunek 4-154 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f).



Rysunek 4-155 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

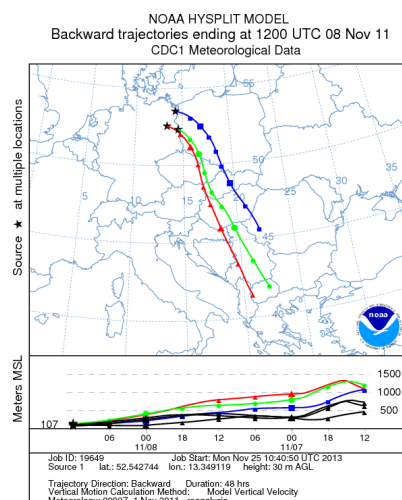
Sondaż aerologiczny wykonywany w dniach trwania omawianego epizodu wskazywał na występowanie nisko położonej warstwy inwersji wzniesionej, słabo ewoluującej w ciągu dnia. Brak jest informacji o występowaniu inwersji przyziemnej, choć niska prędkość wiatru i stosunkowo niska jak na początek listopada temperatura powietrza mogą sugerować powstawanie tego zjawiska w nocnej porze doby.



Rysunek 4-156 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.6.1.3. Trajektorie wsteczne

Maksymalne stężenia w czasie tego epizodu zanotowano we wschodnich Niemczech dnia 8.11.2011.

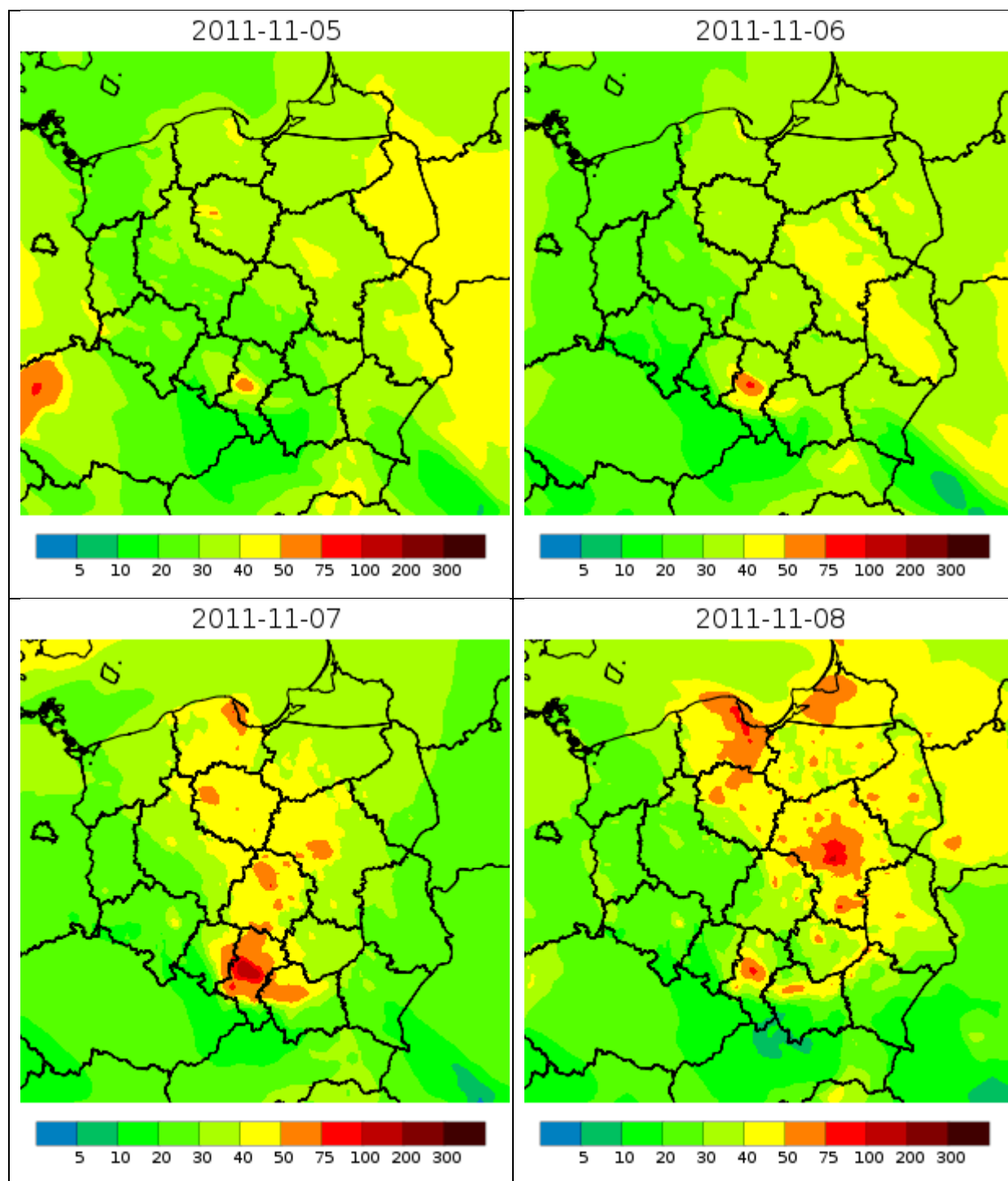


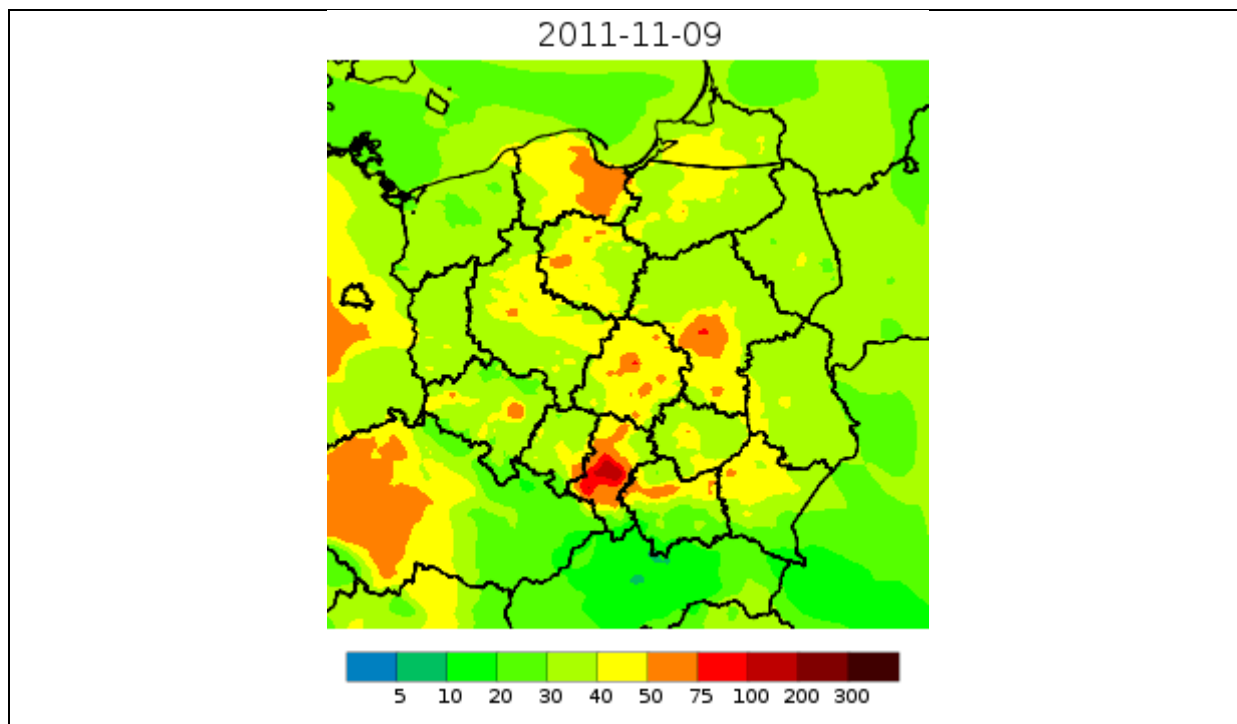
Rysunek 4-157 Trajektorie wsteczne dla Berlina, Locknitz i Frankfurtu nad Odrą dla 8.11.2011r.

Trajektorie wsteczne wykreślono dla wybranych stacji, dla których w danym dniu wystąpiło maksymalne stężenie PM₁₀ w czasie epizodu - Berlina (od 77 - 81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Locknitz (78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i Frankfurtu nad Odrą (90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Trajektorie wsteczne w czasie tego epizodu podnosiły się stopniowo, osiągając po dwóch dobach około 600 m, wychodząc jednocześnie poza obręb warstwy mieszania już po około 8 h. Wysokość warstwy mieszania w momencie startu trajektorii w Niemczech była, jak na godziny południowe bardzo niska - od 120 m w Berlinie do około 170 m we Frankfurcie i Locknitz. Jej wysokość wzdłuż trajektorii była także bardzo niska, zmieniając się tylko nieznacznie w rytmie dobowym - od 70 m w nocy do 130 w dzień. Zachowanie trajektorii wskazuje na dominujące oddziaływanie niskich źródeł lokalnych. Możliwy jest także wpływ odległych wysokich źródeł punktowych z Polski, Czech, Słowacji, Węgier, Rumunii, a nawet krajów bałkańskich.

4.6.1.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10

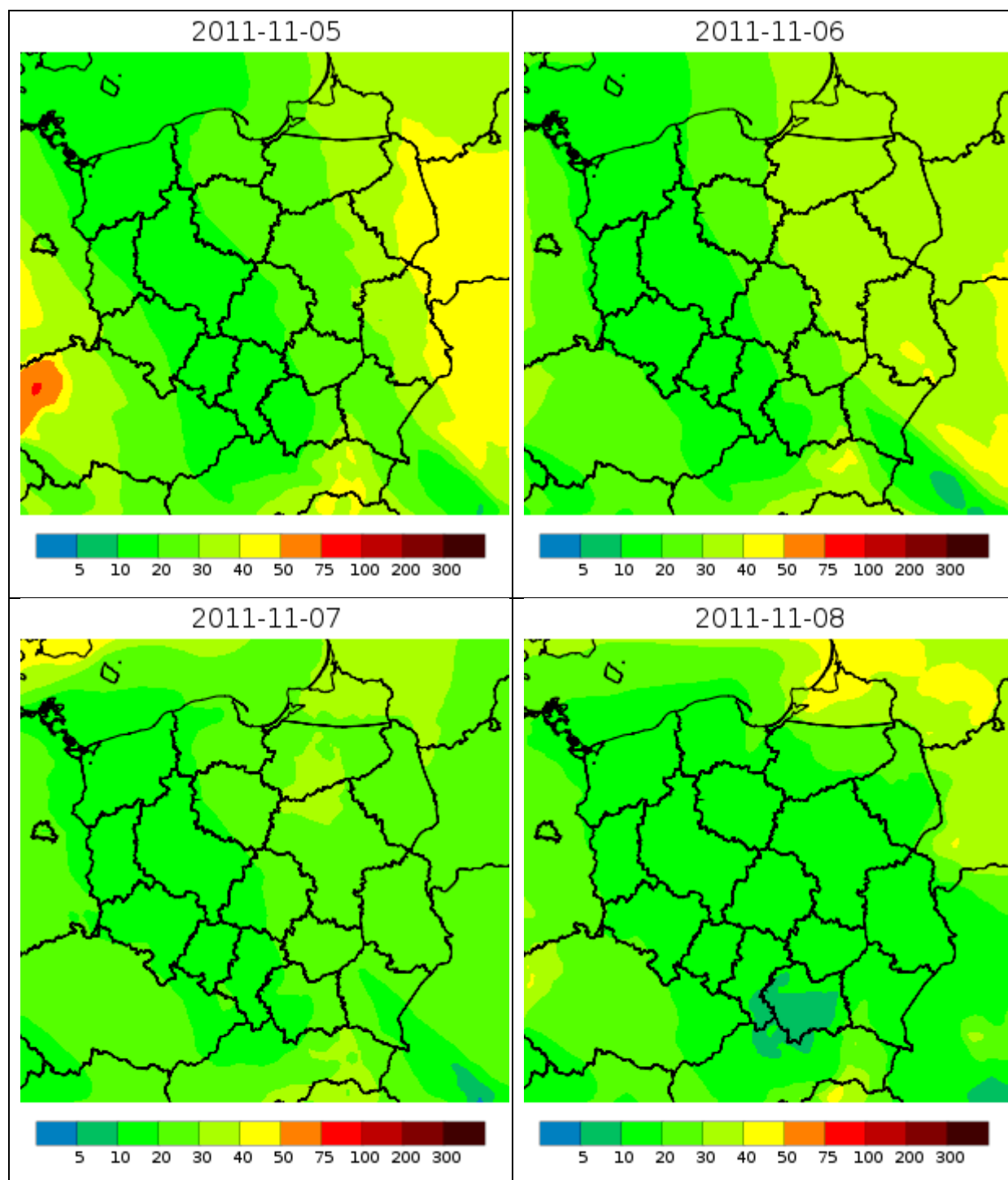


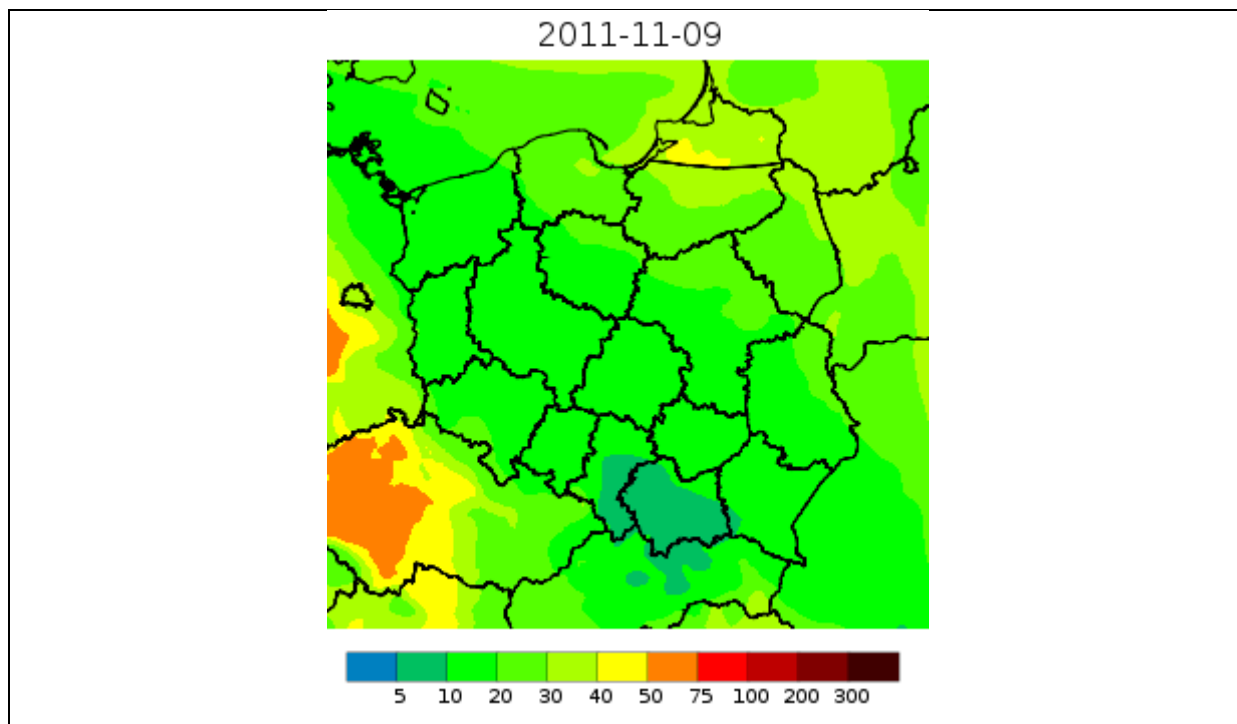


Rysunek 4-158 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 5-9.11.2011 r.

Modelowanie jakości powietrza wykonane dla epizodu od 5-9.11.2011 r. znacząco nie doszacowało stężeń pyłu zawieszonego PM10. Wartości powyżej $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ występowały jedynie na terenach miast i aglomeracji np. Aglomeracja Górnośląska, Aglomeracja Rybnicko-Jastrzębska czy Warszawska lub Trójmiejska i do nich to ograniczały się zasięgi epizodu. Wszystko to wskazywałoby raczej na lokalny charakter epizodu.

**B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego
na obszar Polski**

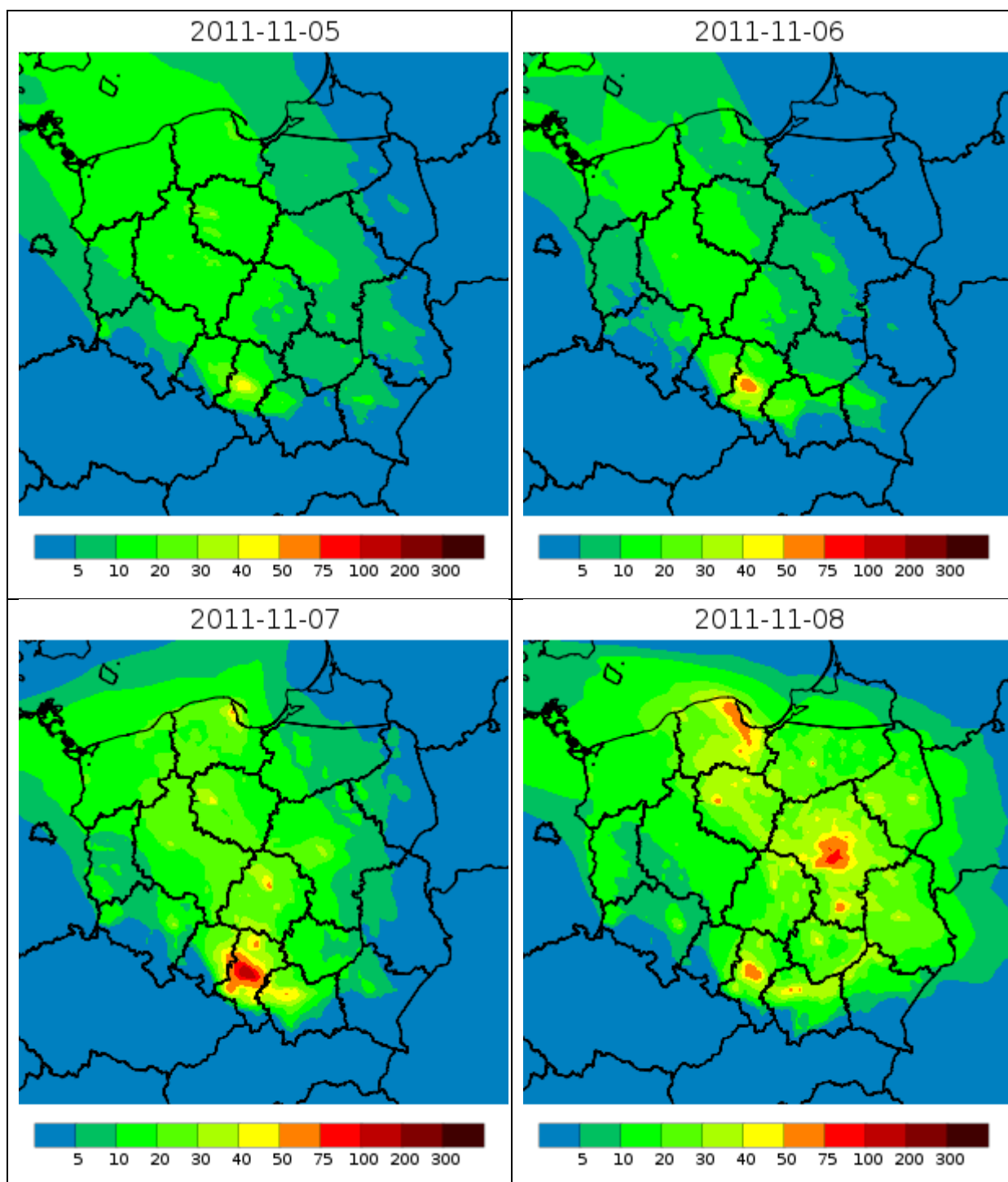


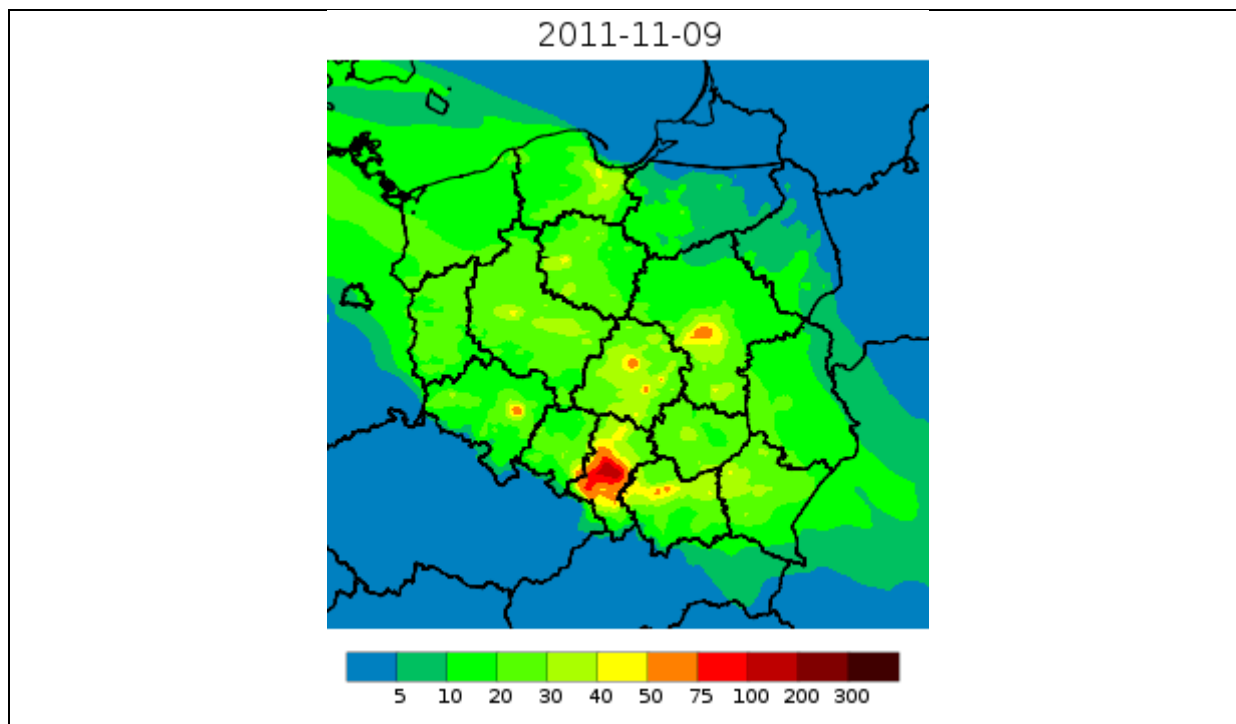


Rysunek 4-159 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 5-9.11.2011 r.

Napływ transgraniczny wyznaczony w ramach modelowania stężeń w trakcie trwania epizodu od 5-9.11.2011 r. był stosunkowo niski. Podwyższone stężenia (do około $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zaobserwowano 5.11 przy granicy wschodniej (województwo podlaskie i lubelskie) oraz 9.11 przy granicy północno wschodniej (województwo warmińsko-mazurskie).

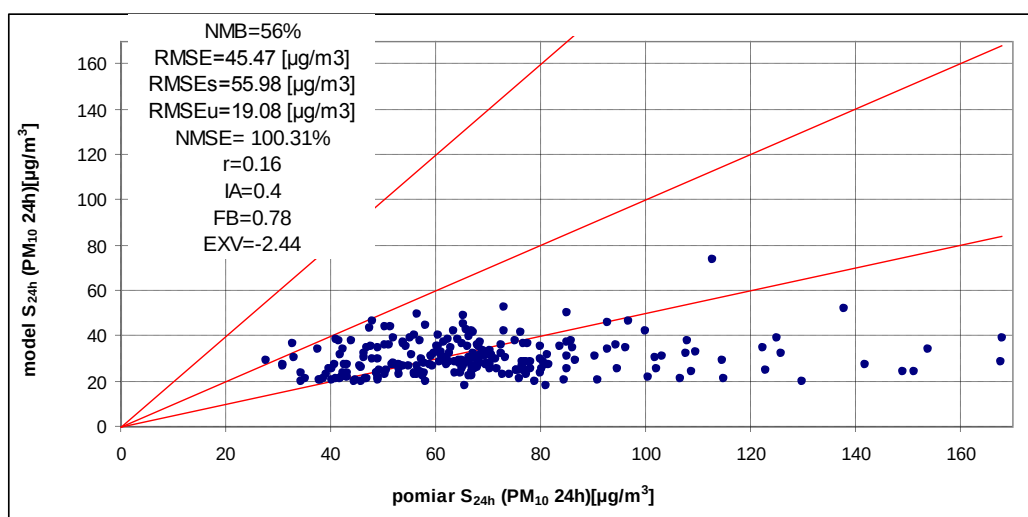
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





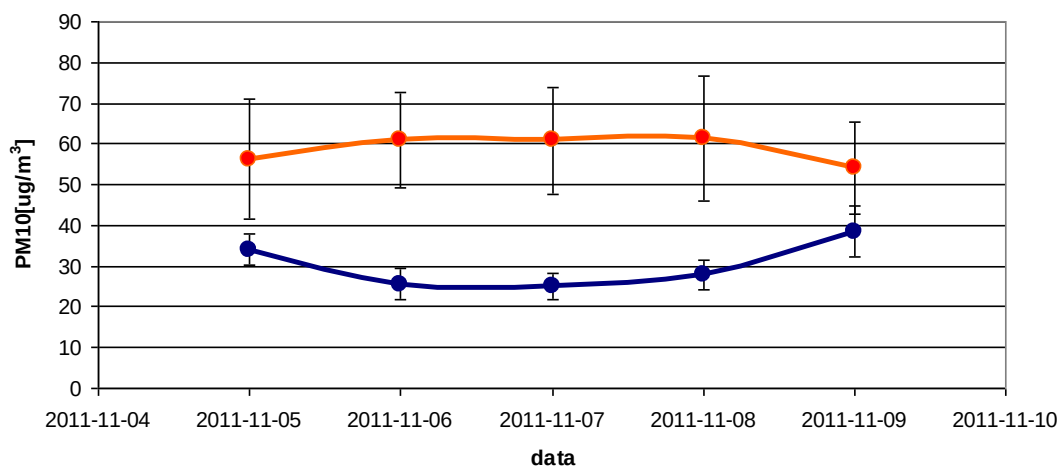
Rysunek 4-160 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 5-9.11.2011 r.

Stężenia pochodzące od emisji z terenu Polski podwyższone wartości wykazują jedynie na terenach większych miast i aglomeracji. Szczególnie odznacza się Aglomeracja Górnośląska oraz Warszawka. Odpływ zanieczyszczeń z terenu kraju następował w kierunku północno-zachodu.



Rysunek 4-161 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i landach graniczących z Polską i Niemcami w terminie 5.11.2011 - 9.11.2011r.

Błędy NMB i NMSE znacznie odbiegają od wartości określających dobrą jakość modelowania. Indeksy zgodności i korelacji także pokazują na słabą korelację. To wszystko

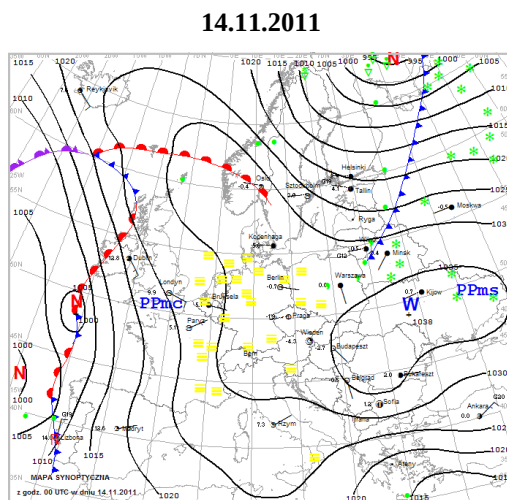


Rysunek 4-163 Średnie stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w terminie 5.11.2011 - 9.11.2011r.

4.6.2. Epizod 2 od 13 do 15 listopada 2011 r.

4.6.2.1. Sytuacja synoptyczna

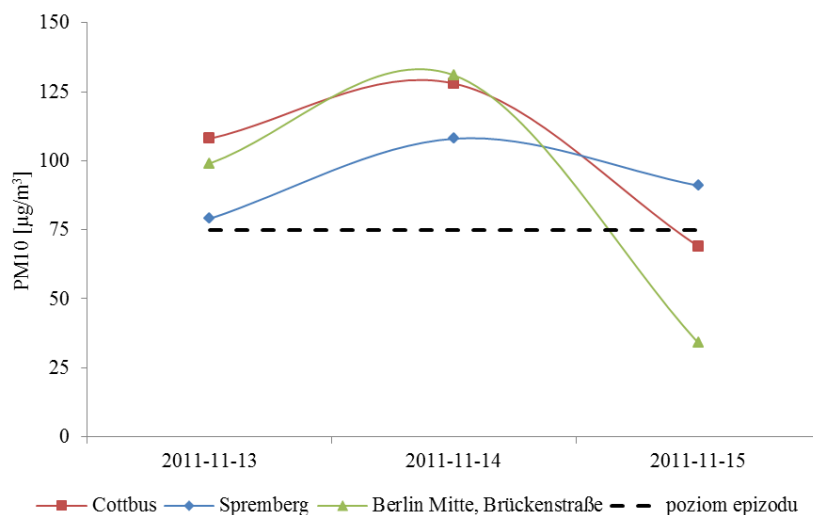
W dniach 13-15.11.2011 obszar Polski znajdował się pod wpływem rozległego wyżu z centrum nad Europą środkową. W tym okresie nad Polskę północno-wschodnią i wschodnią z kierunków północnych napływało powietrze pochodzenia arktycznego (PA), natomiast nad pozostałą część kraju z kierunków południowych napływało ciepłe powietrze polarno-morskie (PPmc).



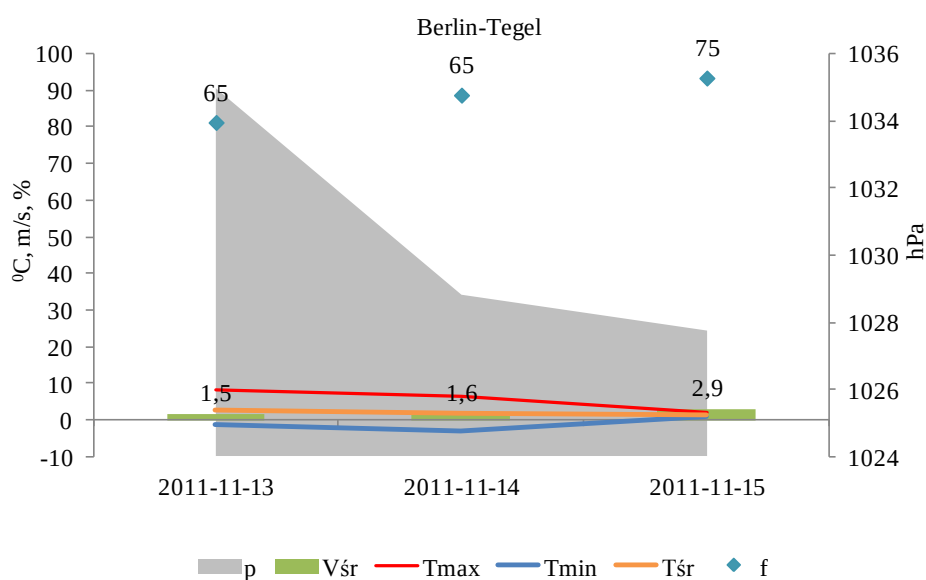
Rysunek 4-164 Mapa synoptyczna z dnia 14 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC

4.6.2.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne

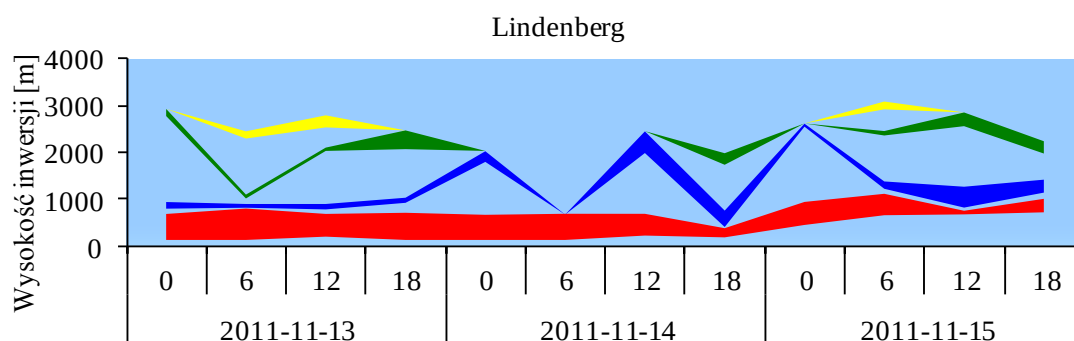
Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii



Rysunek 4-165 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10

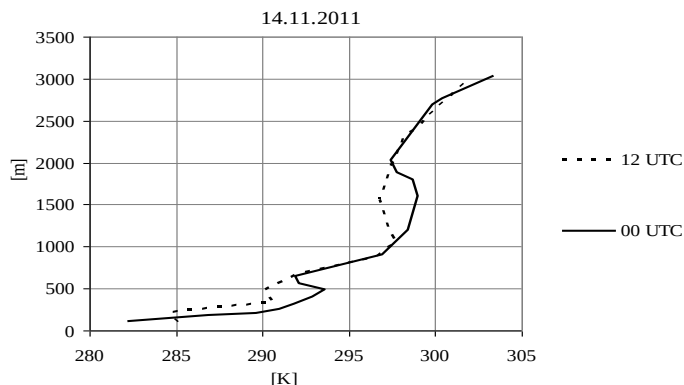


Rysunek 4-166 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vsr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-167 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

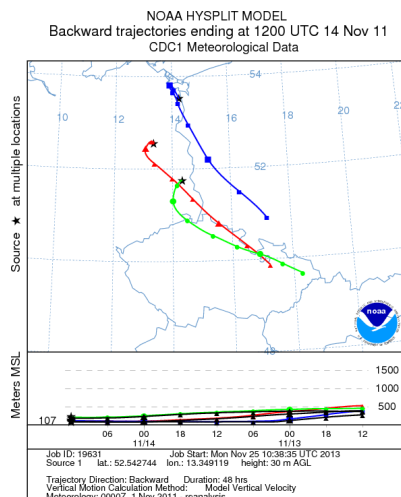
Podczas całego epizodu wysokość zalegania spągu inwersji wzniesionej była niezbyt duża (100 m), szczególnie w dniu kulminacji stężeń. Nie da się wykluczyć występowania w tym dniu całodobowej inwersji przyziemnej.



Rysunek 4-168 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.6.2.3. Trajektorie wsteczne

Maksymalne stężenia w czasie tego epizodu zanotowano we wschodnich Niemczech dnia 14.11.2011. Trajektorie wsteczne wykreślono dla wybranych stacji, dla których w danym dniu wystąpiło maksymalne stężenie PM₁₀ w czasie tego dnia - Berlina (od 99 - 131 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Locknitz (108 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i Cottbus (120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

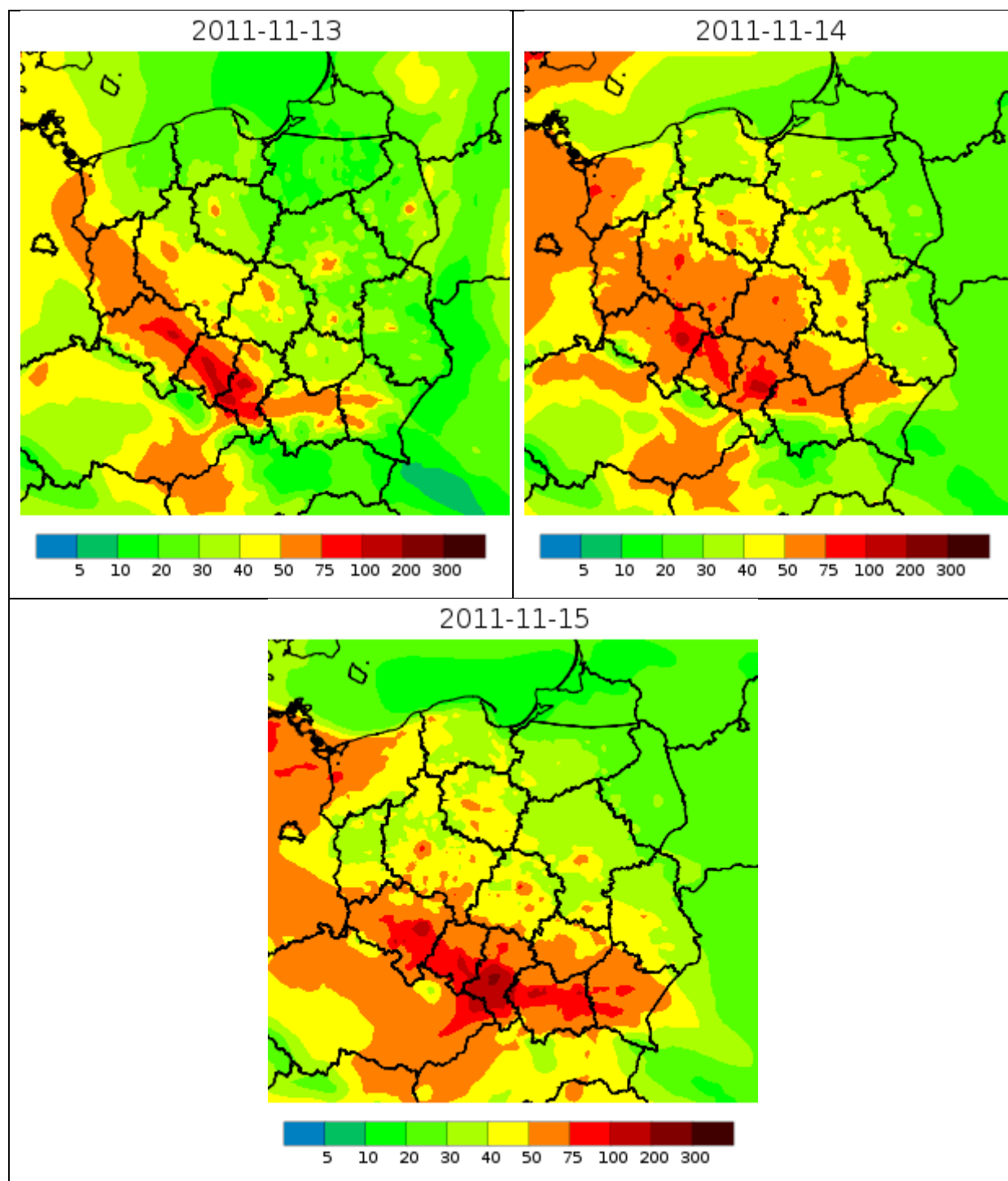


Rysunek 4-169 Trajektorie wsteczne dla Berlina, Cottbus i Locknitz w dniu 14.11.2011

Trajektorie wsteczne wykreślone dla tego dnia wskazują na bardzo niskie prędkości wiatru w miejscu startu trajektorii, na jej wysokości. Notowana jest także ekstremalnie niska głębokość mieszania o 12 UTC – tj. około od 70 m w Berlinie i Cottbus do 120 m w Locknitz. W nocy głębokość mieszania spada nawet do kilkunastu metrów. Trajektorie wsteczne przemieszczają się na bardzo niskiej wysokości niemal cały czas będąc w obrębie warstwy mieszania. Takie zachowanie trajektorii wskazuje na dominujące oddziaływanie niskich źródeł lokalnych.

4.6.2.4. Modelowanie stężeń pyłu PM₁₀ 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀

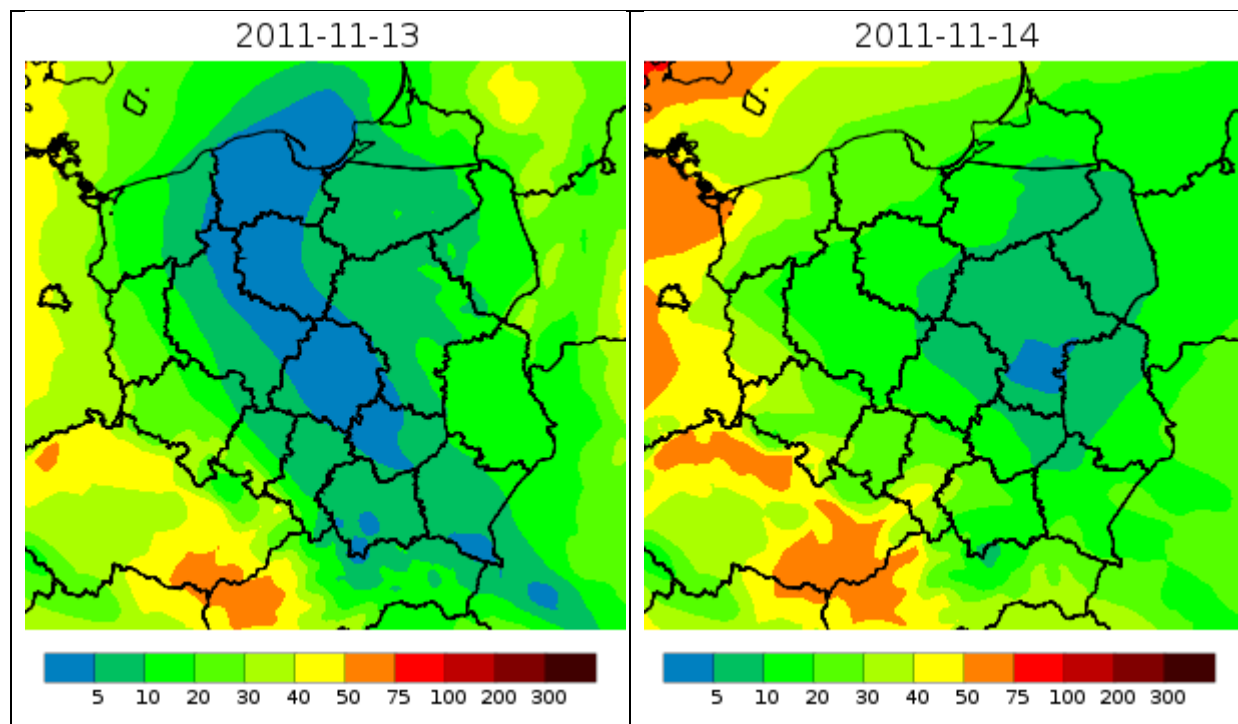


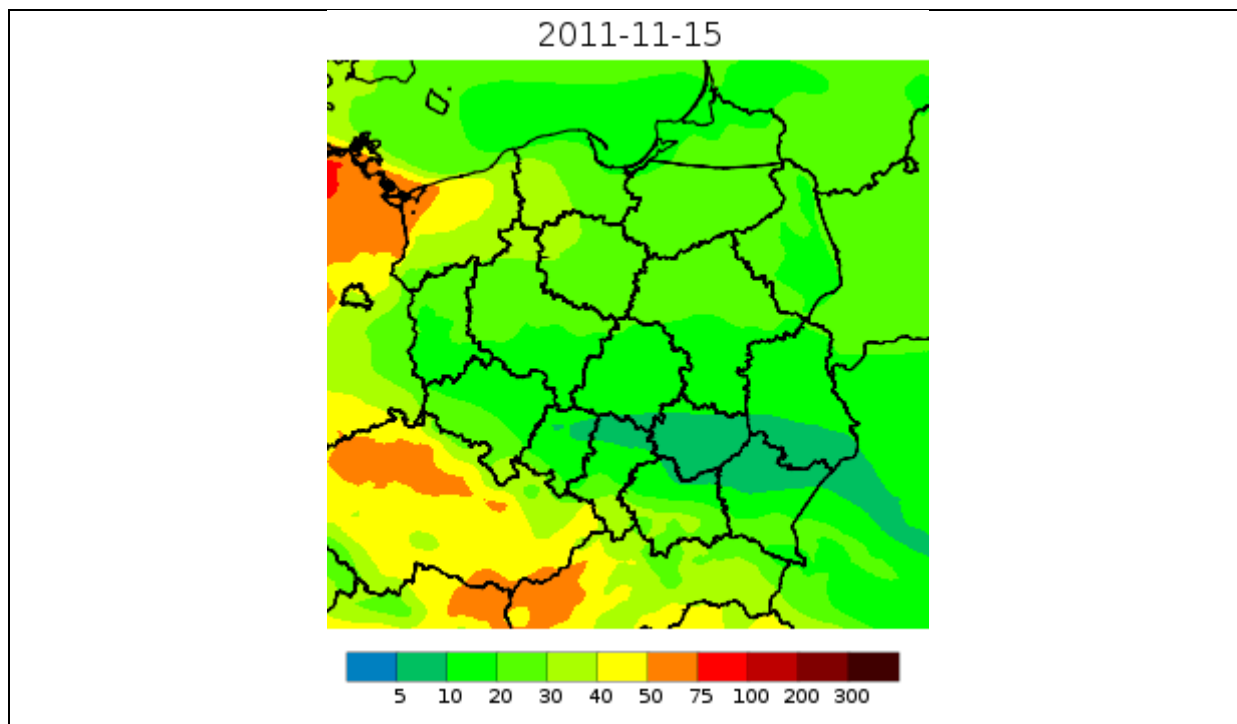
Rysunek 4-170 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] w trakcie trwania epizodu od 13-15.11.2011 r.

Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w dniach 13-15.11.2011 r. wyraźnie koncentrują się w południowej oraz w zachodniej części kraju. Równocześnie wyraźnie wyższe wartości

osiągają na terenach dużych miast oraz aglomeracji np. Szczecin, Wrocław, Katowice, Łódź, co wskazywałoby na lokalny charakter epizodu. Największe rozczłonowanie izolinii powyżej 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ miało miejsce 14 listopada, wówczas to powstało wiele małych obszarów z wartościami stężeń przekraczających zarówno wartość dopuszczalną – 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pyłu zawieszonego PM₁₀. Największy zasięg epizod osiągnął 15 listopada i wynosił on około 28 tys. km².

B. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski

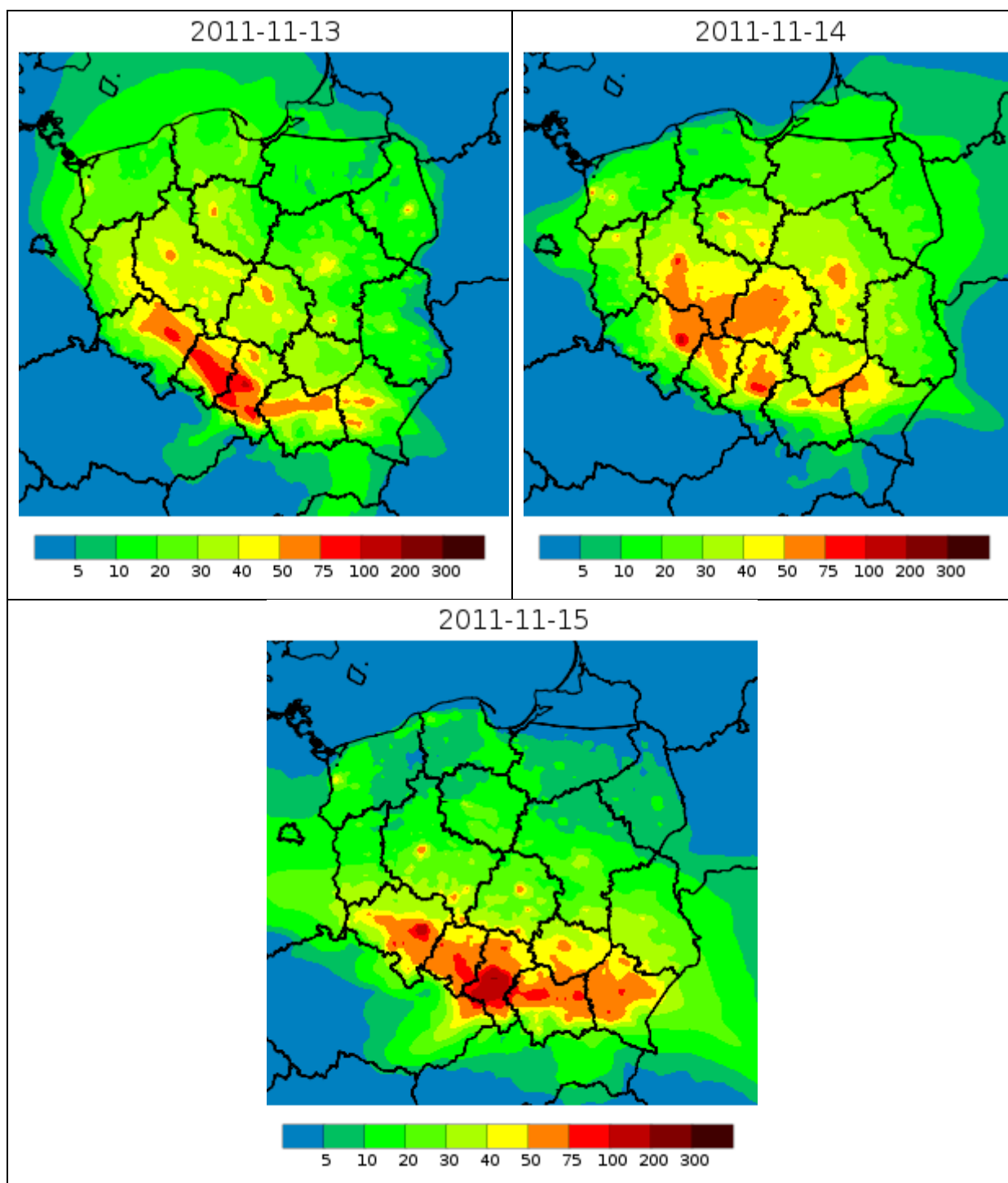




Rysunek 4-171 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 13-15.11.2011 r.

W trakcie trwania epizodu na większości obszaru Polski napływ transgraniczny nie przekraczał $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Największe wartości stężeń pochodzące z napływu transgranicznego wystąpiły 14 i 15 listopada przy granicy zachodniej i południowo-zachodniej Polski. W okolicach Szczecina i Świnoujścia napływ transgraniczny osiągał wartości nawet przekraczające $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

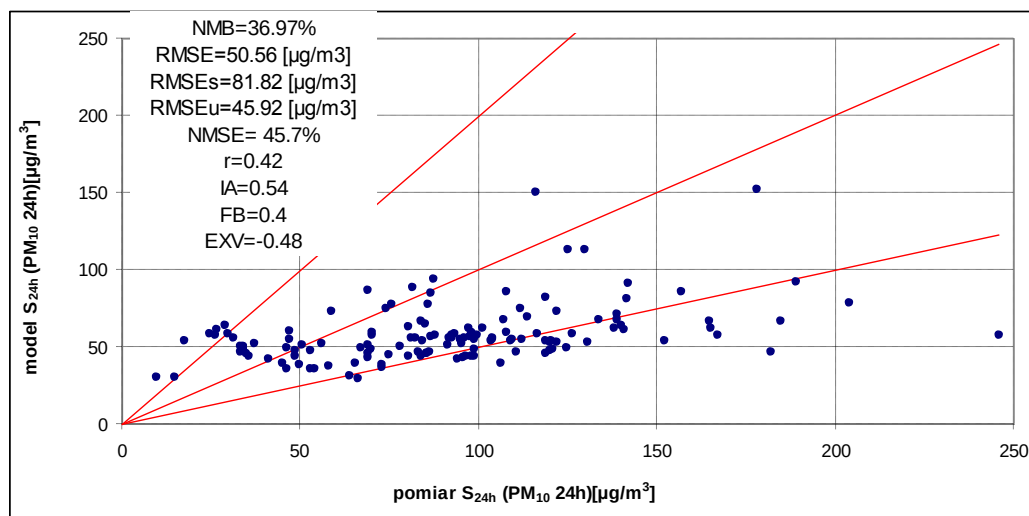
C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski



Rysunek 4-172 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 13-15.11.2011 r.

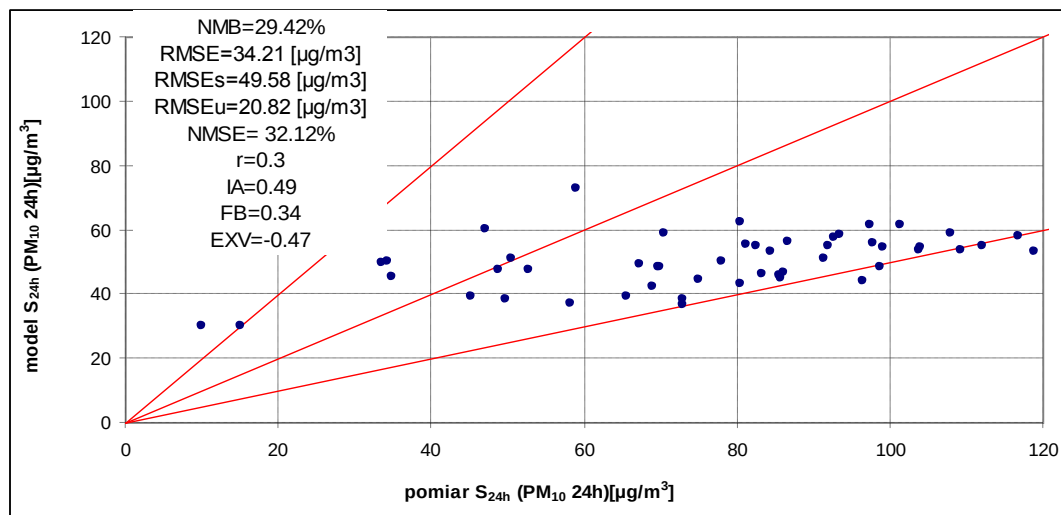
Najwyższe wartości stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące od emisji z terenu Polski wystąpiły na terenie Aglomeracji Górnośląskiej 15 listopada. Równocześnie wyraźnie

zaznacza się wpływ emisji lokalnej w dużych miastach i aglomeracjach, z nią to związane mogą być przede wszystkim przyczyny epizodu.



Rysunek 4-173 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i landach graniczących z Polską i Niemcami w terminie 13.11.2011 - 15.11.2011r.

Dla tego epizodu modelowanie wskazuje zdecydowanie lepszą zgodność z pomiarami. Miary błędów są zbliżone do wartości oznaczających dobrą jakość modelowania. Także współczynniki korelacji i zgodności oznaczają istotną zależność.



Rysunek 4-174 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich województwach i landach graniczących z Polską i Niemcami w terminie 13.11.2011 - 15.11.2011r.

Po usunięciu z dalszej analizy stacji o charakterze miejskim, pozostały pomiary pyłu zawieszonego PM₁₀ z 4 stacji z terenu Polski i 16 z Niemiec. Jako prawidłowe można uznać 80% wyników, pozostałe 20% rozkłada się równomiernie pomiędzy przeszacowaniem i niedoszacowaniem modelu względem pomiarów.

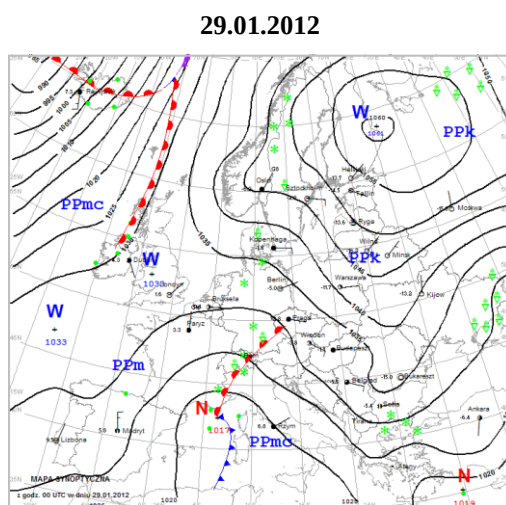
Błędy określające zależność pomiędzy rezultatami pomiarów i modelowania pogorszyły się w stosunku do poprzedniej analizy, gdy rozpatrywano wszystkie stacje.

Pozostałe statystyki, takie jak NMB, RMSE i NMSE uległy poprawie. Model różni się od pomiarów średnio o $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a jego rozrzut wynosi ok. 32%, co mieści się w granicach określających dobry model.

4.6.3. Epizod 3 od 28 do 29 stycznia 2012 r.

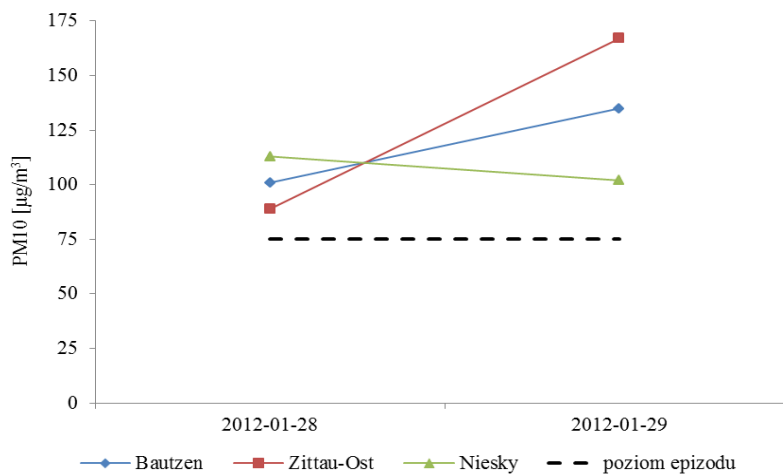
4.6.3.1. Sytuacja synoptyczna

W dniach 28-29.01.2012 na obszar Polski oddziaływał rozległy wyż z centrum nad północną Rosją. Z północnego wschodu napływała masa mroźnego i suchego powietrza polarno-kontynentalnego (PPk).



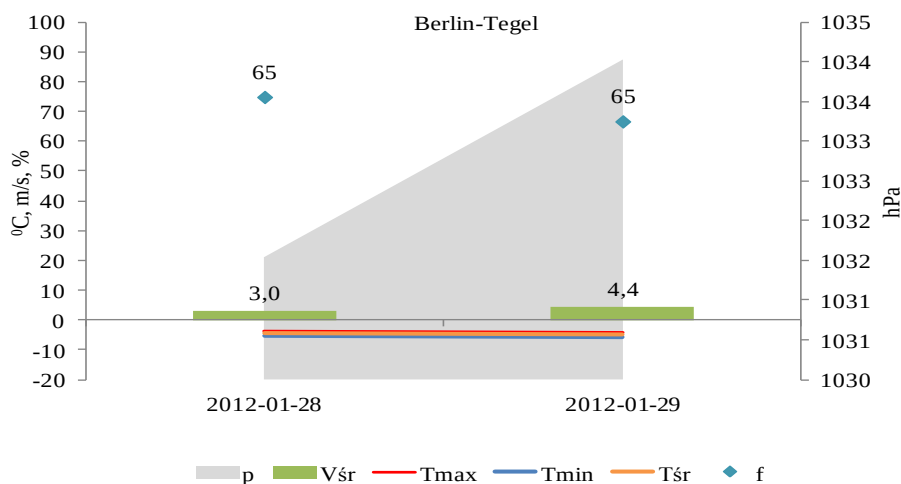
Rysunek 4-175 Mapa synoptyczna z dnia 29 stycznia 2012 roku, godzina 0 UTC

4.6.3.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne

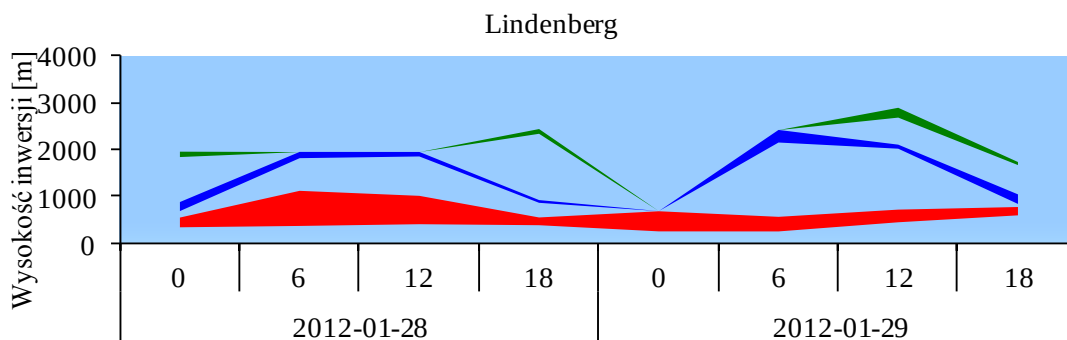


Rysunek 4-176 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

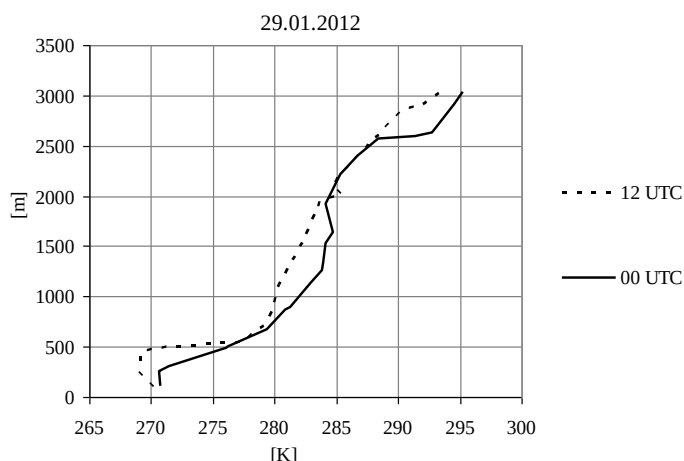


Rysunek 4-177 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-178 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

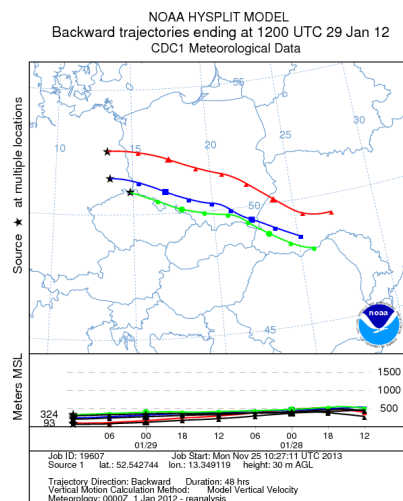
Podczas trwania epizodu nie obserwuje się typowego dla doby przebiegu wysokości zalegania inwersji wzniesionej. Jest ona położona niezmiennie na wysokości około 200 m. Stosunkowo wysoka prędkość wiatru przyziemnego wyklucza natomiast powstawanie inwersji przyziemnej.



Rysunek 4-179 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.6.3.3. Trajektorie wsteczne

Maksymalne stężenia w czasie tego epizodu zanotowano we wschodnich Niemczech dnia 29.01.2012.

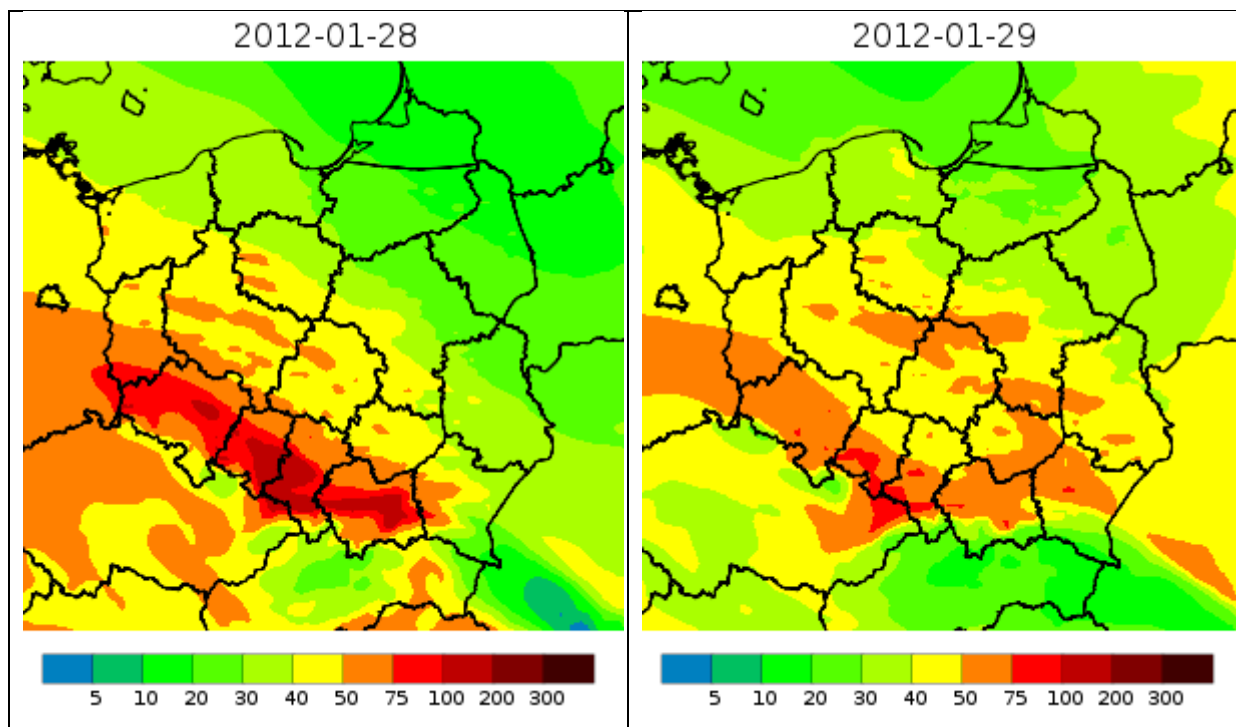


Rysunek 4-180 Trajektorie wsteczne dla Berlina, Zittau i Elsterweldy w dniu 29.01.2012

Trajektorie wsteczne wykreślono dla wybranych stacji, dla których w danym dniu wystąpiło maksymalne stężenie PM₁₀ w czasie tego dnia - Berlin (83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Zittau (167 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i Elsterwerdy (109 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). W czasie tego epizodu notowano ekstremalnie niskie wysokości mieszania. Nawet o 12 UTC, kiedy wysokość mieszania powinna być bliska maksymalnej notowano jej wysokość od około 80 m w Berlinie i Zittau do 100m w Elsterwerdzie i utrzymuje się na wysokości poniżej 100 m na całym obszarze penetrowanym przez trajektorie. Trajektorie wsteczne przemieszczają się na niskiej wysokości, tylko nieznacznie się wznosząc, niemal cały czas będąc w obrębie warstwy mieszania. Takie zachowanie warstwy mieszania wskazuje na dominujące oddziaływanie niskich źródeł lokalnych.

4.6.3.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

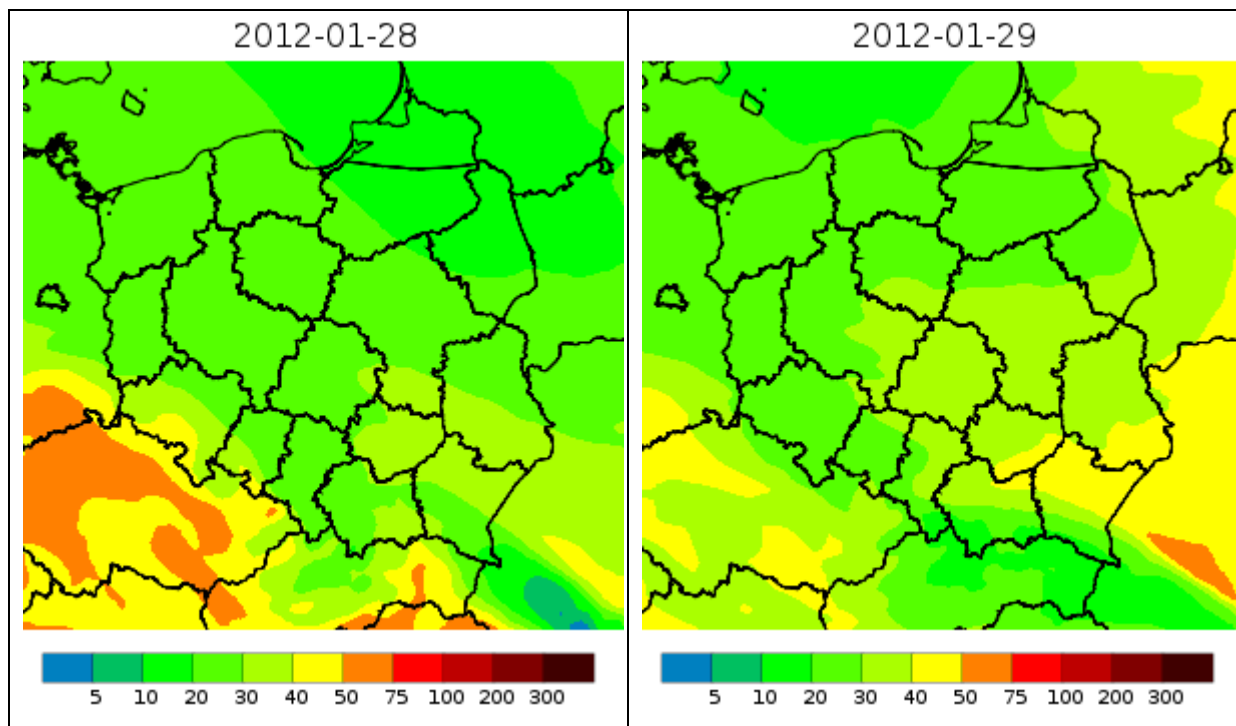
A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10



Rysunek 4-181 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 28-29.01.2012 r.

Epizod 28-29.01.2012 r. swoim zasięgiem obejmował Polskę południowo-zachodnią oraz południową, rozciągając się od granicy z Niemcami aż po województwo małopolskie. Maksymalny zasięg (32 tys. km^2) oraz stężenia wystąpiły 28 stycznia. Równocześnie praktycznie na znacznych obszarach centralnej Polski mieliśmy do czynienia z przekroczeniami wartości dopuszczalnej stężeń pyłu zawieszonego PM10 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

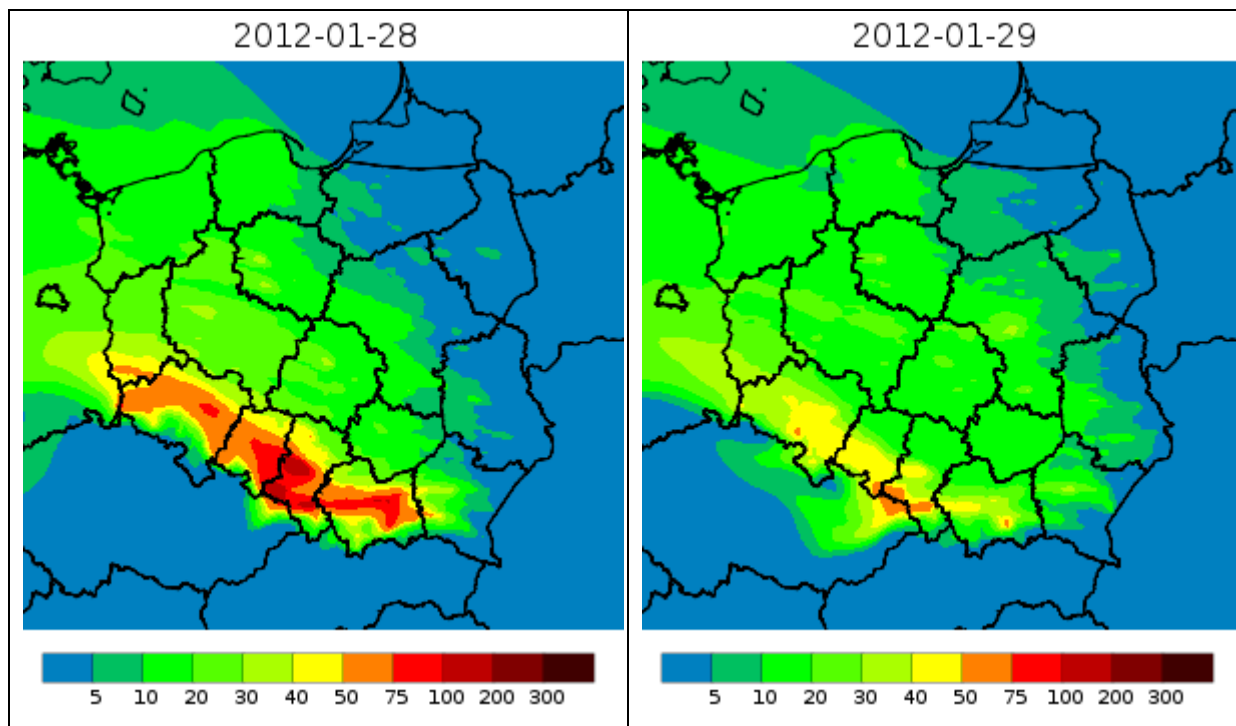
B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski



Rysunek 4-182 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 28- 29.01.2012 r.

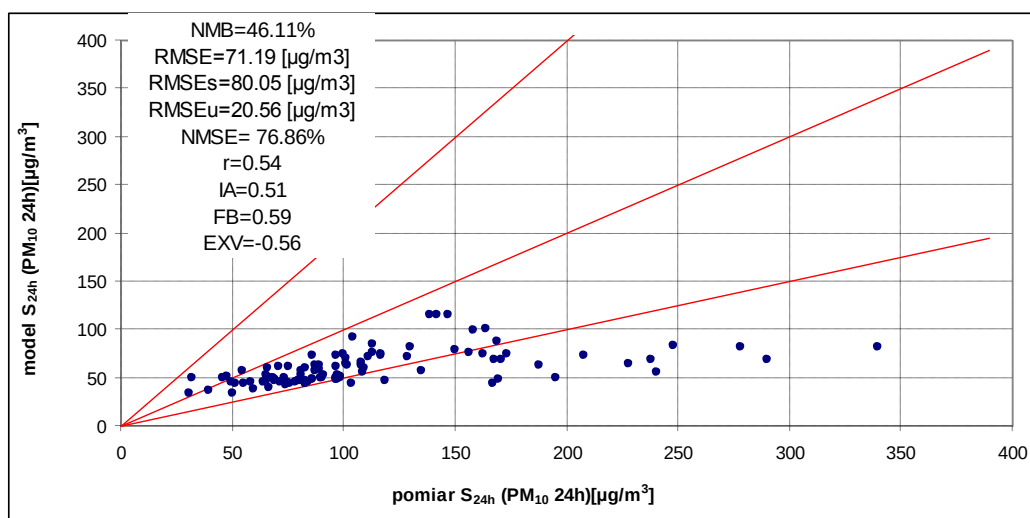
Napływ transgraniczny w trakcie trwania epizodu na terenie Polski osiągał wartości od 20 - 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 29 stycznia wyraźnie koncentrował się przy południowo-zachodniej granicy, województwa dolnośląskie i opolskie. Następnego dnia wyraźnie wyższe wartości osiągał przy południowo-wschodniej granicy, województwo podkarpackie.

C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski



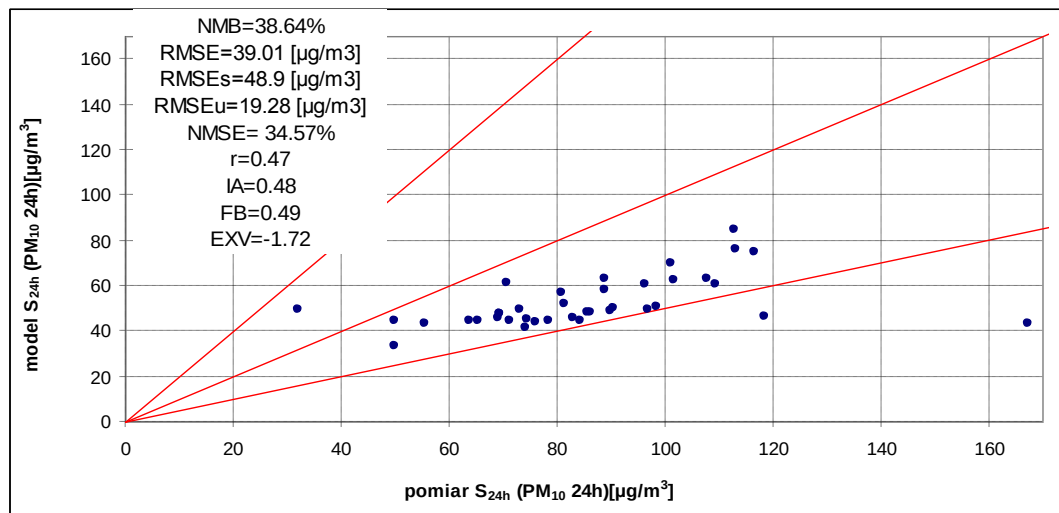
Rysunek 4-183 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 28- 29.01.2012 r.

Powyższe rysunki potwierdzają lokalny charakter epizodu. Wysokie stężenia generowane były 29 stycznia na terenie Aglomeracji Górnośląskiej, Rybnicko-Jastrzębskiej, Wrocławskiej oraz Krakowskiej. Przepływ zanieczyszczeń następował w kierunku zachodnim, jednakże maksymalne stężenia na terenie Niemiec nie przekraczały $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Rysunek 4-184 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i landach graniczących z Polską i Niemcami w terminie 28.01.2012 - 29.01.2012r.

Pomimo wysokich współczynników korelacji i zgodności pozostałe miary błędów są stosunkowo wysokie. Na wykresie zależności modelowania względem pomiarów widać niedoszacowanie modelowania względem pomiarów dla stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ dla wartości powyżej 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Rysunek 4-185 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich województwach i landach graniczących z Polską i Niemcami w terminie 28.01.2012 - 29.01.2012r.

Po usunięciu z dalszej analizy stacji o charakterze miejskim, pozostały pomiary pyłu zawieszonego PM₁₀ z dwóch stacji z terenu Polski i szesnastu z Niemiec. Prawie 95% wyników modelowania można uznać za prawidłowe, pozostałe 5% jest zaniżone w stosunku do pomiarów. Model różni się od pomiarów średnio o 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a jego część systematyczna wynosi ok. 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Duża wartość błędów RMSE_s wskazuje na systematycznie popełniany przez model błąd, którym jest niedoszacowanie emisji.

4.7. Region 7 – polsko-czeski

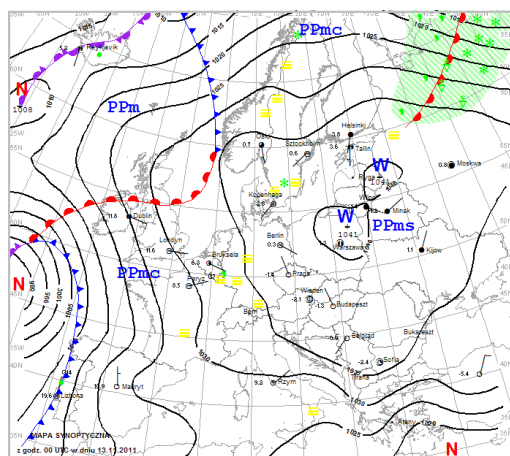
4.7.1. Epizod 1 od 12 do 19 listopada 2011 r.

4.7.1.1. Sytuacja synoptyczna

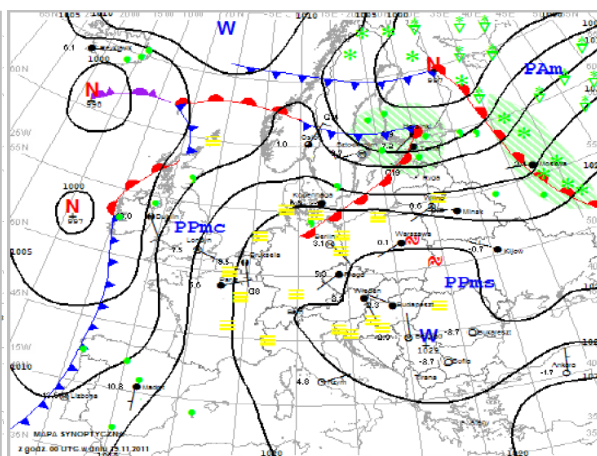
W dniach 12-16.11.2011 obszar Polski znajdował się pod wpływem rozległego wyżu z centrum nad Europą środkową. W tym okresie nad Polskę północno-wschodnią i wschodnią z kierunków północnych napływało powietrze pochodzenia arktycznego (PA), natomiast nad pozostałą część kraju z kierunków południowych napływało ciepłe powietrze polarno-morskie (PPmc). W dniach 17-19.11.2011 centrum wyżu przemieściło się nad Europę południowo-wschodnią, a masa ciepłego powietrza polarno-morskiego (PPmc) napływała nad obszar całego kraju.

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

13.11.2011

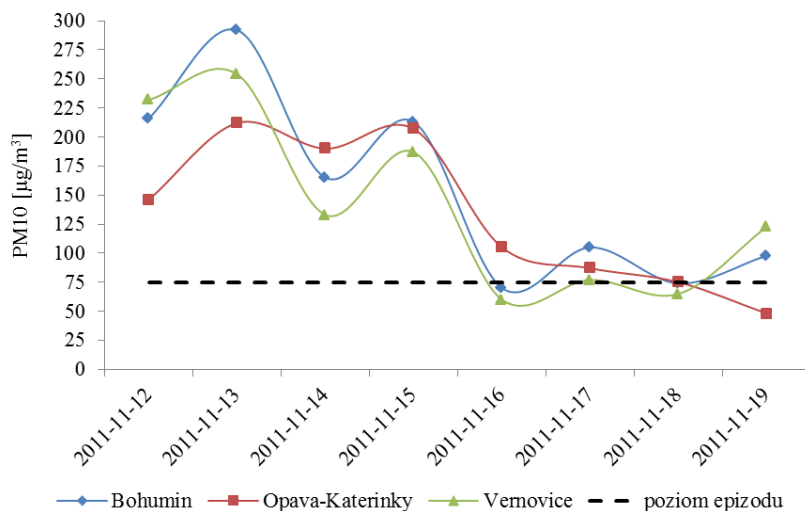


19.11.2011

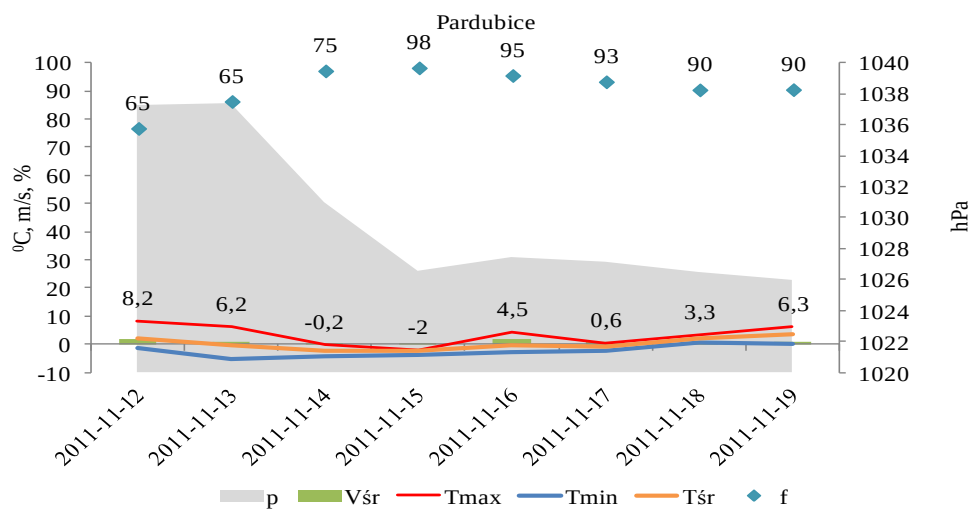


Rysunek 4-186 Mapa synoptyczna z dnia 13, 19 marca 2012 roku, godzina 0 UTC

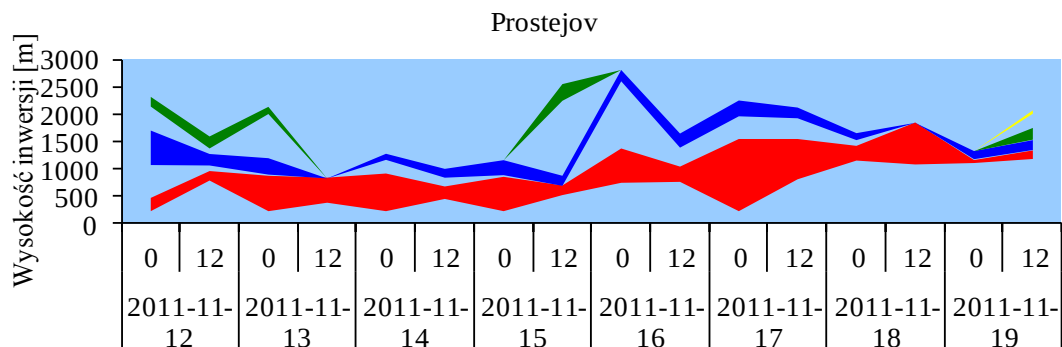
4.7.1.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne



Rysunek 4-187 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10

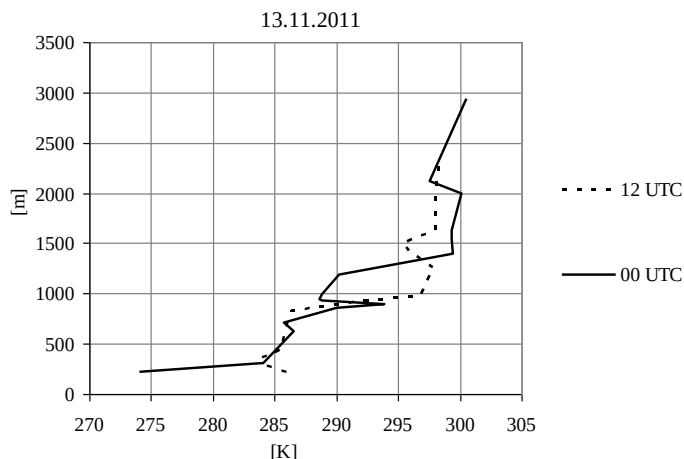


Rysunek 4-188 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vsr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-189 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

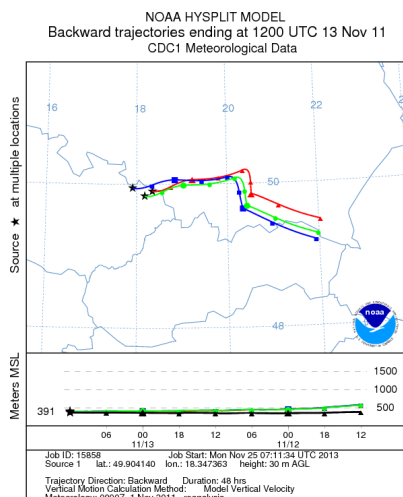
Podczas trwania epizodu występują nisko położone bardzo mięsne wniesione warstwy inwersyjne. Uniemożliwiają one transport w górę zanieczyszczeń lokalnych uwieczonych w niewysokiej (około 200 m) warstwie podinwersyjnej która, jak wskazują dodatkowo bardzo niskie prędkości wiatru może być ograniczana od dołu inwersją przyziemną.



Rysunek 4-190 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondu aerologicznego

4.7.1.3. Trajektorie wsteczne

Maksymalne stężenia w czasie tego epizodu na zanotowano w Czechach dnia 13.11.2011.



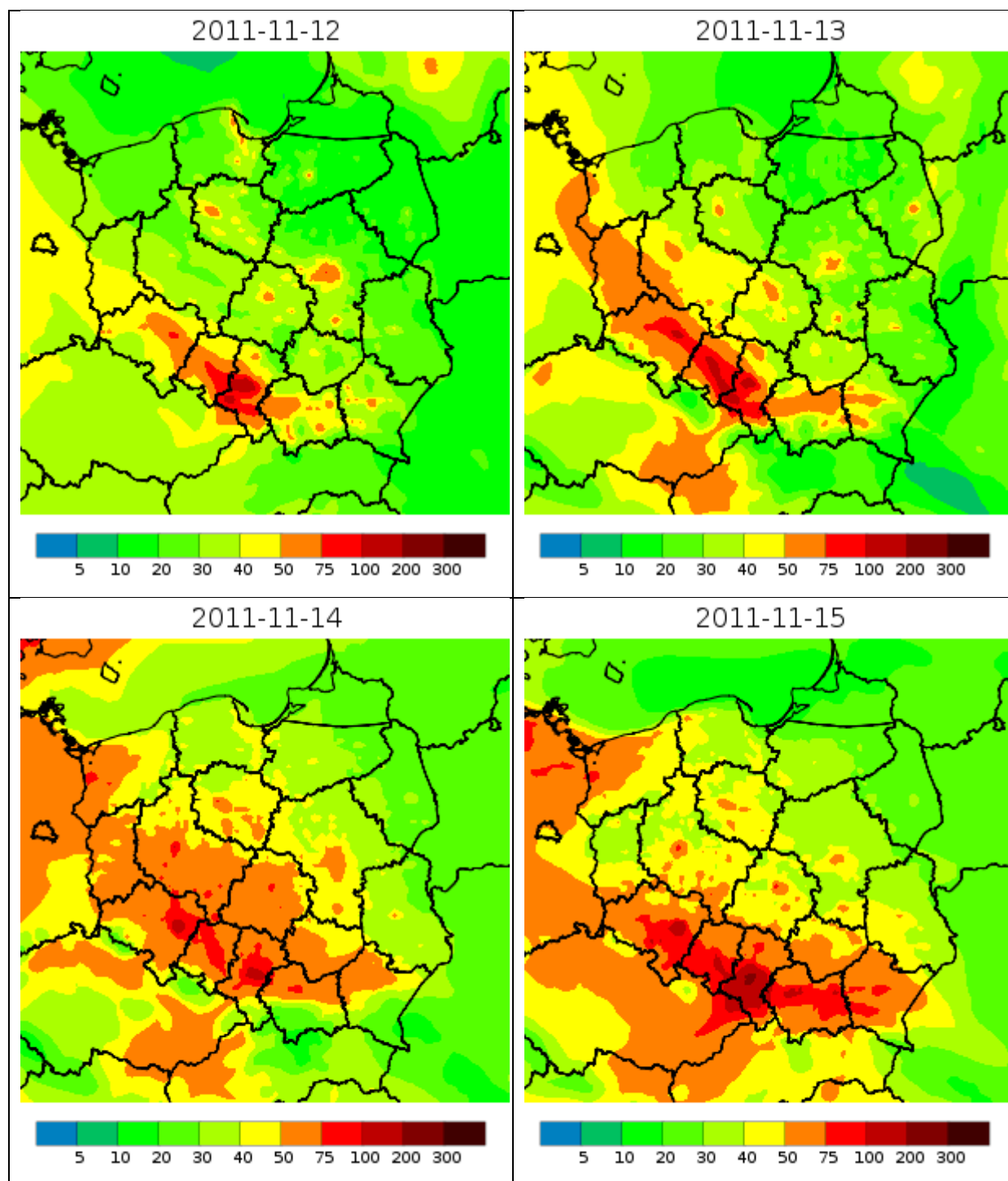
Rysunek 4-191 Trajektorie wsteczne dla stacji w Bohuminie, Opawie i Ostrawie w dniu 13.11.2011

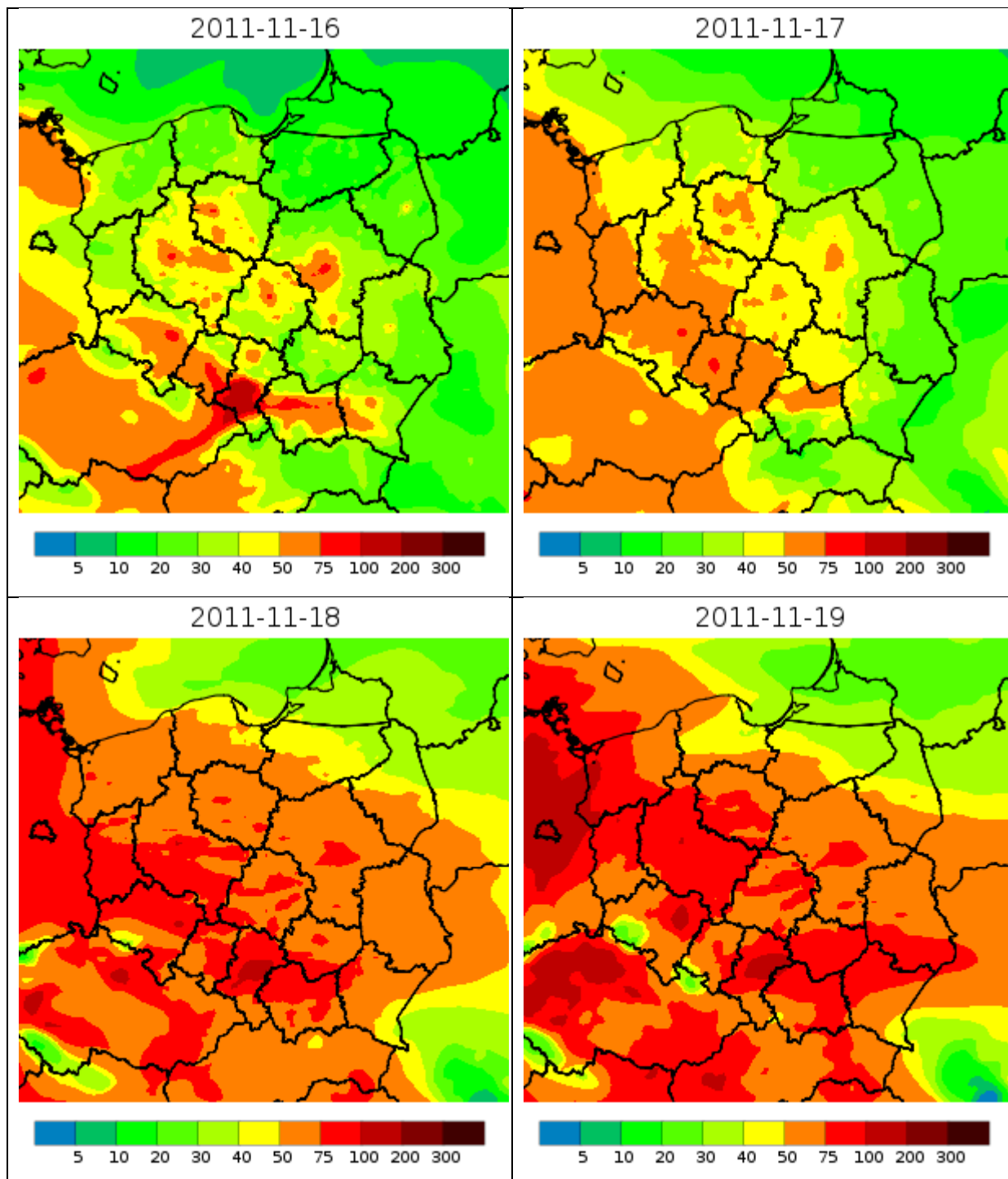
Trajektorie wsteczne wykreślono dla wybranych stacji, dla których w danym dniu wystąpiło maksymalne stężenie w czasie epizodu - w Bohuminie ($292 \mu\text{g}/\text{m}^3$), w Opawie ($212 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Ostrawie ($228, 132, 227, 231 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Trajektorie wsteczne w czasie tego epizodu podnosiły się stopniowo, osiągając po 30 h ok. 100 m, wychodząc jednocześnie poza obręb warstwy mieszania. Wysokość tej warstwy w rejonie pogranicza czesko-polskiego w

tym dniu była ekstremalnie niska, nawet w południe nie przekraczała 120 m. Wskazuje to na istotny wpływ oddziaływań lokalnych na tym obszarze, zwłaszcza, że dystans, który osiągnęły trajektorie wsteczne po 48 h wskazuje na bardzo niskie prędkości wiatru.

4.7.1.4. Modelowanie stężeń pyłu PM₁₀ 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀



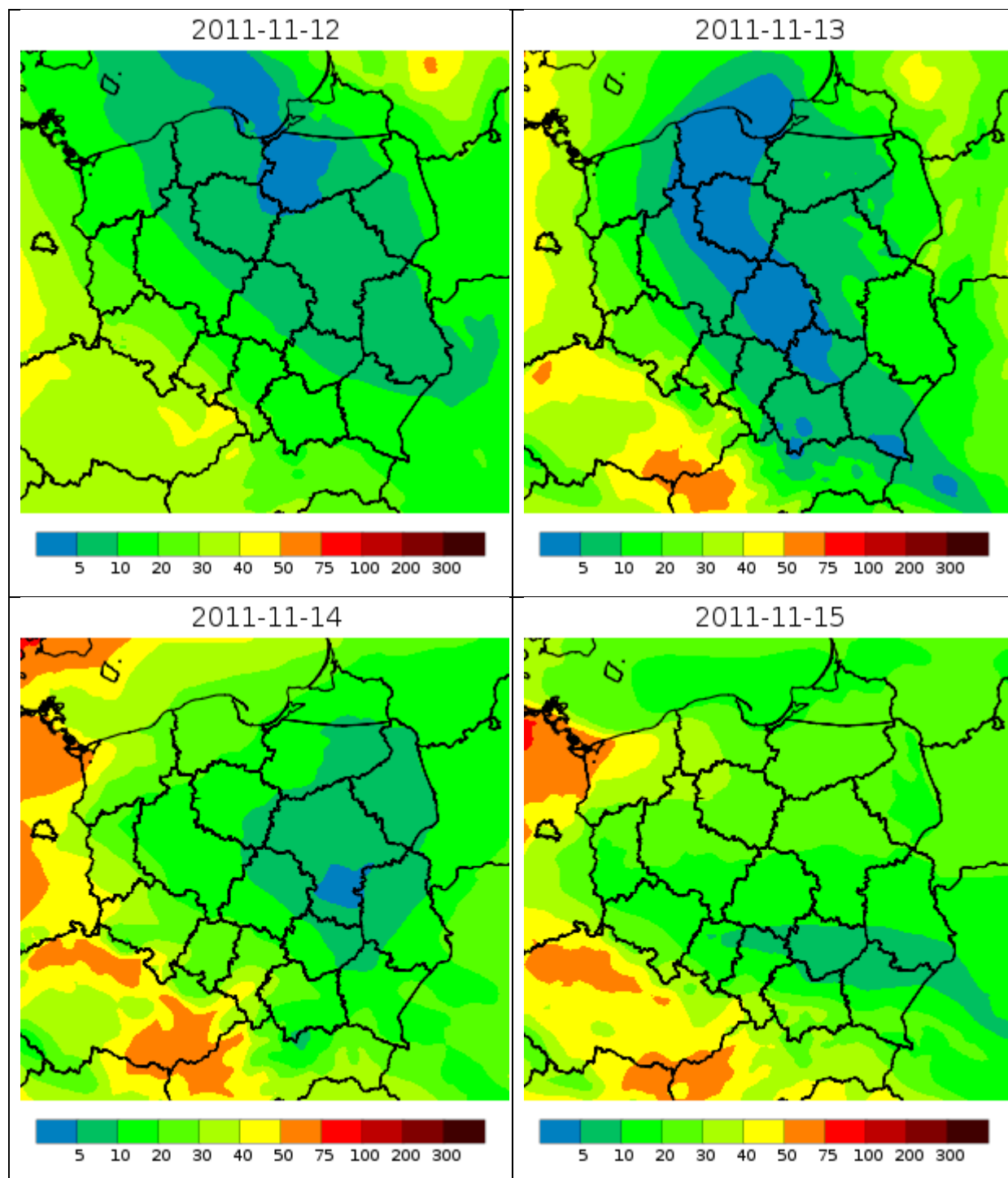


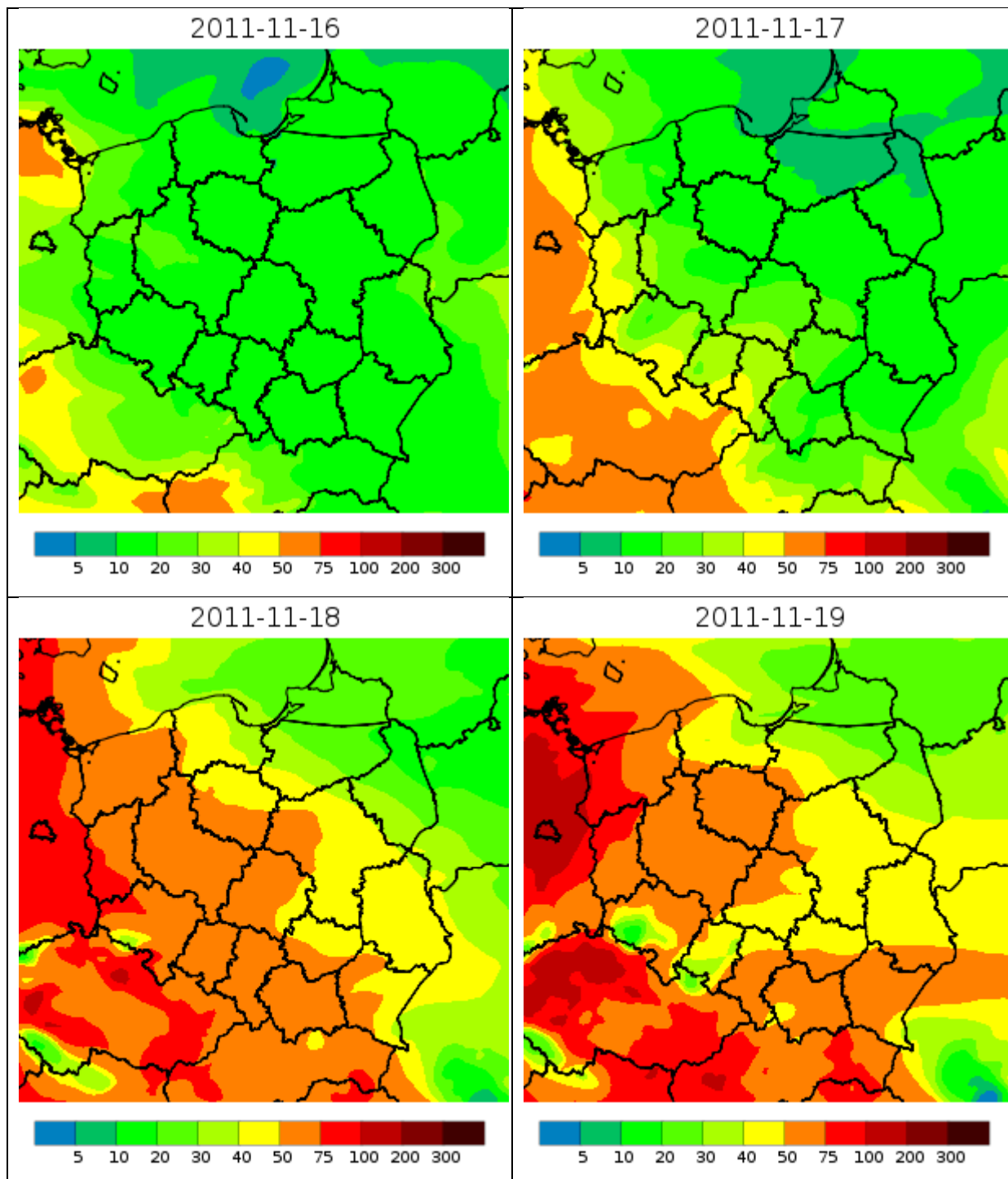
Rysunek 4-192 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 12-19.11.2011 r.

W pierwszej fazie epizodu 12-19.11.2011 r., tj. od 12 do 16 listopada, stężenia przekraczające $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ występowały głównie w południowej części Polski od województwa dolnośląskiego po województwo podkarpackie. Równocześnie 15 i 16 listopada zaobserwowano pewien wypływ zanieczyszczeń przez Bramę Morawską z terenu województwa śląskiego. 18 listopada zasięg wysokich stężeń zmienił nieco swój charakter i ze zwartego obszaru mieliśmy do czynienia z dwoma wyraźnymi obszarami: pierwszym obejmującym głównie województwa lubuskie, wielkopolskie i dolnośląskie oraz drugim –

obejmującym głównie województwa opolskie, śląskie oraz małopolskie. 19 listopada oba obszary powiększyły istotnie swój zasięg na województwa sąsiadujące (do około 150 tys. km²). Wówczas również zanotowano największe wartości stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀.

B. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski

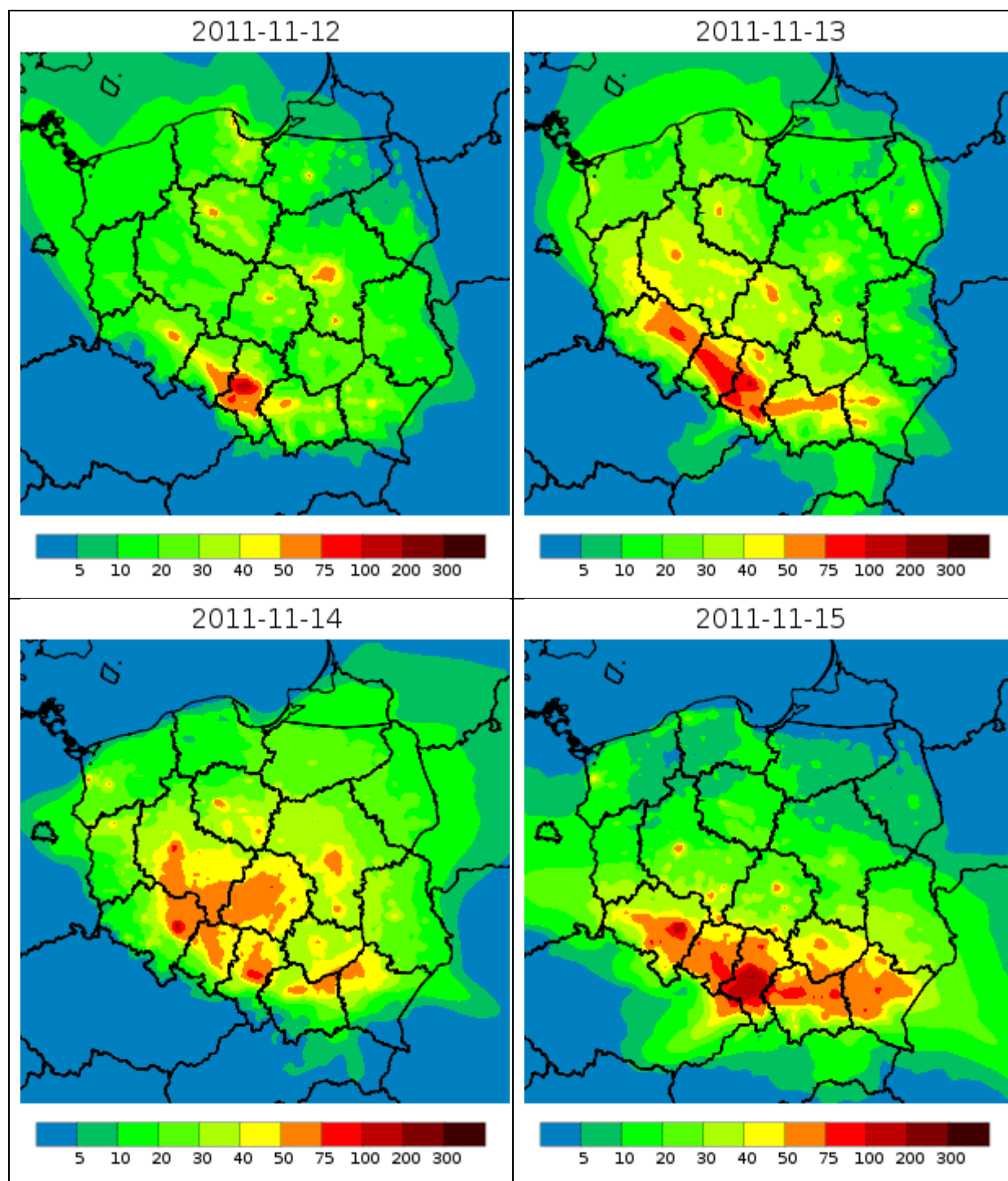


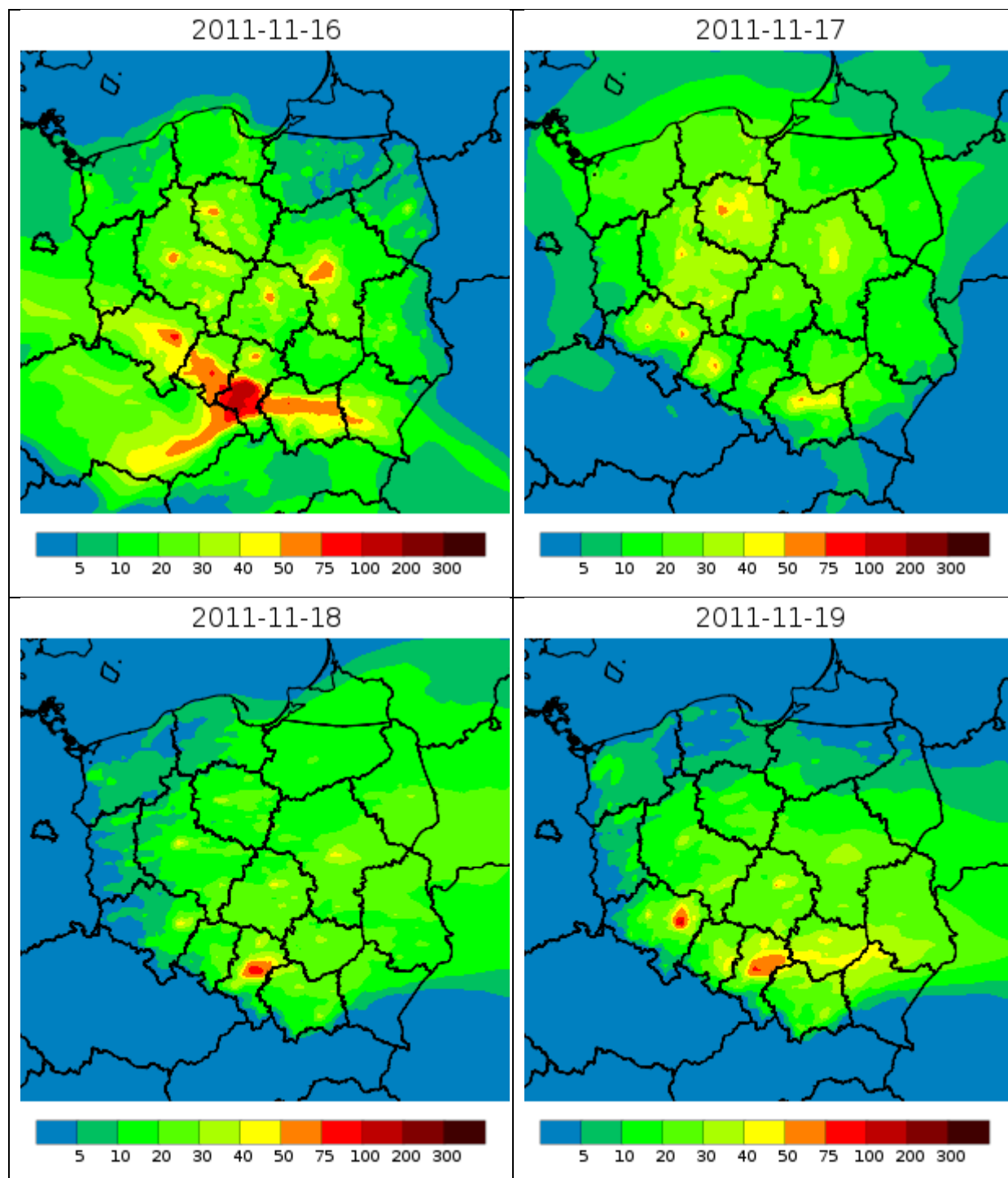


Rysunek 4-193 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 12-19.11.2011 r.

Najwyższe stężenia napływu transgranicznego w trakcie trwania epizodu następowały głównie z kierunku zachodniego i południowo-zachodniego. Przy czym 18 i 19 listopada na terenie województw przygranicznych osiągały one wartości powyżej $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a na znacznym obszarze kraju przekraczały wartość dopuszczalną dla dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM10 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

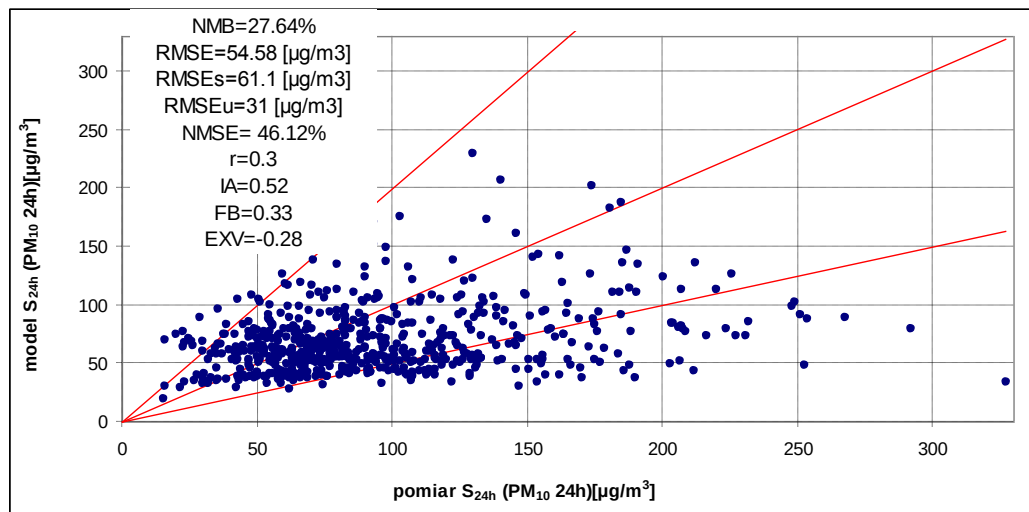
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





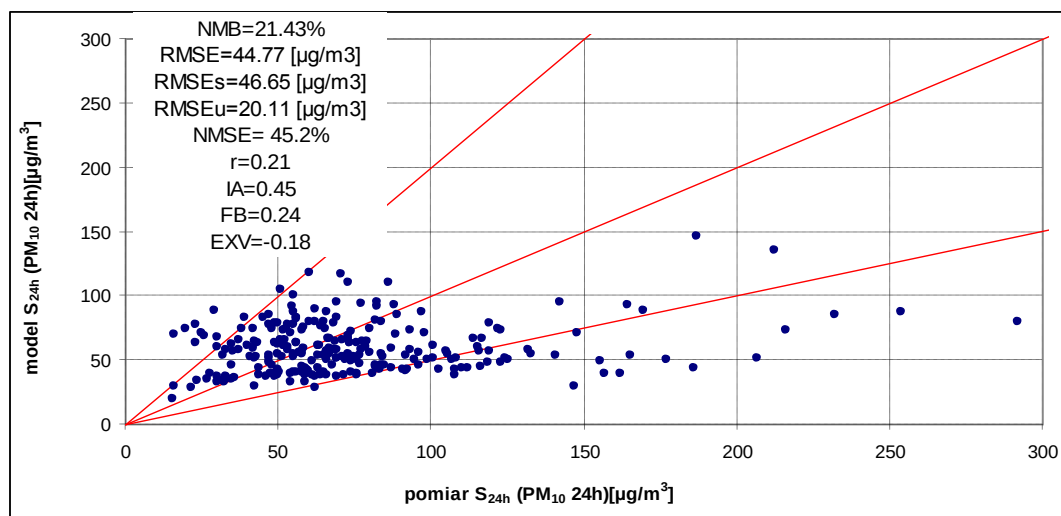
Rysunek 4-194 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 12-19.11.2011 r.

Emisja z terytorium Polski najwyższe wartości stężeń dawała 13, 15 i 16 listopada. Szczególnie charakterystyczny był 16 listopada, kiedy to miał miejsce wypływ zanieczyszczeń przez Bramę Morawską w kierunku Czech. Od 18 listopada wyraźnie zaznacza się odpływ zanieczyszczeń z Polski w kierunku wschodnim, jednakże wartości stężeń nie przekraczają $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Rysunek 4-195 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i regionach graniczących z Polską i Czechami w terminie 12.11.2011 - 19.11.2011r.

Miary błędów są zbliżone do wartości oznaczających dobrą jakość modelowania. Współczynnik korelacji wskazuje na stosunkowo niską korelację, zaś już indeks zgodności oznacza umiarkowaną korelację.



Rysunek 4-196 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich województwach i krajach graniczących z Polską i Czechami w terminie 12.11.2011 - 19.11.2011r.

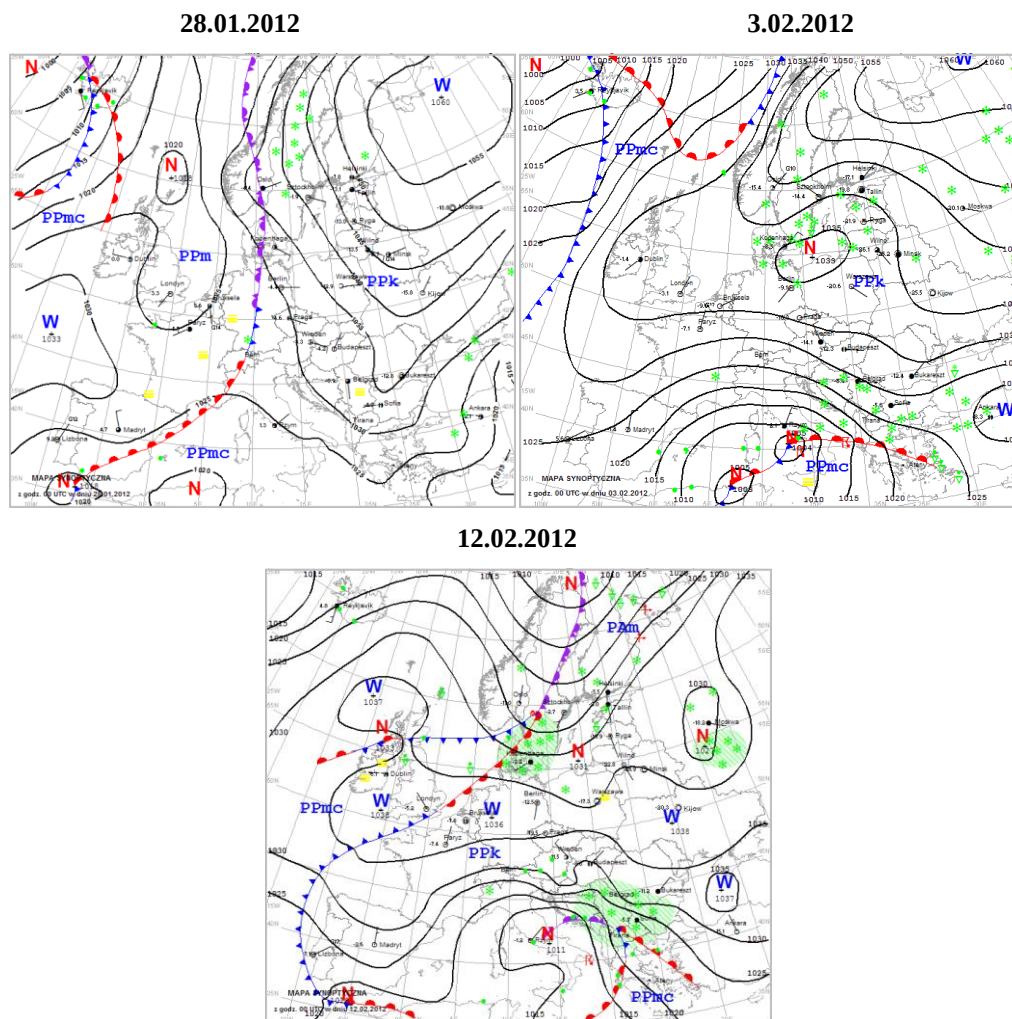
Jeżeli w dalszej analizie pozostaną stacje o charakterze pozamiejskim, wówczas z terenu Polski pozostaną wyniki z jednej stacji, a z obszaru Czech będą 33 stacje. Za prawidłowe, do których zalicza się rezultaty modelowania znajdujące się pomiędzy dwukrotnie większymi i mniejszymi wynikami pomiarów, uznano 81% oszacowanych stężeń.

Wyniki modelowania różnią się od pomiarów średnio o 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Rozbieżność pomiędzy pomiarami a wynikami modelowania wynosi 45% i nieco przekracza graniczną wartość określającą dobry model. Także miara określająca odchylenie modelu przekracza o 11% wymagane dla dobrego modelu 10%. Współczynnik korelacji wskazuje na niską korelację.

4.7.2. Epizod 2 od 27 stycznia do 14 lutego 2012 r.

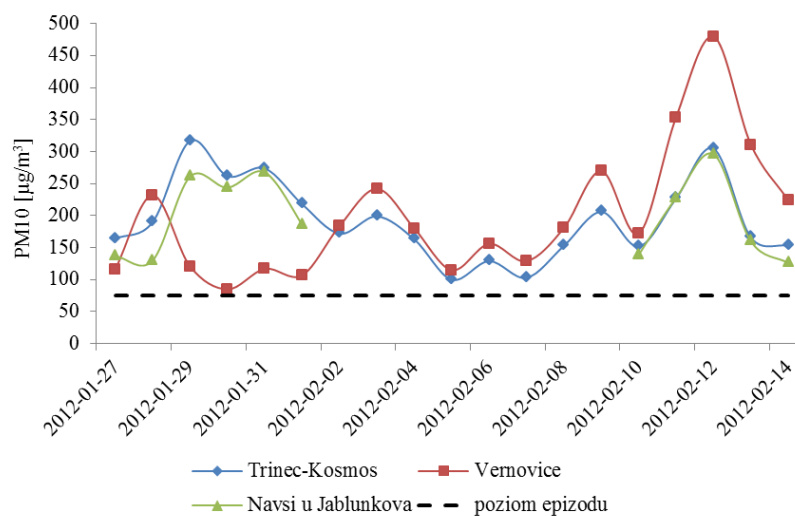
4.7.2.1. Sytuacja synoptyczna

W dniach 27.01-12.02.2012 obszar Polski znajdował się w zasięgu klina silnego wyżu z centrum nad północną i północno-zachodnią Rosją. Z północnego-wschodu napływała masa mroźnego i suchego powietrza polarno-kontynentalnego (PPk). Przejściową, ale istotną zmianę pogody przyniosła zatoka niżu znad Morza Egejskiego, która w dniach 4-6.02.2012 obejmowała swym zasięgiem województwo podkarpackie, a w dniach 7-8.02.2012 wraz z frontem okluzji przemieszczała się ze wschodu na zachód przez cały obszar kraju. Dnia 9.02.2012 znad Bałtyku wzdłuż zachodnich województw przemieszczał się płytki, wypełniający się ośrodek niżowy. W związku z panującą w dniach 4-9.02.2012 sytuacją baryczną, powietrze nad obszarem Polski pozostawało mroźne, ale wzbogacone w wilgoć. Po tym okresie ze wschodu znów napłynęło powietrze mroźne i suche pochodzenia polarno-kontynentalnego (PPk). Od dnia 12.02.2012 zaznaczyło się stopniowe słabnięcie klina wyżowego, a z północnego zachodu zaczęła nasuwać się zatoka niżowa wraz z układem frontów atmosferycznych. Wówczas napłynęło stosunkowo cieplejsze powietrze polarno-morskie (PPmc).

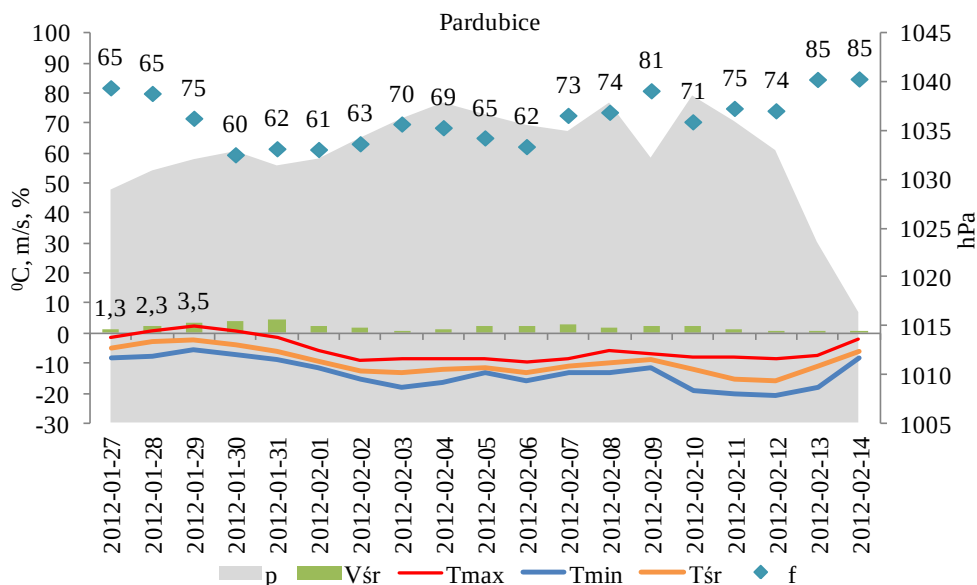


Rysunek 4-197 Mapa synoptyczna z dnia 28 stycznia, 3,12 lutego 2012 roku, godzina 0 UTC

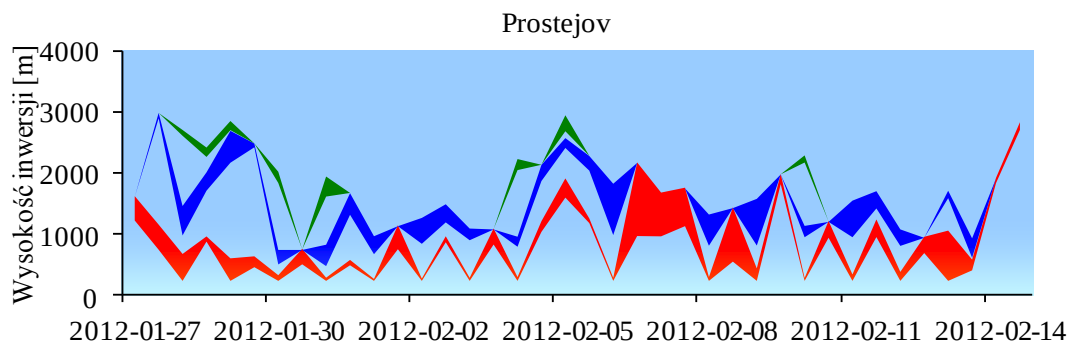
4.7.2.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne



Rysunek 4-198 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10

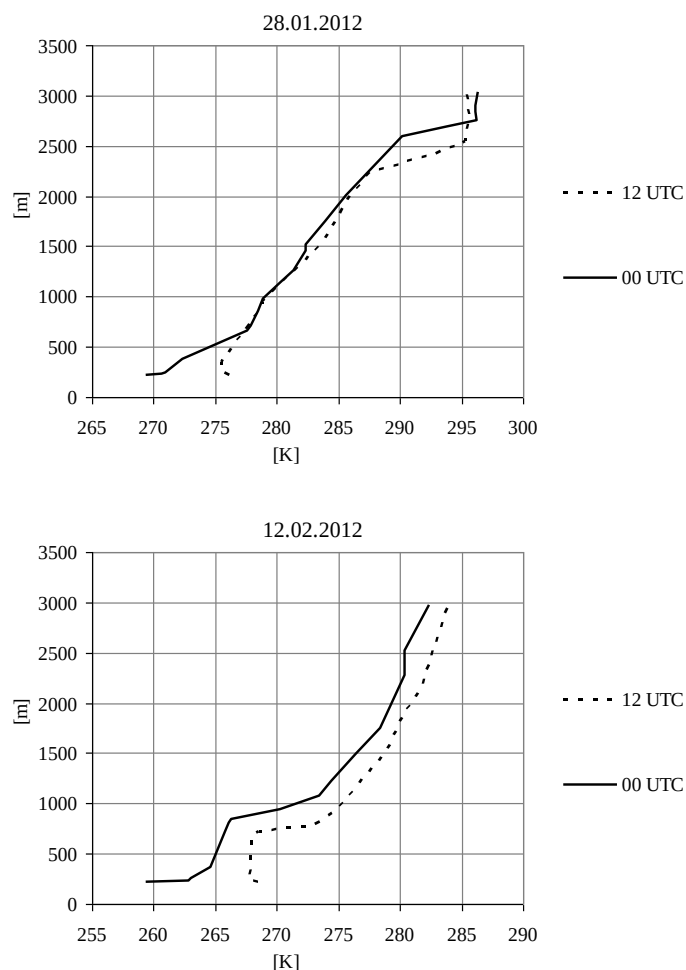


Rysunek 4-199 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-200 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

Podczas całego epizodu obserwowany jest dobrze wykształcony dobowy bieg inwersji wzniesionej, której miąższość jest stosunkowo mała natomiast niezbyt wysoko nad jej stropem występuje silniejsza inwersja wzniesiona drugiego poziomu. Ujemna temperatura i przede wszystkim bardzo niska prędkość wiatru wskazują na możliwość tworzenia się całodobowej inwersji przyziemnej.

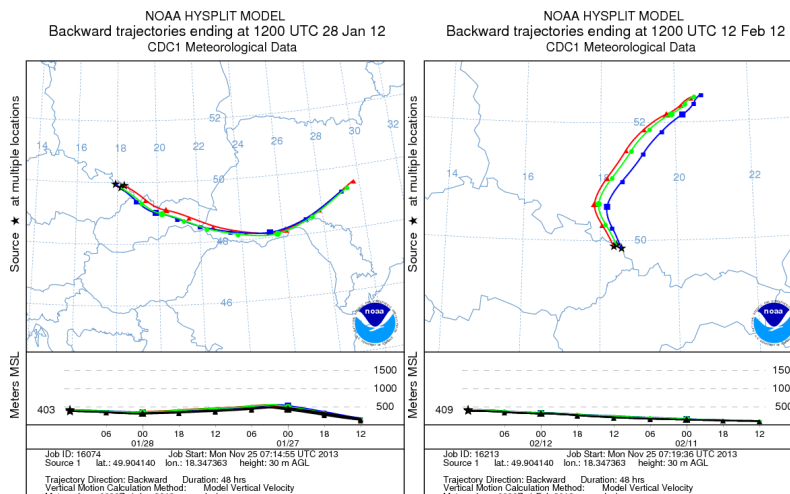


Rysunek 4-201 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.7.2.3. Trajektorie wsteczne

W czasie tego epizodu zanotowano dwa wyraźne maksima stężeń PM₁₀ w dniach 28.01.2012 i 12.02.2012. Trajektorie wsteczne wykreślono dla wybranych stacji, dla których w danym dniu wystąpiło maksymalne stężenie w czasie epizodu – dnia 28.01.2012 w Bohuminie (245 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), w Opawie (215 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i Ostrawie (257, 201, 260, 281 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), a dnia 12.02.2012 w Bohuminie (349 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Karwinie (412 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i Vernovicach (480 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

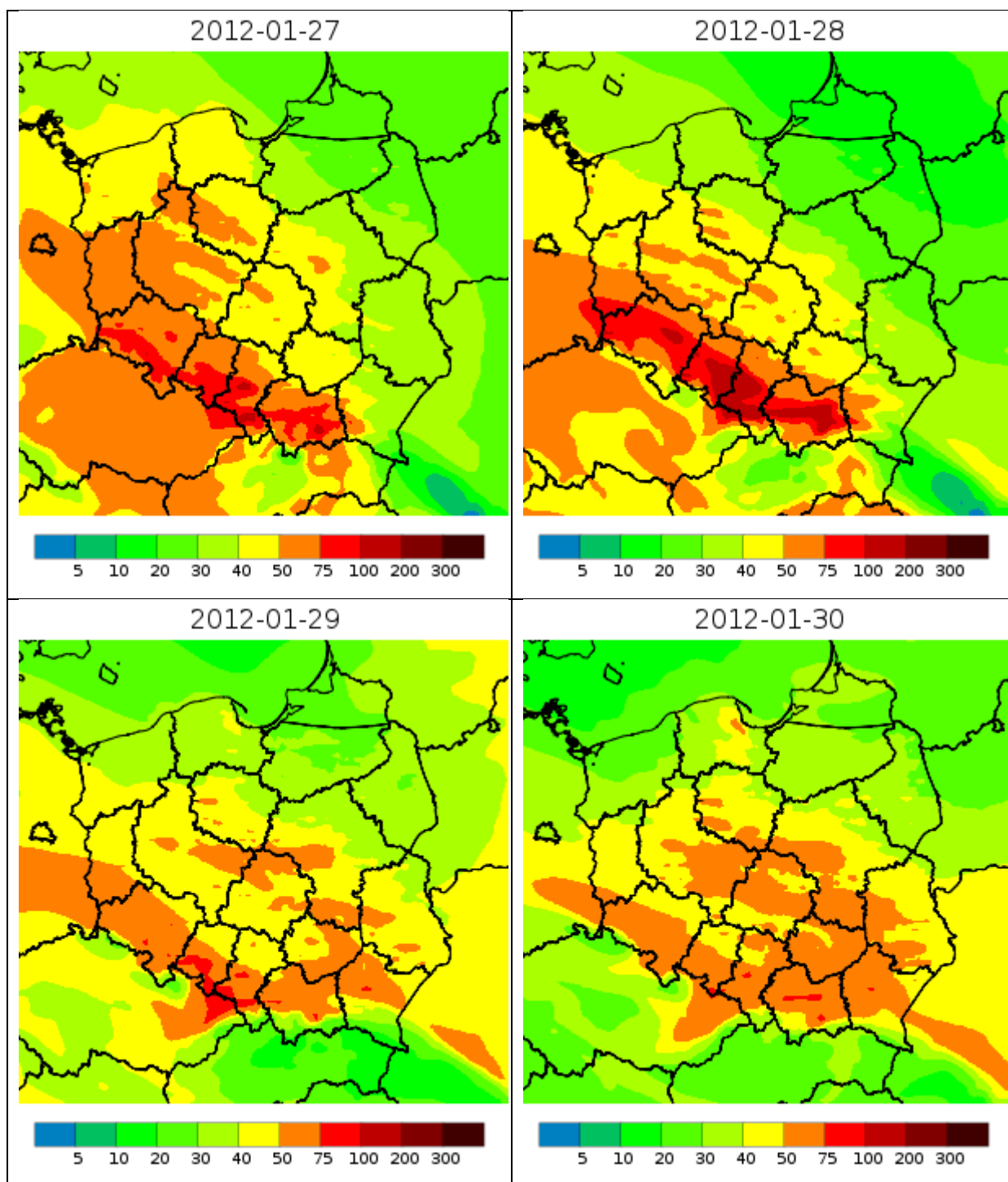


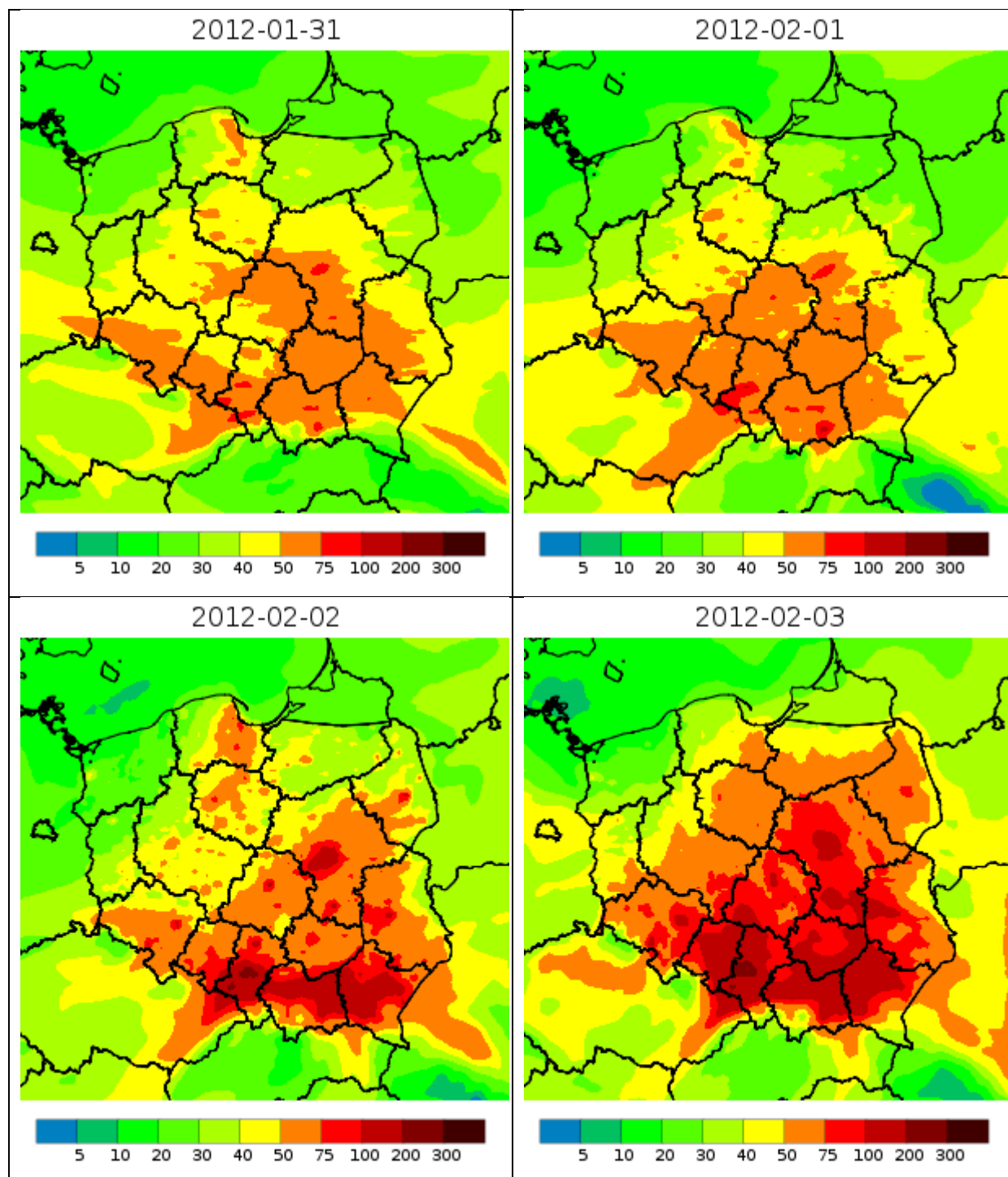
Rysunek 4-202 Trajektorie wsteczne dla stacji w Bohuminie, Opawie i Ostrawie w dniu 28.01.2012r. oraz dla stacji w Bohuminie, Karwinie i Vernovicach dla 12.02.2012r.

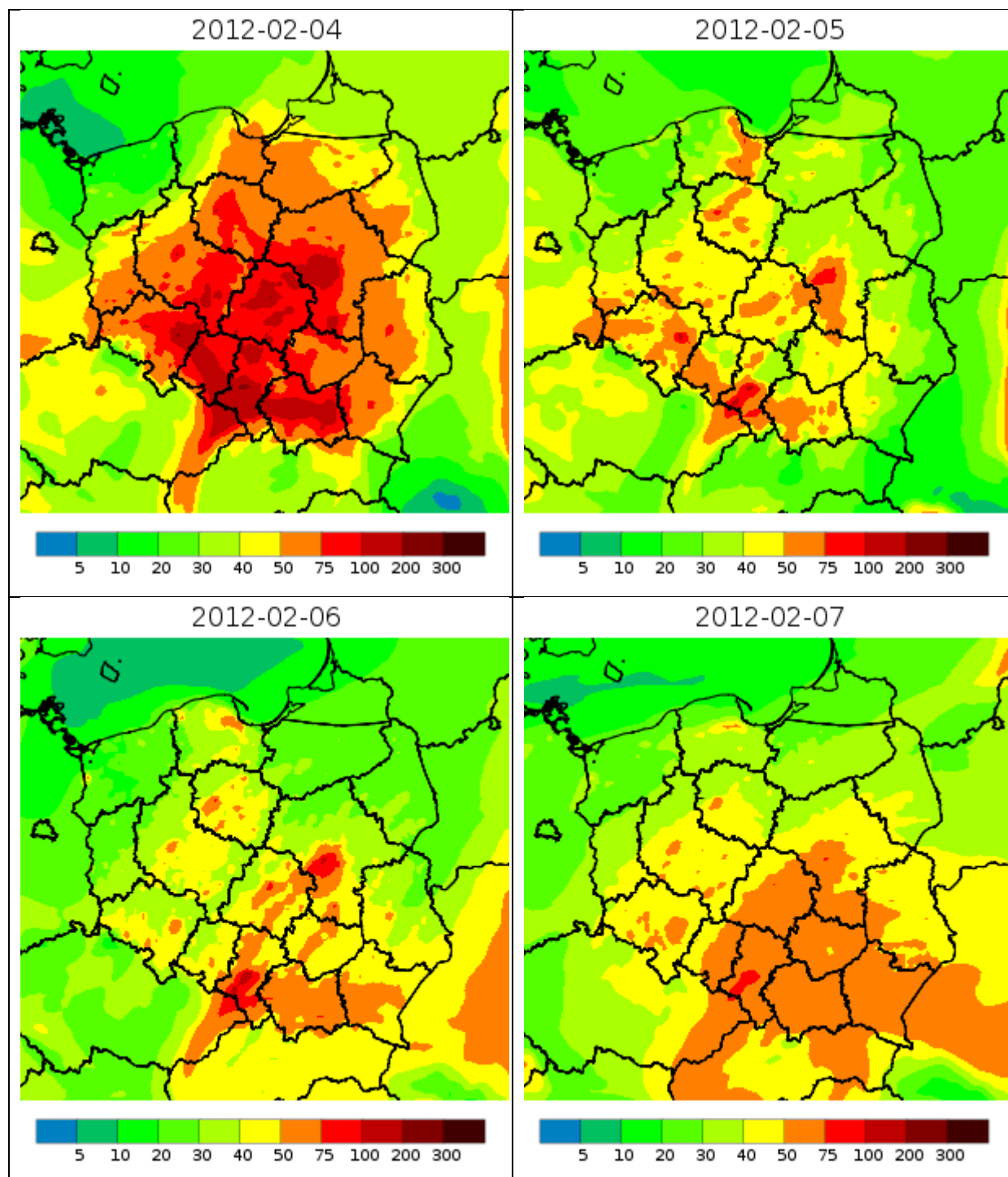
Trajektorie wypuszczone wstecznie dnia 28.01.2012 wznosiły się nieznacznie, osiągając po 30 h wysokość 60 m, po czym stopniowo się obniżały. Przez cały czas pozostawały w obrębie warstwy mieszan. Wysokość warstwy mieszan zmieniała się w cyklu dobowym od około 70 m w nocy do maksymalnie 200 m w dzień w Czechach i na Ukrainie i 250 m w dzień w rejonie granicznym Słowacji, Węgier i Ukrainy. Znaczna długość trajektorii wstecznych świadczy o dużych prędkościach wiatru i co za tym idzie większym prawdopodobieństwie wpływu odległych źródeł. Trajektorie wypuszczone wstecz dnia 14.02.2012 przemieszczały się przez cały czas na bardzo niskiej wysokości, przez cały czas pozostając w obrębie warstwy mieszan. Wysokość warstwy mieszan wzdłuż trajektorii była ekstremalnie niska, nie przekraczając w Czechach nawet w południe 120 m. Niewielka długość trajektorii wstecznych mówi o niskich prędkościach wiatru. Oba te czynniki wskazują na dominujący udział źródeł lokalnych w kształtowaniu stężeń PM₁₀ tego dnia.

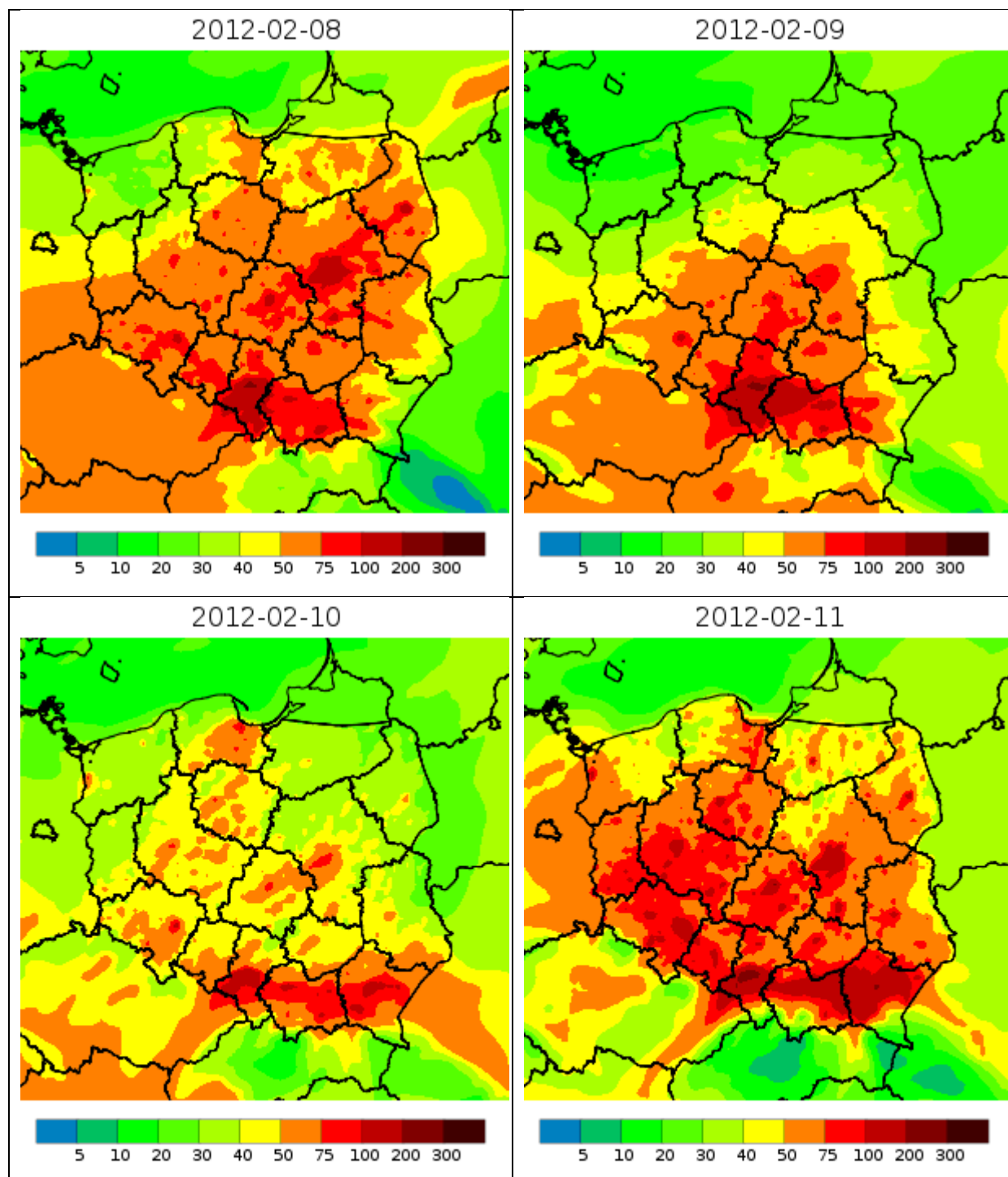
4.7.2.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

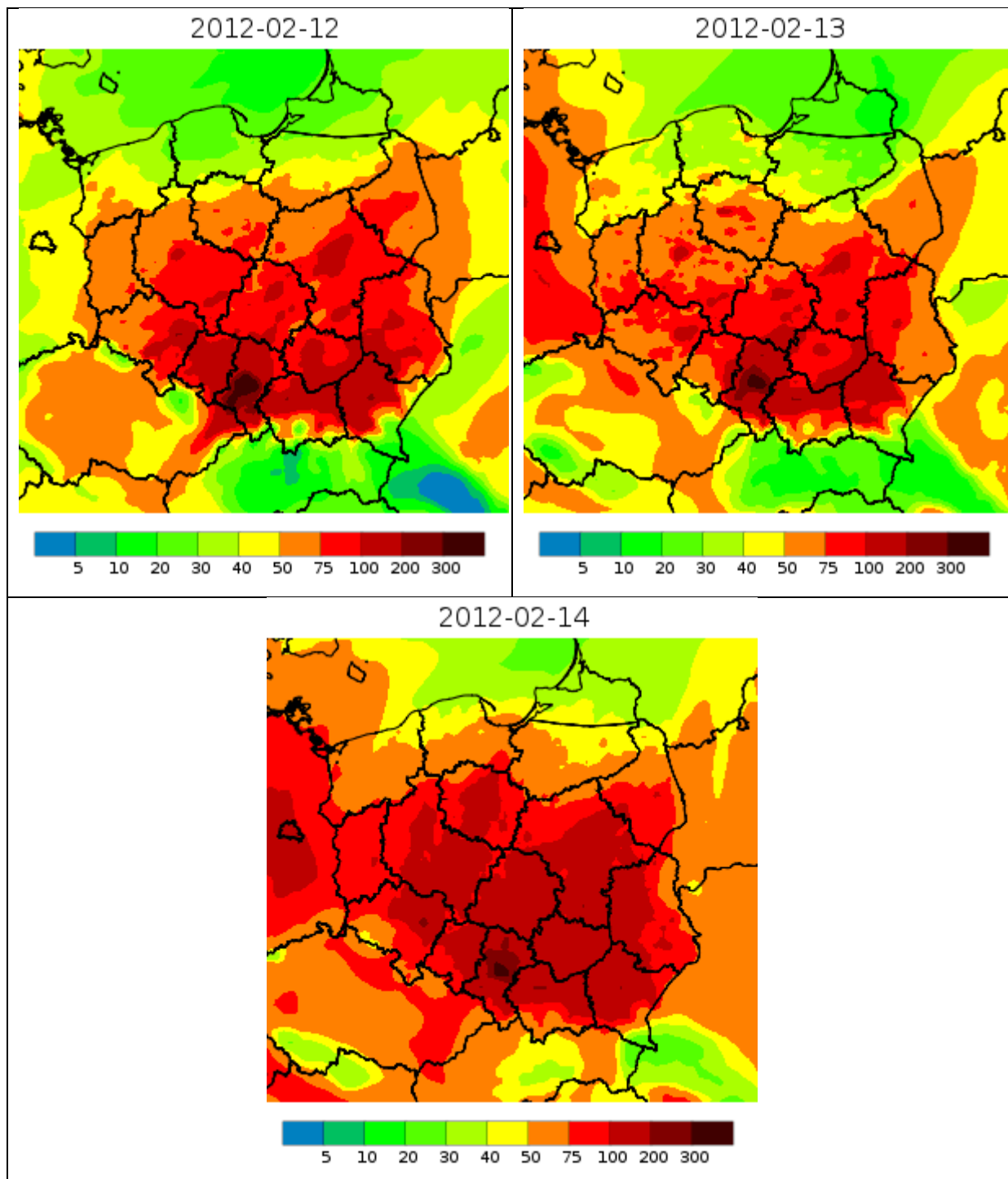
A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10









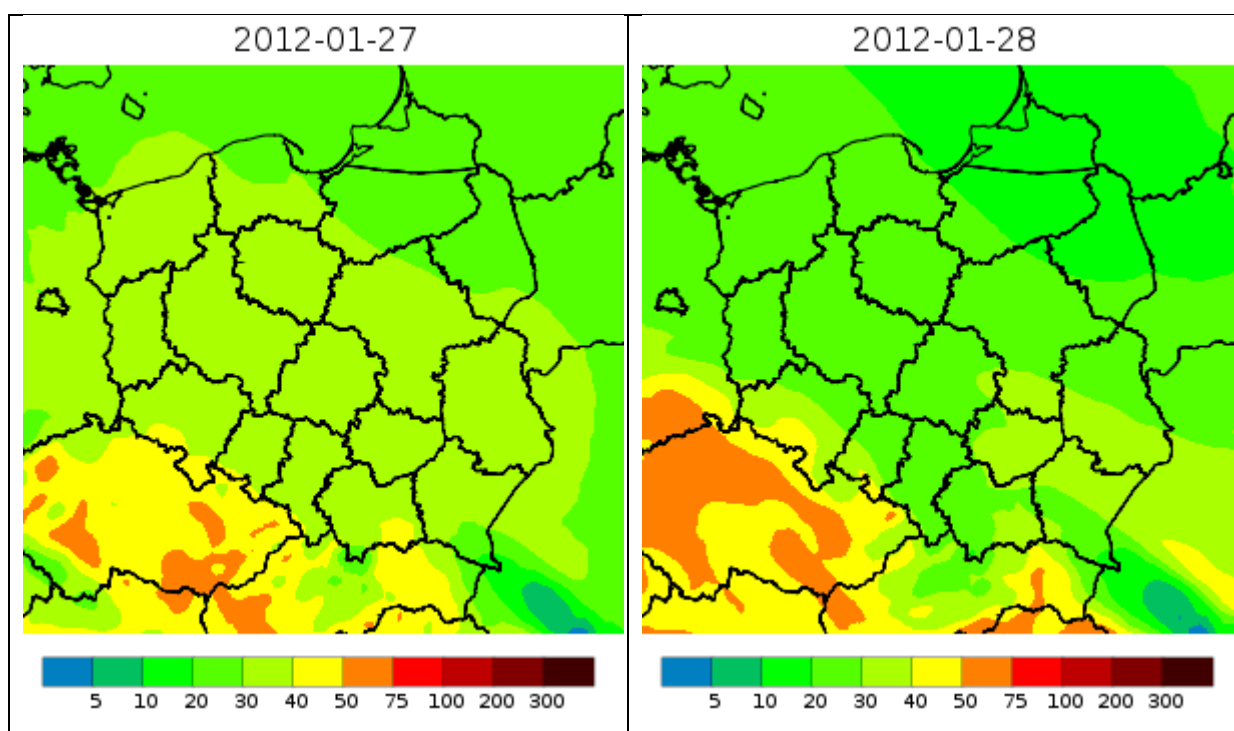


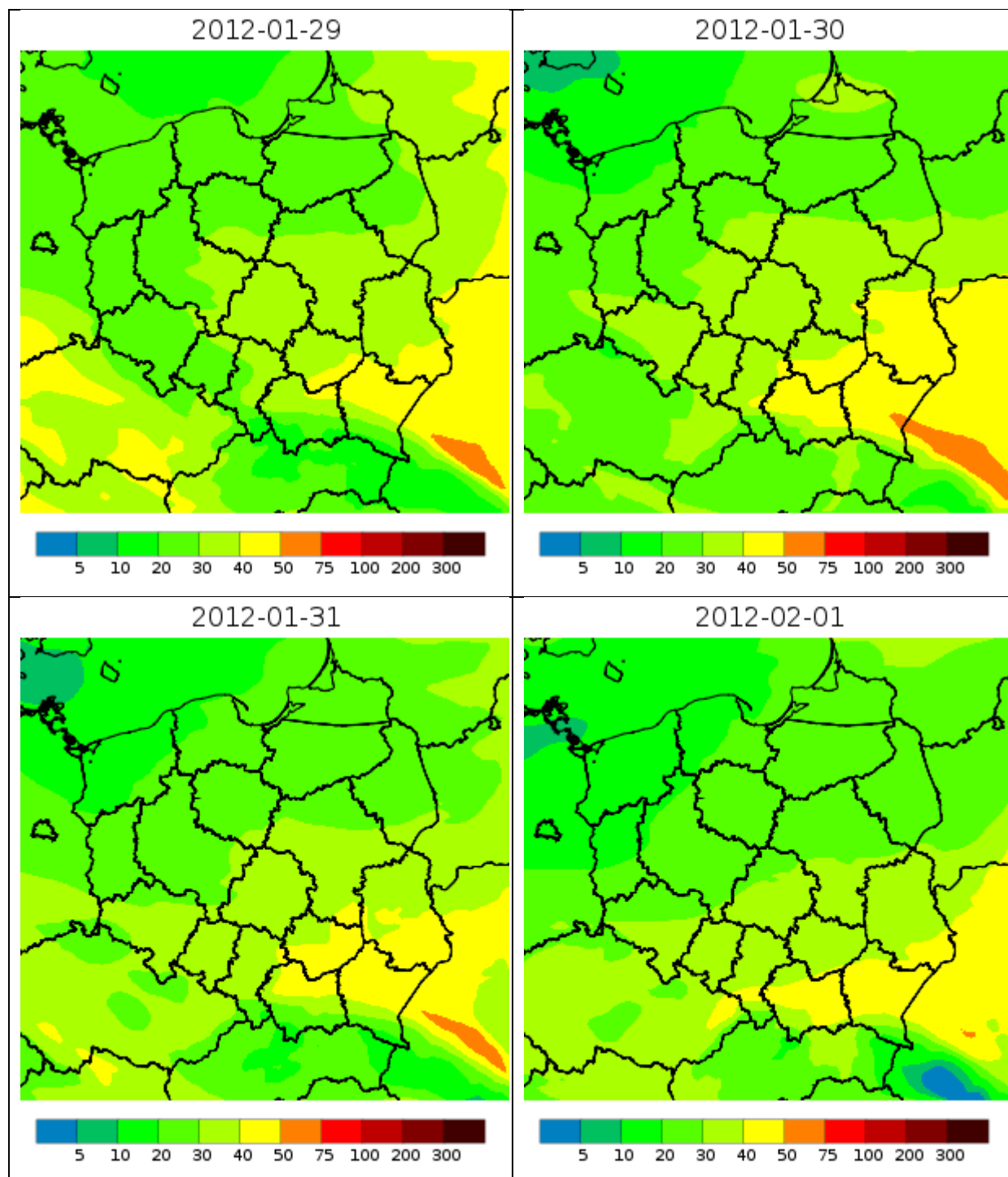
Rysunek 4-203 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 27.01-14.02.2012 r.

Epizod od 27.01-14.02 był epizodem o największym zasięgu i charakteryzował się wystąpieniem 2 szczytów w terminach 2-4 luty oraz 8-14 luty. Pierwszy szczyt charakteryzował się niższymi stężeniami oraz mniejszym zasięgiem. Ponadto wykazywał bardziej lokalny charakter. Na początku jego trwania podwyższone stężenia wyraźnie zaznaczały się w miastach, by 3 lutego osiągnąć największy zasięg, obejmujący województwa: opolskie, śląskie, małopolskie, świętokrzyskie, podkarpackie, łódzkie, a w mniejszym stopniu: mazowieckie, lubelskie, dolnośląskie i wielkopolskie. W tych dniach miał

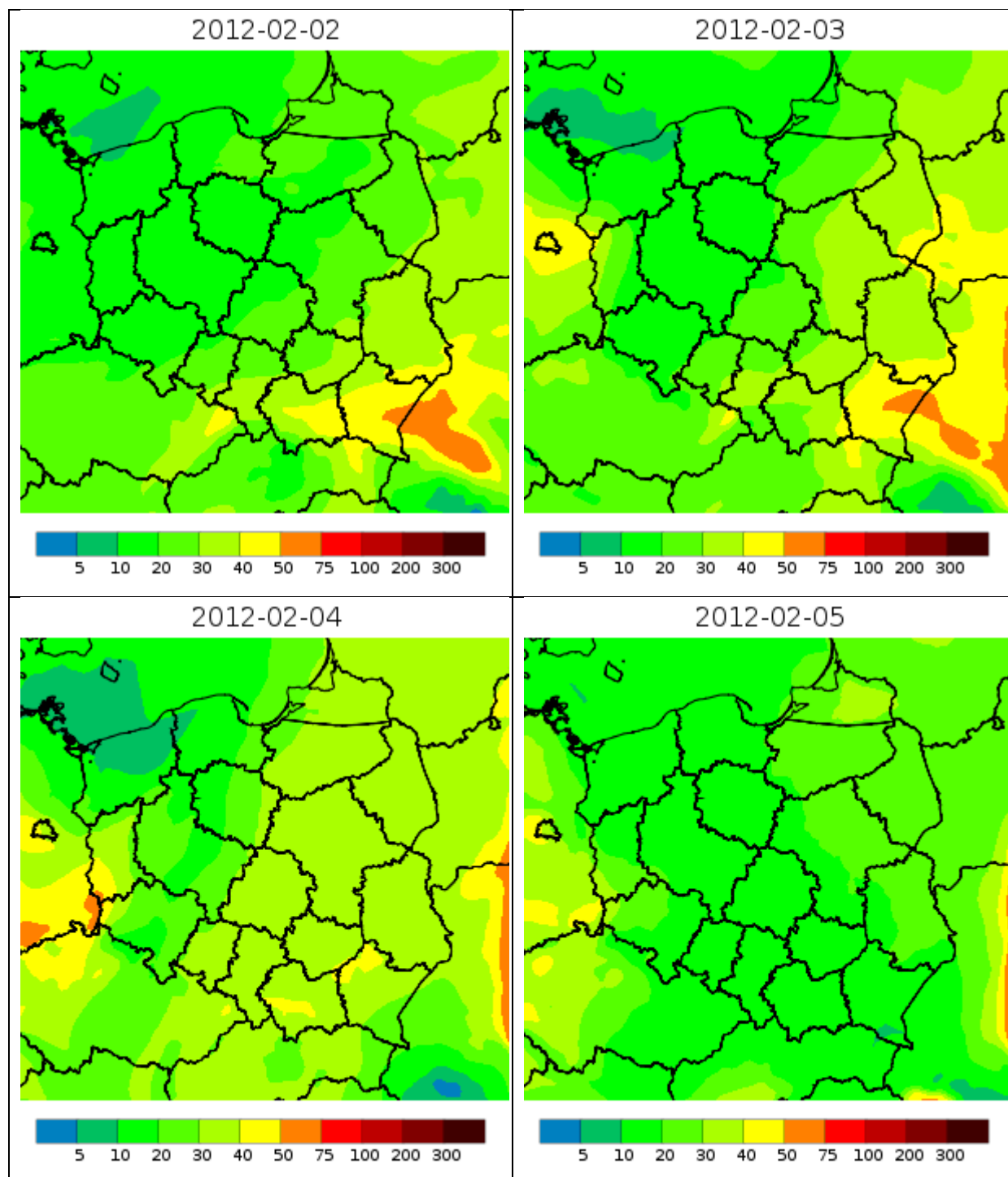
miejsce również transport zanieczyszczeń z Polski w kierunku Czech. W trakcie trwania drugiego szczytu również wyraźnie zaznaczyły się podwyższone stężenia na terenach miast, szczególnie wyraźnie 10 i 11 lutego, a 11 i 12 lutego ponownie miał miejsce przepływ zanieczyszczeń na stronę czeską. Od 12 lutego obszar ograniczony izoliną 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ujednolicił się, a maksymalny zasięg terytorialny epizodu zanotowano 14 lutego, wyniósł on 250 tys. km^2 i objął praktycznie cały kraj, poza województwem warmińsko-mazurskim oraz w niewielkim stopniu zachodnio-pomorskie i pomorskie. Maksymalne stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w trakcie trwania całego epizodu wystąpiły 12 lutego na terenie Aglomeracji Górnośląskiej i przekroczyły poziom alarmowy. Równocześnie już od 13 lutego wysokie stężenia zmieniły kierunek transportu na przeciwny.

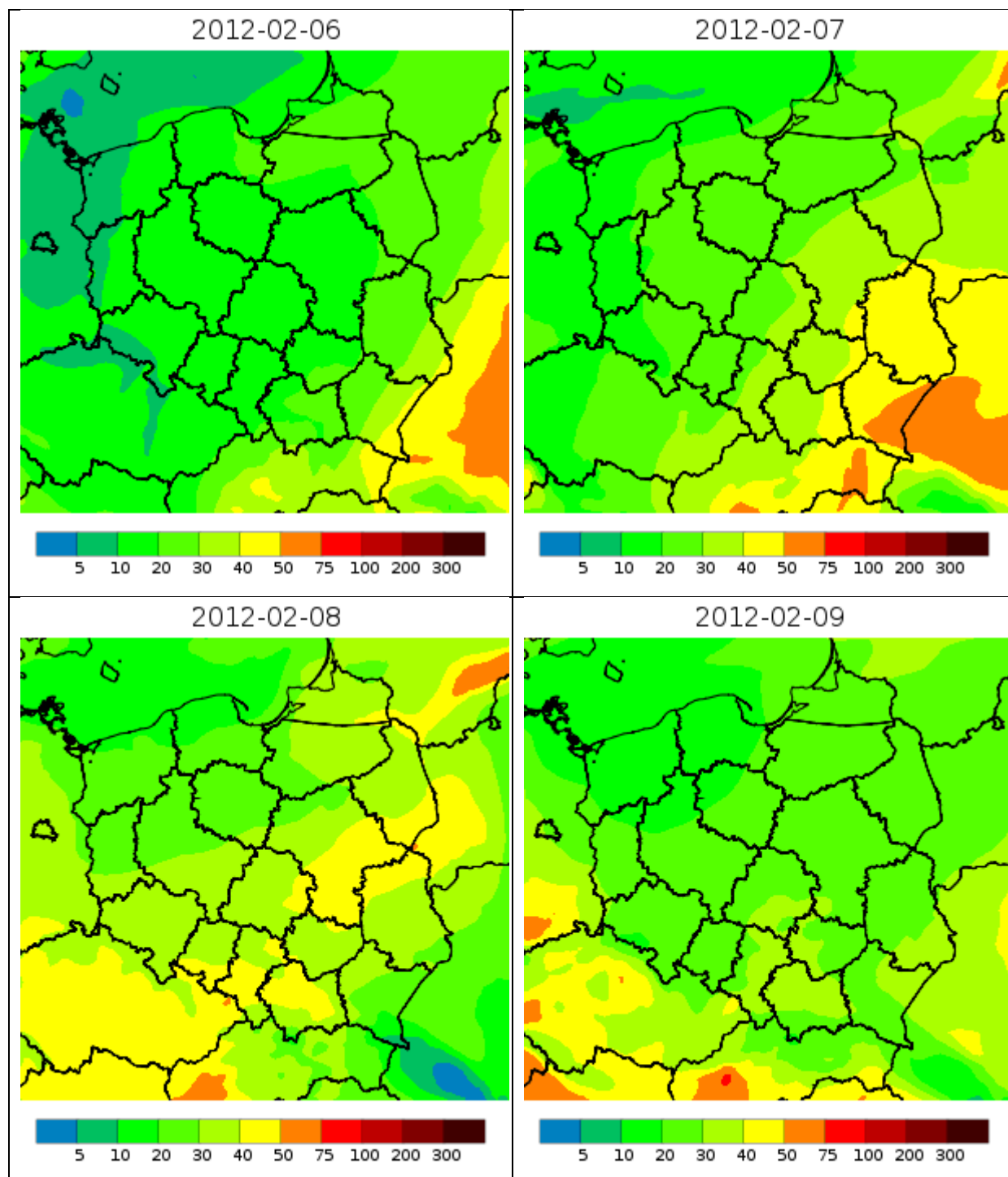
B. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski

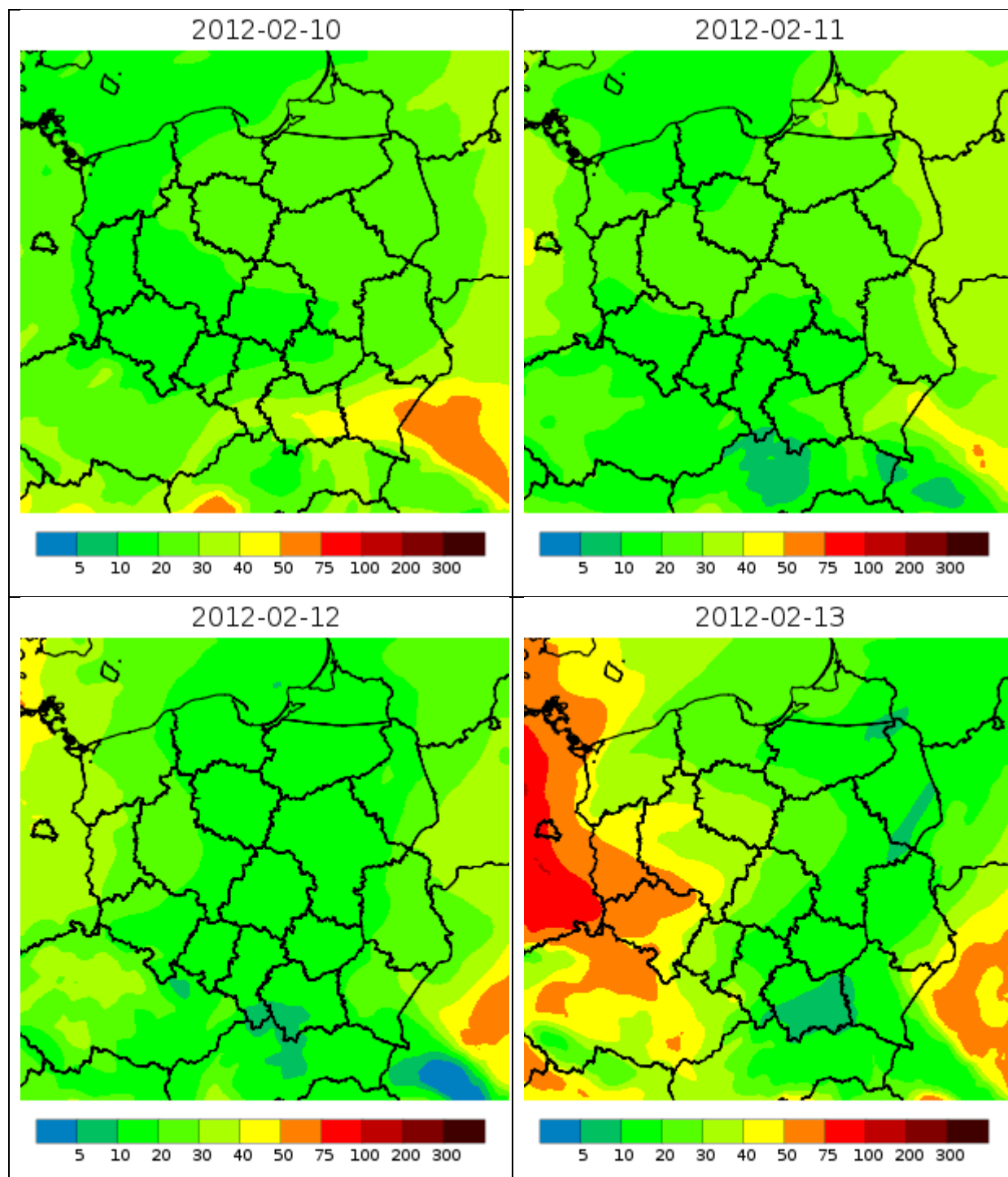


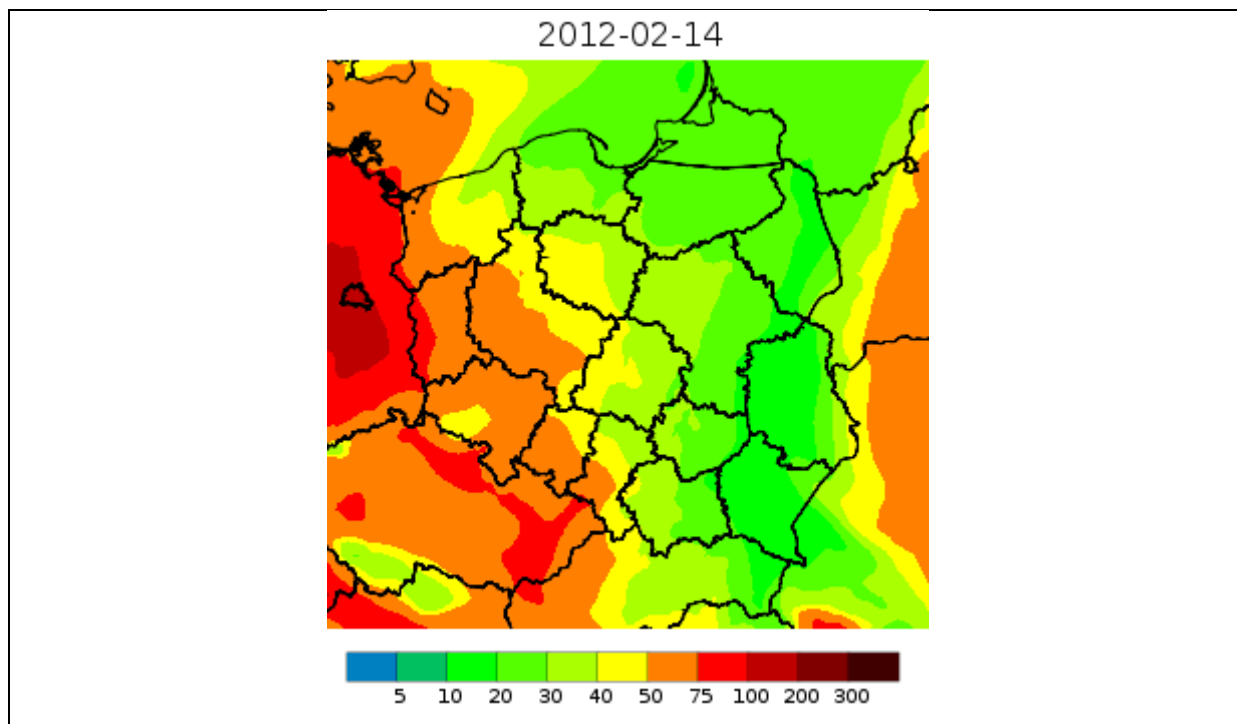


Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii





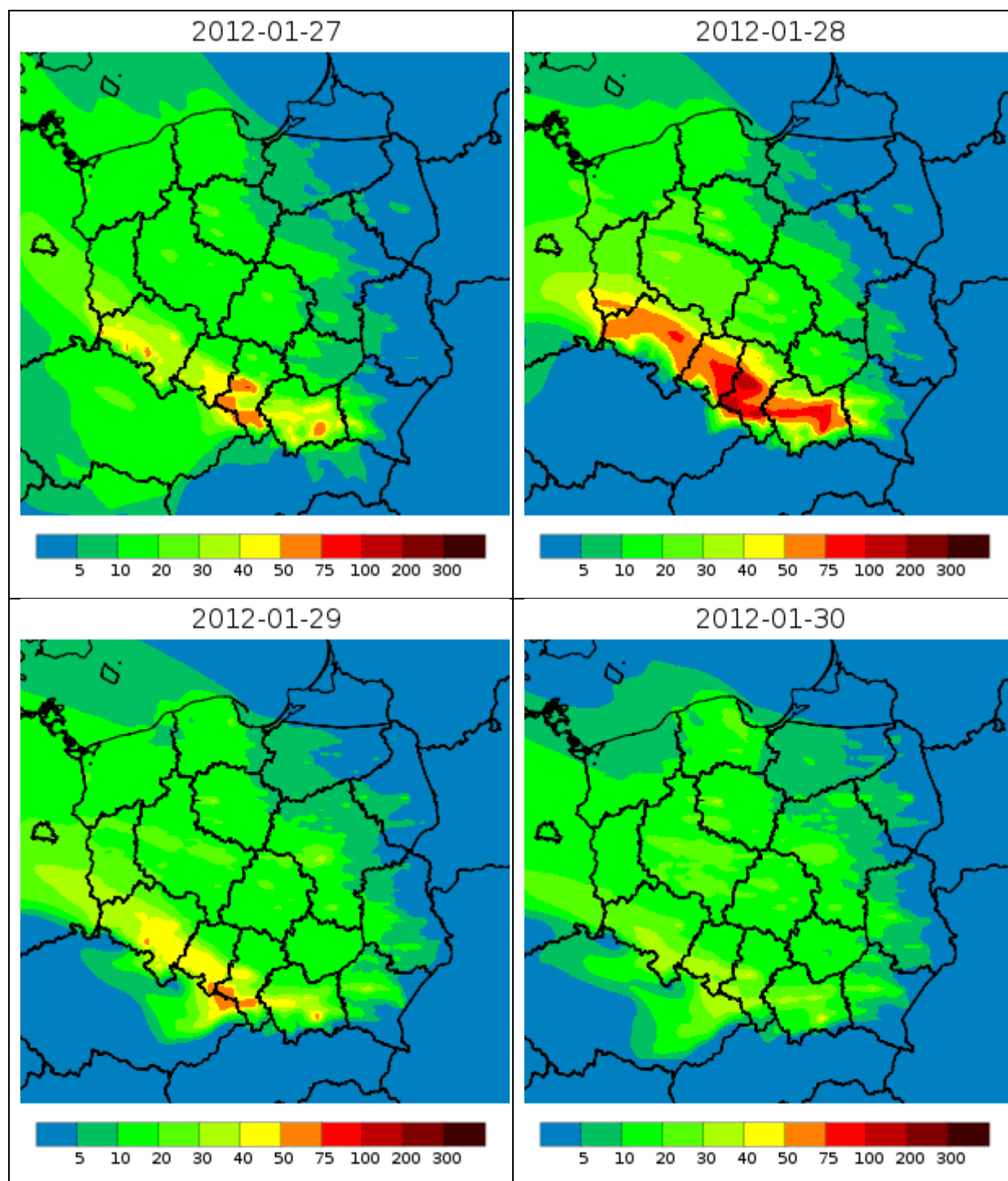


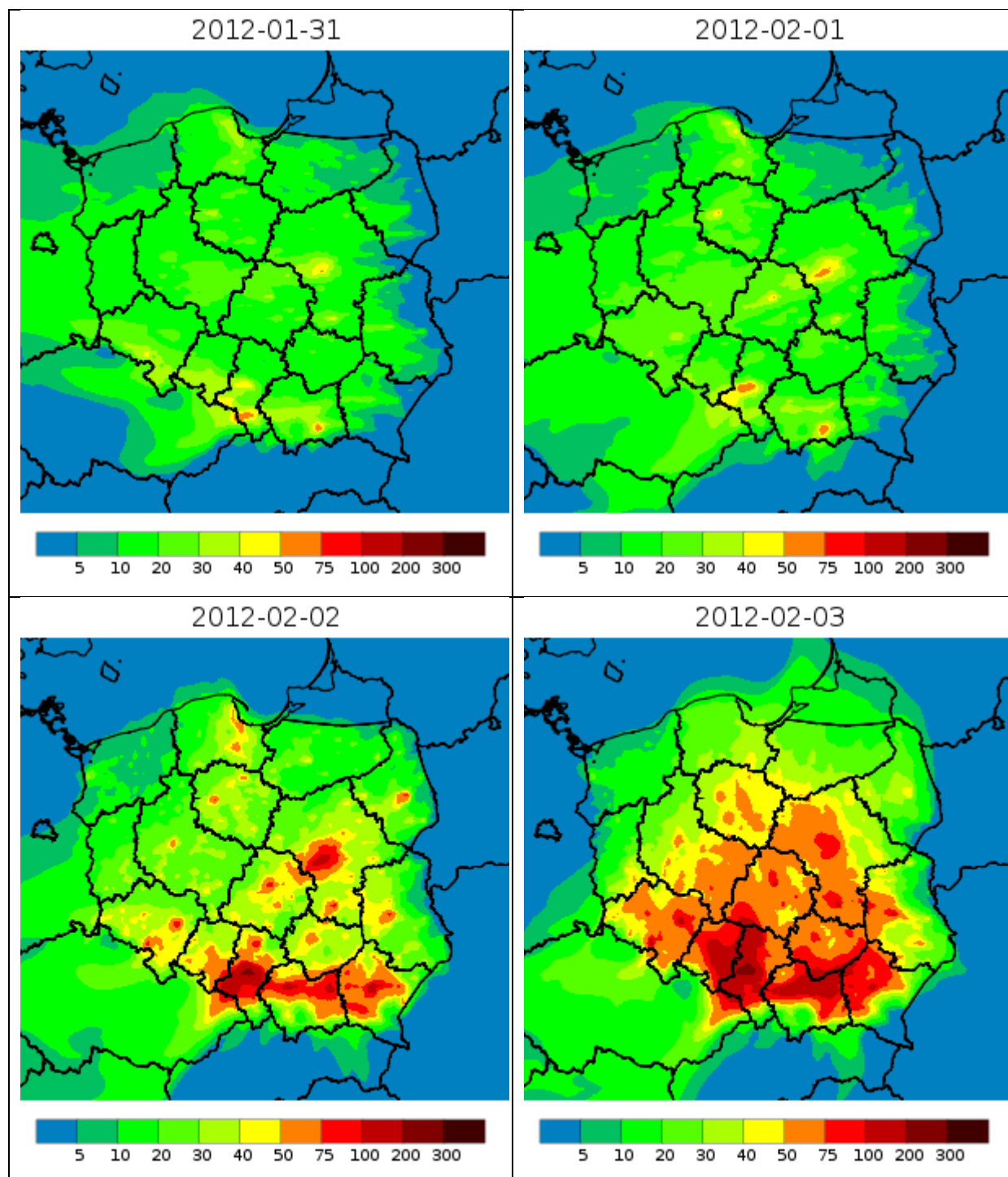


Rysunek 4-204 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 27.01-14.02.2012 r.

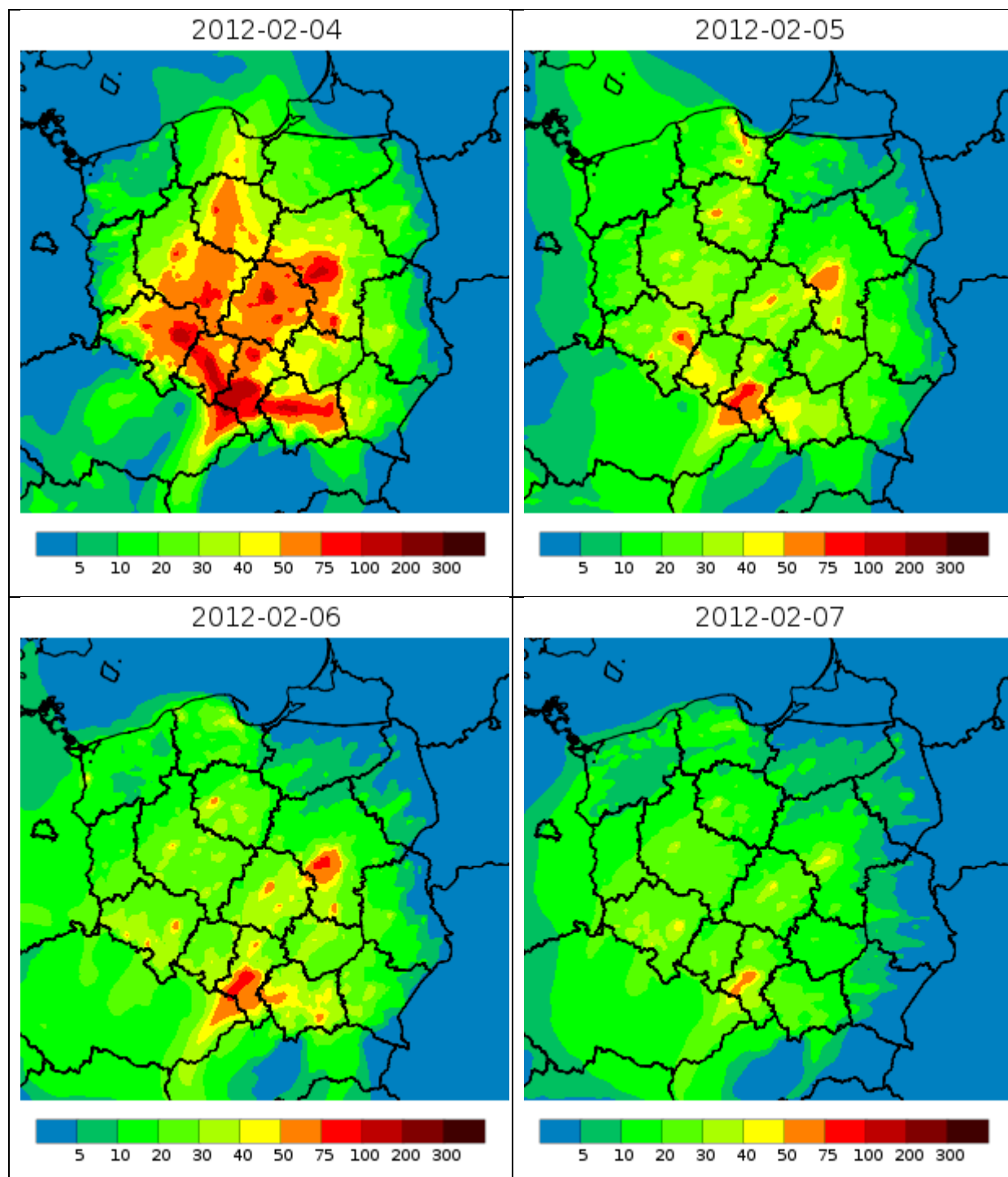
Napływ transgraniczny zanieczyszczeń, w trakcie trwania epizodu następował głównie z kierunku zachodniego. 27 stycznia zaznaczył się pewien napływ z kierunku południowo-zachodniego i przy granicy województwa dolnośląskiego, opolskiego oraz śląskiego osiągał stężenia około $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ponadto w dniach 3, 6, 7 i 10 lutego wyższe stężenia z napływu transgranicznego PM₁₀ zaznaczyły się w województwie podkarpackim. Od 13 lutego napływ następował już wyraźnie z kierunku zachodniego oraz południowo-zachodniego i był zdecydowanie wyższy niż w dniach poprzednich. Stężenia na pograniczu (województwo lubuskie, zachodniopomorskie, dolnośląskie oraz śląskie) dochodziły nawet do $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**

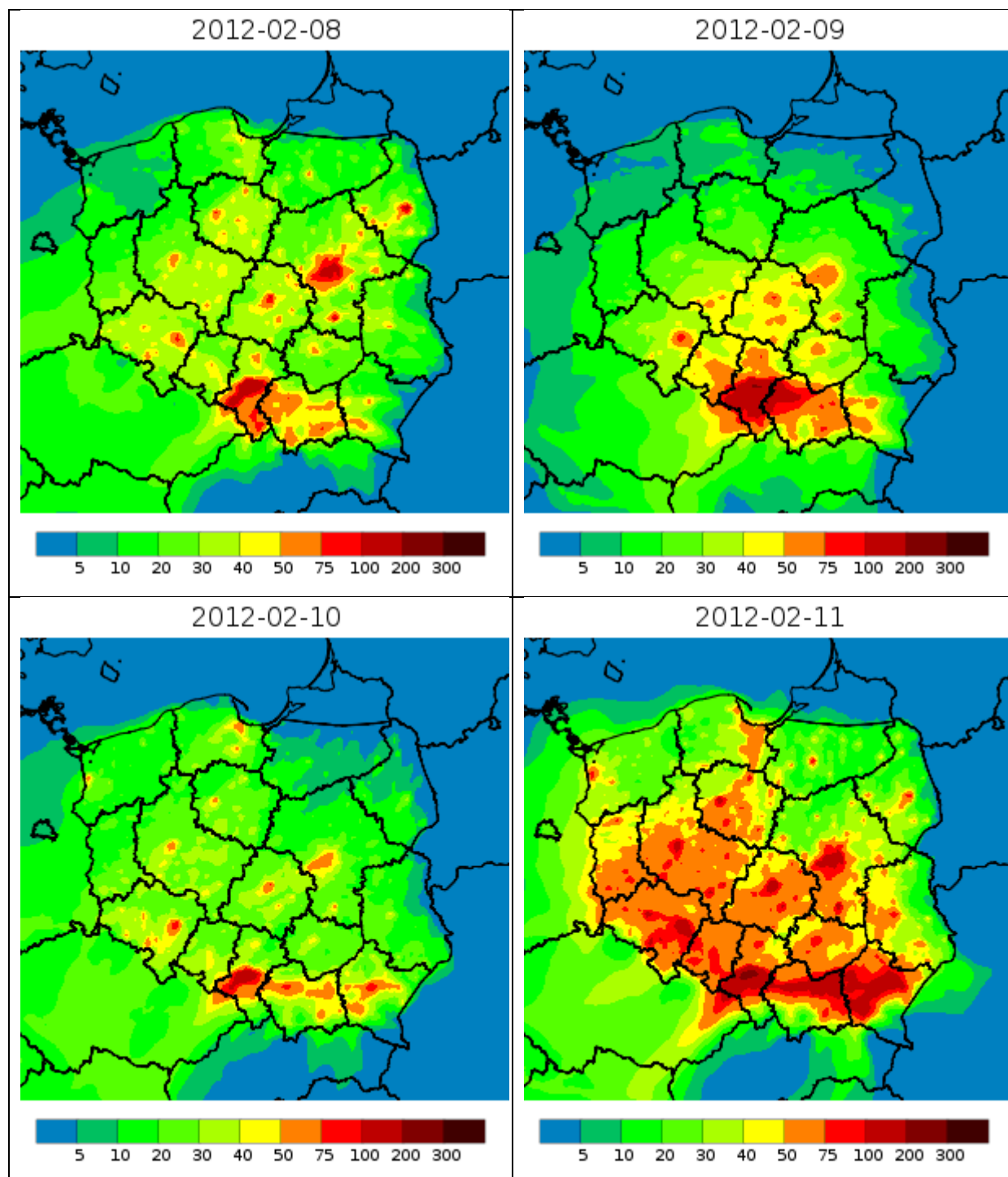


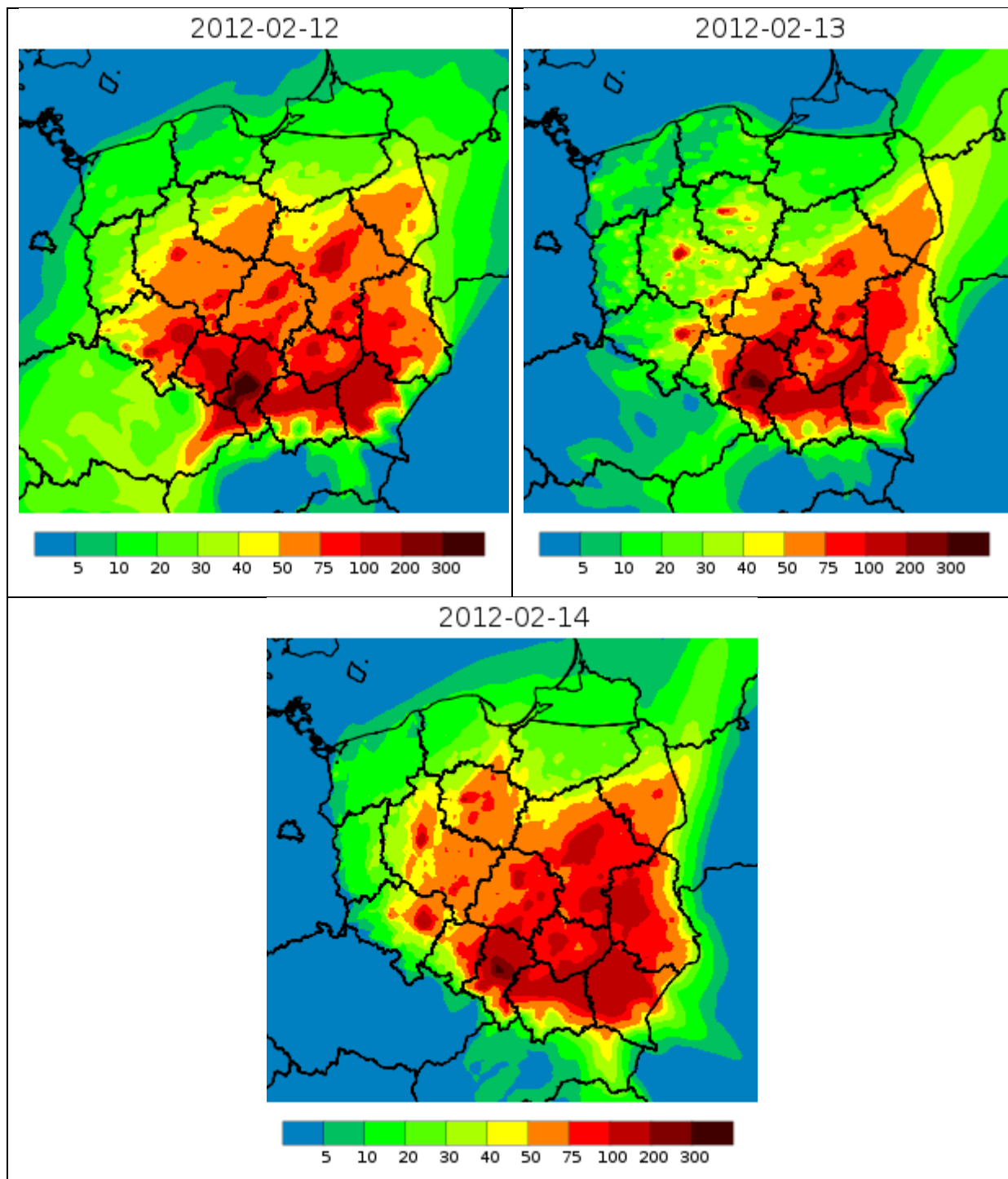


Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii



Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

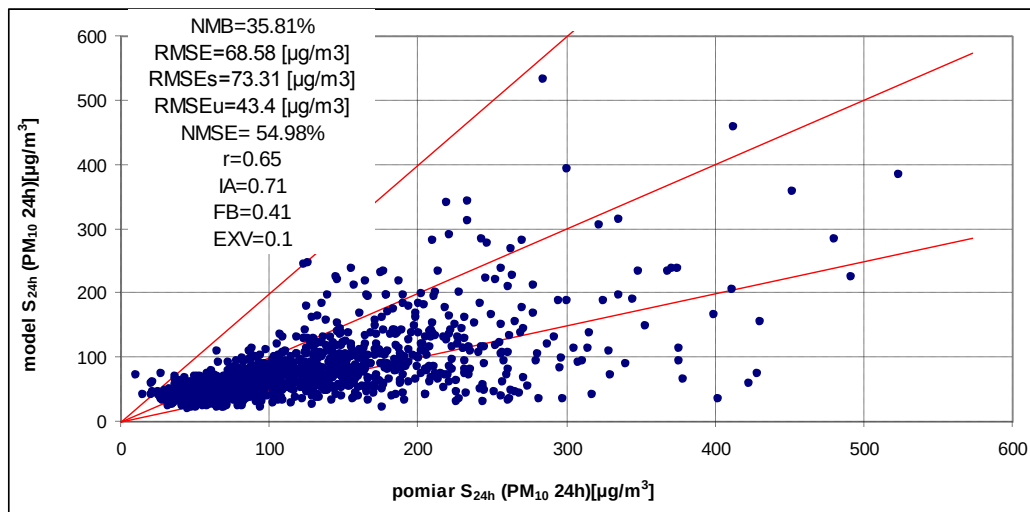




Rysunek 4-205 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 27.01-14.02.2012 r.

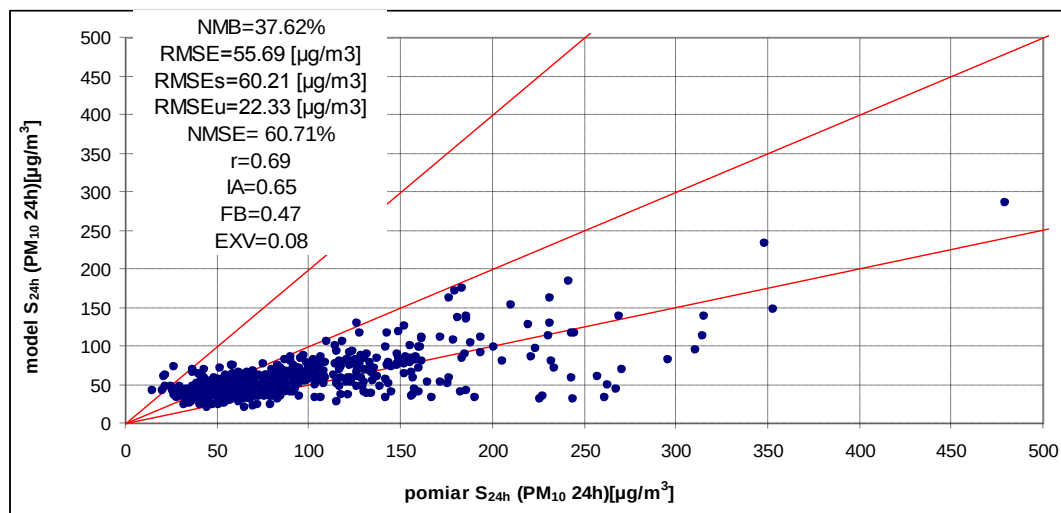
Transport zanieczyszczeń pochodzących z emisji z terenu Polski w trakcie trwania epizodu następował w różnych kierunkach. Od 27 stycznia transport zanieczyszczeń odbywał się w kierunku zachodnim, a stężenia na granicy kraju nie przekraczały raczej 20-30 µg/m³. W kolejnych dniach zanieczyszczenia przemieszczały się w kierunku południowo-zachodnim i były istotnie wyższe (do 75 µg/m³). Od 12 lutego kierunek przemieszczania się zanieczyszczeń zmienił się na południowo-wschodni, wówczas to wystąpiły maksymalne stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ na południu i południowym wschodzie kraju. W trakcie

trwania tego epizodu wyraźnie zaznacza się wpływ emisji lokalnej w miastach i aglomeracjach. Ponadto w ciągu kilku dni zaznaczył się wpływ stężeń zanieczyszczeń z terenu Polski w stronę Czech (9-12 luty).



Rysunek 4-206 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Czechami w terminie 27.01.2012 - 14.02.2012r.

Współczynnik korelacji i indeks zgodności są na poziomie wysokiej korelacji, pozostałe błędy są zbliżone do wartości oznaczających dobrą jakość modelowania. Niestety spora liczba punktów wskazujących na zależność modelowania względem pomiaru jest umieszczona poniżej dolnego ramienia, ograniczającego obszar poprawnego modelowania.



Rysunek 4-207 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach i krajach graniczących z Polską i Czechami w terminie 27.01.2012 - 14.02.2012r.

Po usunięciu pomiarów ze stacji o charakterze miejskim, pozostały jedynie wyniki ze stacji tła miejskiego: Złoty Potok z obszaru Polski i 32 stacji z Czech. Błąd RMSE dla wyników pomiarów z wymienionych stacji wskazuje, że modelowanie oszacowuje wyniki średnio o $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mniejsze niż pomiary. Duży błąd RMSE_s wskazuje na systematycznie

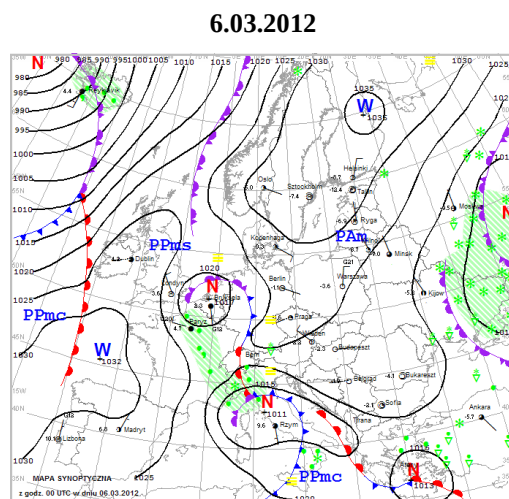
popelniany błąd przez model, którym najprawdopodobniej jest niedoszacowanie emisji. Znormalizowany błąd średniokwadratowy (NMSE) oszacował rozbieżność pomiędzy pomiarem a wynikami modelowania na poziomie 61%. Współczynnik korelacji i indeks zgodności nadal wskazują na umiarkowaną korelację.

Jeżeli za prawidłowe uznane zostaną wyniki, które znajdują się w przedziale, którego początek znajduje się w punkcie dwukrotnie mniejszym niż wynik pomiaru, a koniec odpowiada dwukrotnie zwiększonej wartości pomiaru, to otrzymamy zgodność modelowania na poziomie 78%. Pozostałe 22% to niedoszacowane rezultaty modelowania, co może potwierdzać zbyt małą emisję wprowadzoną do modelowania.

4.7.3. Epizod 3 od 4 do 8 marca 2012 r.

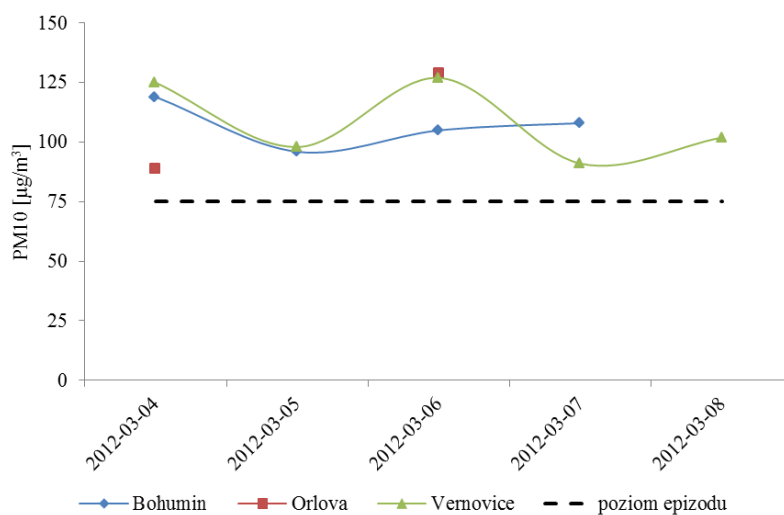
4.7.3.1. Sytuacja synoptyczna

W dniach 4-8.03.2012 obszar Polski był w zasięgu klina wyżu znad Skandynawii. Wówczas z północy napływało suche i chłodne powietrze pochodzenia arktycznego (PA). Ostatniego dnia epizodu ośrodek wyżu zaczął słabnąć i przemieścił się dalej na wschód nad zachodnią Rosję. Nad Polskę zachodnią nasunęła się zatoka niżu znad Morza Norweskiego z frontem atmosferycznym. Zaczęło wówczas napływać cieplejsze powietrze polarno-morskie (PPmc).



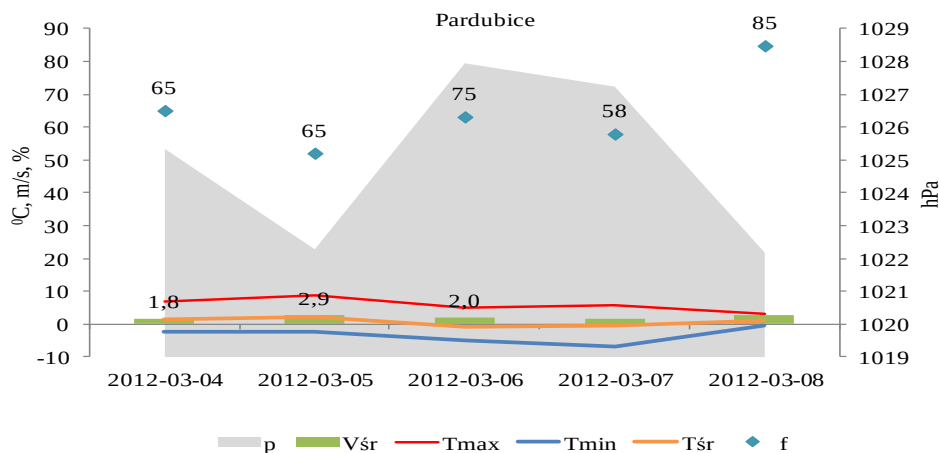
Rysunek 4-208 Mapa synoptyczna z dnia 6 marca 2012 roku, godzina 0 UTC

4.7.3.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne

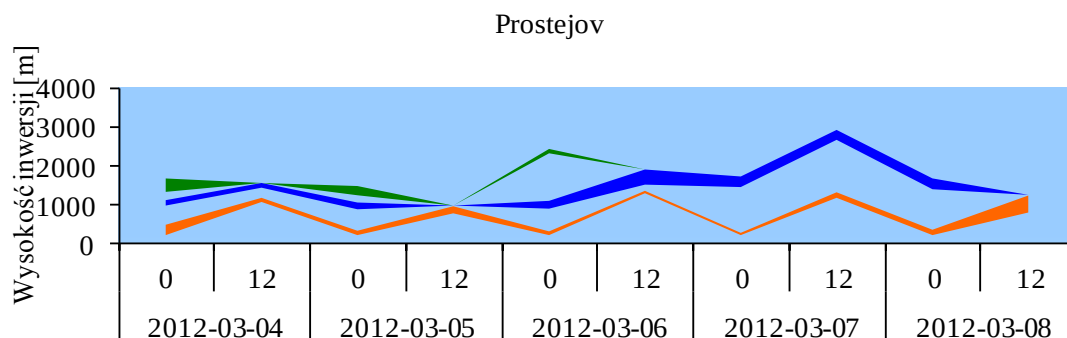


Rysunek 4-209 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

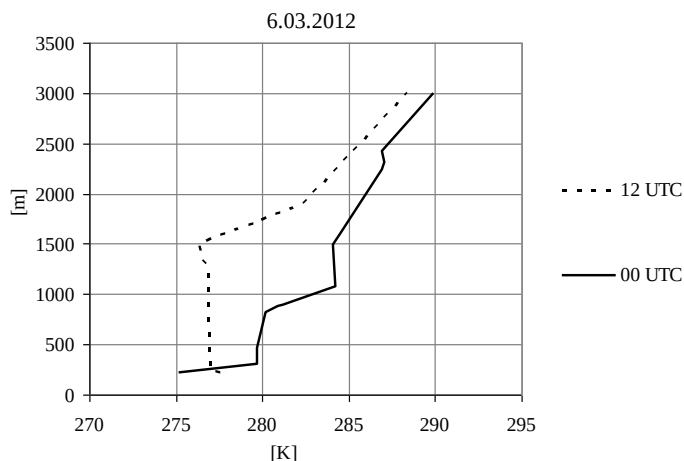


Rysunek 4-210 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-211 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

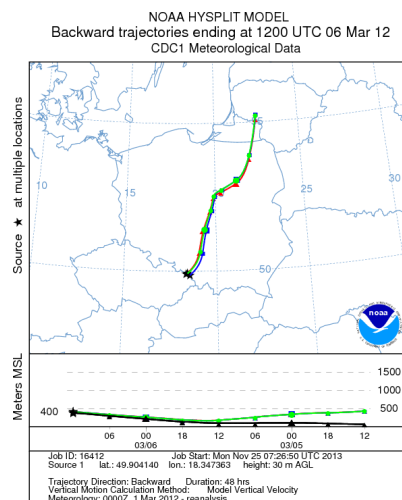
Podczas trwania epizodu występowała słabo wykształcona pierwsza warstwa inwersji wzniesionej, której wysokość podlegała dobowemu biegowi. Jednocześnie niska prędkość wiatru dolnego oraz duża amplituda temperatur dobowych wskazują, że w nocy mogła wykształcać się inwersja przyziemna.



Rysunek 4-212 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.7.3.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten był epizodem lokalnym, obejmującym swoim zasięgiem wyłącznie Czechy. Maksymalne stężenia odnotowano dla większości stacji dnia 6.03.2012. Trajektorie wsteczne wyznaczono dla stacji zlokalizowanych w Bohuminie (105 µg/m³), Karwinie (129 µg/m³) i Vernovicach (127 µg/m³).

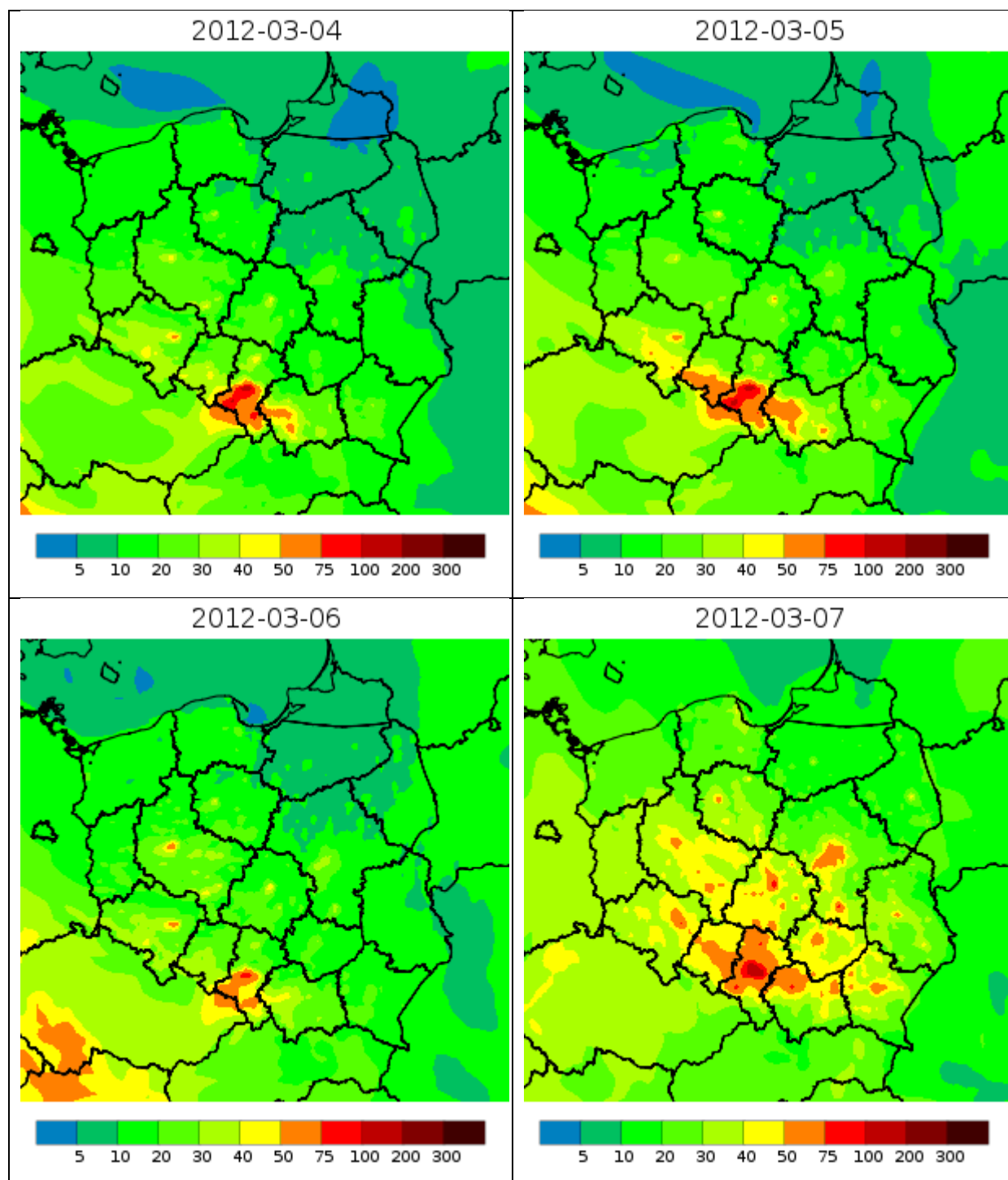


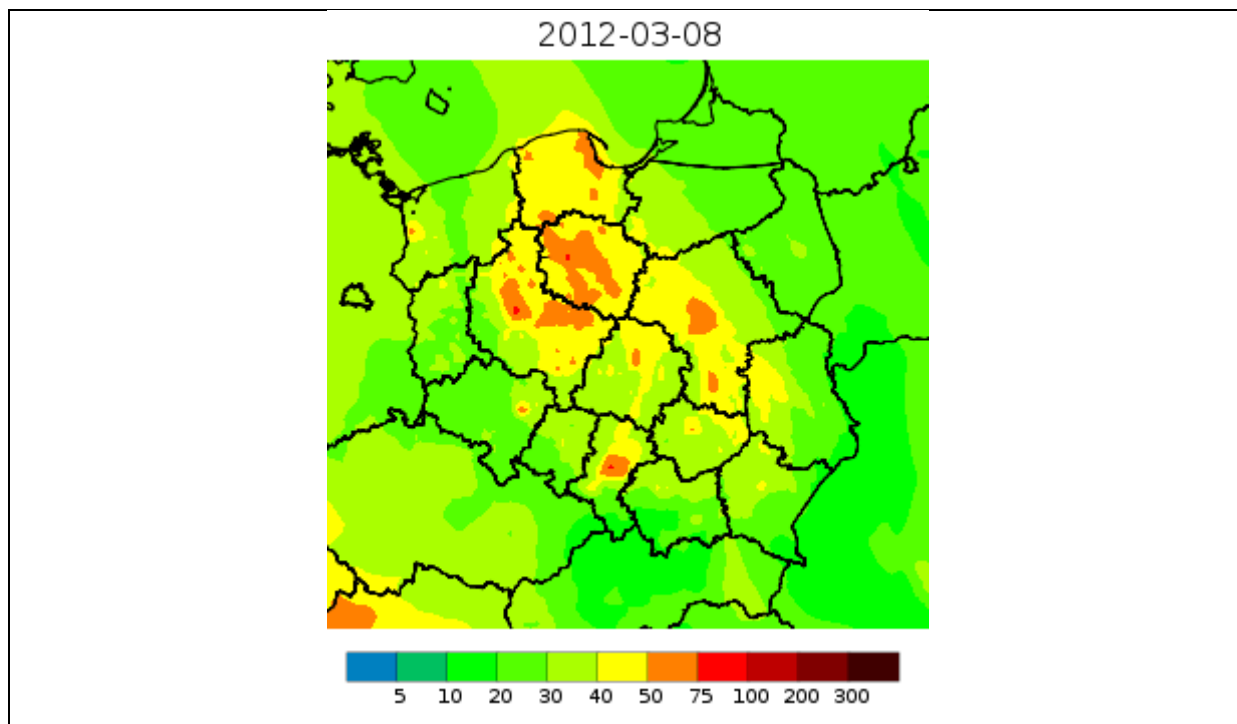
Rysunek 4-213 Trajektorie wsteczne w dniu 6.03.2012

Trajektorie wsteczne w czasie tego epizodu podnosiły się stopniowo, aby po dwóch dobach osiągnąć wysokość 370 m. Przez początkowe 30 h trajektorie pozostają w obrębie warstwy mieszania. Wysokość warstwy mieszania w chwili startu trajektorii w Czechach wynosiła ponad 900 m. Wysokość ta zmieniała się wyraźnie wzdłuż trajektorii w cyklu dobowym od 70 m w nocy do ponad 600 m w dzień. Długość trajektorii wskazuje na znaczną prędkość wiatru. Analiza trajektorii wstecznych w dniu 6.03.2012 wskazuje, że podwyższenie stężeń PM₁₀ tego dnia mogło być wynikiem napływu.

4.7.3.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10

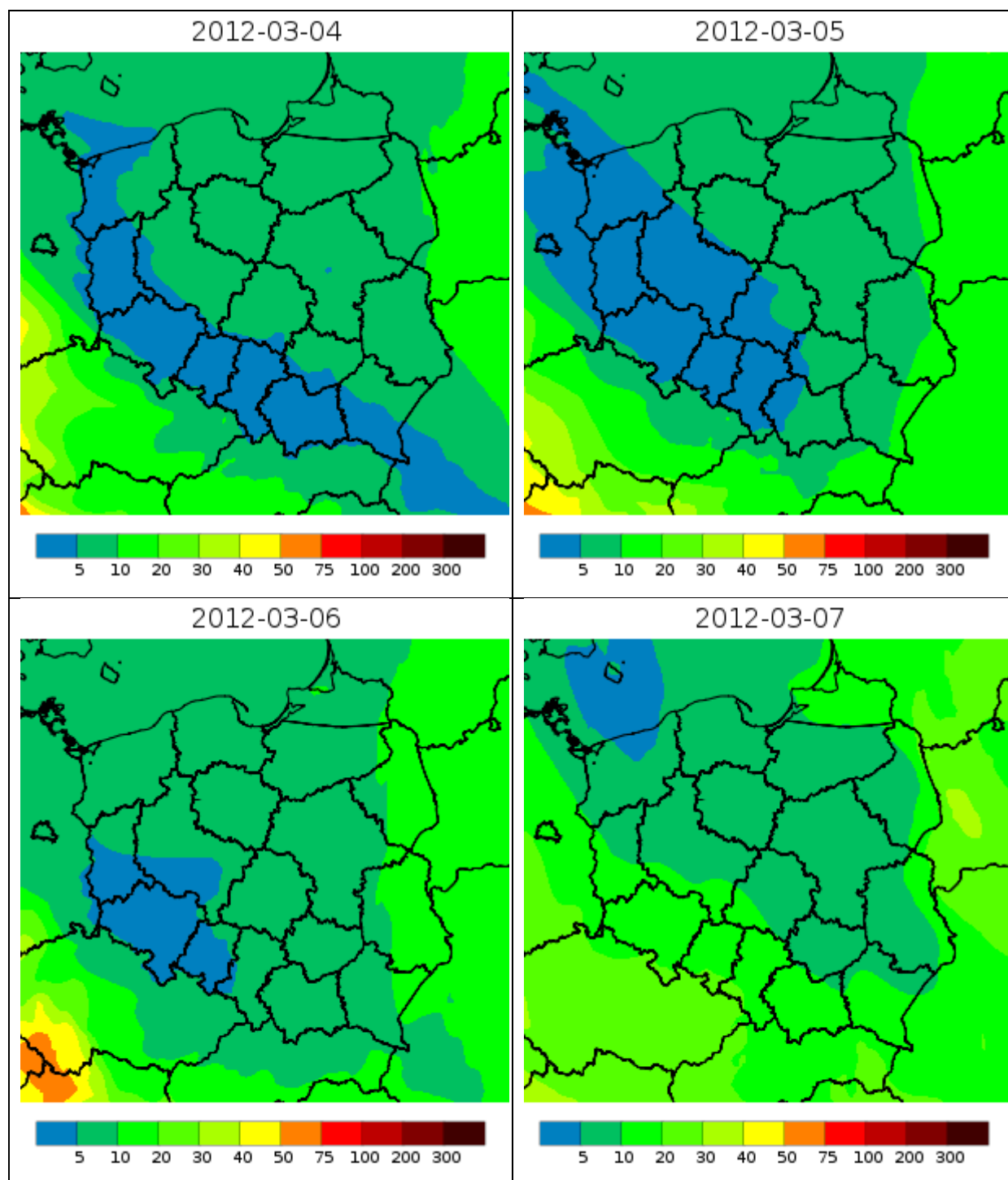


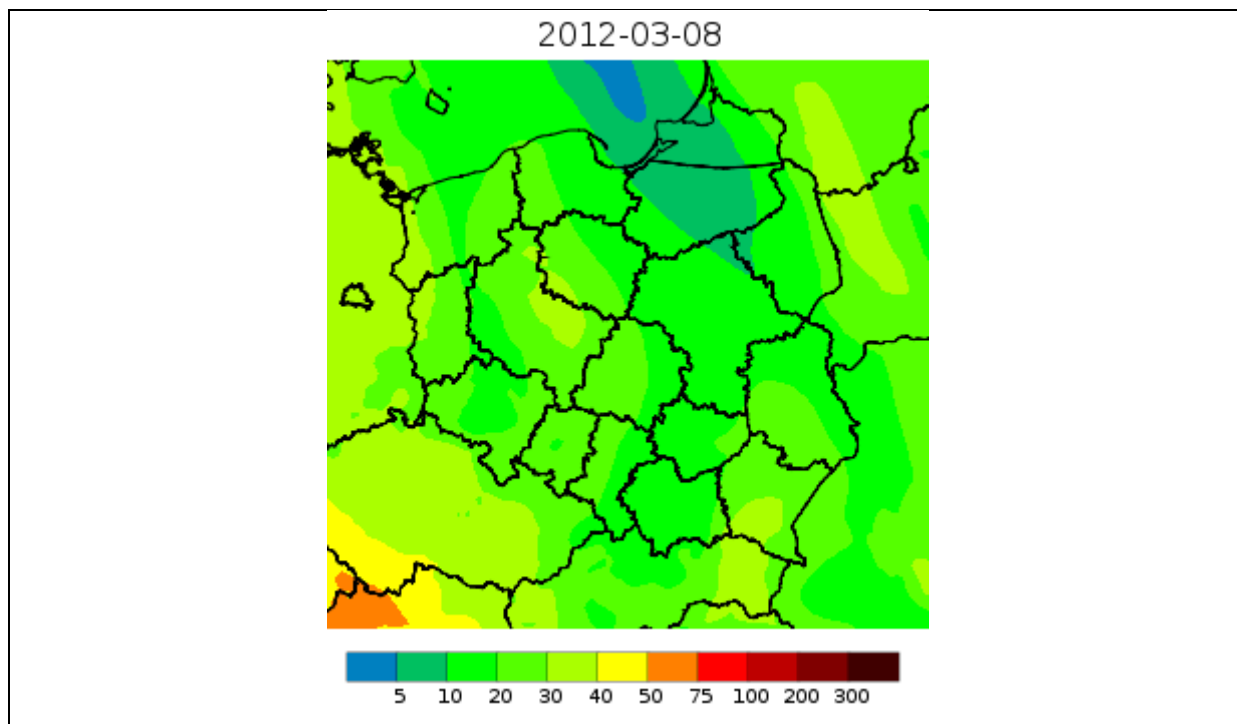


Rysunek 4-214 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 4-8.03.2012 r.

Modelowanie jakości powietrza w dniach od 4 do 8 marca 2012 r. wykazało wyłącznie występowanie epizodu o charakterze lokalnym na terenie województwa śląskiego. Z tym epizodem związane jest nieznaczne przemieszczenie zanieczyszczeń powietrza w kierunku Czech w dniach 4 i 5 marca. Jednakże stężenia w okolicach Bramy Morawskiej osiągnęły około $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kolejne dni nie wykazały transportu zanieczyszczeń, a raczej występowanie wysokich stężeń na terenach miast i aglomeracji związanych z emisją lokalną.

**B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego
na obszar Polski**

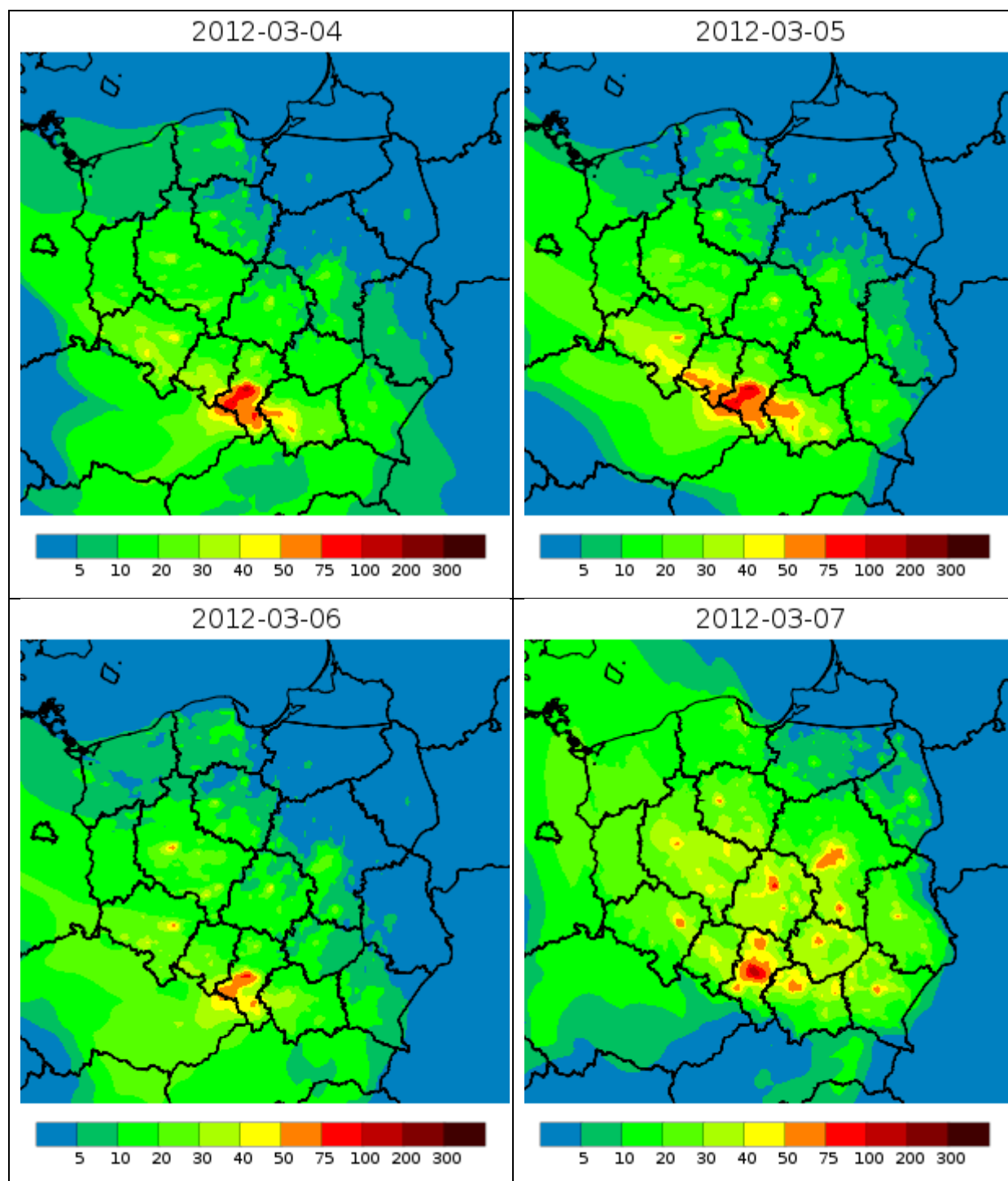


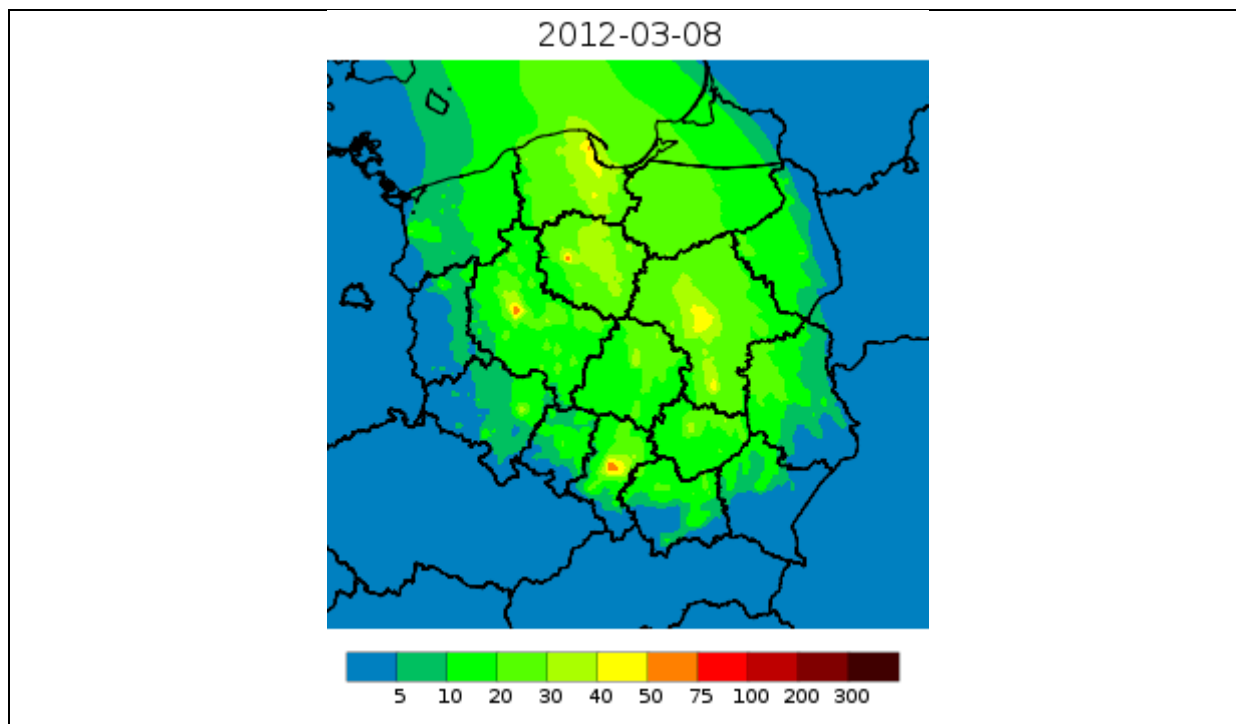


Rysunek 4-215 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 4-8.03.2012 r.

Napływ transgraniczny w tych dniach był bardzo niski i na znacznym obszarze Polski nie przekraczał $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dopiero 8 marca stężenia pochodzące z napływu transgranicznego wzrosły do około $20\text{-}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

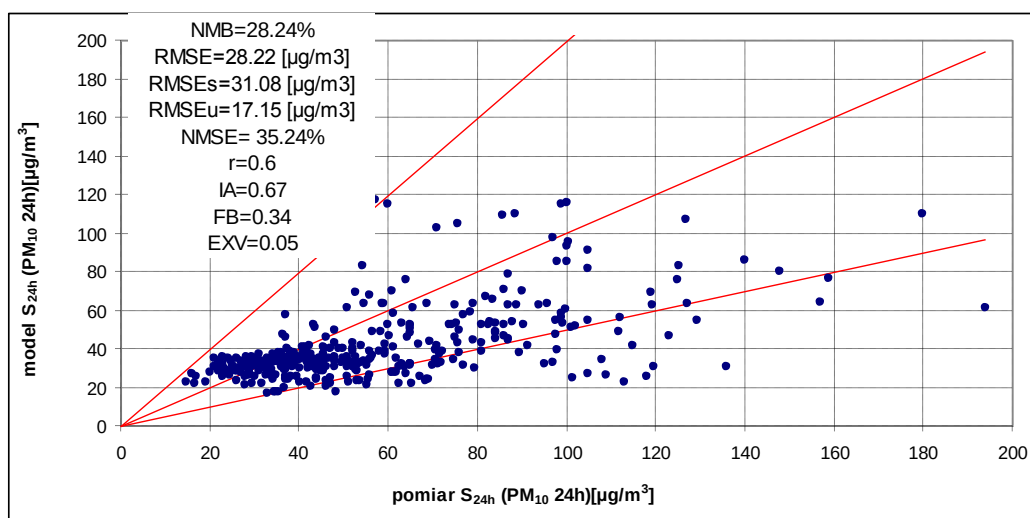
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





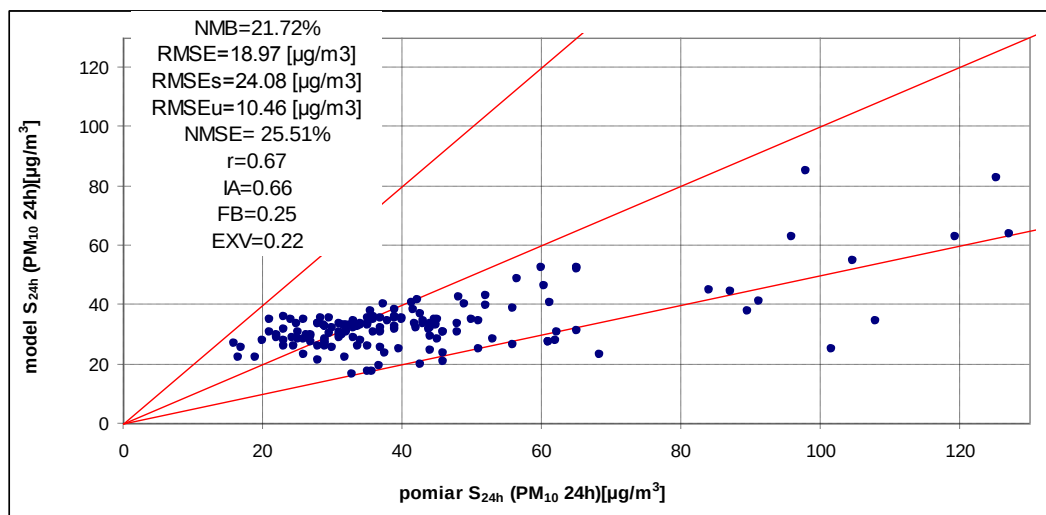
Rysunek 4-216 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 4-8.03.2012 r.

Stężenia pochodzące od emisji z terenu Polski w trakcie trwania epizodu miały charakter lokalny i koncentrowały się w obszarach miejskich. Najwyższe stężenia wystąpiły 7 marca na terenach Aglomeracji Górnośląskiej, Rybnicko-Jastrzębskiej, Bydgoskiej, Wrocławskiej, Poznańskiej, Łódzkiej, Warszawskiej, Krakowskiej, Lubelskiej, Rzeszowa, Kielc, Radomia, Częstochowy, Piotrkowa Trybunalskiego i Tarnowa i przekraczały one poziom dopuszczalny dla średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀. Do 6 marca odpływ zanieczyszczeń z terenu Polski odbywał się w kierunku zachodnim i południowo – zachodnim. Natomiast od 7 marca wyraźnie dominował północny kierunek odpływu zanieczyszczeń.



Rysunek 4-217 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Czechami w terminie 4.03.2012 - 8.03.2012r.

Podobnie jak w poprzednim epizodzie otrzymano bardzo wysoką korelację pomiędzy modelowaniem i pomiarami. Znormalizowany błąd średniokwadratowy jest poniżej 40%, czyli jakość modelowania jest dobra. Natomiast NMB wynosi ok. 28% co także potwierdza że modelowanie jest poprawne. Większość punktów znajduje się w okolicach dolnego ramienia oznaczającego dwukrotnie niższe wartości stężeń względem pomiarów.



Rysunek 4-218 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach graniczących z Polską i Czechami w terminie 4.03.2012 - 8.03.2012r.

Po odrzuceniu z dalszej analizy stacji o charakterze miejskim dla epizodu, który miał miejsce od 4.03.2012 do 8.03.2012, pozostały wyniki pomiarów pyłu zawieszonego PM₁₀ ze stacji Złoty Potok i z 32 stacji z terenu Czech. Zgodność modelowania względem pomiarów w tym przypadku jest dobra. Indeks zgodności i współczynnik korelacji wskazują na znaczną zależność pomiędzy modelowaniem a pomiarami. Miara odchylenia NMB jest bliska 10%, a rozbieżność modelu NMSE jest dużo niższa niż wymagane 40%. Model różni się od pomiarów średnio o 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Wariancja wyjaśniona, określająca jak bardzo wariancja pomiarów jest wyjaśniona przez model wynosi 0,22, a dla dobrego modelu powinna być większa od 0,3.

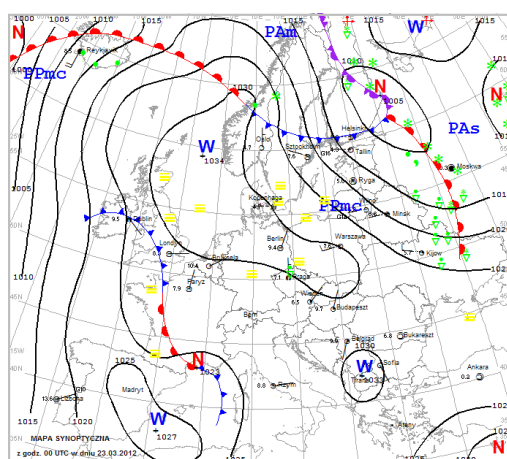
Wyniki modelu zgadzają się z pomiarami w 89%, gdy za prawidłowe uznamy rezultaty znajdujące się pomiędzy dwukrotnie zawyżonymi i dwukrotnie obniżonymi wynikami pomiarów. Pozostałe 11% rezultatów znajduje się poniżej wyników pomiarów.

4.7.4. Epizod 4 od 20 do 24 marca 2012 r.

4.7.4.1. Sytuacja synoptyczna

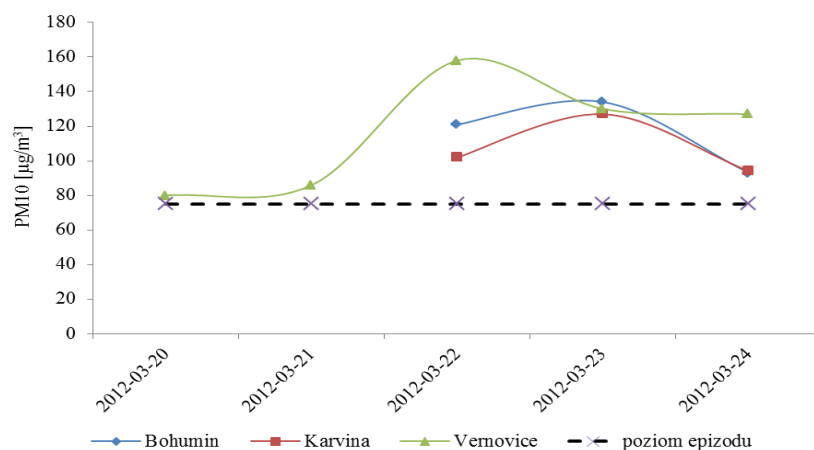
W dniach 20-24.03.2012 nad Polską dominowały układy wyżowe z centrami nad Europą zachodnią i Morzem Północnym. Wyże te zapewniały napływ z zachodu lub północnego zachodu stosunkowo ciepłego, ale dość wilgotnego powietrza pochodzenia polarno-morskiego (PPmc).

23.03.2012

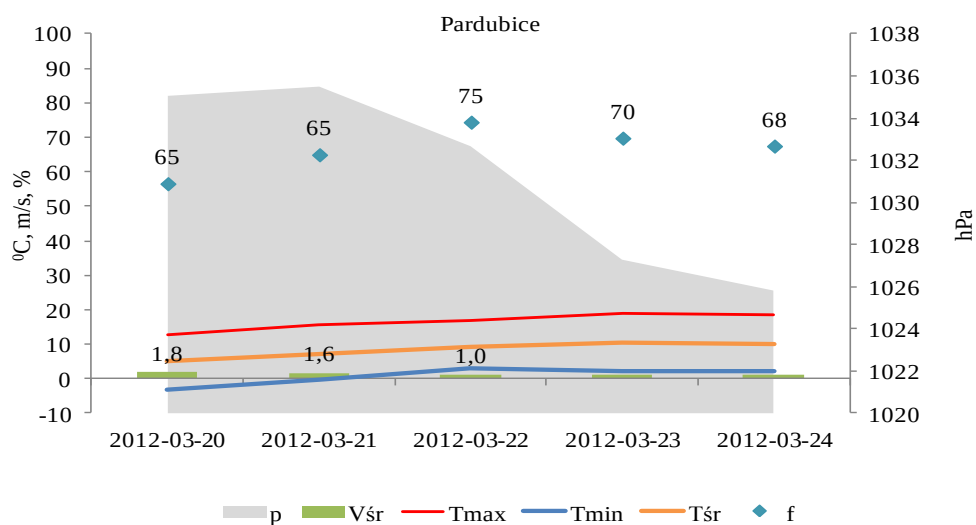


Rysunek 4-219 Mapa synoptyczna z dnia 23 marca 2012 roku, godzina 0 UTC

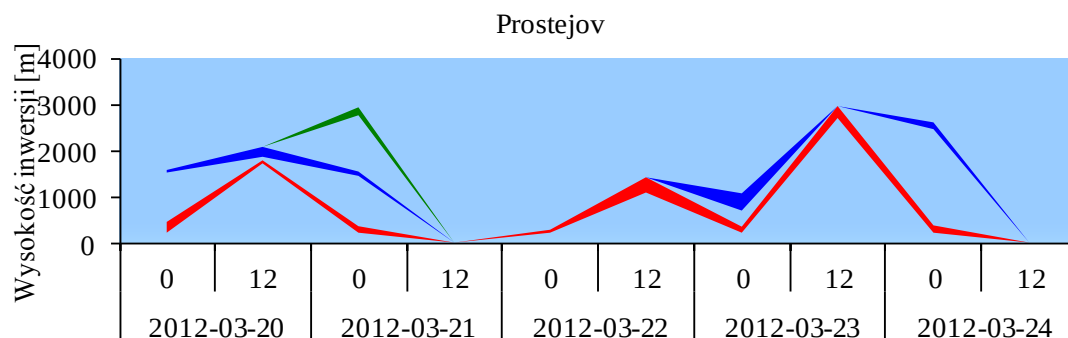
4.7.4.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne



Rysunek 4-220 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀

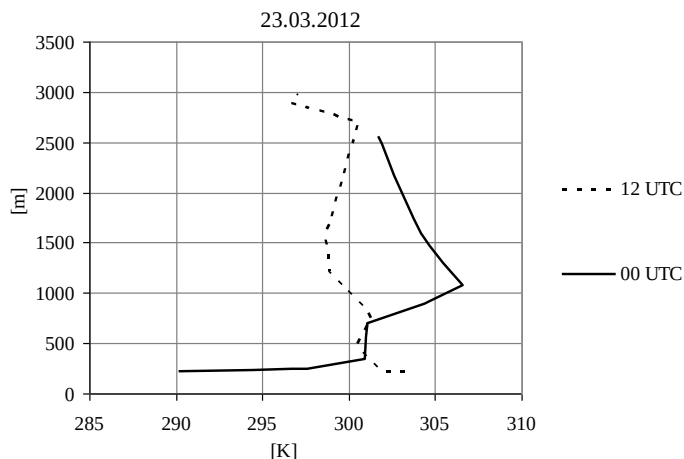


Rysunek 4-221 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vsr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-222 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

W ciągu trwania epizodu obserwowano dobrze wykształcony dobowy bieg stosunkowo cienkiej warstwy inwersji wzniesionej, przy czym jej maksymalna wysokość w ciągu dnia podczas kulminacji Vernovicach przekraczała 1000m a podczas kulminacji w dniu następnym na stacjach Karwina i Bohumin przekraczała 2000 m. Dodatkowo podczas epizodu notowano stosunkowo wysoką temperaturę powietrza. Jednak niska dobowa prędkość wiatru mogła sugerować powstawanie lokalnych inwersji przyziemnych.

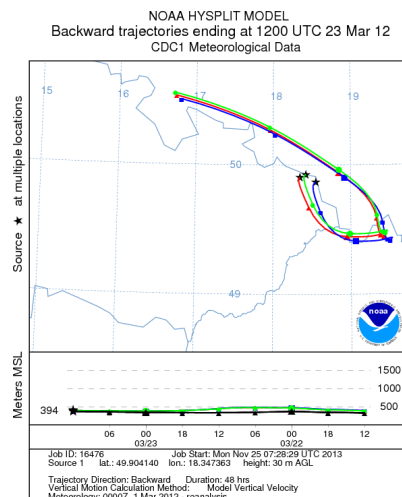


Rysunek 4-223 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.7.4.3. Trajektorie wsteczne

Epizod ten był epizodem lokalnym, obejmującym swoim zasięgiem wyłącznie Czechy. Maksymalne stężenia odnotowano dla większości stacji dnia 23.03.2012. Trajektorie wsteczne wyznaczono dla stacji zlokalizowanych w Bohuminie ($134 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Karwinie ($118 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Vernovicach ($130 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

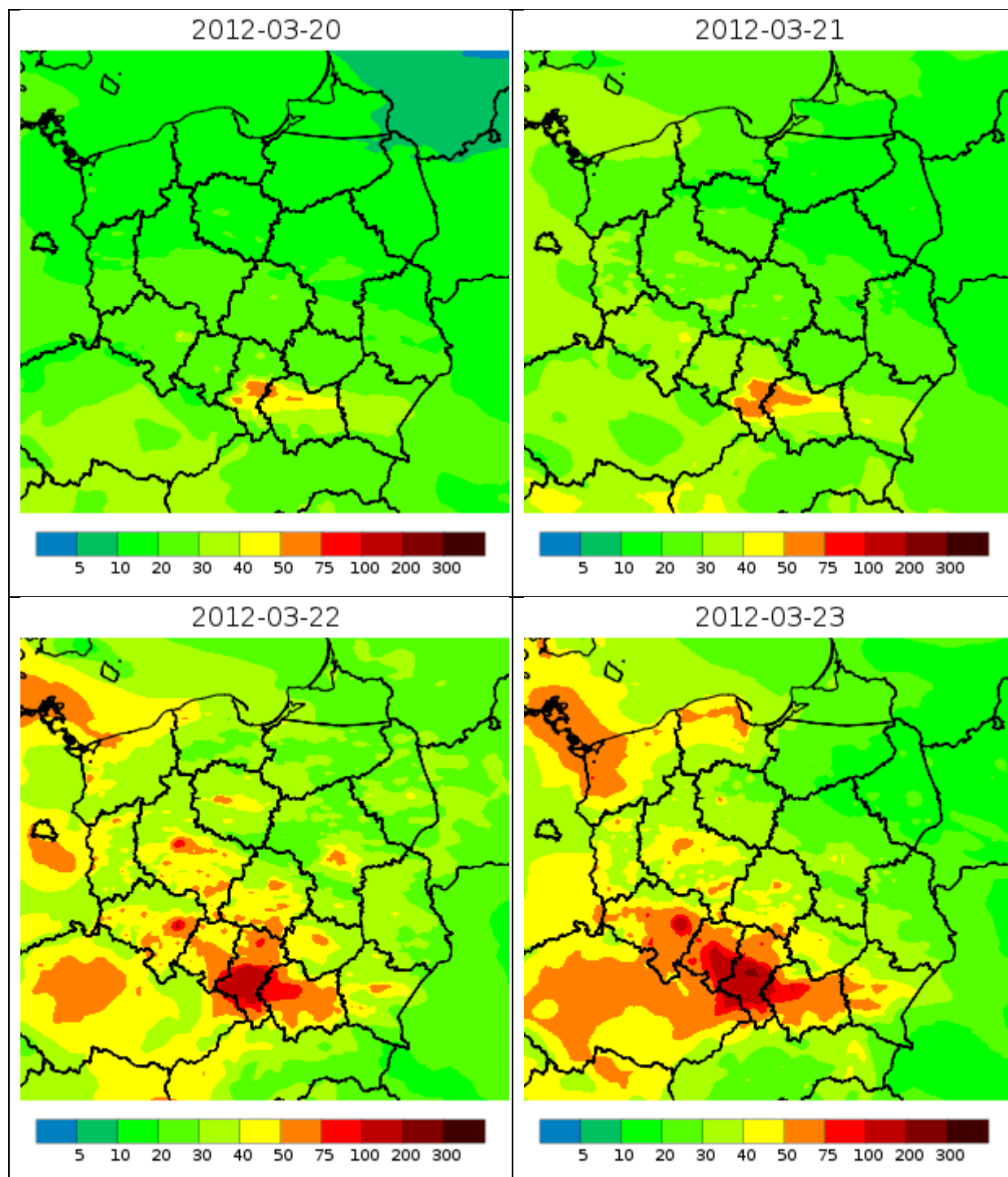


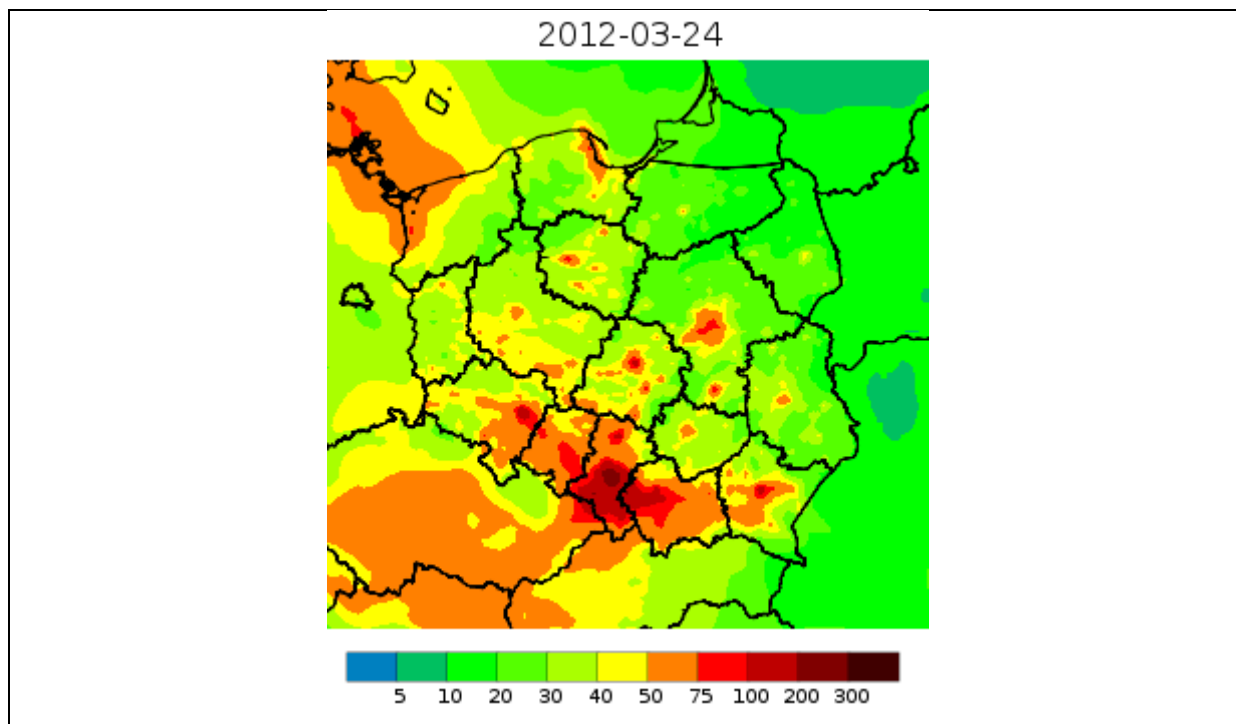
Rysunek 4-224 Trajektorie wsteczne dla stacji w Bohuminie, Karwinie i Vernovicach w dniu 23.03.2012

Trajektorie wsteczne w czasie tego epizodu podnosiły się stopniowo, aby po 28 h osiągnąć wysokość 140 m, po czym stopniowo się obniżały. Niemal cały czas pozostawały w obrębie warstwy mieszania. Przez początkowe 30 h trajektorie przemieszczały się bardzo powoli przez obszar Czech i Słowacji wzdłuż ich północnych granic, po czym przyspieszyły znacznie po przekroczeniu, w okolicach Babiej Góry, granicy Polski. Wysokość warstwy mieszania zmieniała się w cyklu dobowym. W Czechach i na Słowacji w ciągu dnia przekraczała nawet 900 m i była wysoka również w nocy (tylko przez kilka godzin poniżej 100 m, przeważnie około 200 m). W Polsce wysokość warstwy mieszania w dzień sięgała maksymalnie 500 m, a w nocy zmieniała się od 100 do 200 m. Bardzo niska początkowo prędkość wiatru wskazuje na dominujący wpływ stosunkowo nieodległych źródeł emisji, jednakże obserwowana duża wysokość warstwy mieszania wskazuje, że epizod ten kształtowały nie tylko źródła niskie, ale możliwy jest dominujący wpływ wysokich emitorów.

4.7.4.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10

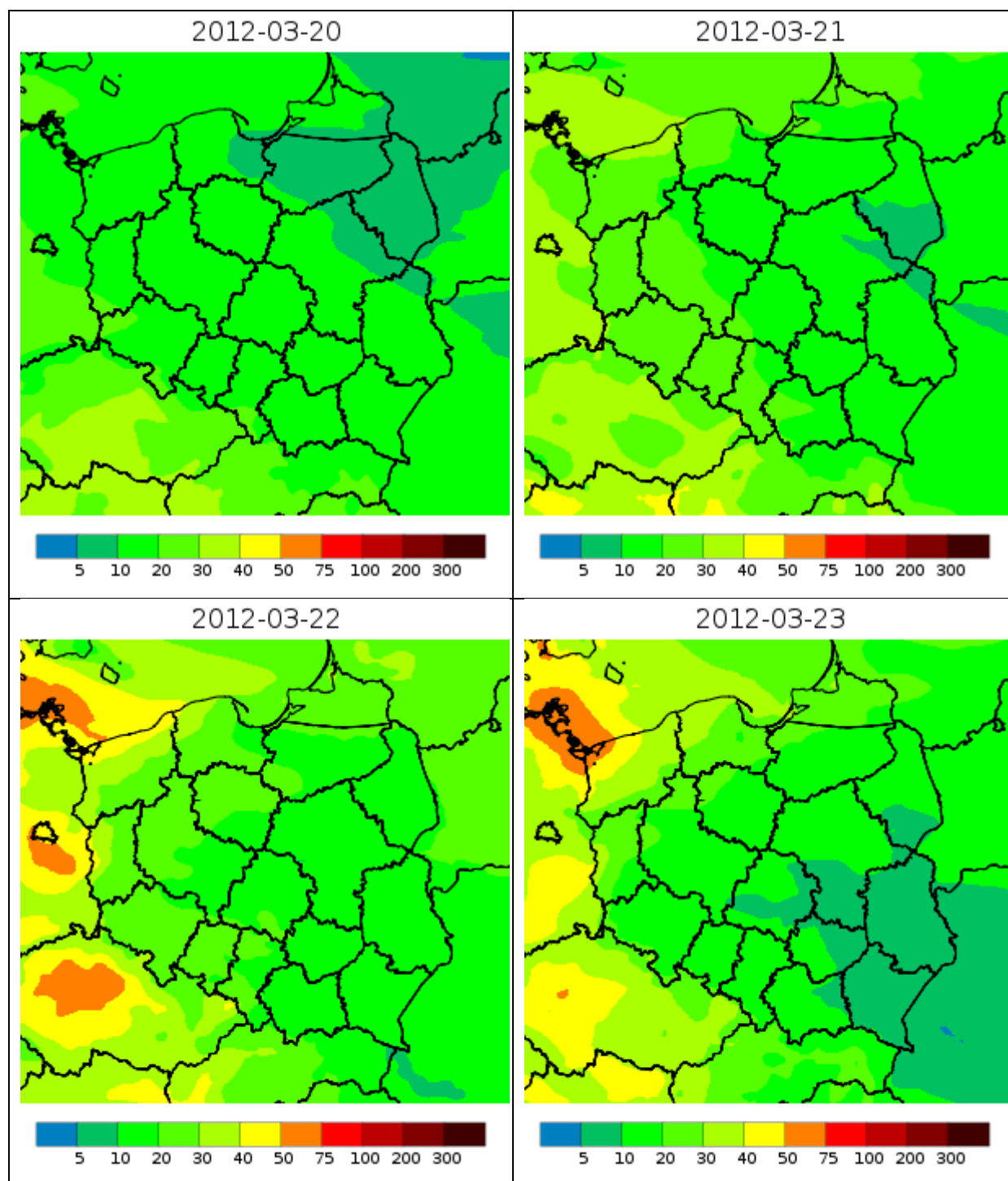


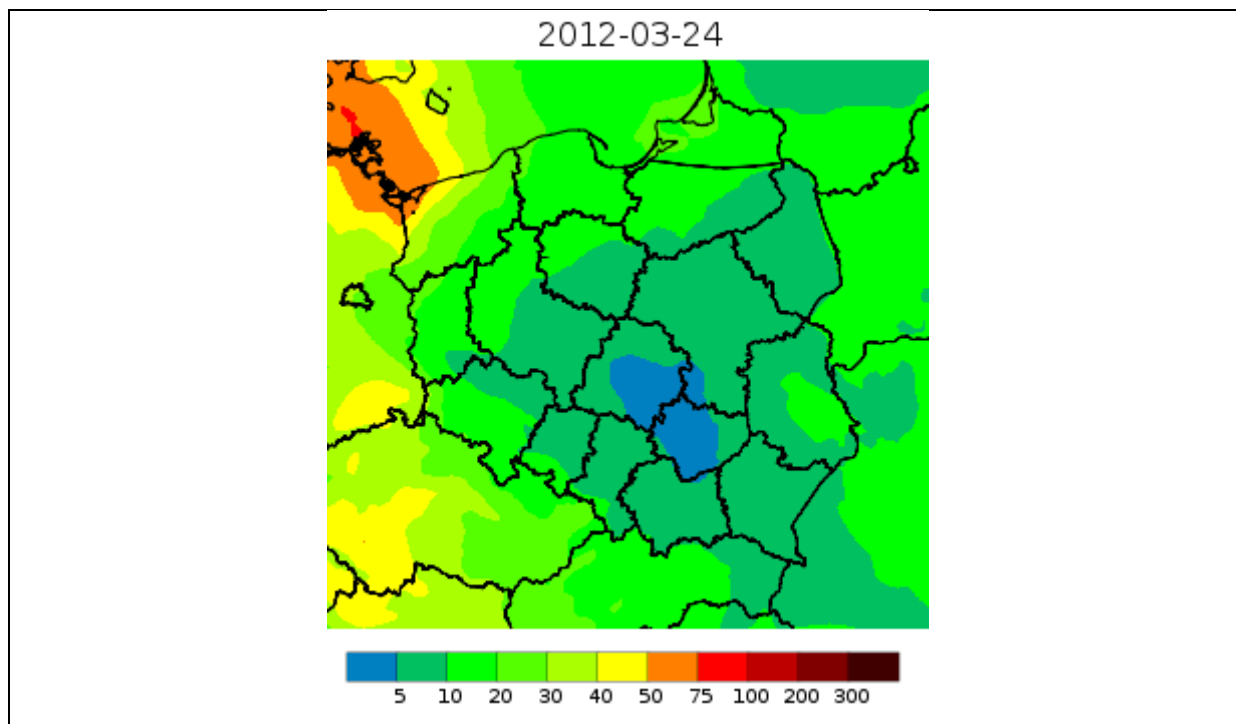


Rysunek 4-225 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 20-24.03.2012 r.

Epizod 20-24.03.2012 r. największy zasięg uzyskał w południowej części kraju. Chociaż wysokie stężenia odnotowano również na obszarach dużych miast i aglomeracji w centralnej i południowej Polsce (Wrocław, Rzeszów, Poznań, Warszawa, Łódź, Radom). Maksymalny zasięg (około 13 tys. km^2). Najwyższe stężenia w trakcie trwania epizodu wystąpiły 23 marca. Równocześnie 23 i 24 marca zaobserwowano podwyższone stężenia zanieczyszczeń w północnej części kraju, przekraczające poziom dopuszczalny dla dobowych wartości pyłu zawieszonego PM10.

**B. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego
na obszar Polski**

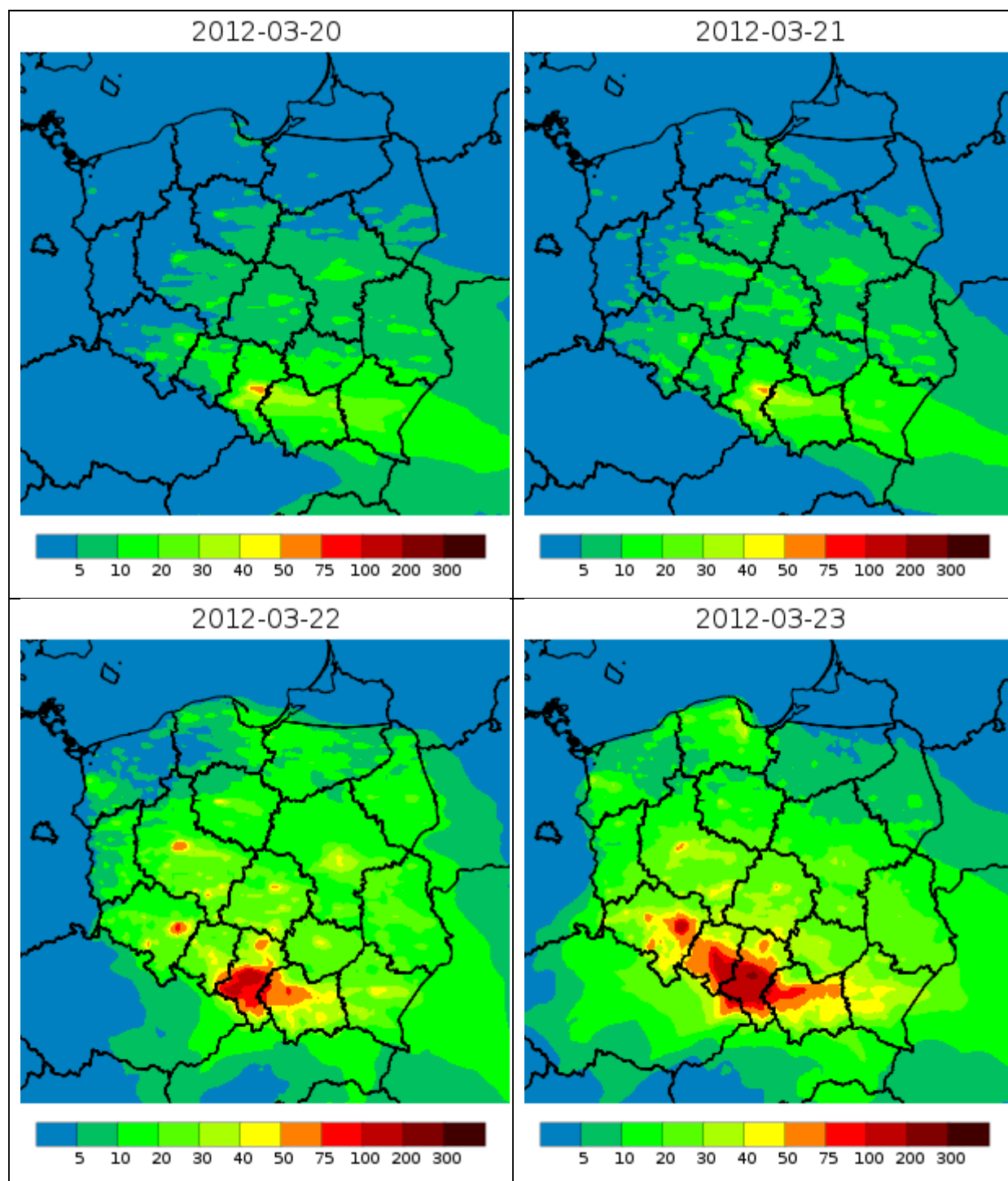


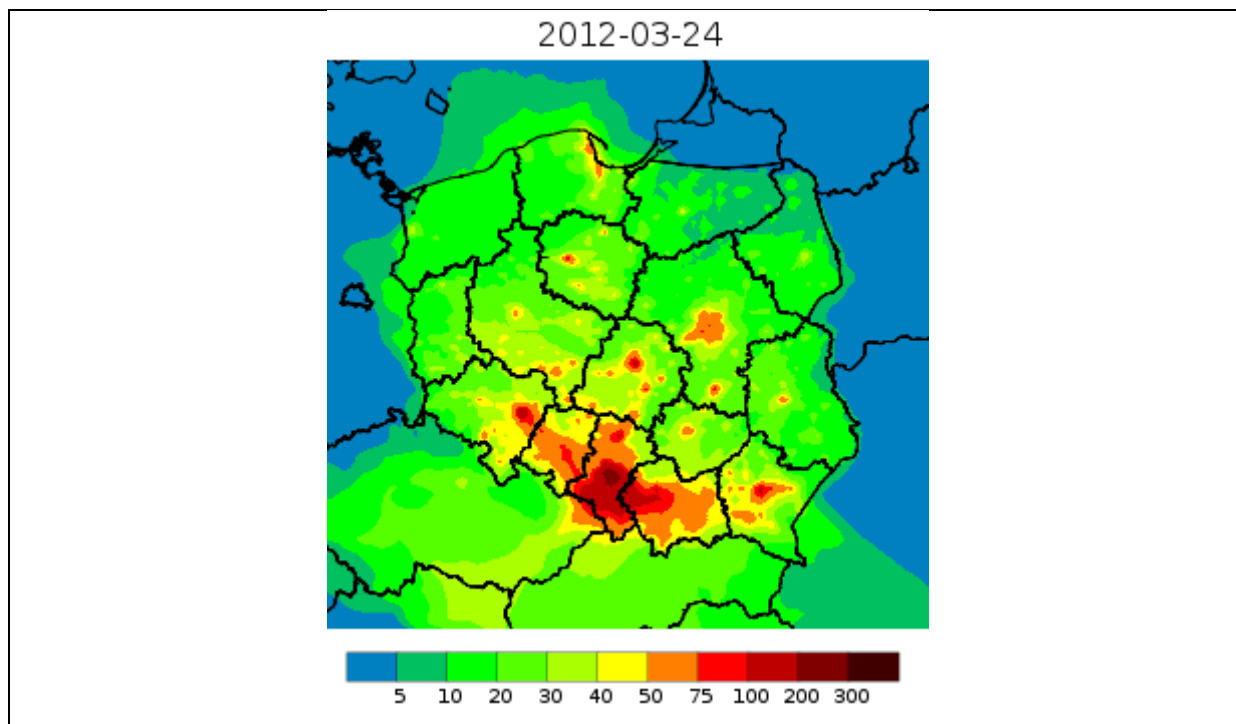


Rysunek 4-226 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 20-24.03.2012 r.

Napływ transgraniczny stężeń pyłu zawieszonego PM10 w trakcie trwania epizodu na obszarze kraju był stosunkowo niewielki do 10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedyne w północno-zachodniej części kraju, w okolicach Świnoujścia, od 22 marca osiągał wartości około 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

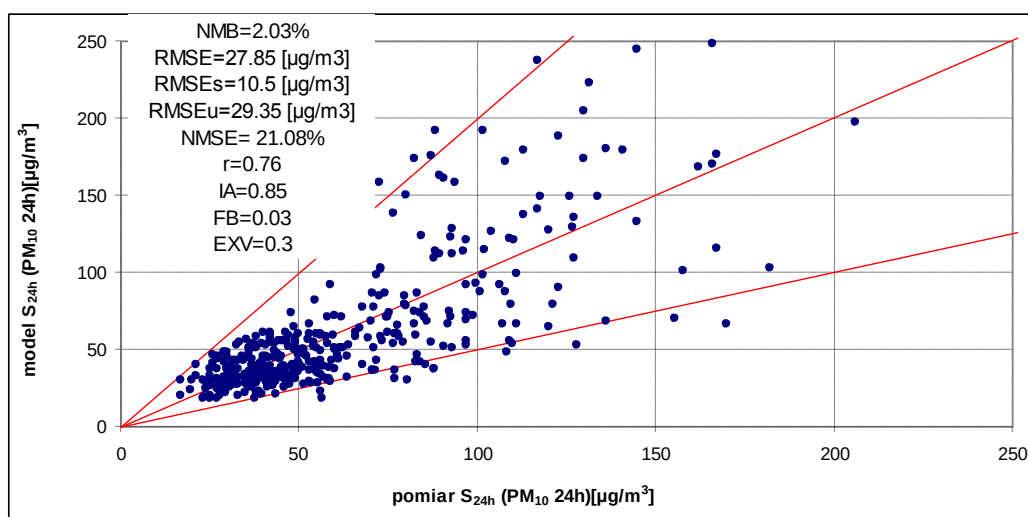
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





Rysunek 4-227 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 20-24.03.2012 r.

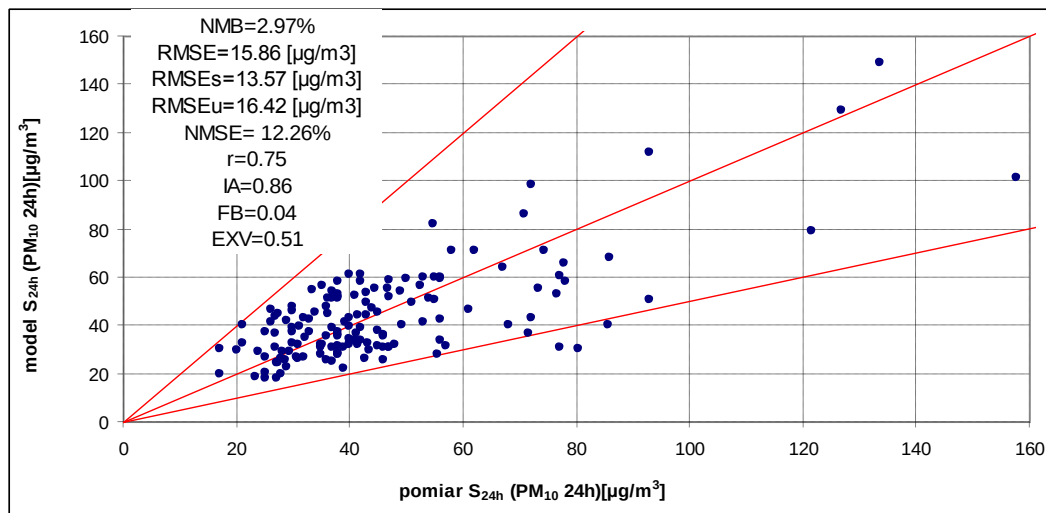
Stężenia pyłu zawieszonego PM10 z emisji z terenu Polski najwyższe wartości osiągały w obszarach dużych miast i aglomeracji. Największy obszar obejmowały na terenie Aglomeracji Górnośląskiej, Rybnicko-Jastrzębskiej oraz Krakowskiej. W trakcie trwania epizodu odpływ zanieczyszczeń odbywał się głównie w kierunku wschodnim, a od 23 marca również w kierunku południowym.



Rysunek 4-228 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Czechami w terminie 20.03.2012 – 24.03.2012r.

Dla epizodu 20.03.2012 – 24.03.2012, który wystąpił na obszarach granicznych Polski i Czech modelowanie idealnie oszacowało stężenia pyłu zawieszonego PM10 względem pomiarów. Współczynnik korelacji i indeks zgodności są na poziomie korelacji wysokiej.

Miary NMB i NMSE są bardzo niskie. Wariancja wyjaśniona wskazuje na dobrą jakość modelowania, a FB wynosi prawie zero. Średni błąd standardowy jest na poziomie 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ale jego część systematyczna jest niższa niż niesystematyczna, co potwierdza bardzo dobrą jakość modelowania.



Rysunek 4-229 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach graniczących z Polską i Czechami w terminie 20.03.2012 – 24.03.2012r.

Po odrzuceniu z analizy stacji o charakterze miejskim, pozostała jedna stacja z obszaru Polski tj. Złoty Potok i 32 stacje z Czech. Dla wymienionych stacji modelowanie różni się od wyników pomiarów średnio o 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Znormalizowane odchylenie średnie (NMB), które dla dobrego modelu powinno być mniejsze niż 10%, w tym przypadku wynosi ok. 3%. Wariancja wyjaśniona EXV dla dobrego modelu jest większa od 0.3. Indeks zgodności i współczynnik korelacji, podobnie jak w poprzednim przypadku, wskazują na wysoką korelację.

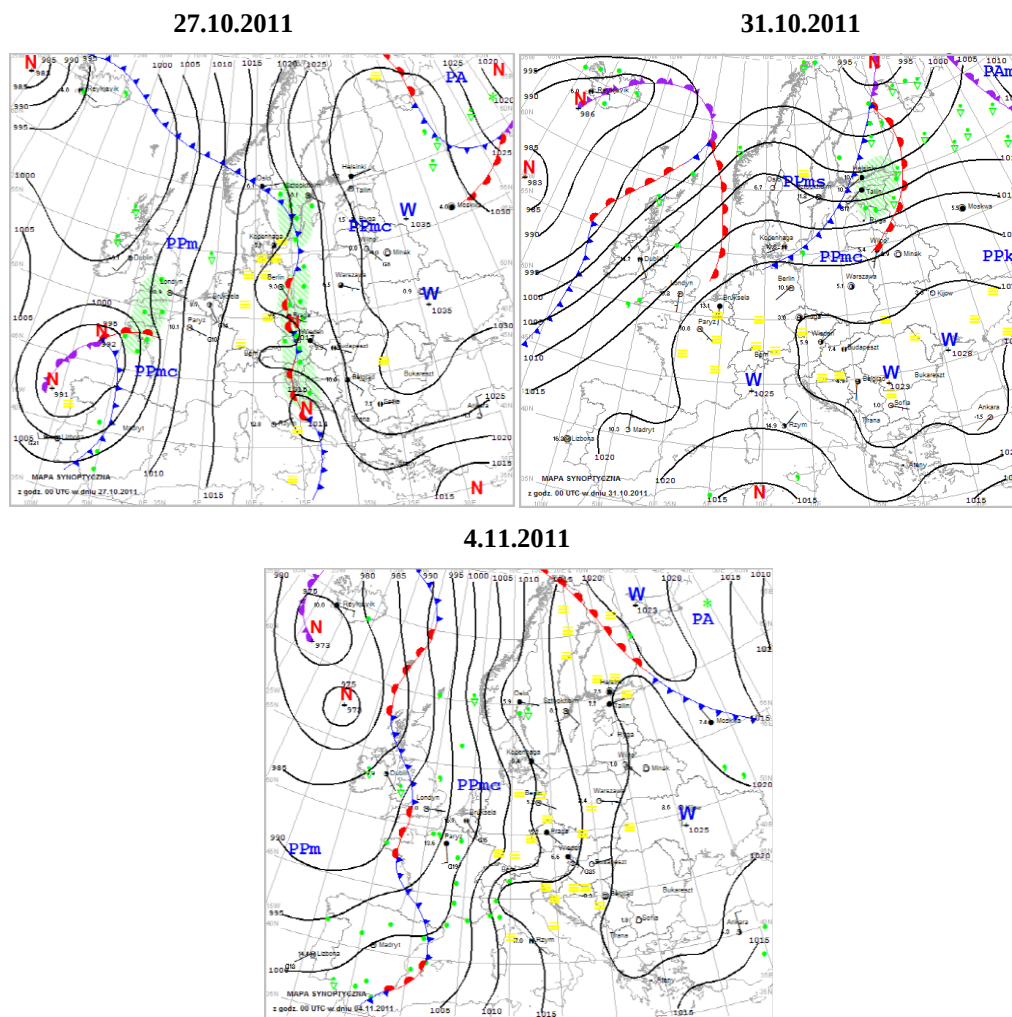
4.8. Region 8 – polsko-słowacki

4.8.1. Epizod 1 od 27 października do 4 listopada 2011 r.

4.8.1.1. Sytuacja synoptyczna

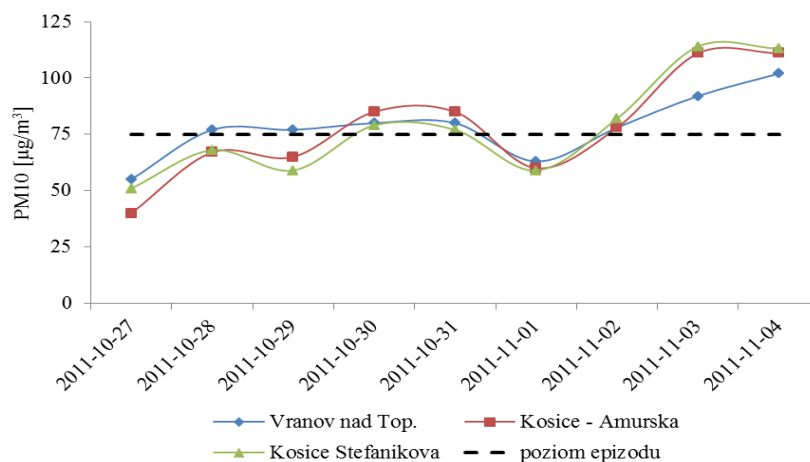
W dniach 27.10-4.11.2011 obszar Polski znajdował się pod wpływem rozległego wyżu z centrum nad Europą wschodnią i południowo-wschodnią. W tym okresie nad Atlantykiem zalegał ośrodek niskiego ciśnienia. Nad kraj napływało wówczas z południowego wschodu i południa dość ciepłe powietrze polarno-morskie (PPmc).

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

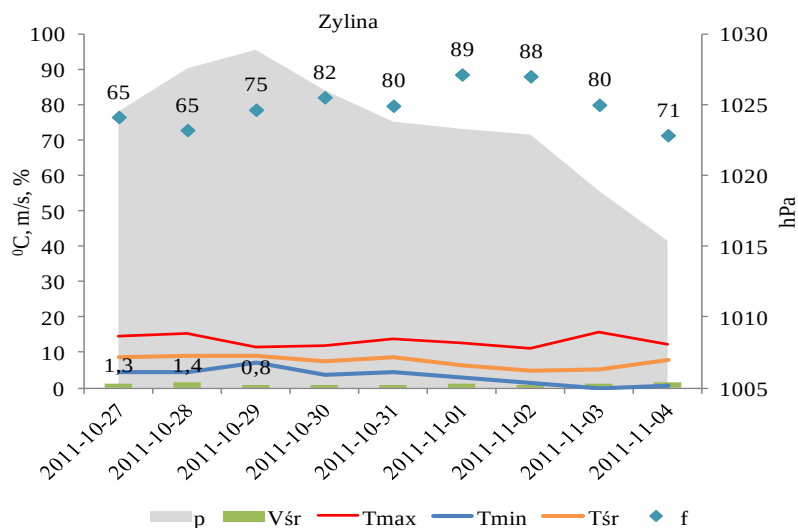


Rysunek 4-230 Mapa synoptyczna z dnia 27, 31 października, 4 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC.

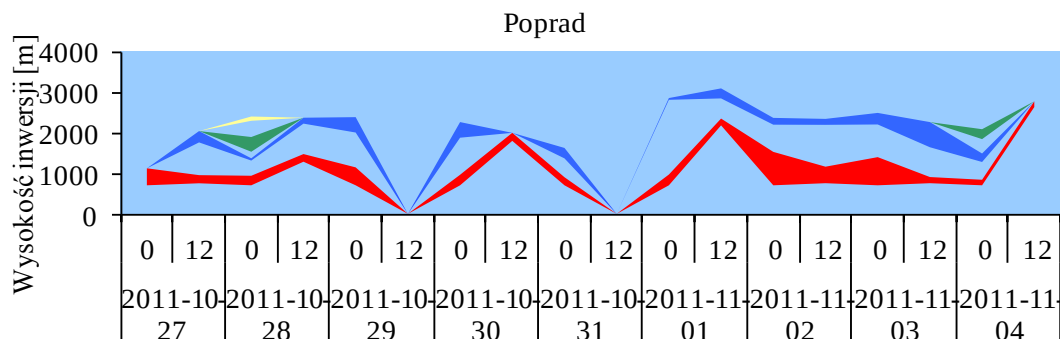
4.8.1.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne



Rysunek 4-231 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10

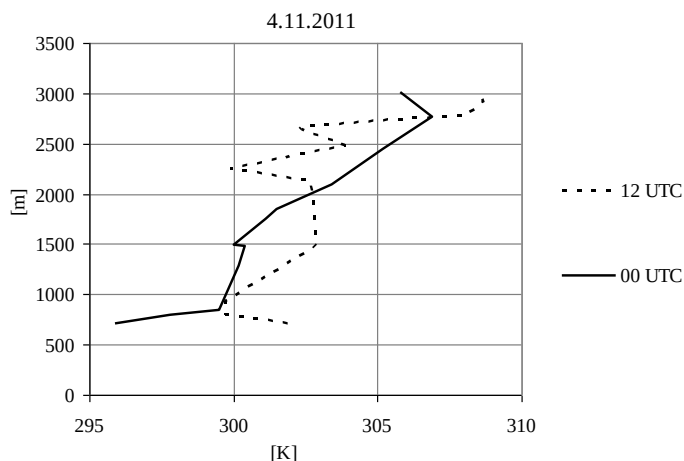


Rysunek 4-232 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-233 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

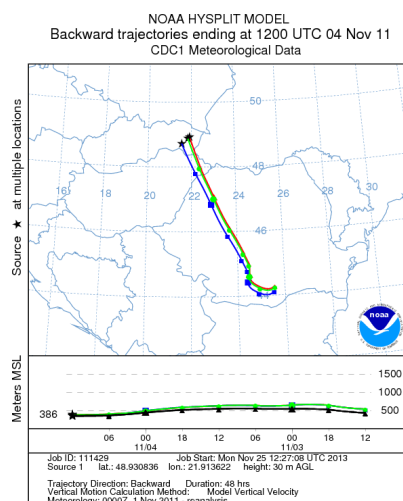
Przebieg zalegania pierwszego poziomu inwersji wzniesionej jest dobrze wyrażony w dniach poprzedzających kulminację stężeń i słabo w dniu z maksymalnymi stężeniami pyłu. Jednocześnie obserwuje się dużą amplitudę dobową temperatury powietrza i małą prędkość wiatru. Świadczyć to może o powstawaniu szczególnie w godzinach nocnych lokalnych inwersji przygruntowych.



Rysunek 4-234 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.8.1.3. Trajektorie wsteczne

Maksymalne stężenia w czasie tego epizodu zanotowano na Słowacji dnia 4.11.2011.



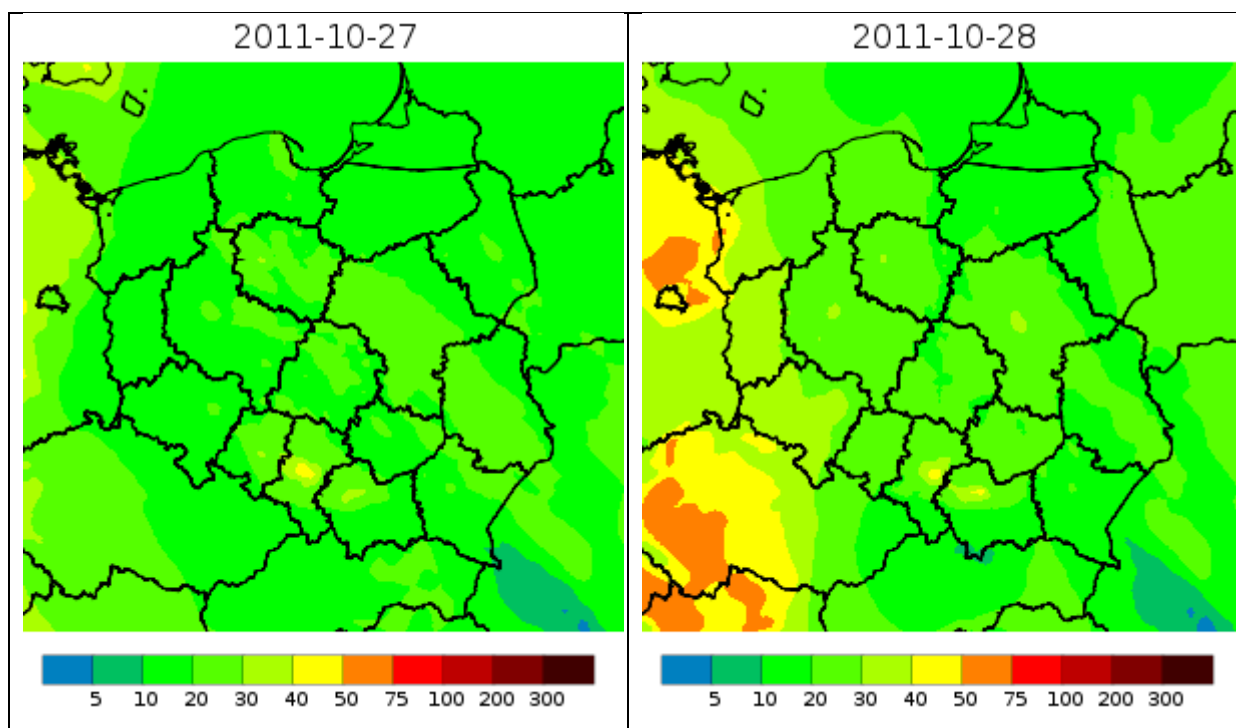
Rysunek 4-235 Trajektorie wsteczne dla stacji w Humennem, Koszycach i Strazske w dniu 4.11.2011

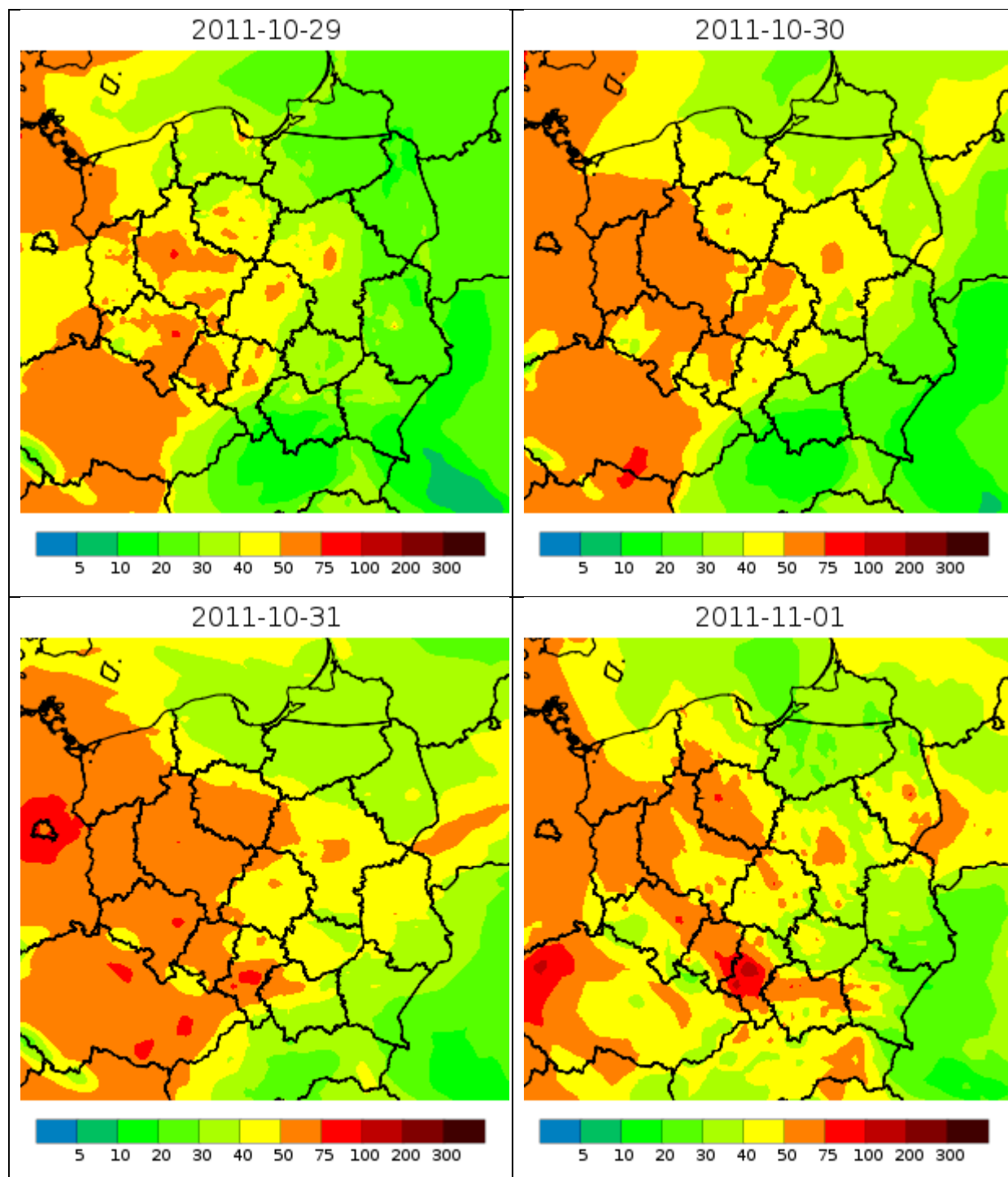
Trajektorie wsteczne wykreślono dla wybranych stacji, dla których w danym dniu wystąpiło maksymalne stężenie w czasie epizodu - w Humennem ($98 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Koszycach ($111, 113 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Strazske ($98 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Trajektorie wsteczne w czasie tego epizodu podnosiły się stopniowo, osiągając po dwóch dobach ok. 100 m. Przez pierwsze 30 h trajektorie

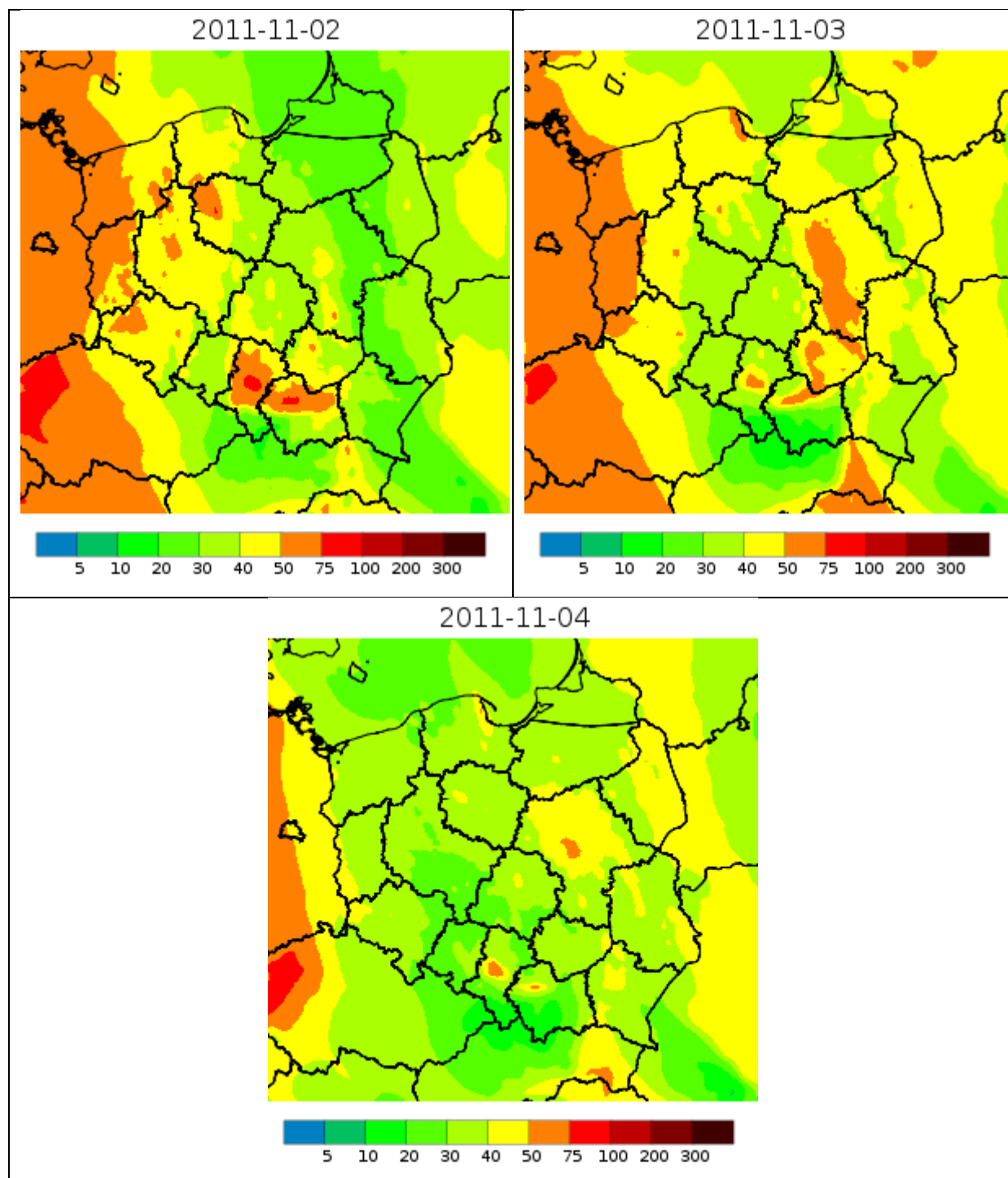
pozostawały w obrębie warstwy mieszania, następnie wyszły z niej na około 8 h, by ponownie znaleźć się w jej obrębie. Wysokość warstwy mieszania zmieniała się cyklicznie w ciągu doby. W nocy wynosiła około 70 m, zaś około południa różniła się bardzo, gdyż w momencie startu trajektorii na Słowacji wynosiła ok. 200 m, podczas gdy w drugiej dobie ponad 500 m a w trzeciej nawet 1000 m. Znaczna prędkość wiatru wskazuje, że mniejsze znaczenie mają tu źródła lokalne i możliwy jest napływ z odległych źródeł. Ze względu na pozostawanie trajektorii przez długi okres czasu w obrębie warstwy, na stosunkowo niewielkiej wysokości, napływ może mieć miejsce raczej z niezbyt wysokich źródeł. Możliwe jest także oddziaływanie wysokich emitorów z południa Rumunii.

4.8.1.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10





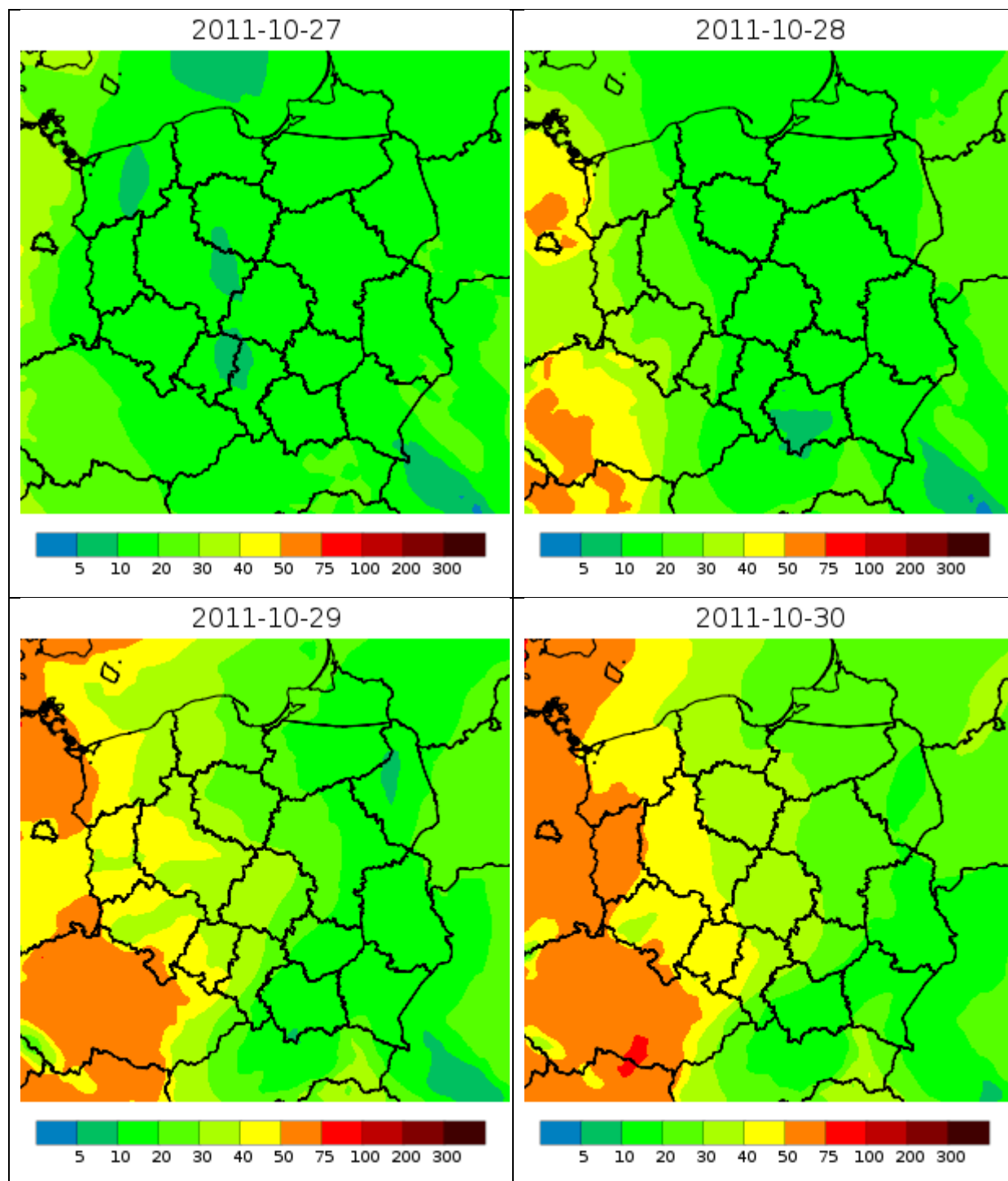


Rysunek 4-236 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 27.10-4.11.2011 r.

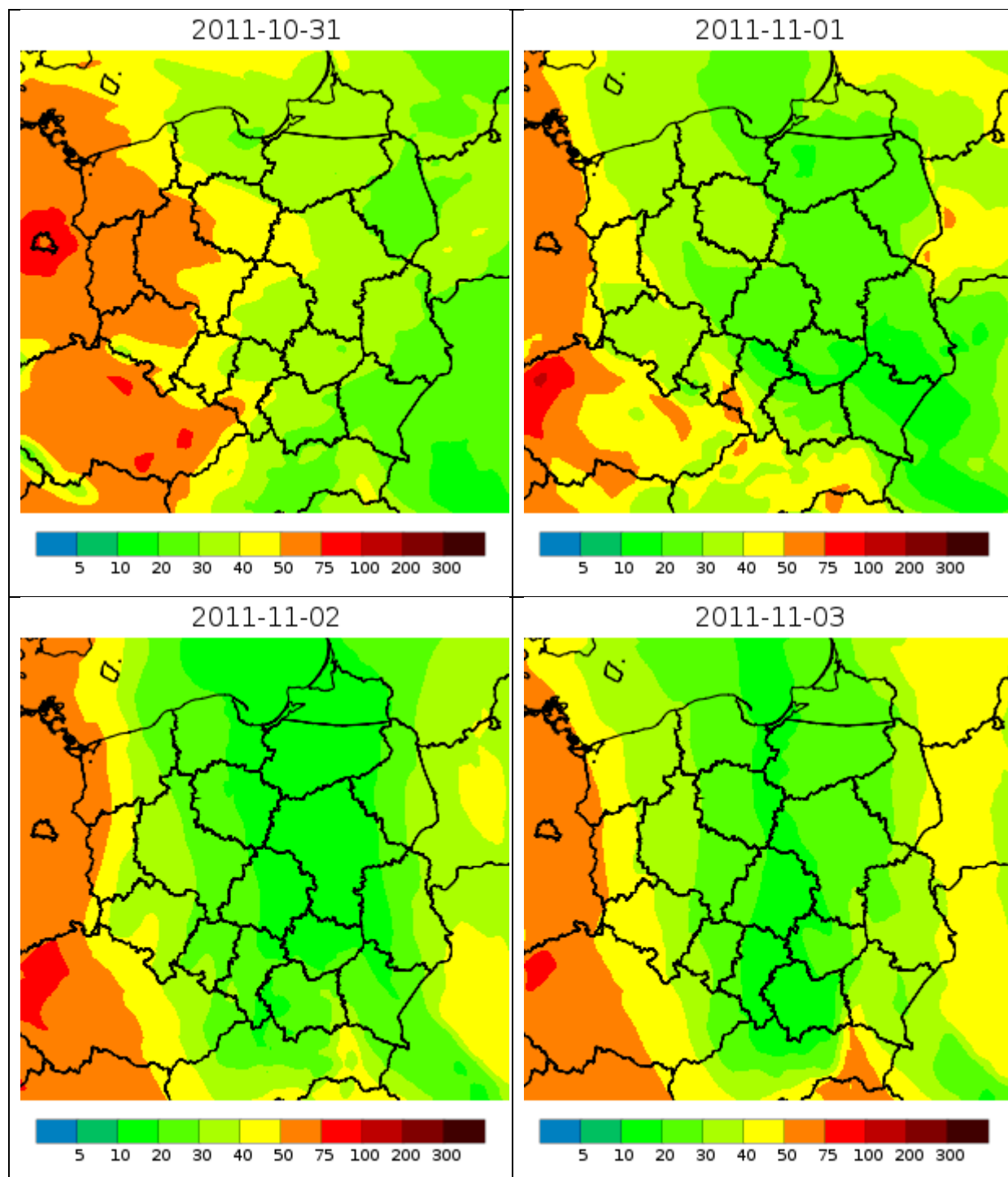
Najwyższe stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ dla epizodu od 27.10 do 4.11.2011 r. zanotowano na terenie województwa śląskiego, małopolskiego i dolnośląskiego w dniach od 31 października do 2 listopada. Równocześnie największy zasięg epizodu osiągnął 1 listopada i wyniósł on około 5 tys. km². Na terenie Słowacji podwyższone stężenia pojawiły się dopiero 1 listopada i wyraźnie były one adwekowane z kierunku południowego. Jednakże na terenie Słowacji modelowanie nie wykazało stężeń przekraczających 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Wyższe

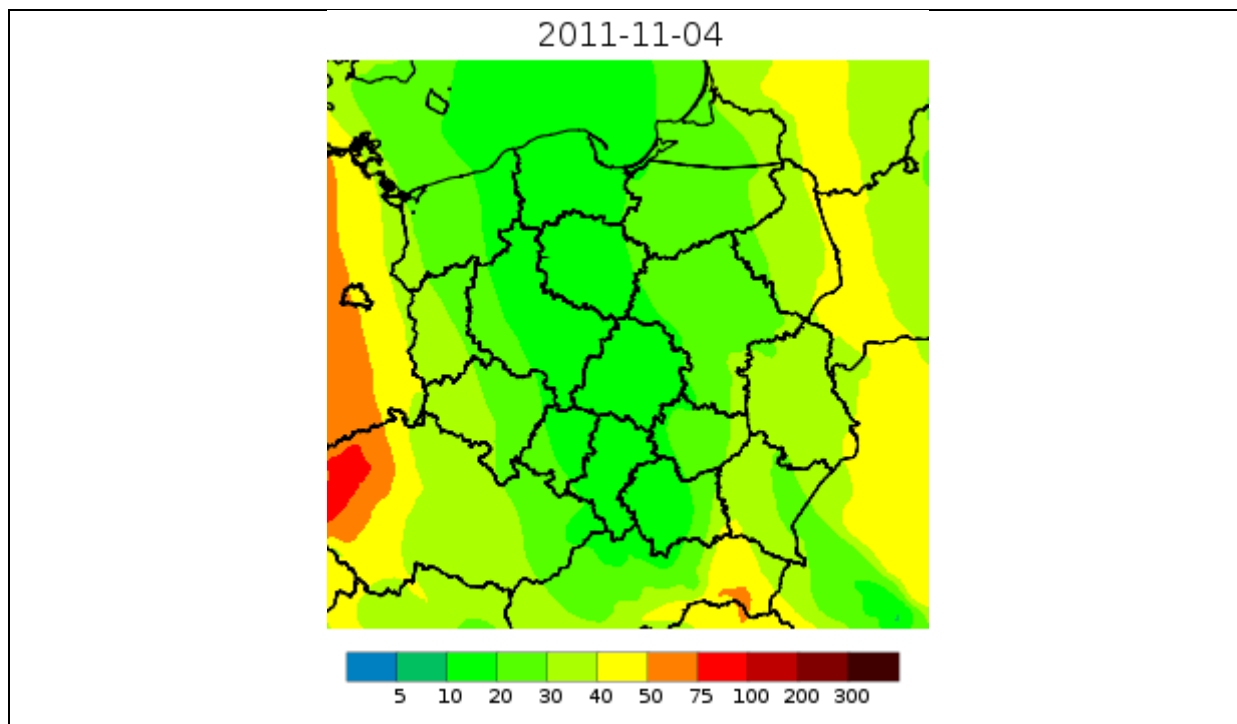
stężenia zanieczyszczeń występowały w zachodniej części analizowanego obszaru – na terenie Niemiec i Czech.

B. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski



Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

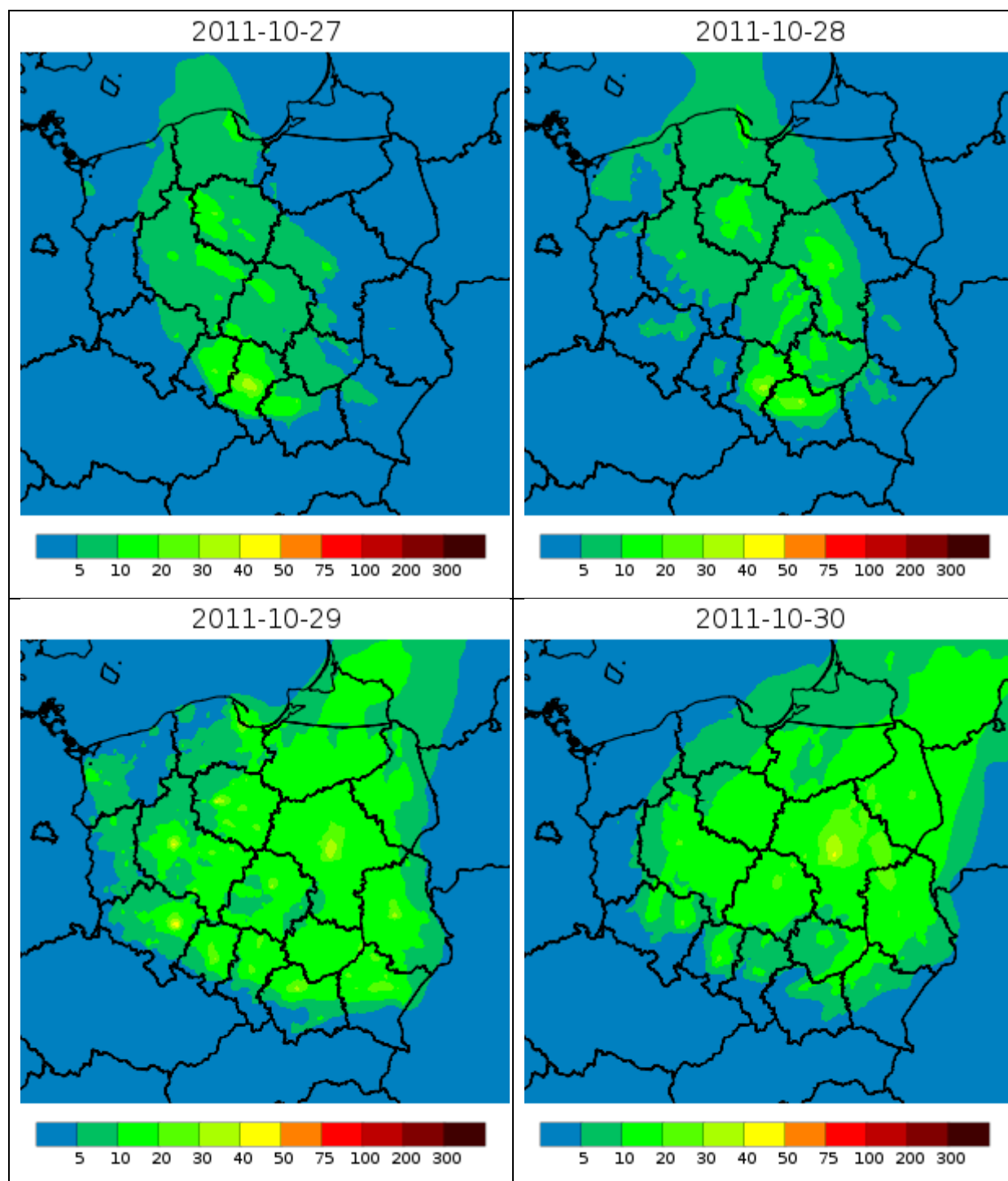




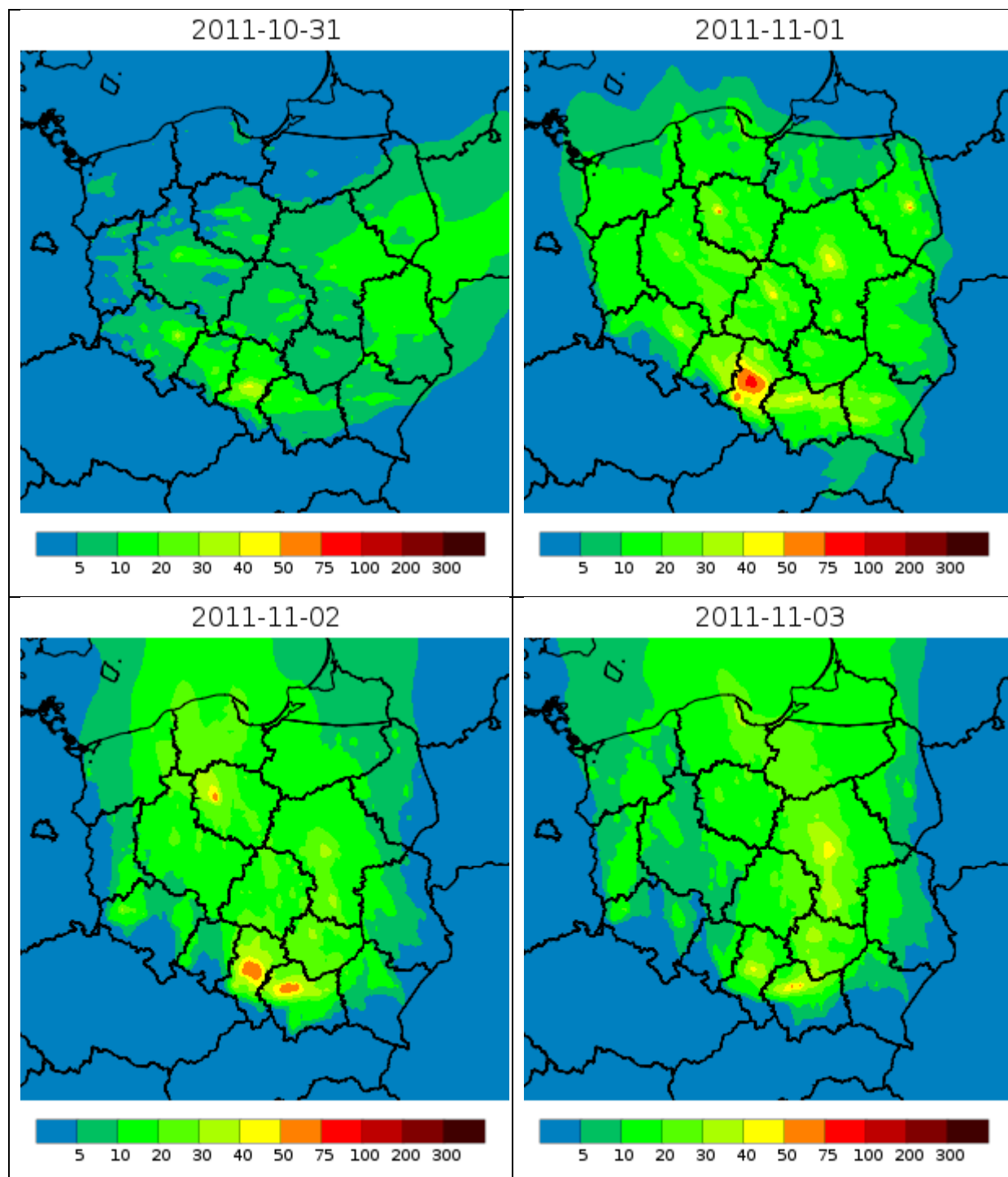
Rysunek 4-237 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 27.10-4.11.2011 r.

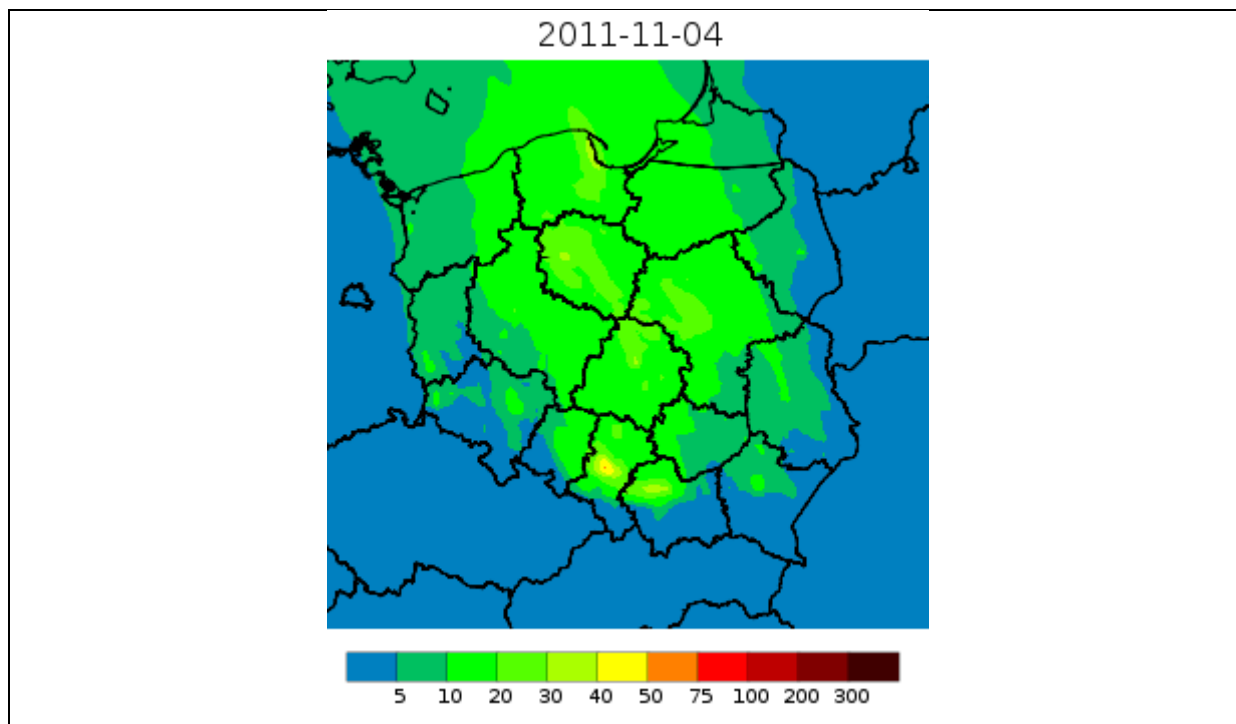
Napływ transgraniczny następował głównie z kierunków zachodnich oraz 1 i 3 listopada z kierunku południowego. Najwyższe stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego wystąpiły w województwach zachodnich Polski dnia 31 października. Lokalnie dobową wartość stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ przekraczała poziom dopuszczalny – $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**



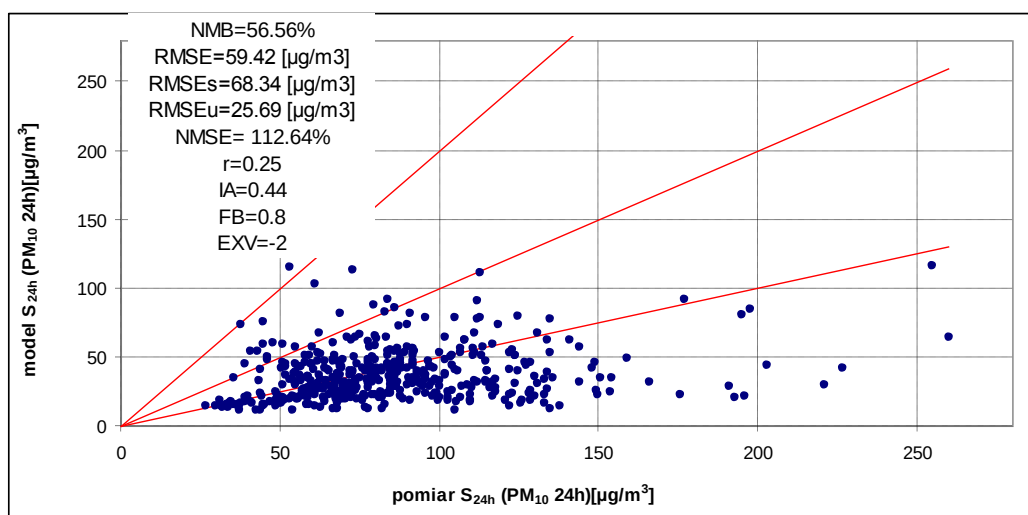
Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii





Rysunek 4-238 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 27.10-4.11.2011 r.

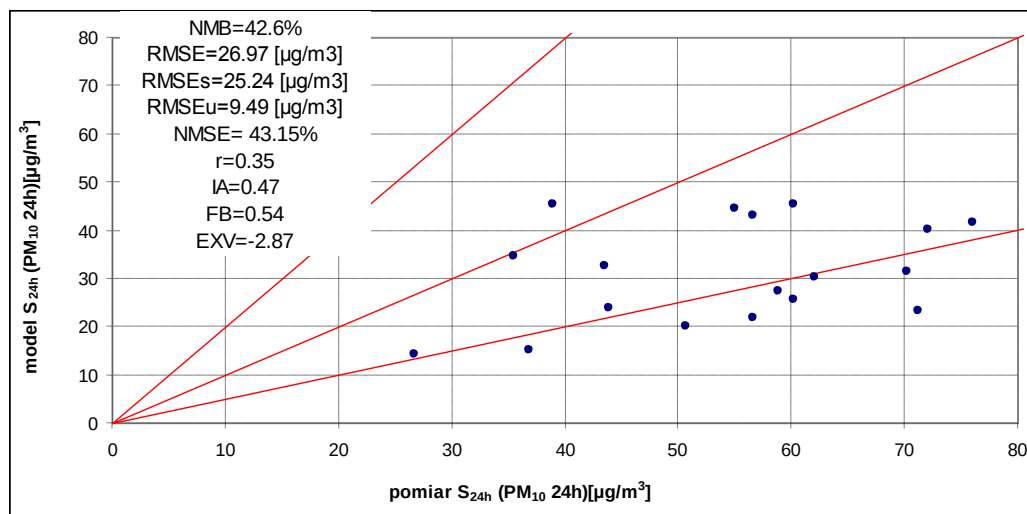
Stężenia pochodzące od emisji z terenu Polski w trakcie trwania epizodu były niewielkie i maksymalnie osiągały wartości 20-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedynie lokalnie (1-2.11), na terenie Aglomeracji Górnośląskiej, Krakowskiej i Bydgoskiej, przekraczały wartość dopuszczalną dla dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀. Przepływ zanieczyszczeń 27 października odbywał się w kierunku wschodnim, a od 28 października w kierunku północnym.



Rysunek 4-239 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 27.10.2011 – 4.11.2011r.

Błędy NMB i NMSE są stosunkowo wysokie, także indeksy zgodności i korelacji są jedynie na poziomie niskiej korelacji. Duża część punktów oznaczających zależność

modelowania względem pomiarów znajduje się poniżej dolnego ramienia oznaczającego wartości dwukrotnie niższe niż pomiar.



Rysunek 4-240 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach i krajach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 27.10.2011 – 4.11.2011r.

Po usunięciu pomiarów ze stacji o charakterze miejskim, pozostały jedynie wyniki ze stacji tła miejskiego: Złoty Potok i Bystricany – Rozvodna. Dla wyników pomiarów z wymienionych stacji błąd RMSE wskazuje, że modelowanie oszacowuje wyniki średnio o 26 µg/m³ mniejsze niż pomiary. Znormalizowany błąd średniokwadratowy (NMSE) zmniejszył się o 60%, określając tym samym rozbieżność pomiędzy pomiarem a wynikami modelowania na poziomie 43%. Znormalizowane odchylenie średnie (NMB) uległo także niewielkiej poprawie. Współczynnik korelacji i indeks zgodności nadal wskazują na niską korelację.

Jeżeli uznamy za prawidłowe wyniki znajdujące się pomiędzy skrajnymi ramionami oznaczającymi wartości dwukrotnie większe i mniejsze niż wyniki pomiarów, wówczas dla analizowanego epizodu 56% wyników jest właściwych, pozostałe 44% znajduje się poniżej dolnego ramienia.

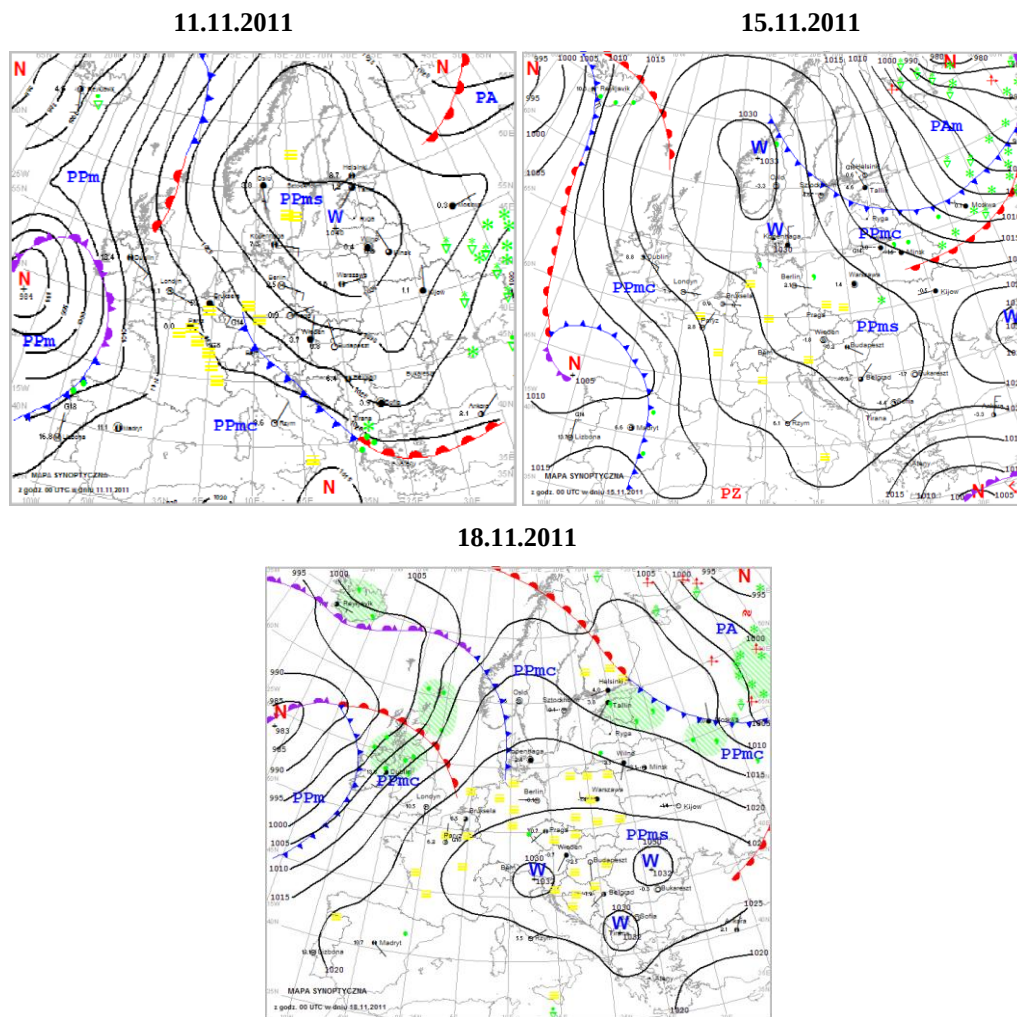
Kiedy osobnej analizie poddane zostaną wyniki z każdej stacji osobno, wówczas już na przykładzie analizy samego błędu średniego standardowego RMSE, który dla stacji Złoty Potok wynosi 18 µg/m³, a dla stacji Bystricany – Rozvodna - 33 µg/m³, można wnioskować, że duża rozbieżność modelowania względem pomiarów spowodowana jest niedokładną inwentaryzacją emisji z terenu Słowacji.

4.8.2. Epizod 2 od 11 do 18 listopada 2011 r.

4.8.2.1. Sytuacja synoptyczna

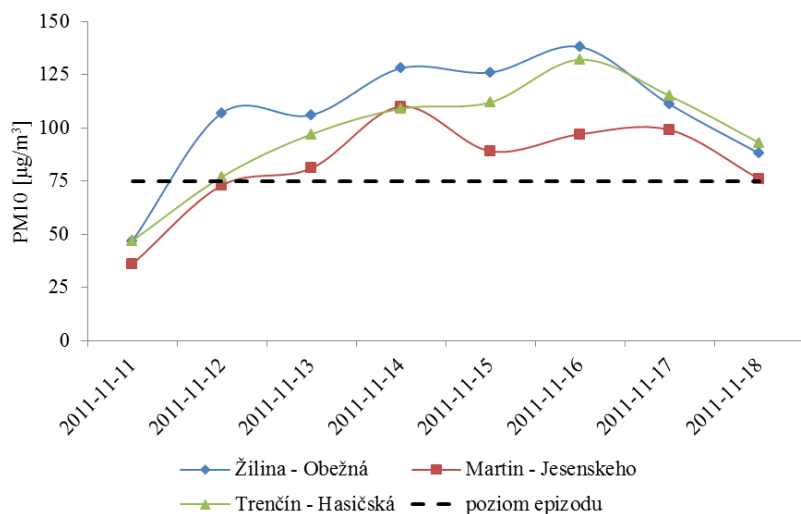
W dniach 11-16.11.2011 obszar Polski znajdował się pod wpływem rozległego wyżu z centrum nad Europą środkową. W tym okresie nad Polskę północno-wschodnią i wschodnią z kierunków północnych napływało powietrze pochodzenia arktycznego (PA), natomiast nad pozostałą część kraju z kierunków południowych napływało ciepłe powietrze polarno-morskie (PPmc). W dniach 17-18.11.2011 centrum wyżu przemieściło się nad Europę

południowo-wschodnią, a masa ciepłego powietrza polarno-morskiego (PPmc) napływała nad obszar całego kraju.

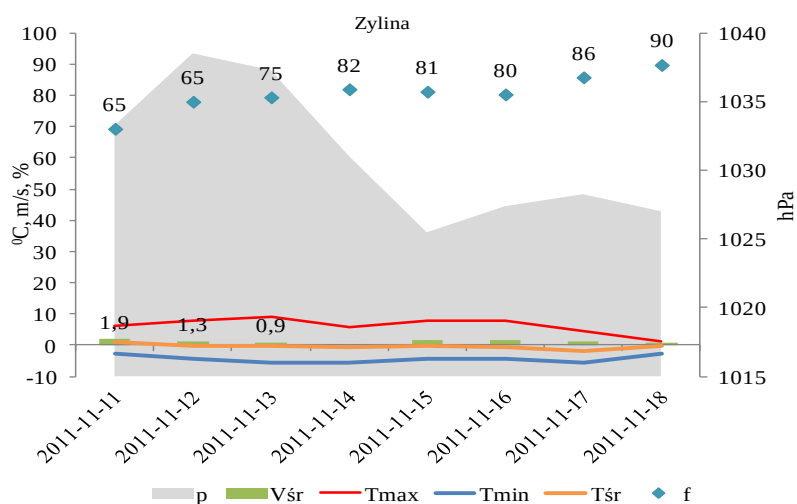


Rysunek 4-241 Mapa synoptyczna z dnia 11, 15, 18 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC

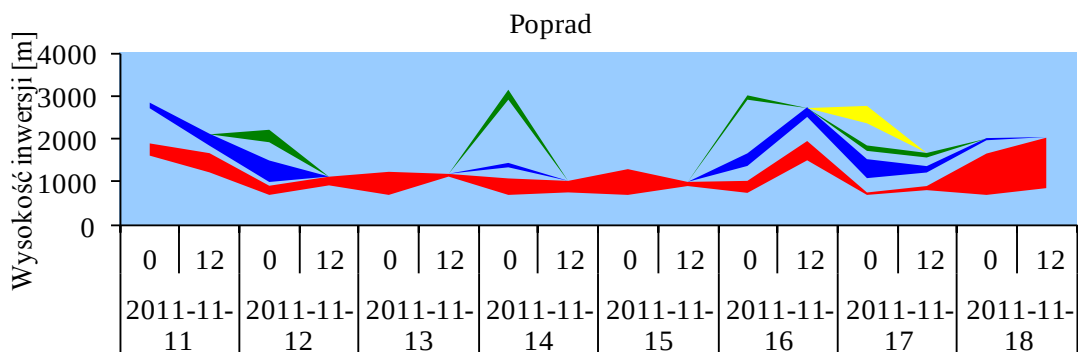
4.8.2.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne



Rysunek 4-242 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10

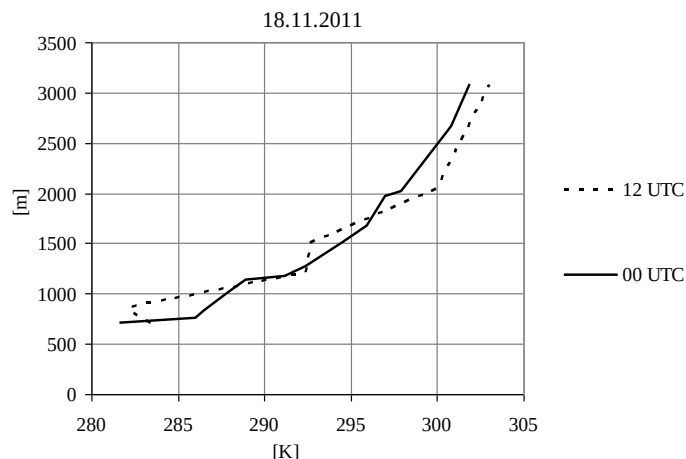


Rysunek 4-243 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vsr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-244 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

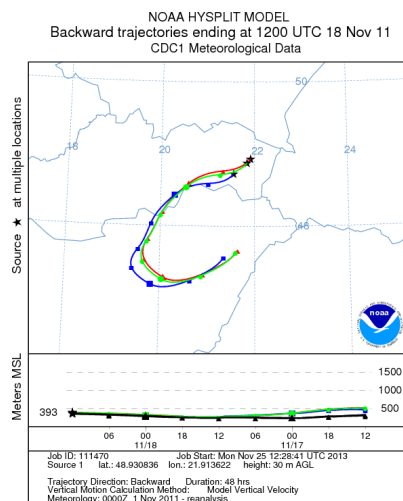
Wysokość zalegania pierwszej wzniesionej warstwy inwersyjnej podczas trwania całego epizodu wykazuje charakterystyczną dla doby zmienność. Jednocześnie obserwuje się dużą amplitudę dobową temperatury powietrza i małą prędkość wiatru. Świadczyć to może o powstawaniu szczególnie w godzinach nocnych lokalnych inwersji przygruntowych.



Rysunek 4-245 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.8.2.3. Trajektorie wsteczne

Maksymalne stężenia w czasie tego epizodu zanotowano na Słowacji dnia 18.11.2011. Trajektorie wsteczne wykreślono dla wybranych stacji, dla których w danym dniu wystąpiło maksymalne stężenie w czasie epizodu - w Humennem (160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Koszycach (110, 107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i Strazske (156 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



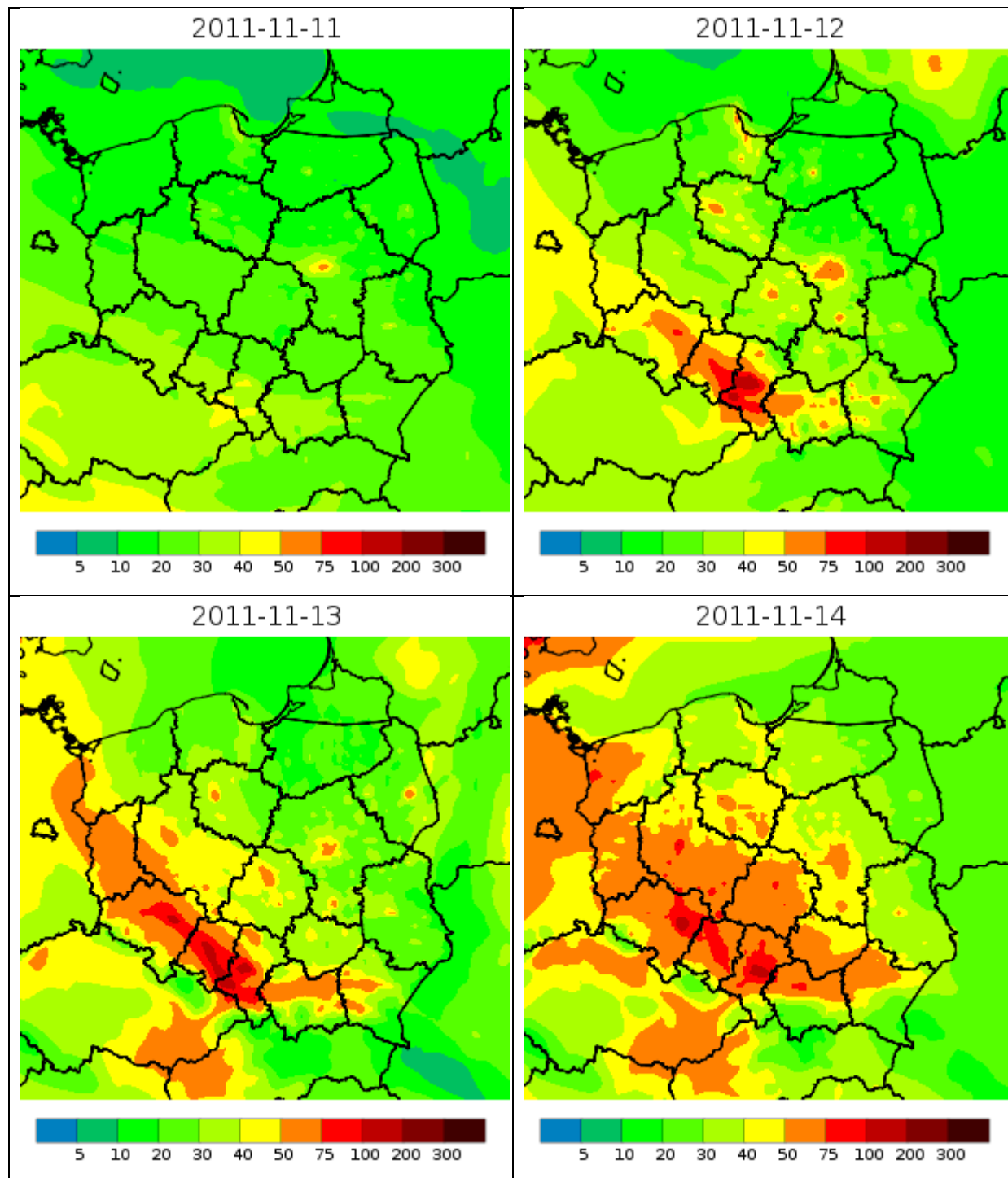
Rysunek 4-246 Trajektorie wsteczne dla stacji w Humennem, Koszycach i Strazske w dniu 18.11.2011

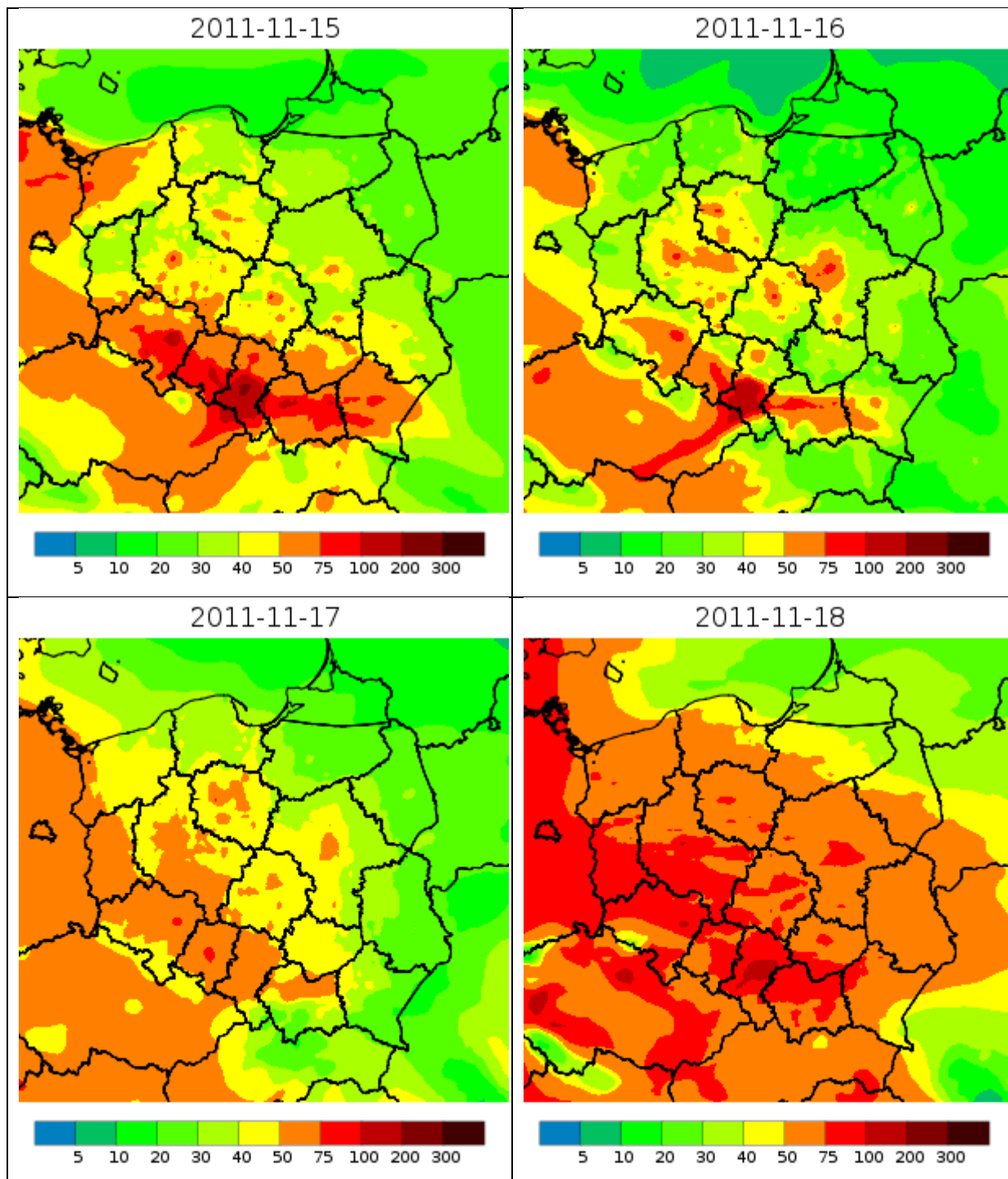
Trajektorie wsteczne w czasie tego epizodu pozostawały przez pierwsze 28 h na stałej wysokości, po czym podniosły się, osiągając po dwóch dobach ok. 200 m. Przez pierwsze 30 h trajektorie pozostawały w obrębie warstwy mieszania, następnie wyszły z niej na około 14 h, by ponownie znaleźć się w jej obrębie. Wysokość warstwy mieszania w momencie startu trajektorii wynosiła około 220 m, szybko obniżając się do około 70 m i pozostając poniżej 100 m do 38 h wstecz. Stosunkowo niska prędkość wiatru wzdłuż trajektorii i niska

warstwa mieszania sprawiają, że dominującą rolę w tym epizodzie powinny mieć niskie źródła emisji. Dużą rolę powinny odgrywać źródła lokalne.

4.8.2.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10



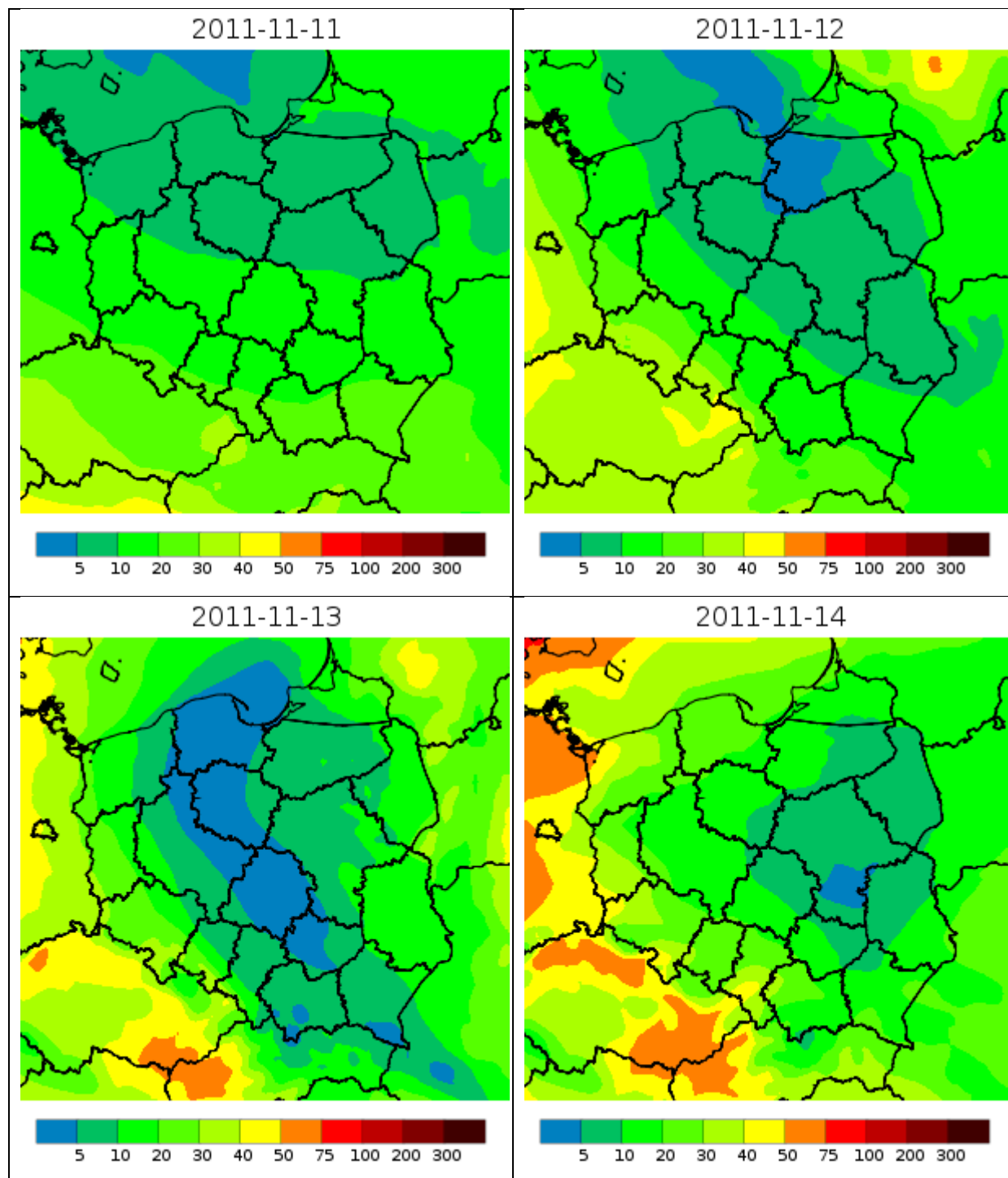


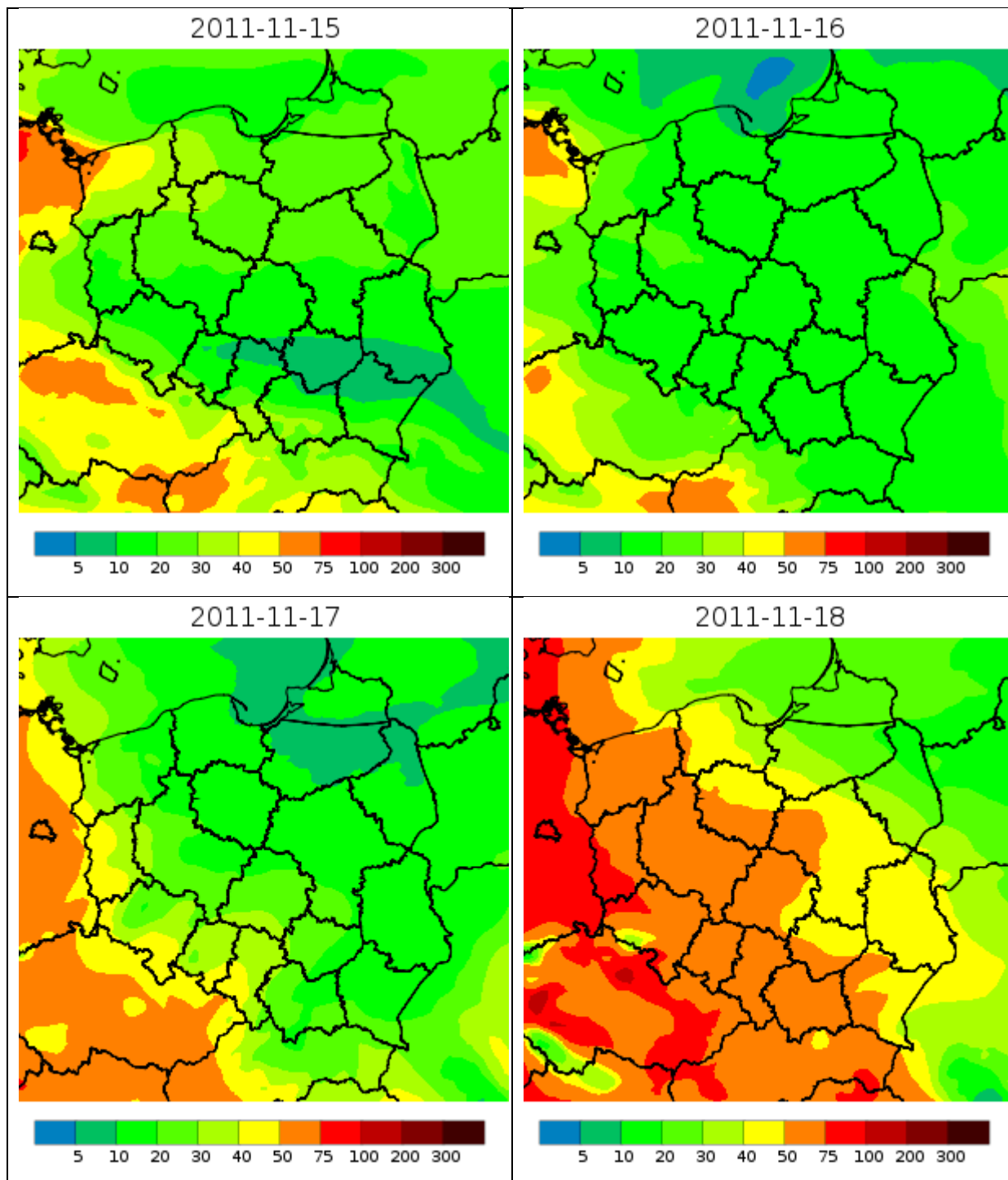
Rysunek 4-247 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 11-18.11.2011 r.

Epizod od 11 do 18 listopada obejmował głównie południową część Polski – województwa: dolnośląskie, opolskie, śląskie oraz małopolskie. Równocześnie w dniu maksymalnego swojego zasięgu (18.11), stężenia pyłu zawieszonego PM10 przekraczające $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ objęły również województwo lubuskie oraz wielkopolskie, a lokalnie występowały na terenie województw: łódzkiego, mazowieckiego, świętokrzyskiego oraz kujawsko-pomorskiego. Maksymalny obszar objęty izoliną $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wyniósł około 70 tys. km^2 . 15 oraz 16 listopada zaobserwowano pewien wpływ zanieczyszczeń z terenu Polski przez

Bramę Morawską w kierunku Ostrawy. Na terenie Słowacji najwyższe stężenia wykazano 18 listopada.

B. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski

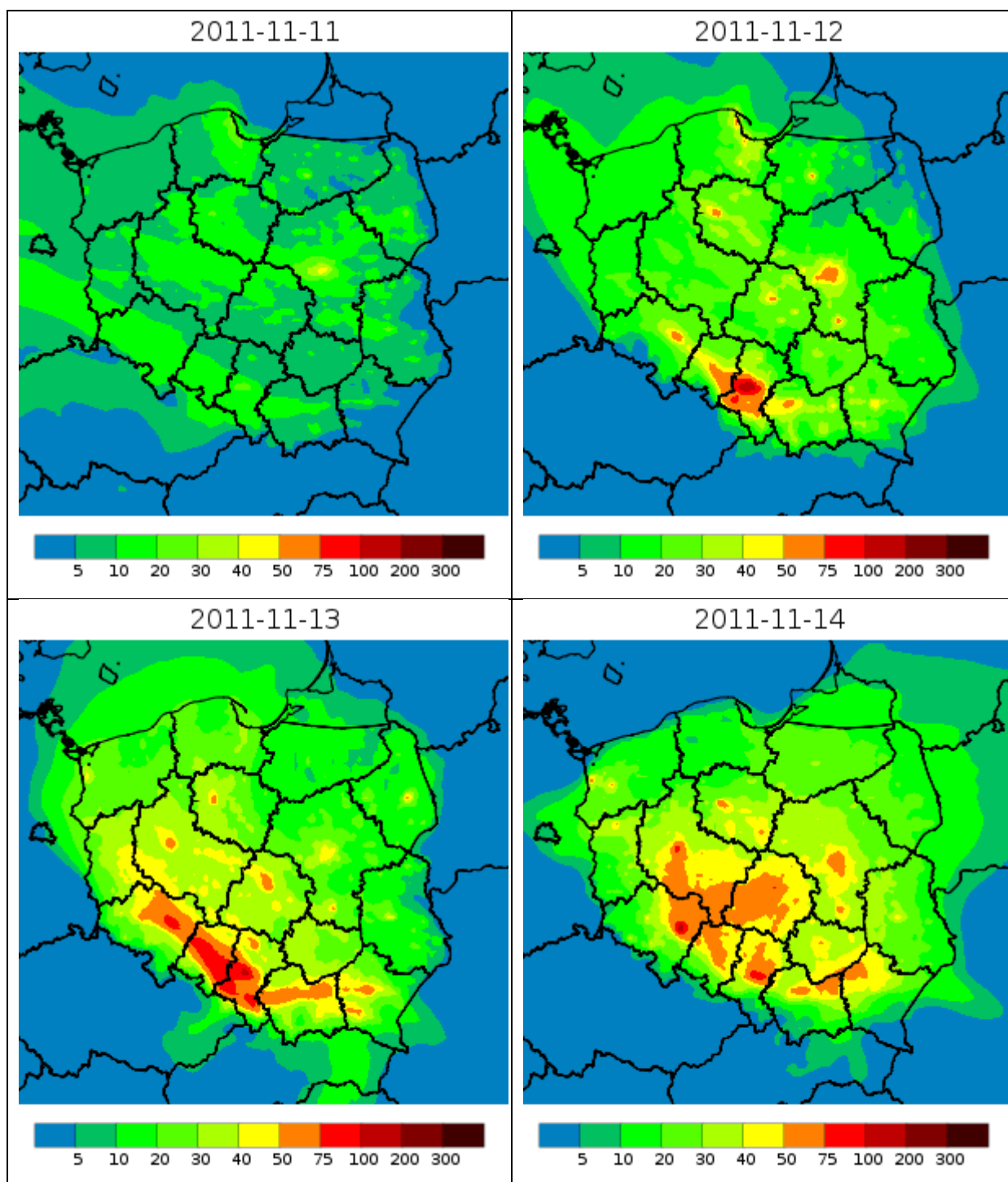


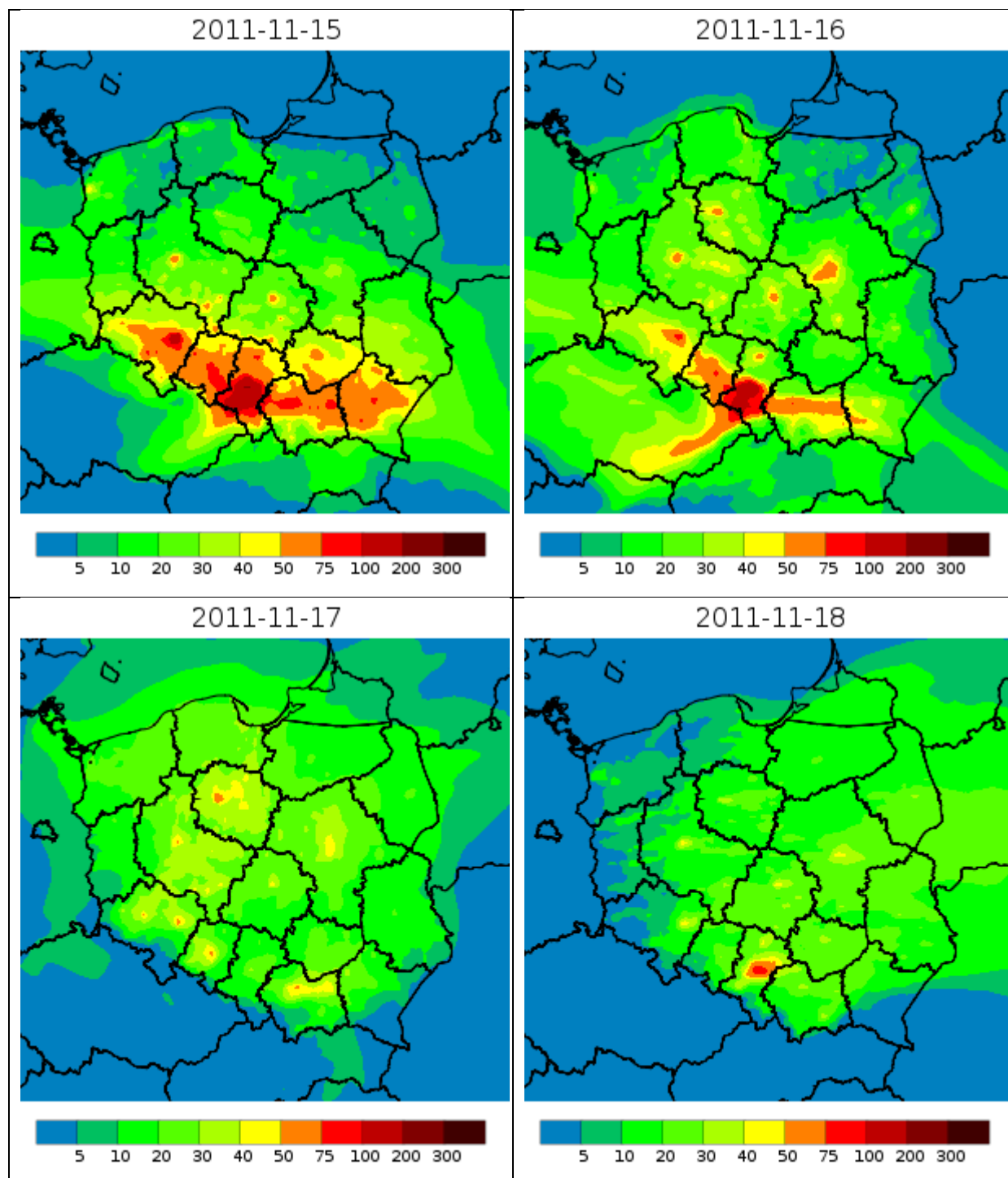


Rysunek 4-248 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 11-18.11.2011 r.

W dniach 11 – 17 listopada stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące z napływu transgranicznego były stosunkowo niskie i na terenie Polski raczej nie przekraczały $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 18 listopada natomiast stężenia te istotnie wzrosły przekraczając na obszarze zachodniej oraz południowej Polski wartość dopuszczalną $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a w rejonie przygranicznym (województwa lubuskie oraz dolnośląskie) nawet $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

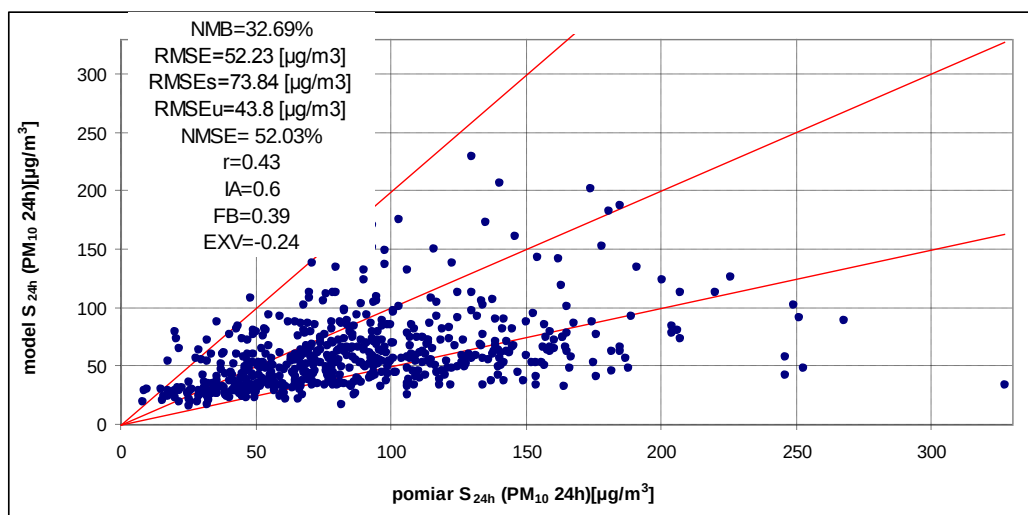
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





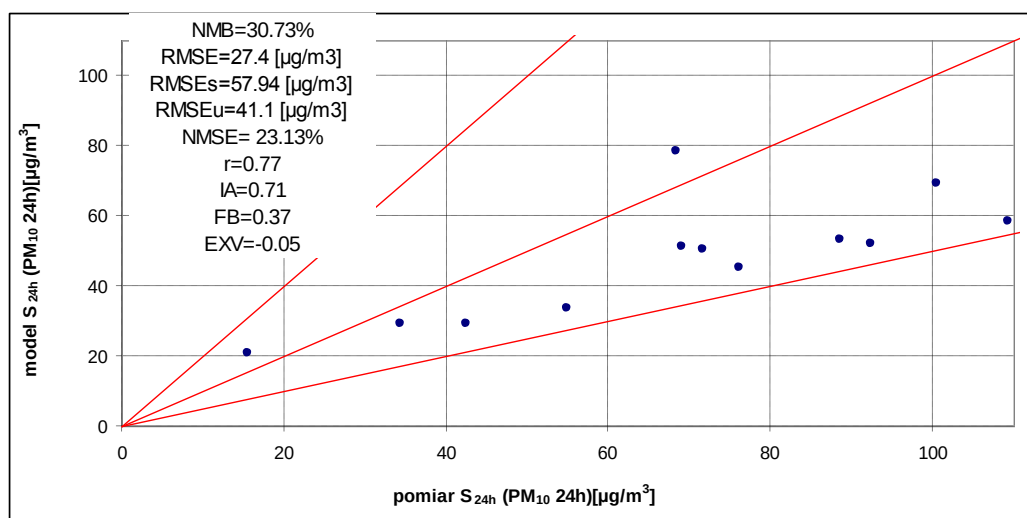
Rysunek 4-249 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 11-18.11.2011 r.

Najwyższe stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące od emisji z terenu Polski wystąpiły 15 oraz 16 listopada. Wówczas to zaznaczył się pewien wpływ zanieczyszczeń z terenu Polski przez Bramę Morawską w kierunku Ostrawy. Równocześnie należy wyraźnie podkreślić, iż w dniu wystąpienia największego zasięgu epizodu (18.11) stężenia pyłu zawieszonego PM10 pochodzące od emisji z Polski były stosunkowo najniższe, a kierunek ich przepływu był wschodni.



Rysunek 4-250 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 11.11.2011 – 18.11.2011r.

Dla epizodu, który wystąpił 11.11.2011 – 18.11.2011 pomiędzy terenami graniczącymi z Polską i Słowacją, miary błędów wskazują na poprawność modelowania. Indeksy zgodności i korelacji są na poziomie umiarkowanej korelacji. Spora liczba punktów oznaczających zależność modelowania względem pomiarów znajduje się poniżej dolnego ramienia, co oznacza niedoszacowanie modelowania.



Rysunek 4-251 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach i krajach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 11.11.2011 – 18.11.2011r.

Po odrzuceniu z dalszej analizy błędów stacji o charakterze miejskim, pozostały następujące stacje: Złoty Potok i Bystricany – Rozvodna. Za prawidłowe można uznać wszystkie wyniki modelowania.

Współczynniki wskazujące na zależność pomiędzy modelem i pomiarami tj. współczynnik korelacji i indeks zgodności wskazują wysoką korelację. Rozbieżność pomiędzy pomiarami a wynikami modelowania wynosi 23% i jest dużo mniejsza od wymaganych 40% dla dobrego modelu. Miara odchylenia NMB dla dobrego modelu powinna być mniejsza od 10%, a dla tego epizodu wynosi 30%. Model różni się od pomiarów średnio

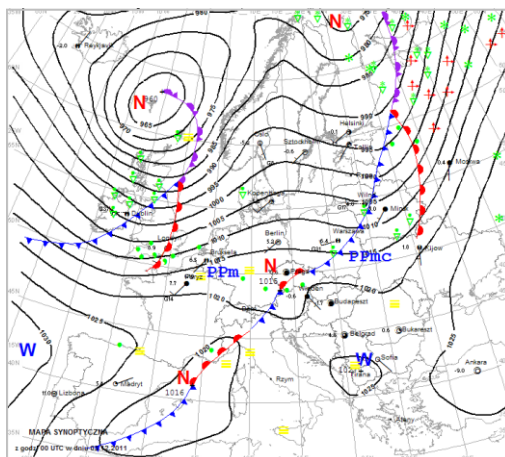
o 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Wariancja wyjaśniona, która dla dobrego modelu powinna być większa od 0,3, tu jest zbliżona do zera.

4.8.3. Epizod 3 od 30 listopada do 3 grudnia 2011 r.

4.8.3.1. Sytuacja synoptyczna

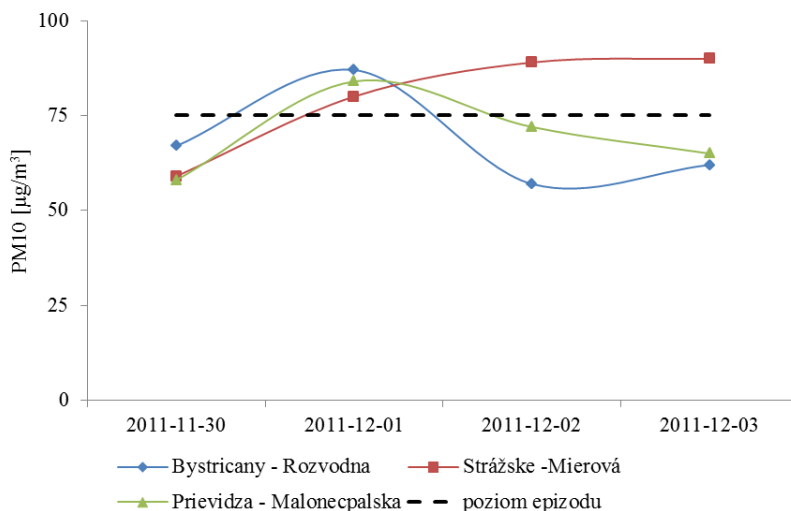
W dniach 30.11-1.12.2011 obszar Polski, szczególnie południowej, znajdował się w zasięgu płytkiego wyżu znad Niziny Węgierskiej i Karpat. Napływało wówczas z kierunków zachodnich powietrze polarno-morskie (PPm). W następnych dniach (2-3.12.2011) Polska została objęta wpływem niżów z rejonów Skandynawii. Z kierunków zachodnich zaczęło napływać silniejszym strumieniem powietrze pochodzenia polarno-morskiego (PPm).

3.12.2011



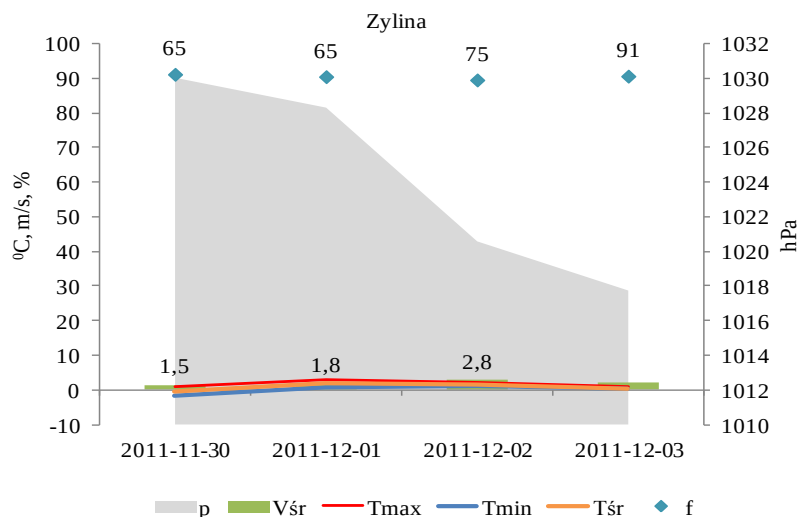
Rysunek 4-252 Mapa synoptyczna z dnia 3 grudnia 2011 roku, godzina 0 UTC

4.8.3.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne

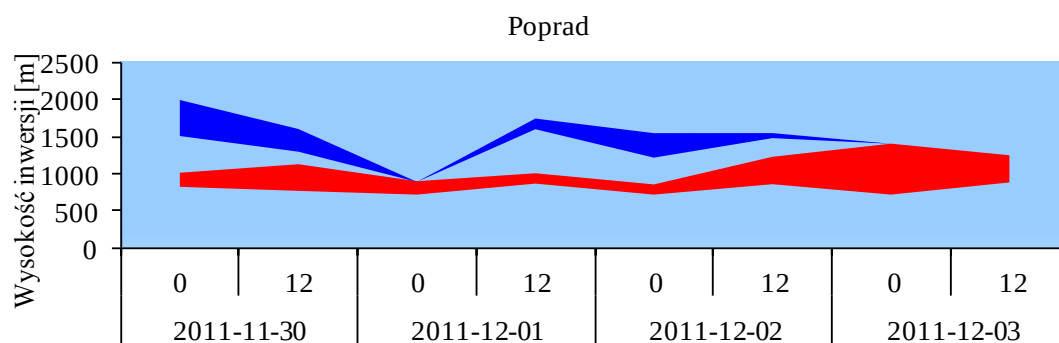


Rysunek 4-253 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

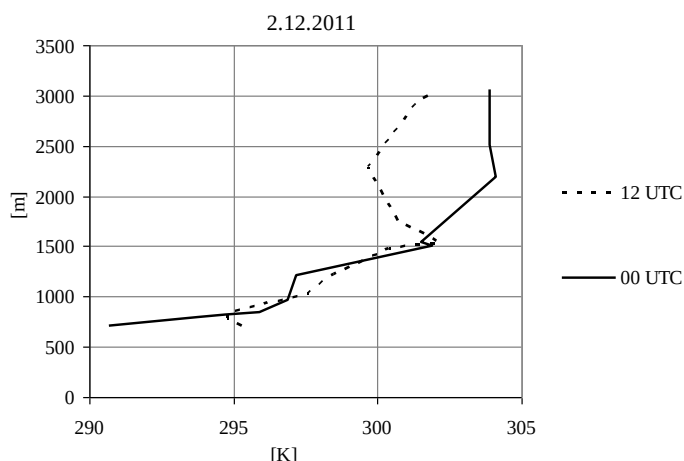


Rysunek 4-254 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vsr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-255 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

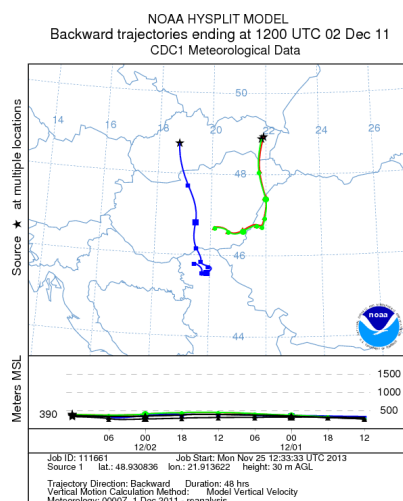
Podczas trwania epizodu pierwsza wzniesiona warstwa inwersyjna była położona na tej samej wysokości – nie obserwowano zatem jej dobowego przebiegu. Stosunkowo mała amplituda temperatury i duża średnia dobowa prędkość wiatru nie wskazują na możliwość trwałego wytworzenia się inwersji przyziemnej.



Rysunek 4-256 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.8.3.3. Trajektorie wsteczne

Maksymalne stężenia w czasie tego epizodu zanotowano na Słowacji dnia 2.12.2011 r.



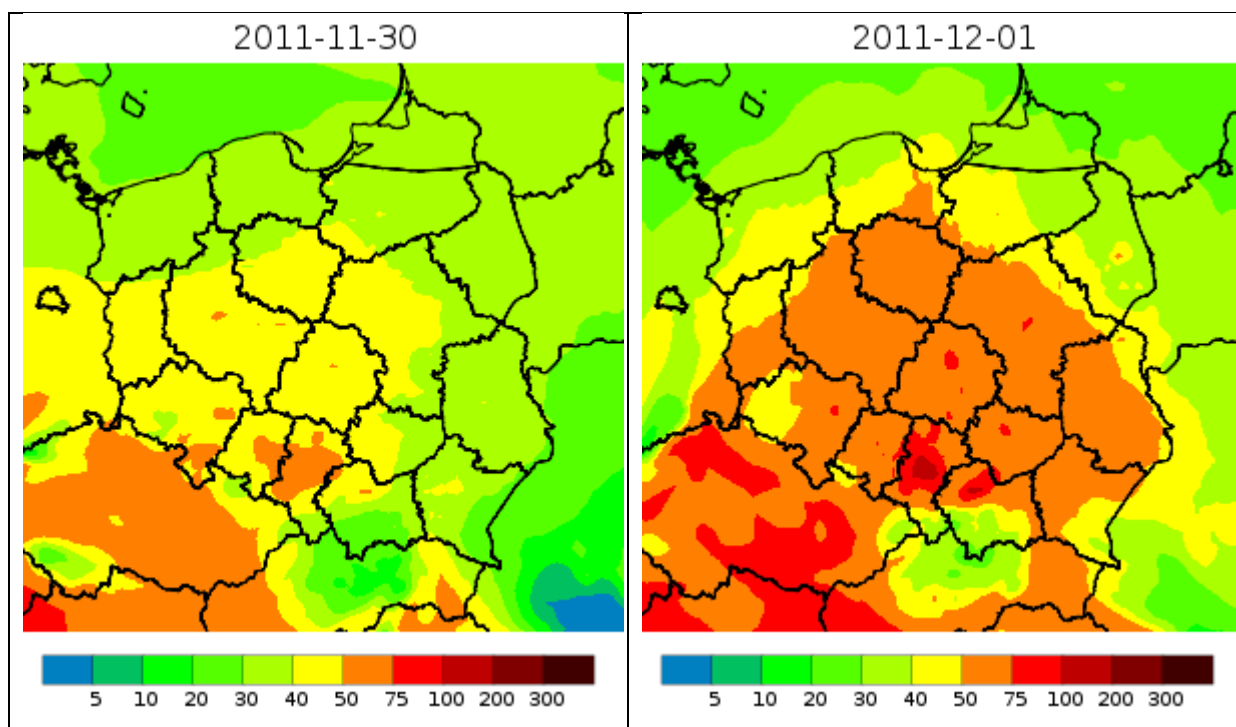
Rysunek 4-257 Trajektorie wsteczne dla stacji w Humennem, Handlovej i Stratzke w dniu 2.12.2011

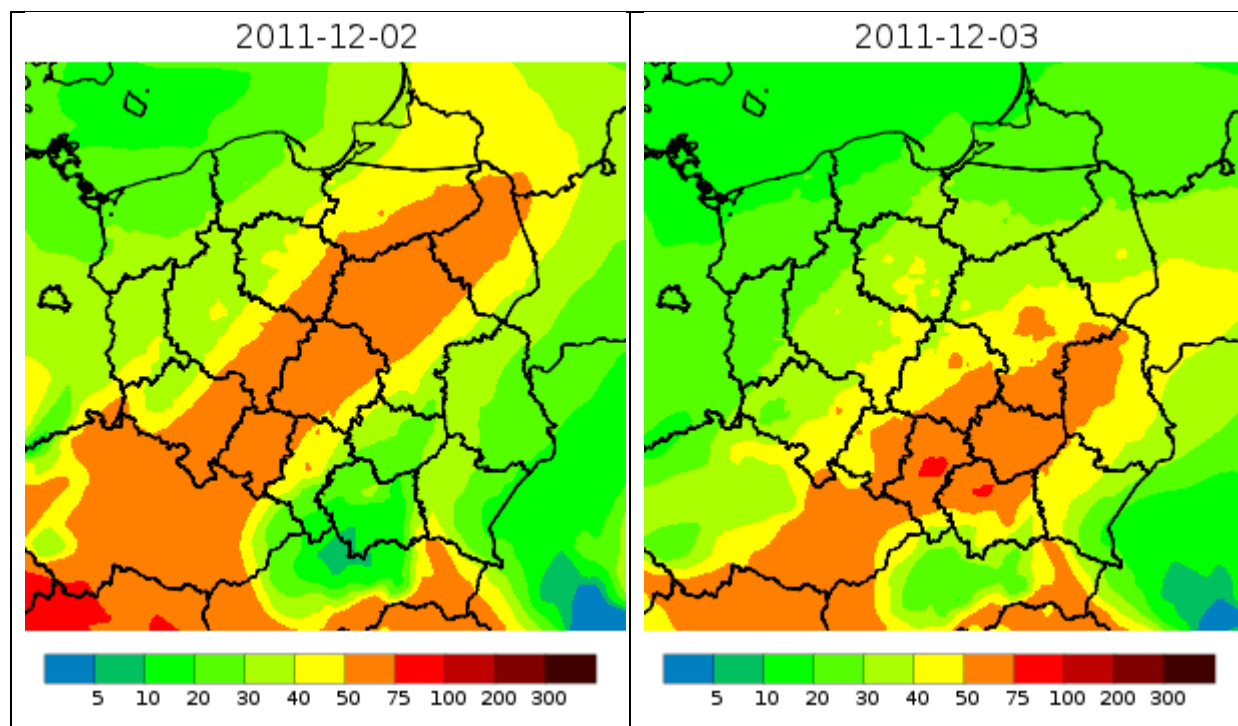
Trajektorie wsteczne wykreślono dla wybranych stacji, dla których w danym dniu wystąpiło maksymalne stężenie w czasie epizodu - w Humennem ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Handlovej ($78 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Straszke ($89 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Trajektorie wsteczne wyznaczone dla stacji zlokalizowanych na wschodzie Słowacji przez cały czas pozostawały w obrębie warstwy mieszania. Początkowo wznosiły się stopniowo, aby po kilkunastu godzinach osiągnąć 60 m. Potem przez kilka godzin utrzymywały się na tej samej wysokości, żeby ostatecznie stopniowo obniżyć się do kilkunastu metrów. Warstwa mieszania przez pierwsze 18 h utrzymywała się na stałej, ekstremalnie niskiej wysokości 70 m, po czym wzrosła nieco, osiągając po 24 h maksymalną wartość 200 m, a następnie szybko powracając do wartości 70 m, która utrzymywała się do końca. Trajekтория wyznaczona dla Straszke początkowo wznosiła się stopniowo, aby po

kilkunastu godzinach osiągnąć 120 m. Potem przez kilka godzin utrzymywała się na tej samej wysokości, żeby ostatecznie stopniowo obniżyć się do kilkunastu metrów. Po 10 h znalazła się przez kilka godzin nieznacznie ponad obrębem warstwy mieszania, a następnie do końca przebiegała wewnątrz niej. Ta trajektoria również przechodziła przez tereny o niskiej głębokości mieszania (w Strazske 74 m o 12 UTC), jednak obszar z wysokościami mieszania powyżej 150 m jest znacznie większy, niż w przypadku trajektorii wypuszczanych ze wschodu Słowacji. Dużą rolę odgrywają także źródła lokalne.

4.8.3.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10

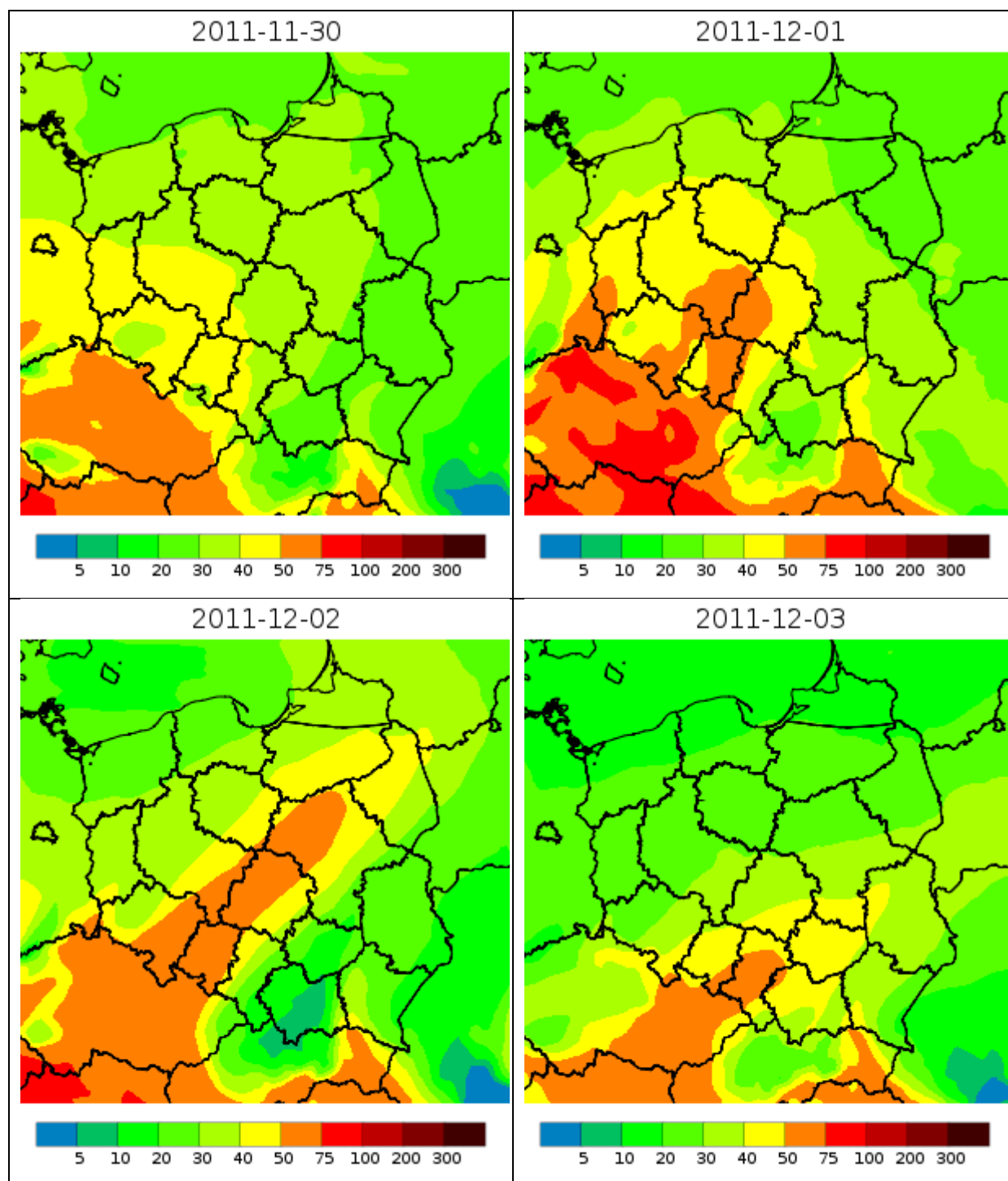




Rysunek 4-258 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 30.11-3.12.2011 r.

Mimo, iż w terminie od 30 listopada do 3 grudnia występowały znaczne obszary z przekroczoną wartością dopuszczalną dla dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM10, to obszary z przekroczoną wartością $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ były raczej niewielkie. Największy zasięg oraz najwyższe stężenia epizod osiągnął 1 grudnia. Łącznie zasięg wyniósł około 8 tys. km^2 . Na terenie Słowacji wyraźnie zaznaczał się napływ zanieczyszczeń z południa Europy.

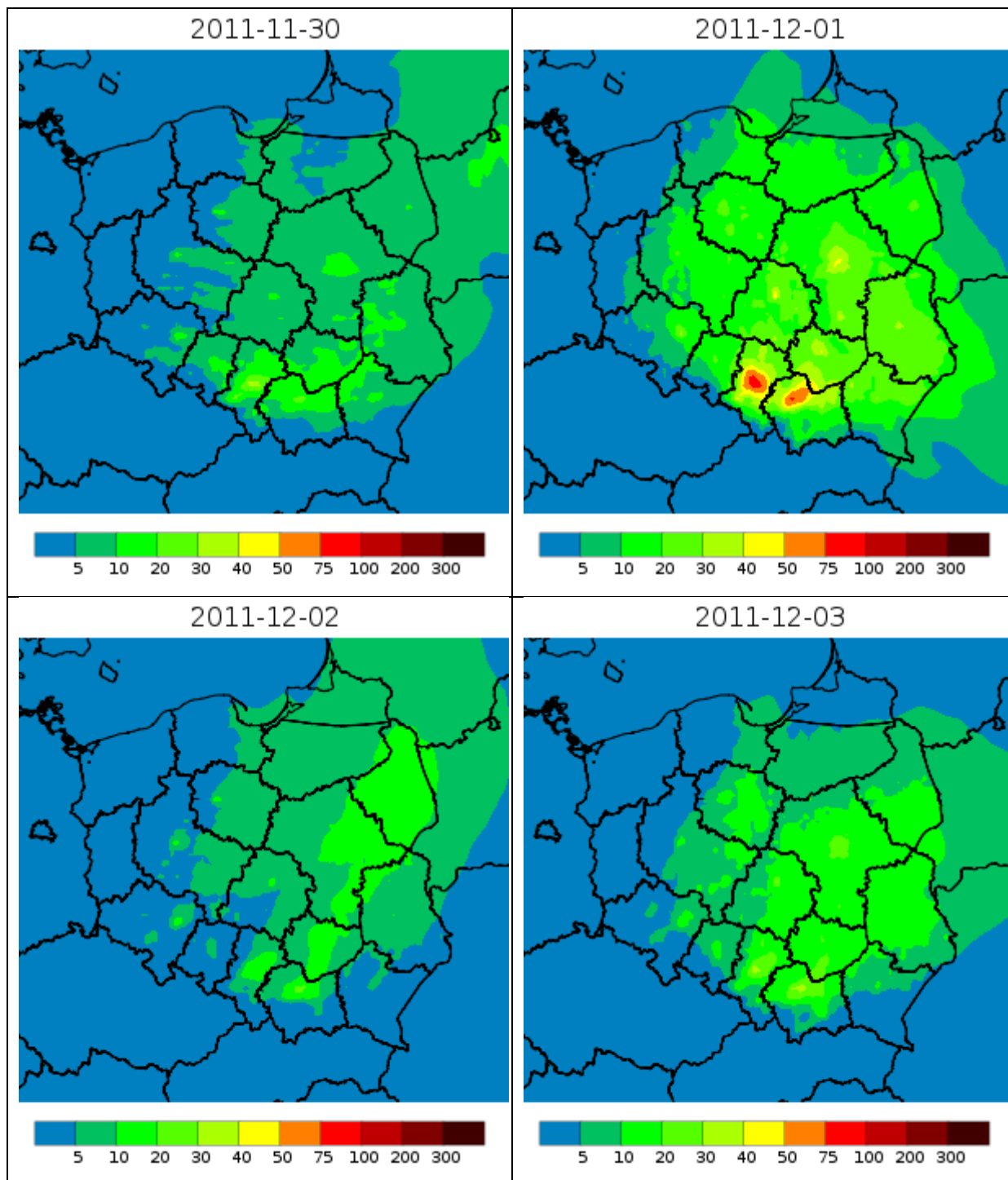
B. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski



Rysunek 4-259 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 30.11-3.12.2011 r.

W trakcie trwania epizodu na analizowanym obszarze zaznaczyła się wyraźna adwekcja zanieczyszczeń z południa Europy. 1 grudnia napływ transgraniczny na teren Polski wzmocniony był emisją lokalną z terenu Czech.

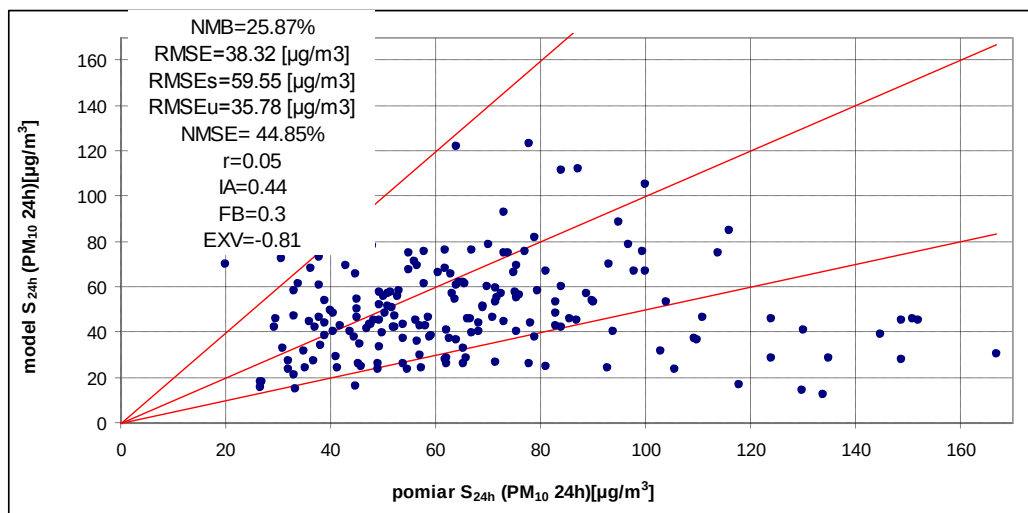
C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski



Rysunek 4-260 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 30.11-3.12.2011 r.

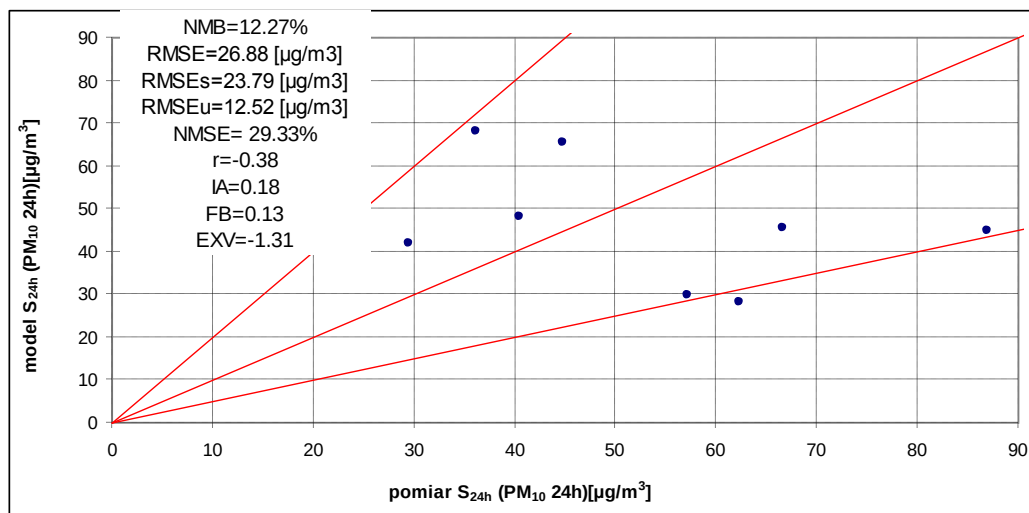
Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące od emisji z terenu Polski były niewielkie, przeważnie oscylowały w granicach do $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maksymalne wartości osiągnęły 1 grudnia na obszarze Katowic i Krakowa i wówczas przekroczyły wartość dopuszczalną dla

średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀. Odływ zanieczyszczeń z terenu Polski odbywał się w kierunku północno-wschodnim i wschodnim.



Rysunek 4-261 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 30.11.2011 – 3.12.2011r.

Błędy NMB i NMSE wskazują na poprawne modelowanie, z kolei współczynnik korelacji jest bardzo niski oznaczając tym samym brak zależności pomiędzy modelowaniem a pomiarami. Na podstawie analizy powyższego wykresu trudno dojść do takiego wniosku. Widać wyraźnie, że większość punktów znajduje się pomiędzy ramionami ograniczającymi punkty, które określają dobrą jakość modelowania. Występuje spora liczba punktów, które znajdują się poniżej dolnego ramienia, ale jest ich niewiele.



Rysunek 4-262 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 30.11.2011 – 3.12.2011r.

Dla stacji podmiejskich: Złoty Potok i Bystricany – Rozvodna poprawie uległy wartości wyznaczonych statystyk. Zmniejszył się błąd średniokwadratowy wraz ze swoimi składowymi, znormalizowany błąd średniokwadratowy i znormalizowane odchylenie średnie.

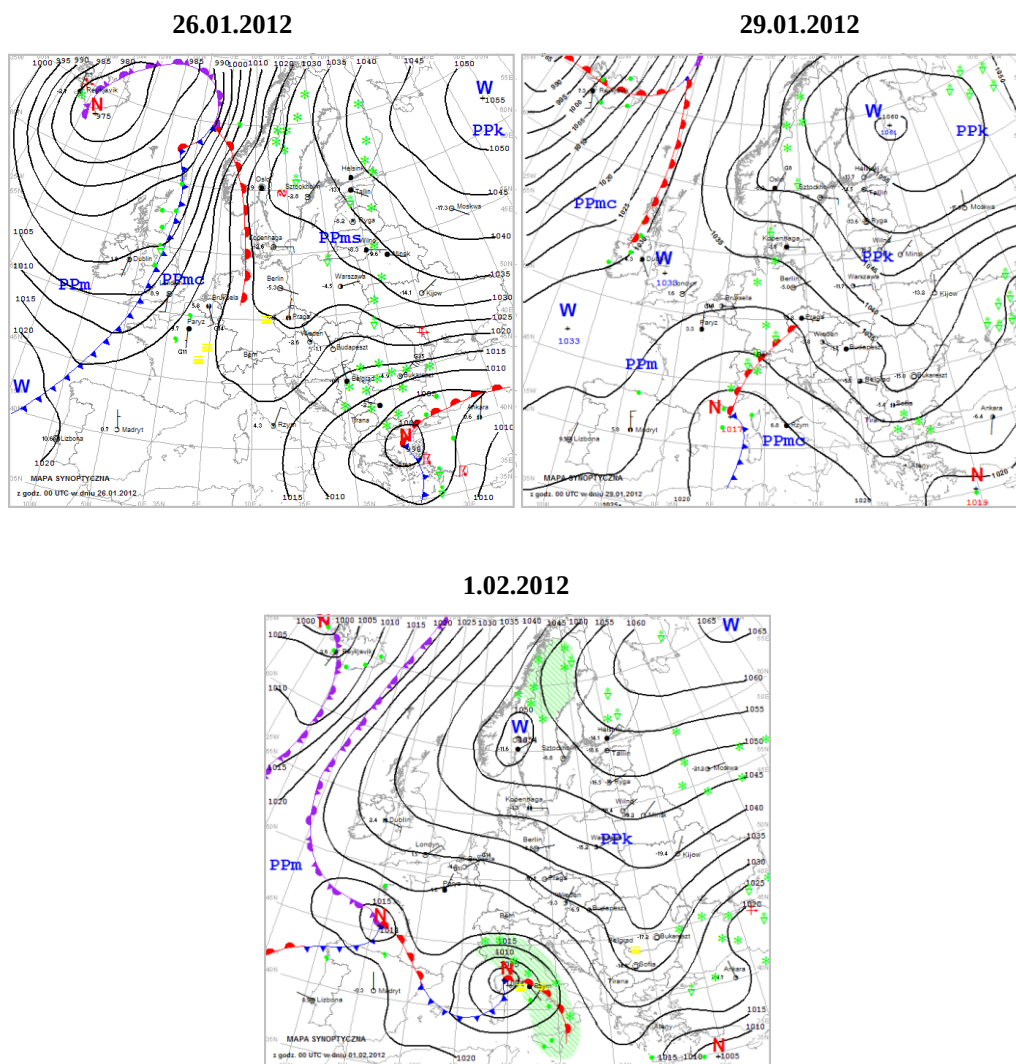
Niestety, współczynnik korelacji i indeks zgodności, pomimo niewielkiego wzrostu nadal wskazują na niską korelację.

Punkty odpowiadające stacji Złoty Potok znajdują się w górnej części wykresu, zaś stacji Bystrzany – Rozvodna w dolnej, co oznacza, że model dla pierwszej stacji w niewielkim stopniu przeszacował wyniki, a dla drugiej niedoszacował. Jednakże 88% wyników znajduje się pomiędzy ramionami oznaczającymi przypadek dwukrotnie zawyżony i dwukrotnie zaniżony w stosunku do pomiarów.

4.8.4. Epizod 4 od 26 stycznia do 1 lutego 2012 r.

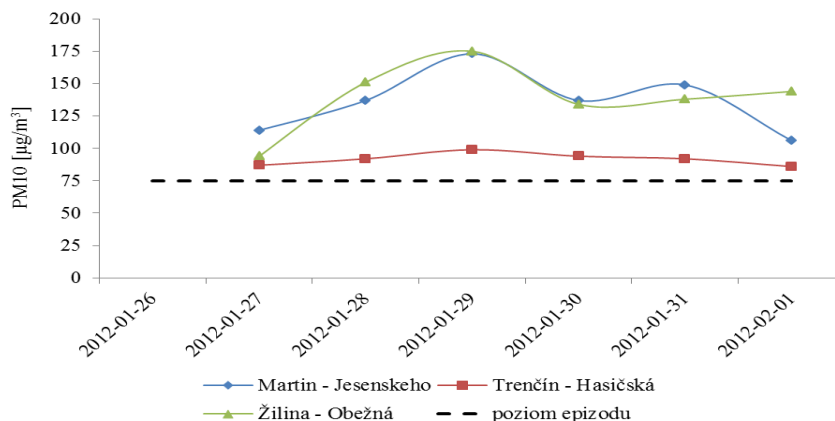
4.8.4.1. Sytuacja synoptyczna

W dniach 26.01-1.02.2012 obszar Polski znajdował się w zasięgu klina silnego wyżu z centrum nad północną i północno-zachodnią Rosją. Z północnego wschodu napływała wówczas masa mroźnego i suchego powietrza polarno-kontynentalnego (PPk).

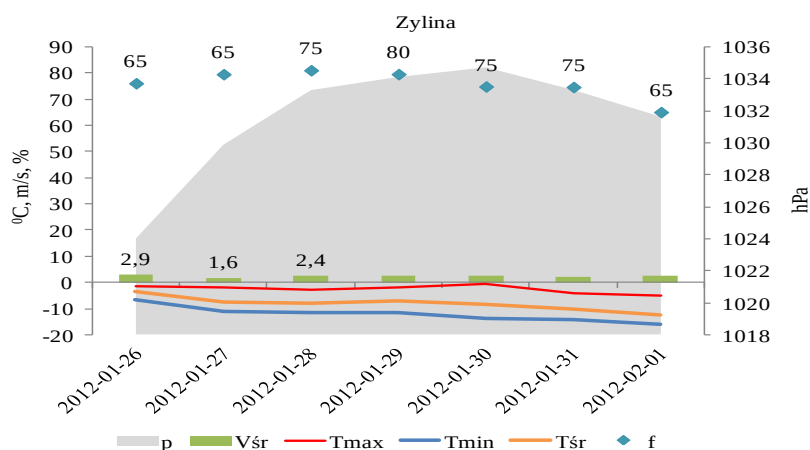


Rysunek 4-263 Mapa synoptyczna z dnia 26, 29 stycznia, 1 lutego 2012 roku, godzina 0 UTC

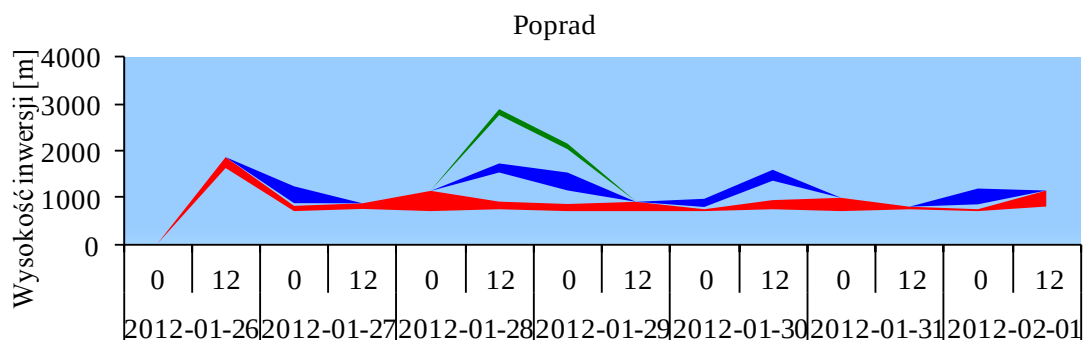
4.8.4.2. Stężenie PM10 a warunki meteorologiczne



Rysunek 4-264 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10

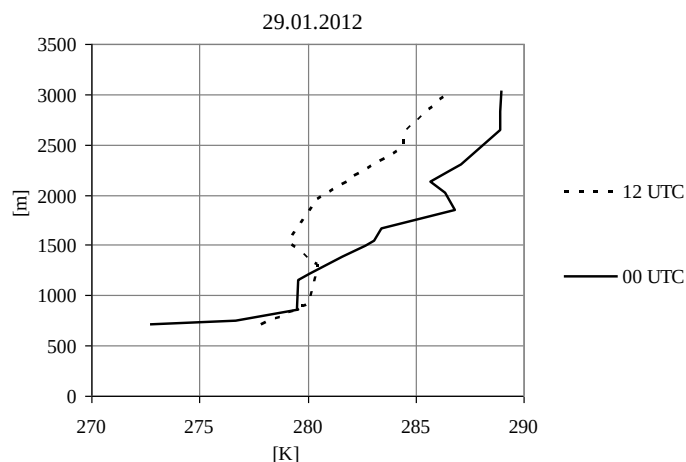


Rysunek 4-265 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-266 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

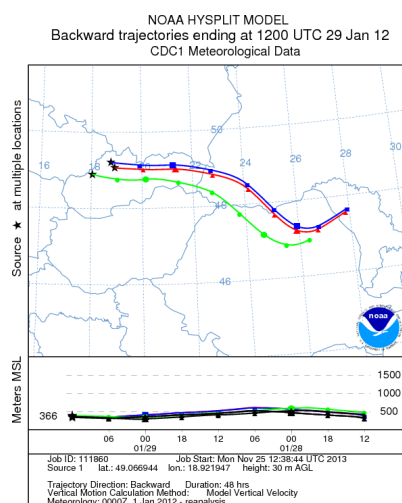
Podczas trwania epizodu obserwowano występowanie niezbyt grubej warstwy inwersji wzniesionej o niewykształconym biegu dobowym. Jednocześnie ujemna temperatura nawet maksymalna mierzona na stacji naziemnej i niezbyt silny wiatr dobowy mogą sugerować możliwość lokalnego występowania inwersji przyziemnej.



Rysunek 4-267 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.8.4.3. Trajektorie wsteczne

Maksymalne stężenia w czasie tego epizodu zanotowano na Słowacji dnia 29.01.2012.



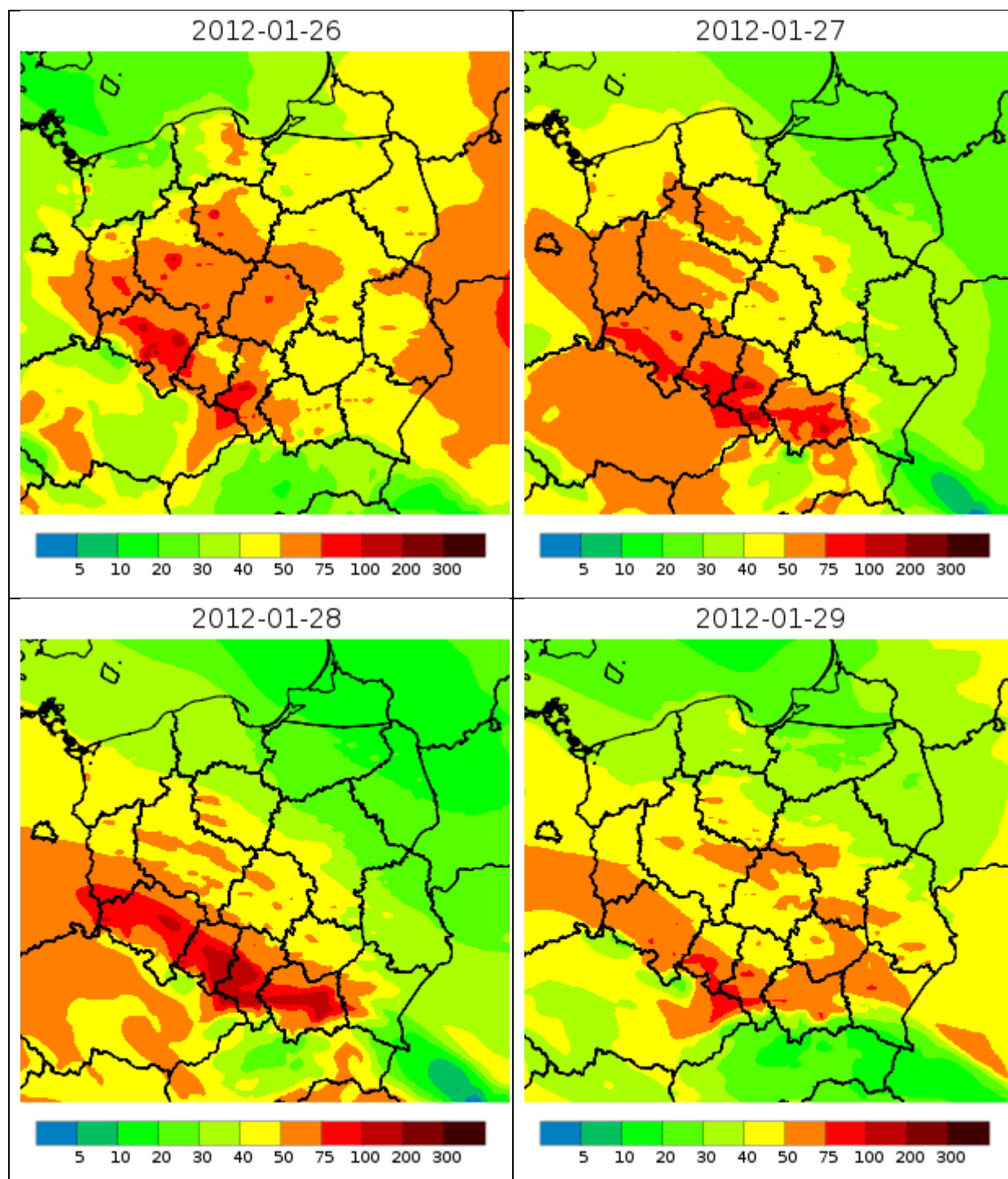
Rysunek 4-268 Trajektorie wsteczne dla stacji w Martin, Zilinie i Trencinie w dniu 29.01.2012

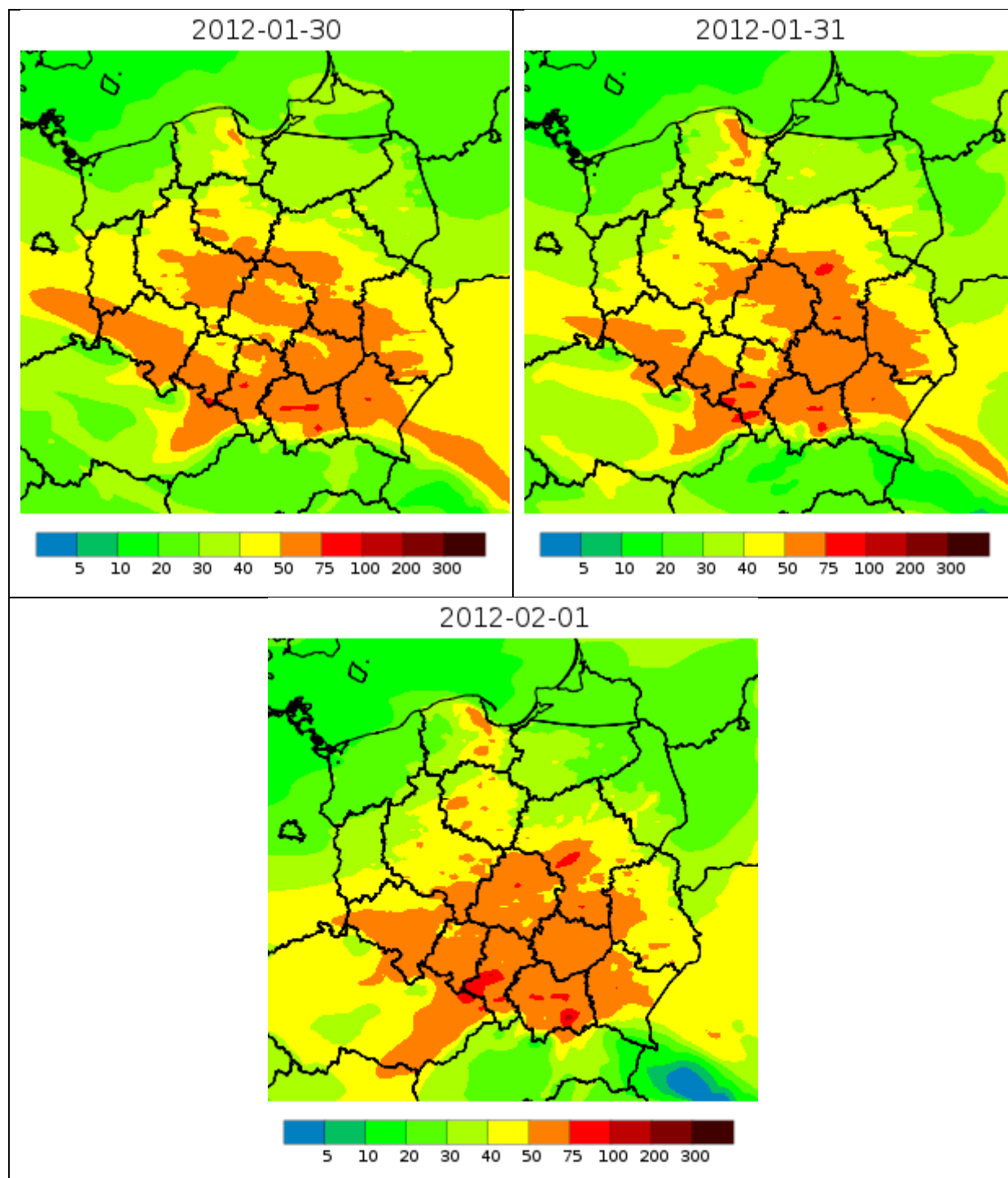
Trajektorie wsteczne wykreślono dla wybranych stacji, dla których w danym dniu wystąpiło maksymalne stężenie w czasie epizodu - w Martin ($173 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Zilinie ($175 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Trencinie ($99 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Trajektorie wsteczne w czasie tego epizodu podnosiły się powoli, aby po 32 h osiągnąć wysokość 90 m, po czym stopniowo się obniżały. Pozostawały w obrębie warstwy mieszania przez pierwsze 28 h, potem weszły ponownie w obręb warstwy mieszania po 42 h. Wysokość warstwy mieszania wzdłuż trajektorii zmieniała się w cyklu dobowym od ok. 80 m w nocy do 120-160 m maksymalnie w dzień. Stosunkowo duża prędkość wiatru wzdłuż trajektorii wskazuje, że napływ może być istotną przyczyną wysokich stężeń PM₁₀ w tym dniu. Niska wysokość warstwy mieszania i długotrwałe przebywanie trajektorii w jej

obrębie wskazują, że w dużej mierze za wysokie stężenia PM10 odpowiadają źródła emisji powierzchniowej i niezbyt wysokie źródła punktowe.

4.8.4.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10

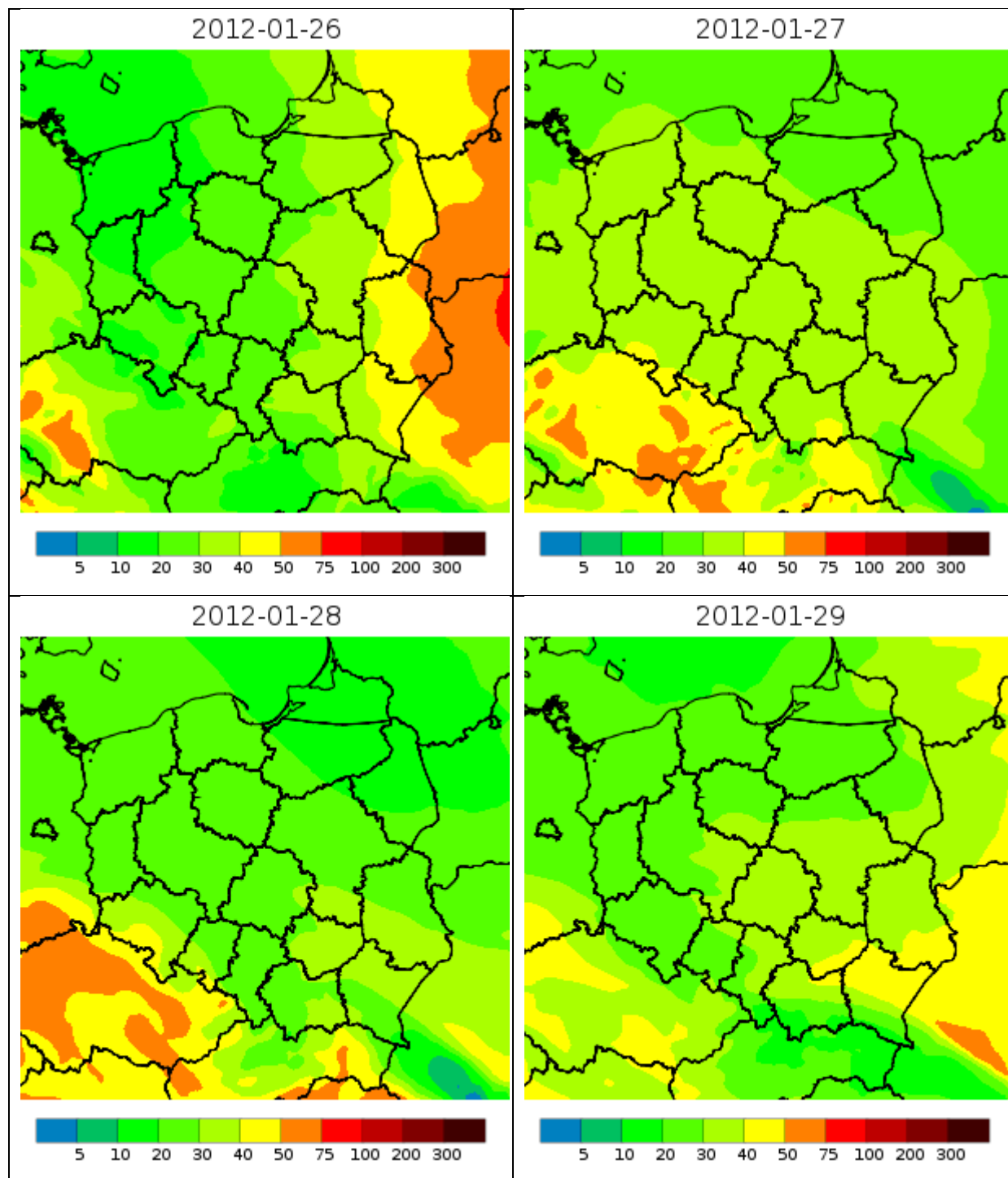


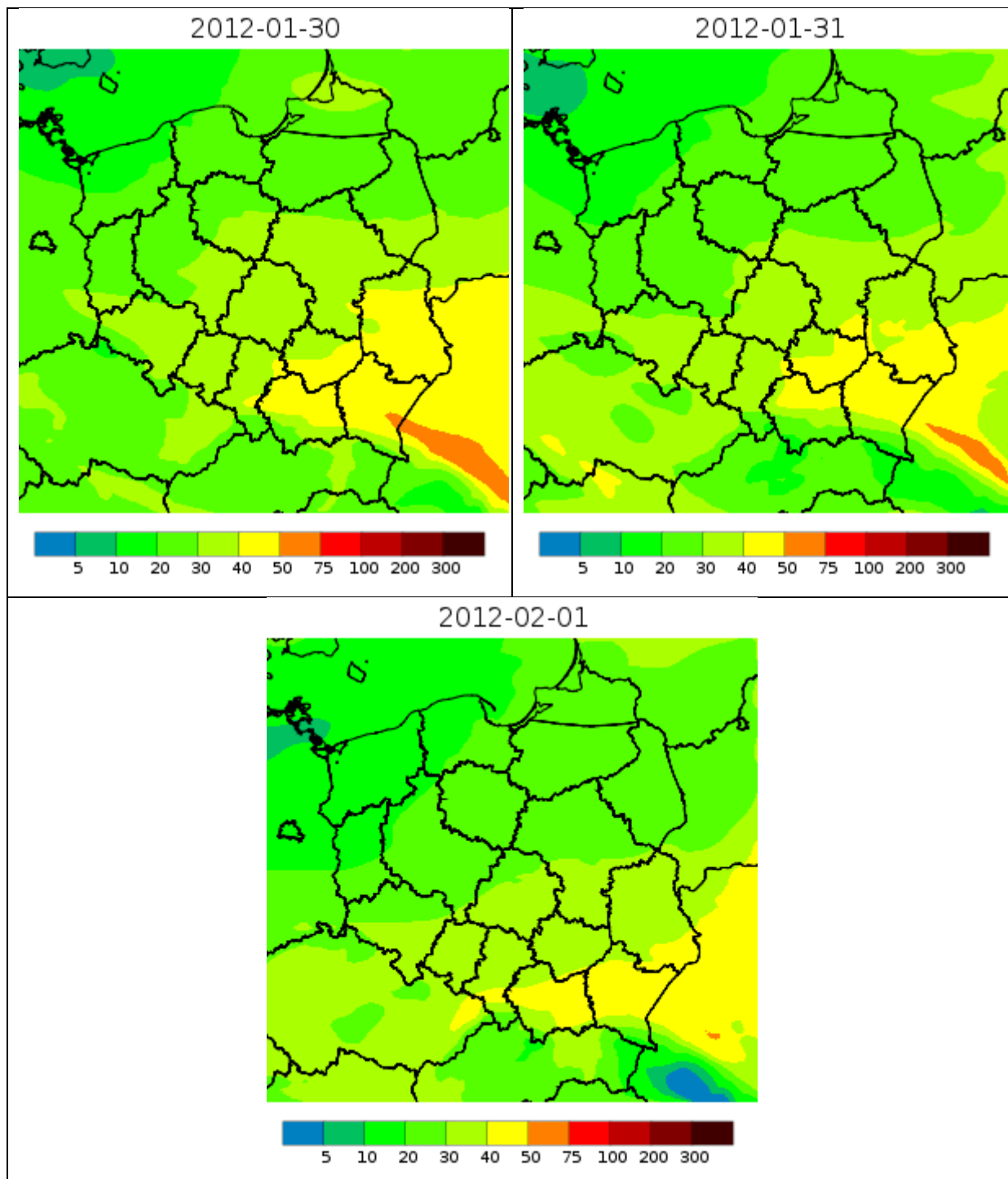


Rysunek 4-269 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 26.01-1.02.2012 r.

Epizod od 26 stycznia do 1 lutego 2012 r. największy zasięg miał 28 stycznia (32 tys. km²) Wówczas to wystąpiły również najwyższe stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀. Generalnie w trakcie trwania epizodu obserwowano pewien odpływ zanieczyszczeń wzdłuż pasm górskich oraz w kierunku południowym. Wysokie wartości stężeń występowały również na terenach dużych miast i aglomeracji centralnej Polski.

**B. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego
na obszar Polski**



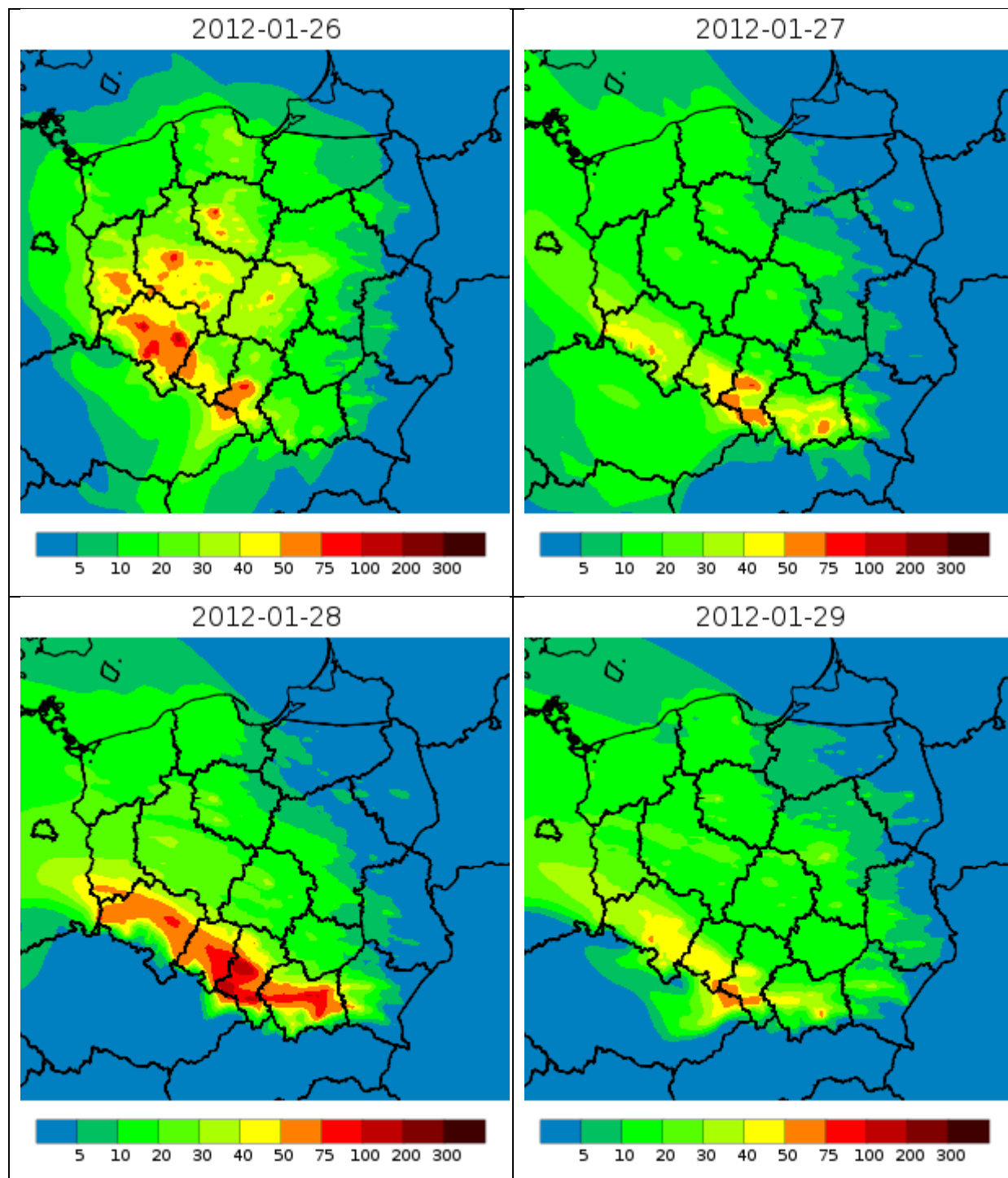


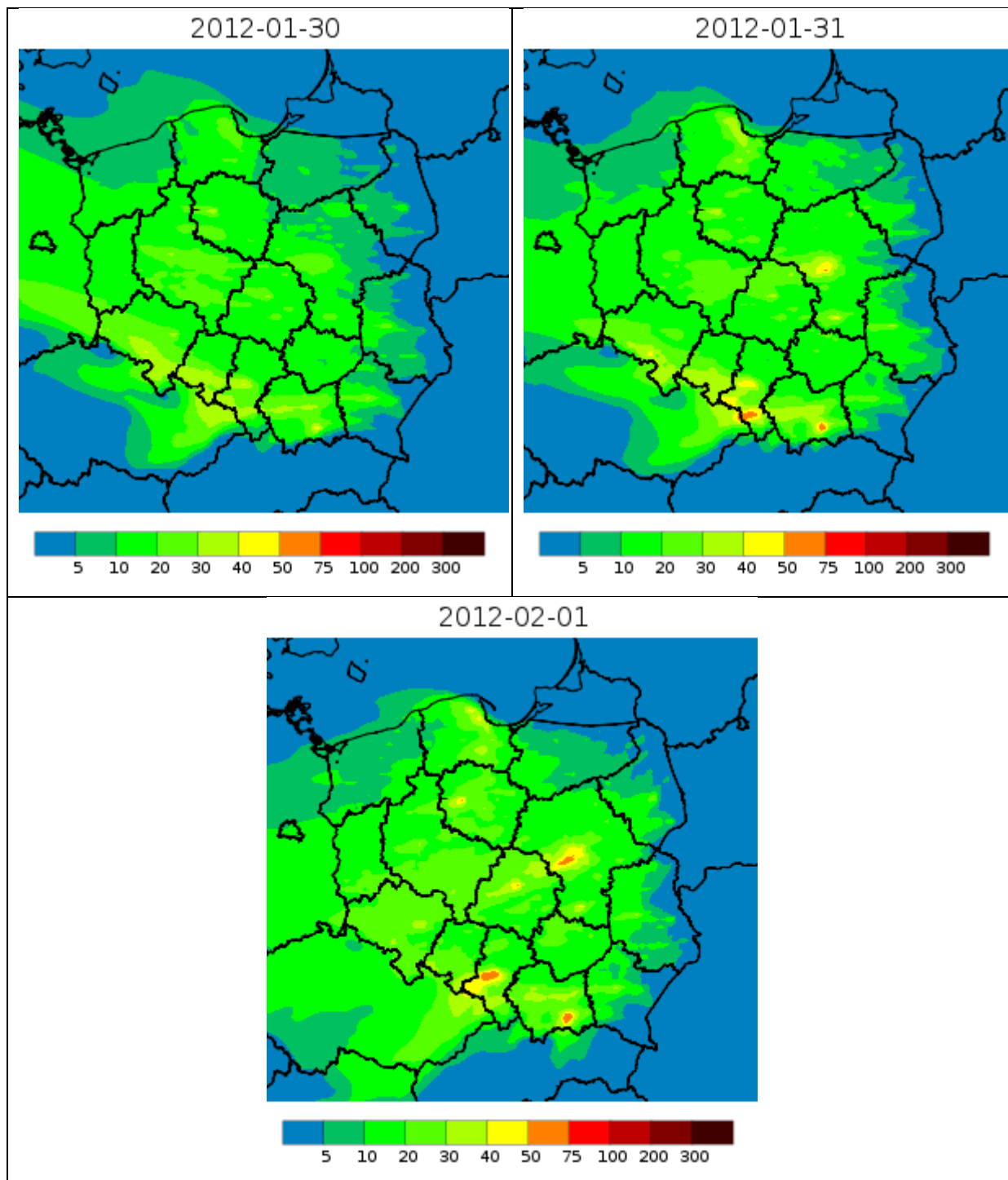
Rysunek 4-270 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 26.01-1.02.2012 r.

26 stycznia najwyższe stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego wystąpiły wzdłuż wschodniej granicy Polski. W województwie lubelskim i podkarpackim stężenia lokalnie przekraczały $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 27 i 28 stycznia zaobserwowano napływ z kierunku południowo – zachodniego, znad Czech, a stężenia w województwach dolnośląskim oraz opolskim lokalnie sięgały do $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Od 29 stycznia napływ transgraniczny odbywał się z kierunku południowo – wschodniego i najwyższe stężenia

wówczas wystąpiły na terenie województwa podkarpackiego (lokalnie przekraczały 50 µg/m³).

C. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski

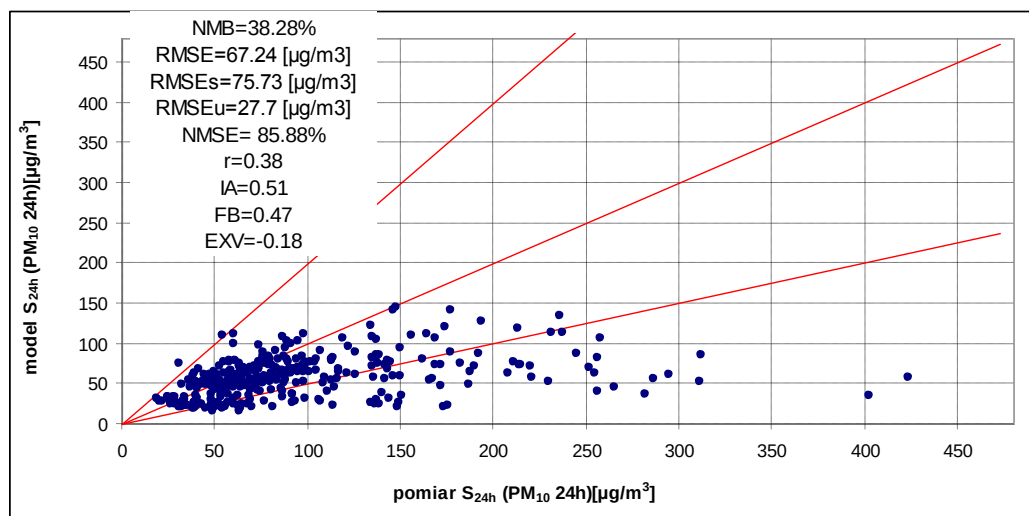




Rysunek 4-271 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [µg/m³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 26.01-1.02.2012 r.

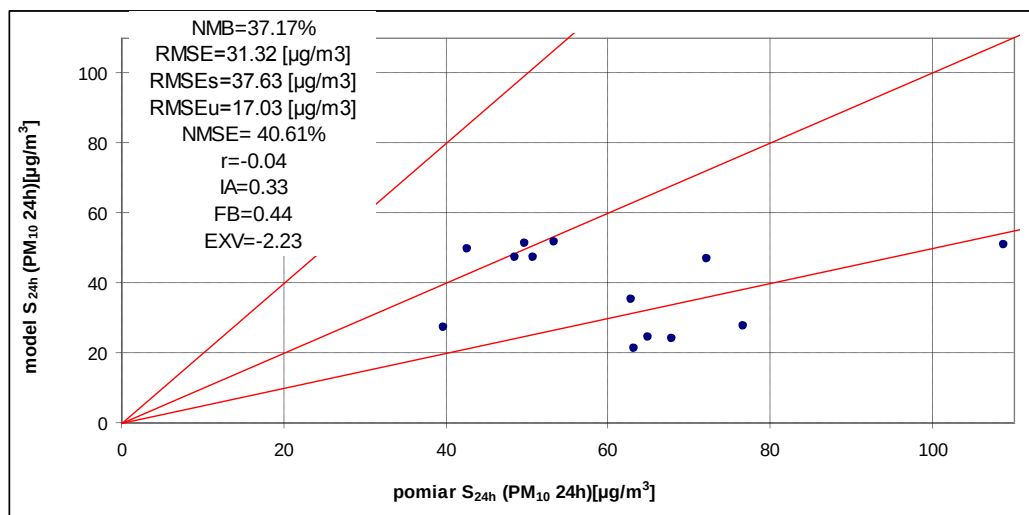
Stężenia pyłu zawieszonego z emisji z terenu Polski miały charakter raczej lokalny i koncentrowały się w dużych miastach i aglomeracjach. Szczególnie wyraźnie zaznaczyło się to 26 stycznia, kiedy właściwie nie zaznaczał się transport zanieczyszczeń w żadnym kierunku. 28 stycznia zanotowano maksymalny zasięg stężeń zanieczyszczeń pochodzących z Aglomeracji Górnośląskiej oraz Krakowskiej. Po 29 stycznia stężenia pochodzące z emisji z terenu Polski jedynie lokalnie, na terenach dużych aglomeracji, osiągały wartości przekraczające 50 µg/m³ natomiast w większości kraju i zagranicą nie przekraczały 20 µg/m³.

Od 27 do 30 stycznia przenoszenie zanieczyszczeń z nad obszaru Polski następowało w kierunku północno-zachodnim, a po 30 stycznia, stopniowo, w kierunku południowo - zachodnim.



Rysunek 4-272 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 26.01.2012 – 1.02.2012r.

Podobnie jak w wielu wcześniejszych epizodach tu także modelowanie poprawnie oszacowuje stężenia dla niskich wartości pomiaru (do około 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), natomiast dla wyższych już wartości utrzymuje się na wysokim ale nie przekraczającym 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ poziomie.



Rysunek 4-273 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 26.01.2012 – 1.02.2012r.

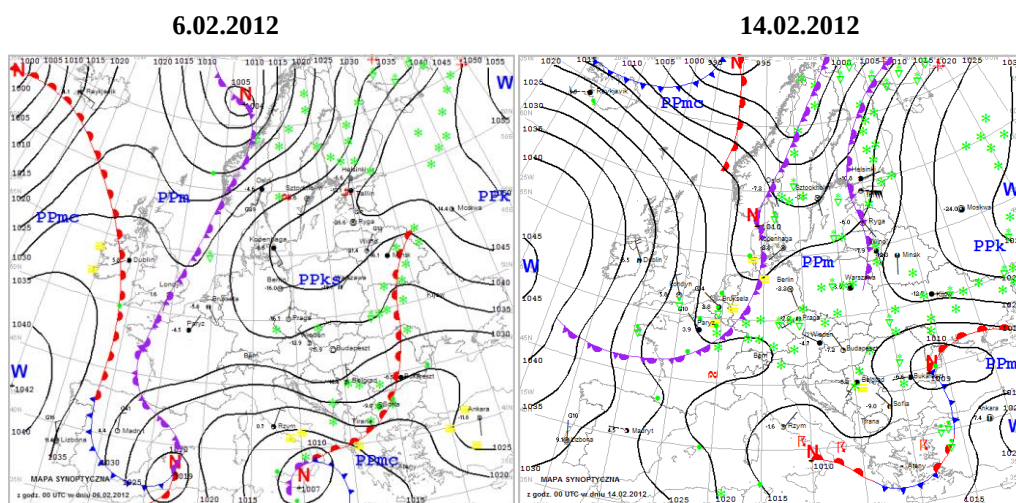
Po usunięciu stacji o charakterze miejskim, pozostały wyniki pomiarów ze stacji: Złoty Potok i Bystricany – Rozvodna. W tym przypadku błąd średniokwadratowy RMSE zmalał z 67% do 31%, znormalizowany błąd średniokwadratowy NMSE z 85% do 41%, a współczynnik korelacji jak i indeks zgodności pogorszyły się. Na wykresie zależności modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich widoczne są dwie grupy

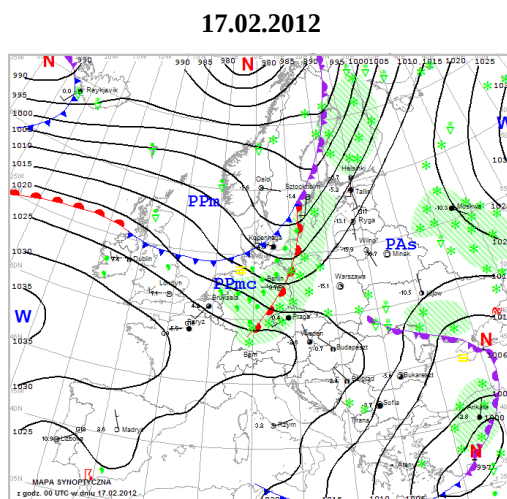
punktów. Część punktów rozmieszczona jest wokół prostej przedstawiającej sytuację, gdy wyniki pomiarów są identyczne z modelowaniem, są to wyniki pomiarów i odpowiadające im wyniki modelowania pochodzące ze stacji Złoty Potok, która znajduje się na terenie Polski. Druga część punktów umieszczona wokół dolnego ramienia odpowiada sytuacji, kiedy dwukrotnie zmniejszone pomiary odpowiadają wynikom modelowania i pochodzi ze stacji leżącej na obszarze Słowacji tj. Bystricany – Rozvodna.

4.8.5. Epizod 5 od 6 do 17 lutego 2012 r.

4.8.5.1. Sytuacja synoptyczna

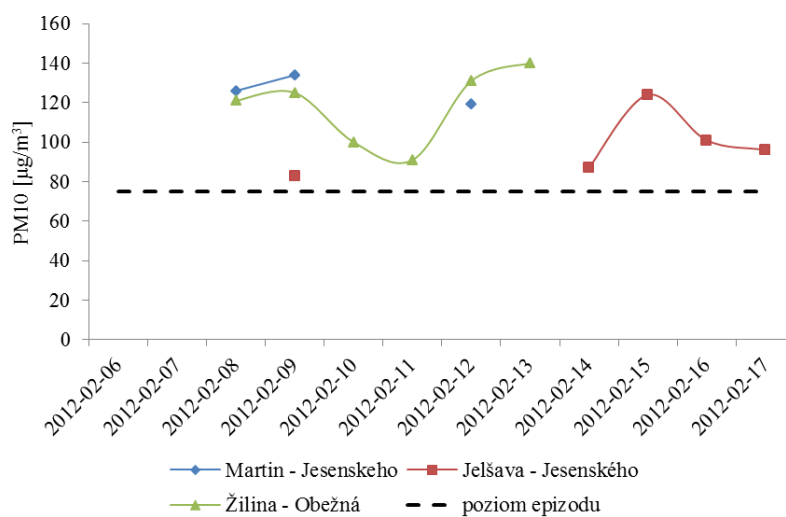
W dniach 6-12.02.2012 obszar Polski znajdował się w zasięgu klina silnego wyżu z centrum nad północno-zachodnią Rosją. Z północnego-wschodu napływała masa mroźnego i suchego powietrza polarno-kontynentalnego (PPk). Dnia 6.02.2012 obszar województwa podkarpackiego był objęty zasięgiem oddziaływania zatoki niżu znad Morza Egejskiego, która w dniach 7-8.02.2012 wraz z frontem okluzji przewędrowała ze wschodu na zachód przez cały obszar kraju. Dnia 9.02.2012 znad Bałtyku wzdłuż zachodnich województw przemieszczał się płytki, wypełniający się ośrodek niżowy. W związku z panującą w dniach 6-9.02.2012 sytuacją baryczną, powietrze nad obszarem Polski pozostawało mroźne, ale wzbogaciło się w wilgoć. Od dnia 12.02.2012 zaznaczyło się stopniowe słabnięcie klina wyżowego, a z kierunków zachodnich na wschód zaczęły przemieszczać się nad obszarem Polski kolejne zatoki niżowe wraz z układami frontów atmosferycznych. Szczególnie istotny wpływ na pogodę w tym okresie miał głęboki ośrodek niżowy, który w dniach 14-16.02.2012 wędrował znad Skandynawii przez Polskę nad Rumunię. Z zachodu lub północnego zachodu napływało wówczas chłodne powietrze polarno-morskie (PPm), a dnia 16.02.2012 przejściowo wystąpił napływ z północy mroźnej masy powietrza pochodzenia arktycznego (PAs). Dnia 17.02.2011 układ frontów związany z niżem znad Morza Norweskiego, przemieszczając się z zachodu na wschód przyniósł z południowego zachodu napływ ciepłej masy polarno-morskiej (PPmc).





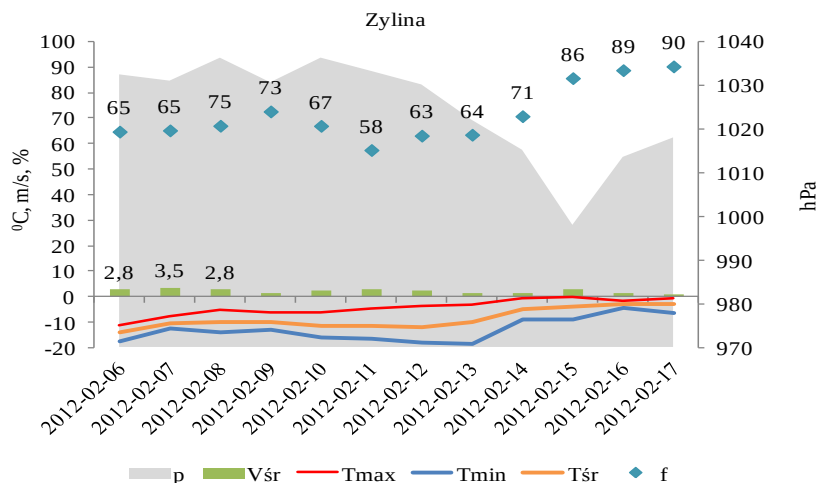
Rysunek 4-274 Mapa synoptyczna z dnia 6, 14, 17 lutego 2012 roku, godzina 00 UTC

4.8.5.2. Stężenie PM₁₀ a warunki meteorologiczne

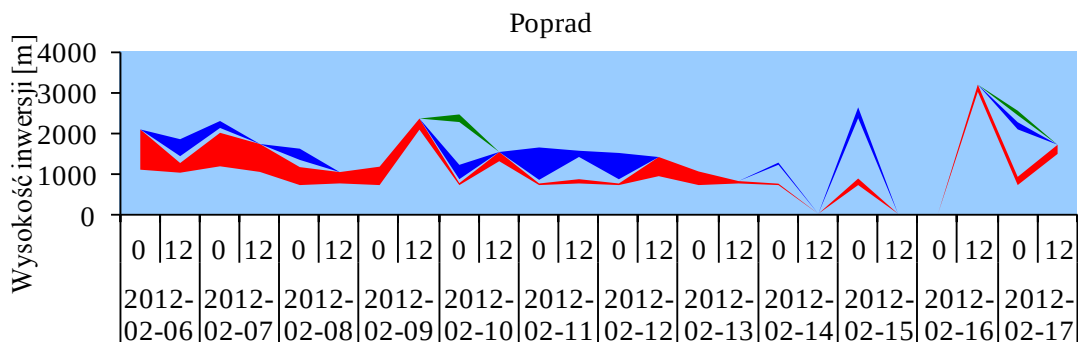


Rysunek 4-275 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na podstawie danych pomiarowych, meteorologicznych oraz analizy trajektorii

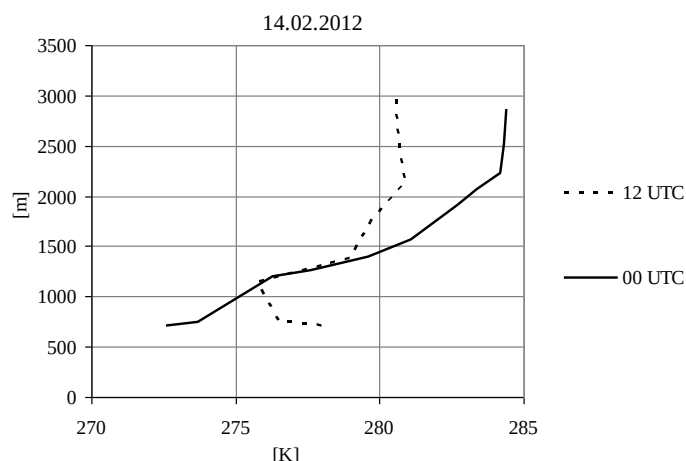


Rysunek 4-276 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (Vśr), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)



Rysunek 4-277 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego

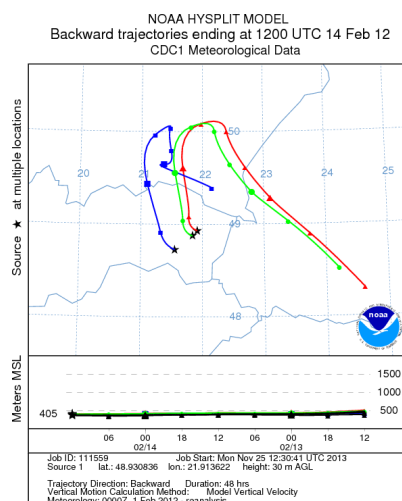
Podczas kulminacji stężeń obserwowano znaczne obniżenie dość słabo zaznaczającej się warstwy inwersji wzniesionej. Jednocześnie ujemna temperatura nawet maksymalna mierzona na stacji naziemnej i niezbyt silny wiatr dobowy mogą sugerować możliwość lokalnego występowania inwersji przyziemnej.



Rysunek 4-278 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego

4.8.5.3. Trajektorie wsteczne

Maksymalne stężenia w czasie tego epizodu zanotowano na Słowacji dnia 14.02.2012 r.

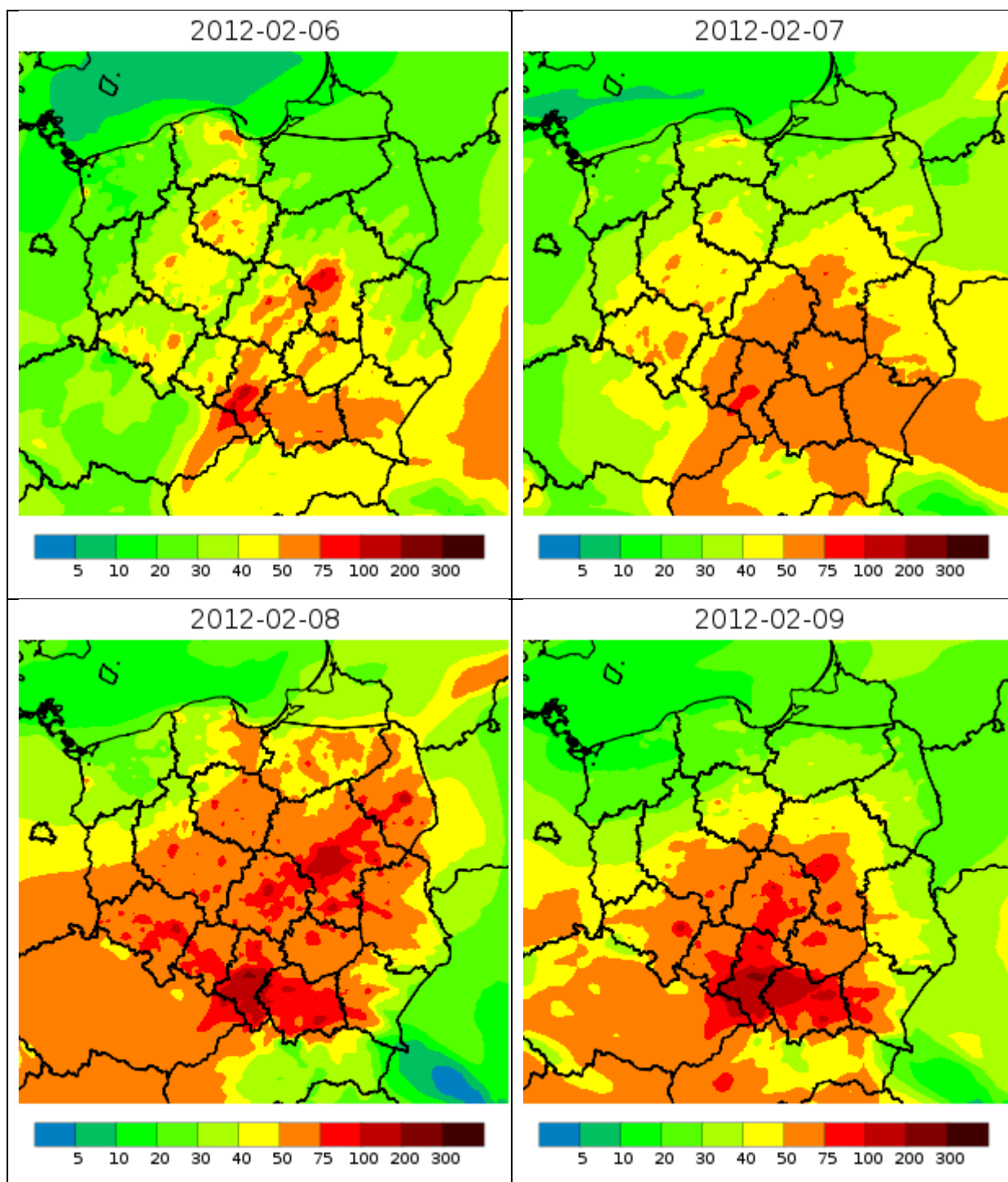


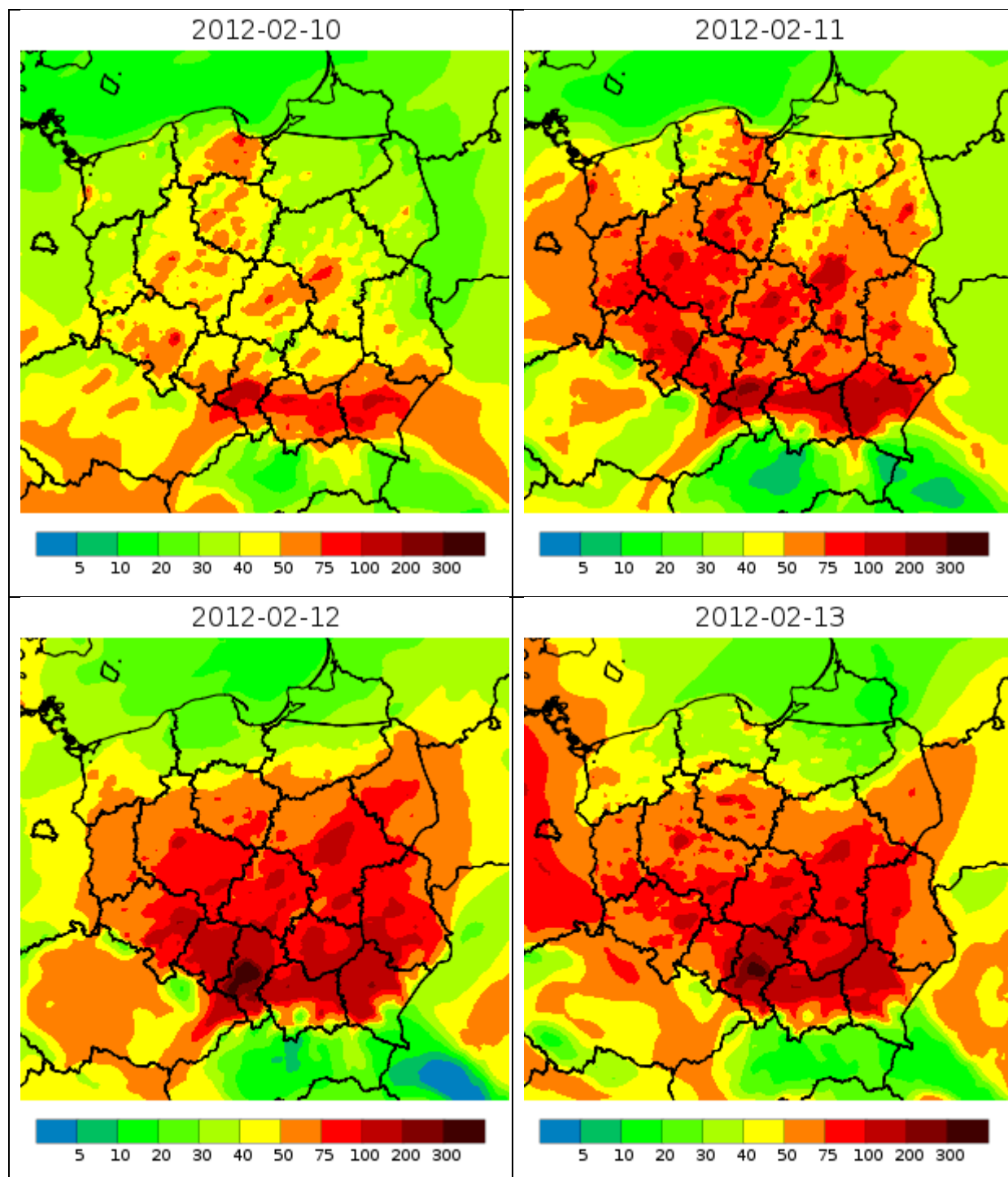
Rysunek 4-279 Trajektorie wsteczne dla stacji w Humennem, Koszycach i Stratzke w dniu 14.02.2012

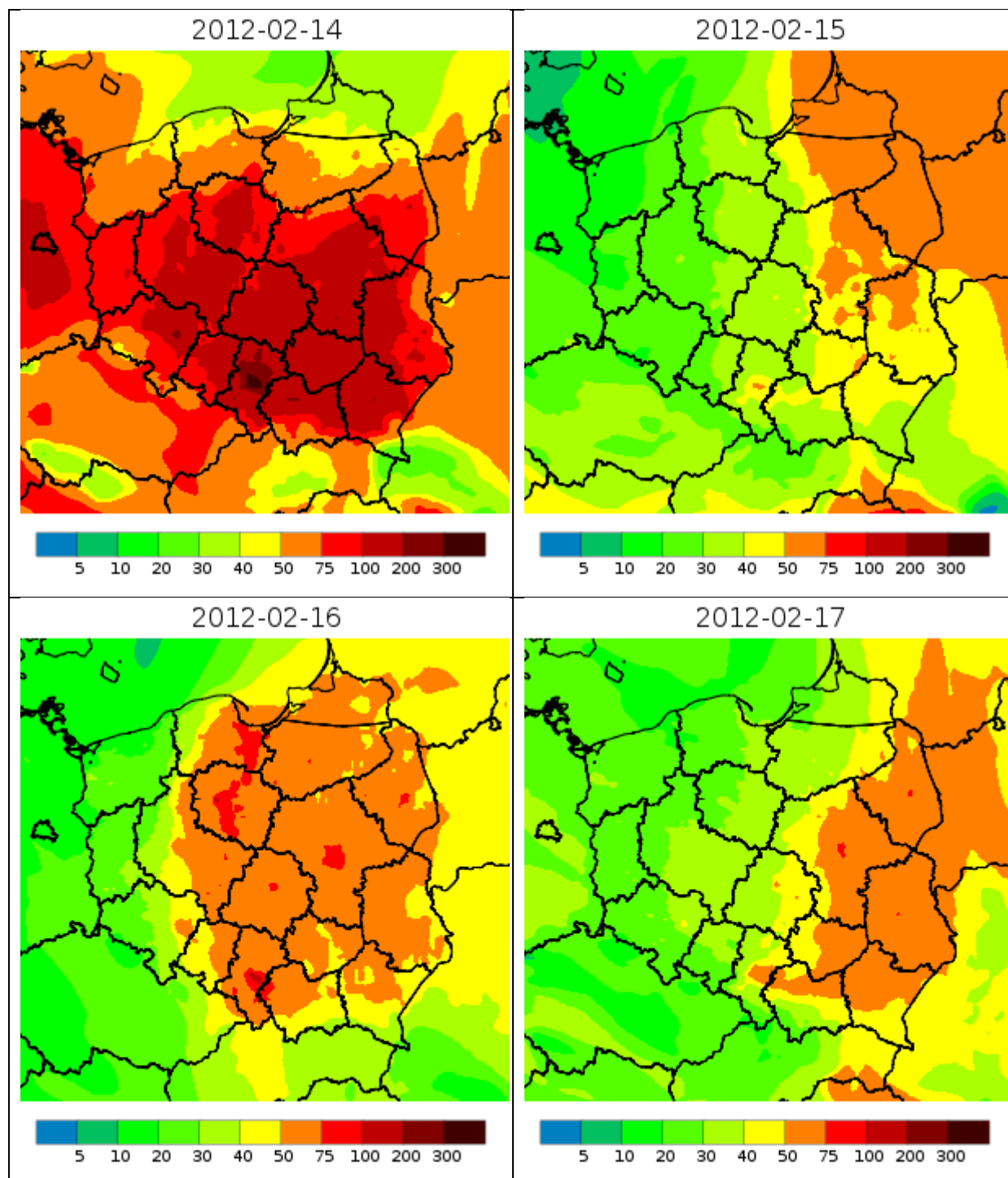
Trajektorie wsteczne wykreślono dla wybranych stacji, dla których w danym dniu wystąpiło maksymalne stężenie w czasie epizodu - w Humennem ($117 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Koszycach ($77, 105 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Strazske ($113 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Trajektorie wsteczne w czasie tego epizodu utrzymywały się niemal na tej samej wysokości, cały czas pozostając w obrębie warstwy mieszania. Wysokość warstwy mieszania wzdłuż trajektorii zmieniała się w cyklu dobowym od ok. 70 m w nocy do 200-300 m maksymalnie w dzień. Niewielka prędkość wiatru wzdłuż trajektorii, zwłaszcza w początkowym okresie wskazuje, że emisja lokalna może być istotną przyczyną wysokich stężeń PM₁₀ w tym dniu.

4.8.5.4. Modelowanie stężeń pyłu PM10 24 h

A. Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10





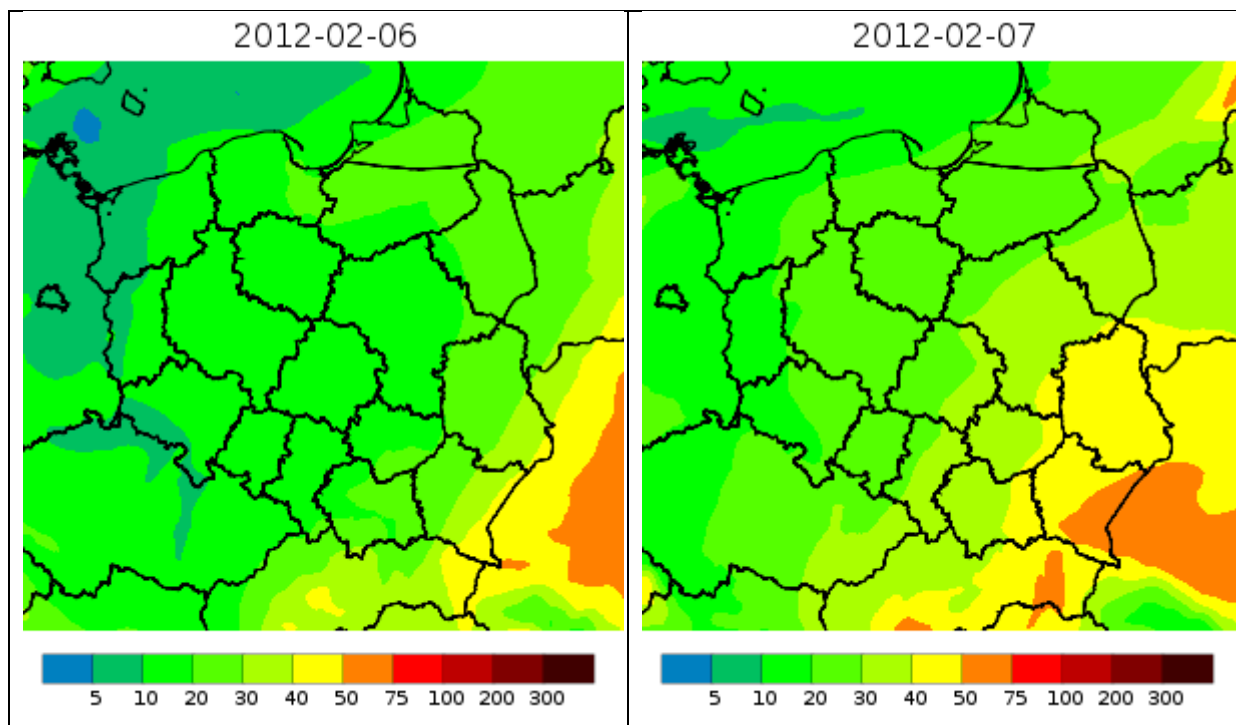


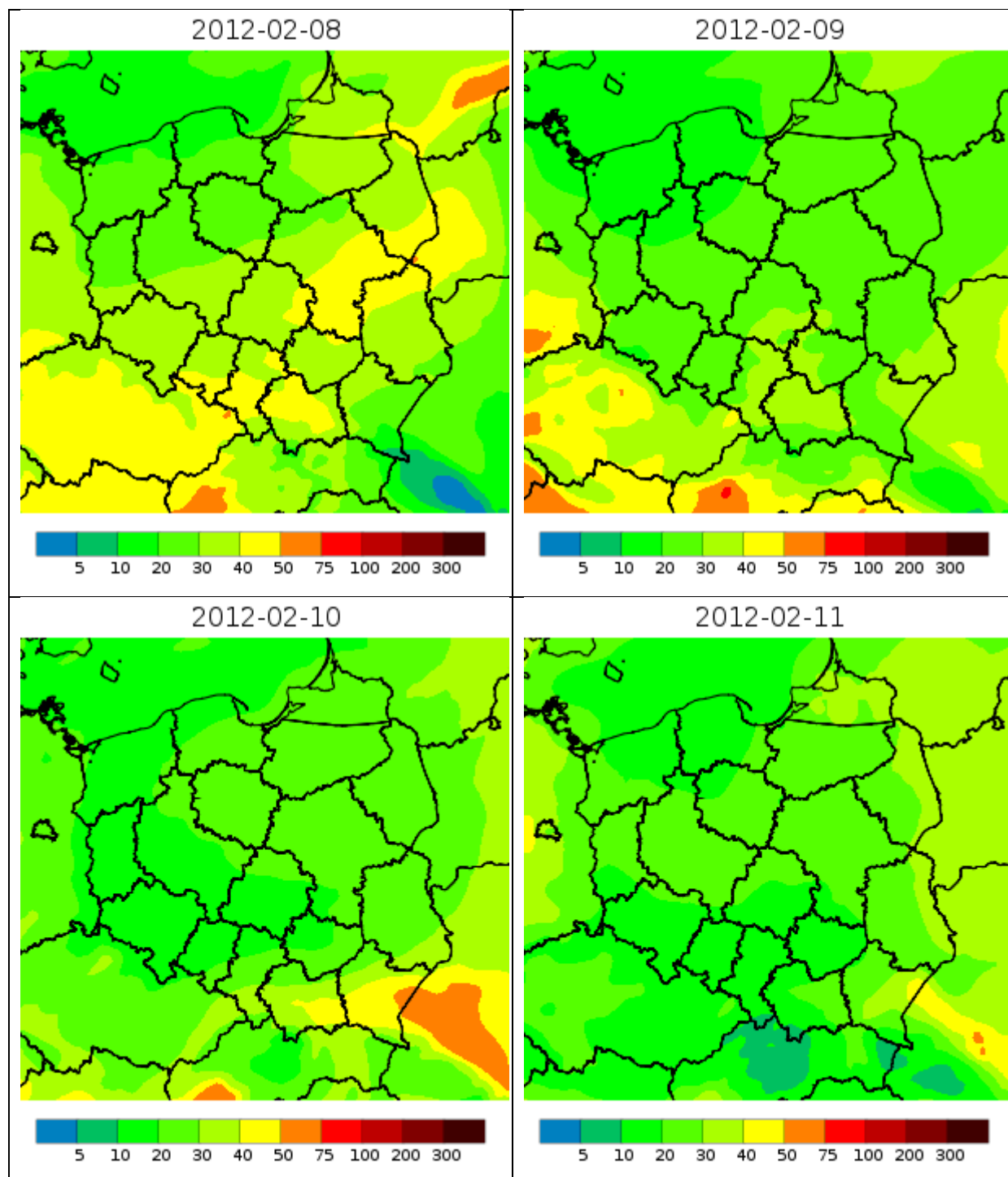
Rysunek 4-280 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 6-17.02.2012 r.

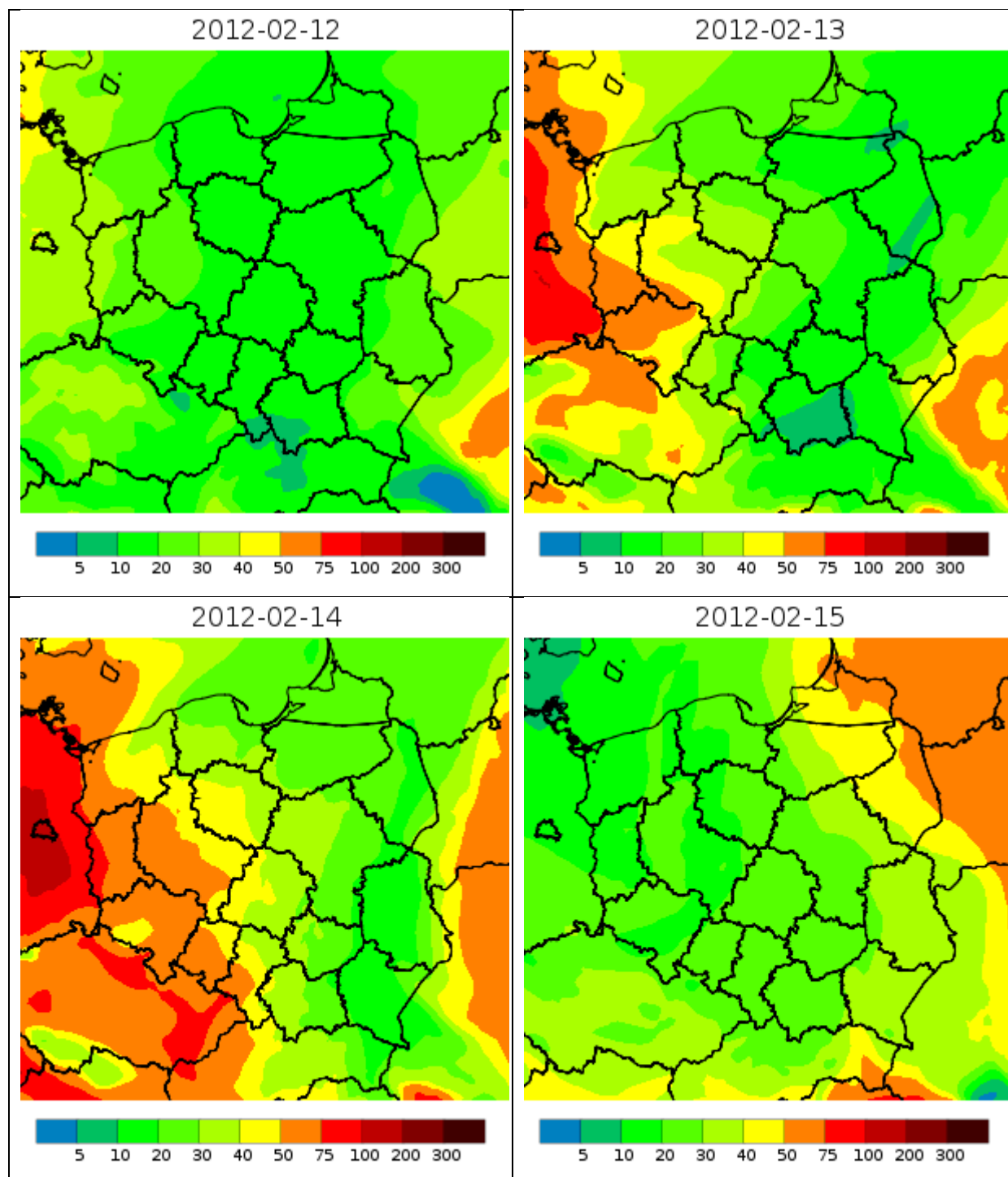
W trakcie trwania epizodu od 6-17 lutego 2012 r. jego zasięg był zmienny. 6 i 7 lutego zanieczyszczenia przemieszczały się w kierunku południowo-zachodnim, jednakże stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ były stosunkowo niskie i jedynie na obszarach Aglomeracji Górnośląskiej i Warszawskiej przekraczały $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 8 i 9 lutego odpływ zanieczyszczeń nie był już tak wyraźny, natomiast stężenia na terenie Polski znacznie wzrosły – na dużym obszarze przekroczona została wartość dopuszczalna dla średniej dobowej pyłu zawieszonego PM₁₀. 11 lutego epizod przybrał na sile, by swój maksymalny zasięg (około 250 tys. km^2)

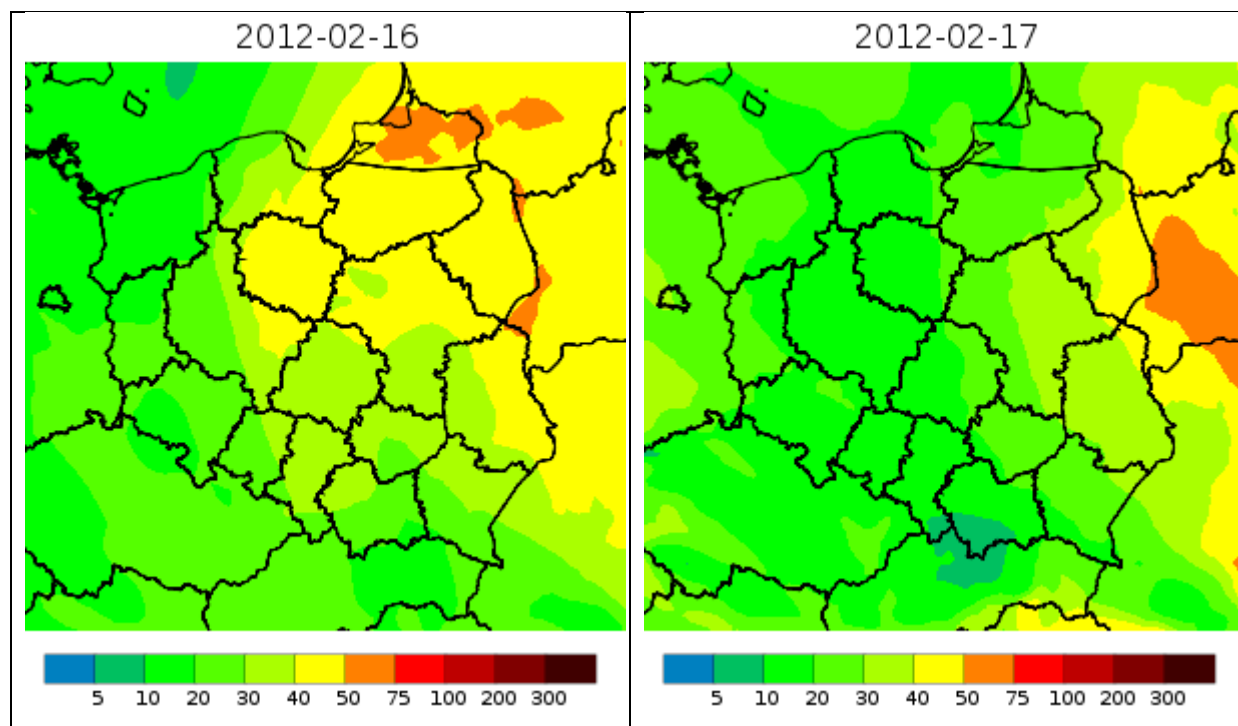
oraz stężenia osiągnąć 14 lutego. Odpływ zanieczyszczeń następował praktycznie w każdym kierunku. 15 lutego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ uległy przemieszczeniu na północny-wschód i równocześnie znacznie spadły. Na terenie województw: podlaskiego, warmińsko-mazurskiego, mazowieckiego i lubelskiego zanotowano przekroczenia wartości dopuszczalnej dla dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀. Zasięg izolinii 50 µg/m³ znacząco zwiększył się 16 lutego i objął praktycznie całą centralną i wschodnią Polskę a także województwo pomorskie i śląskie. Na terenach dużych miast i aglomeracji (np. Warszawa, Białystok, Olsztyn, Konin itp.) stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ osiągały wartości powyżej izolinii 75 µg/m³. 17 lutego zanieczyszczenia przemieściły się w kierunku wschodnim, co wiązało się z obniżeniem stężeń pyłu PM₁₀ na terenie kraju.

B. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski





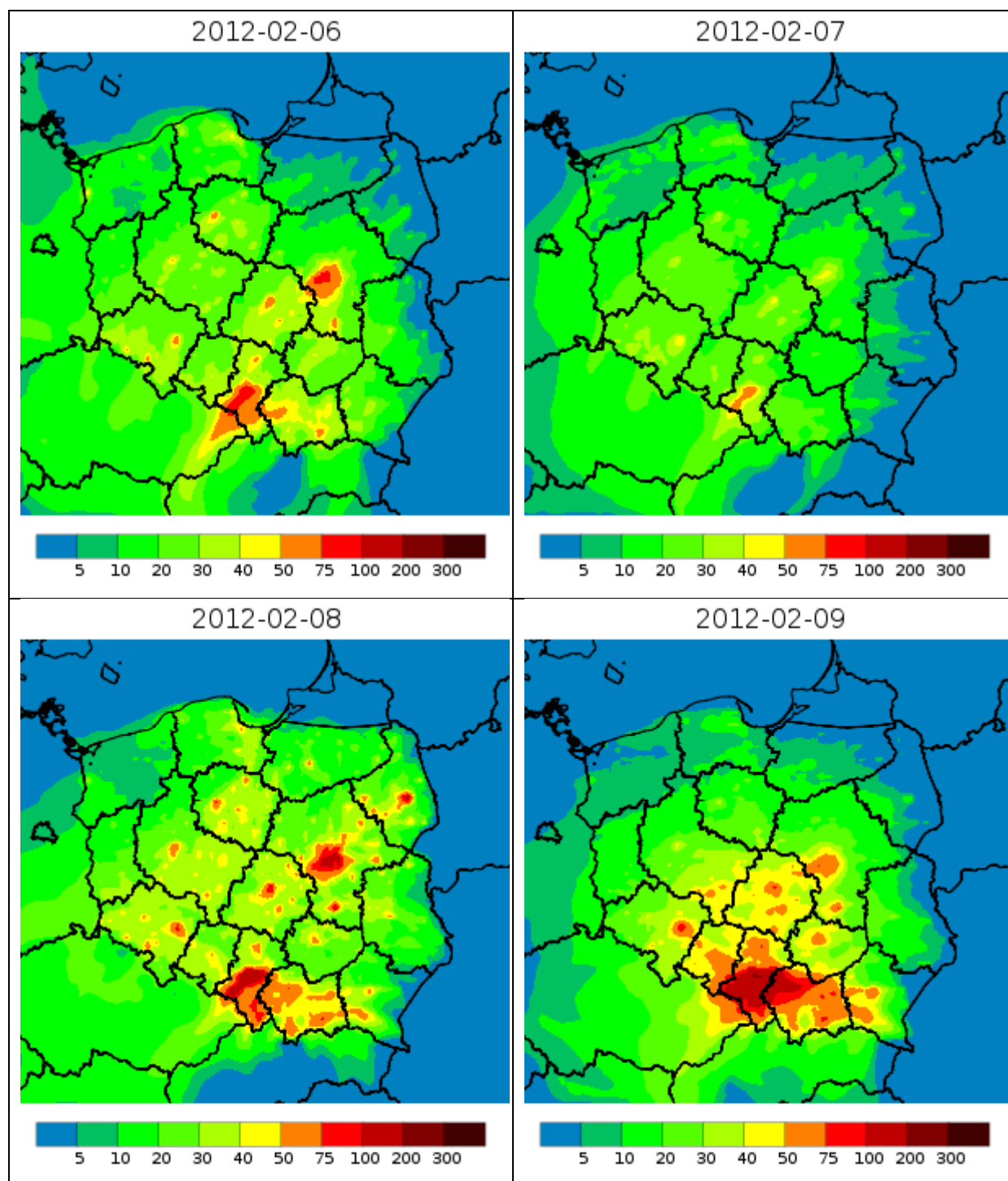


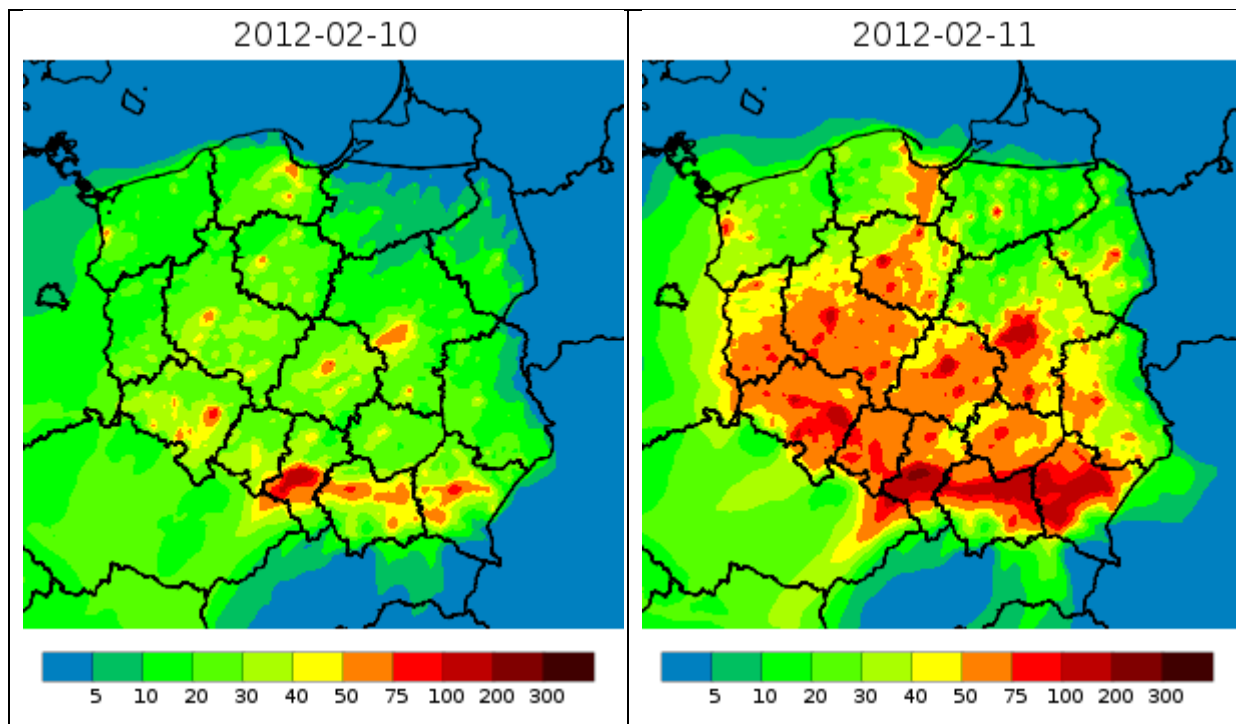


Rysunek 4-281 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 6-17.02.2012 r.

Napływ transgraniczny w trakcie trwania epizodu następował głównie z kierunku wschodniego. Jedynie w dniach 13 i 14 wyraźnie zaznaczył się napływ zanieczyszczeń z zachodu i południowo-zachodu. Napływ ten był znacząco wyższy, gdyż lokalnie, w województwach przygranicznych, osiągał stężenia rzędu $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

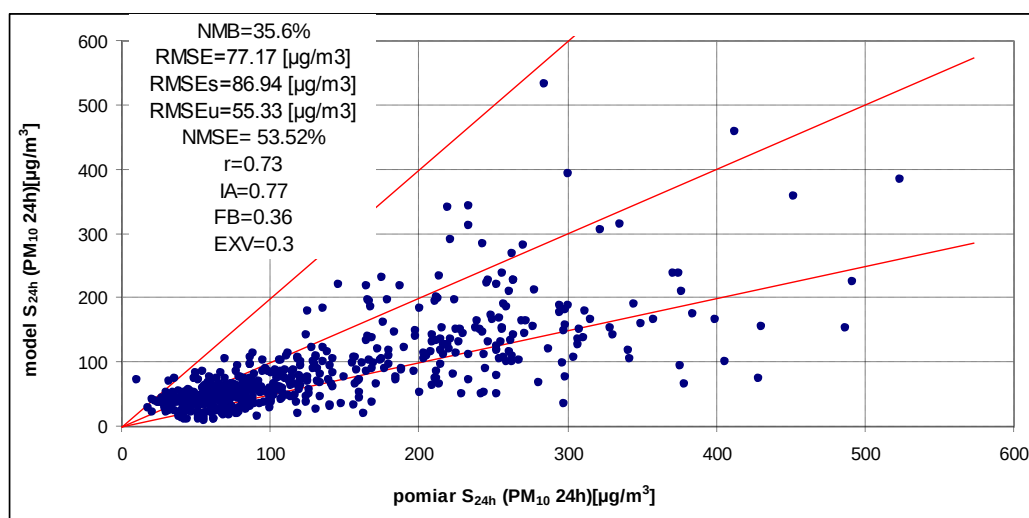
**C. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 wyznaczone w oparciu o emisję
wyłącznie z obszaru Polski**





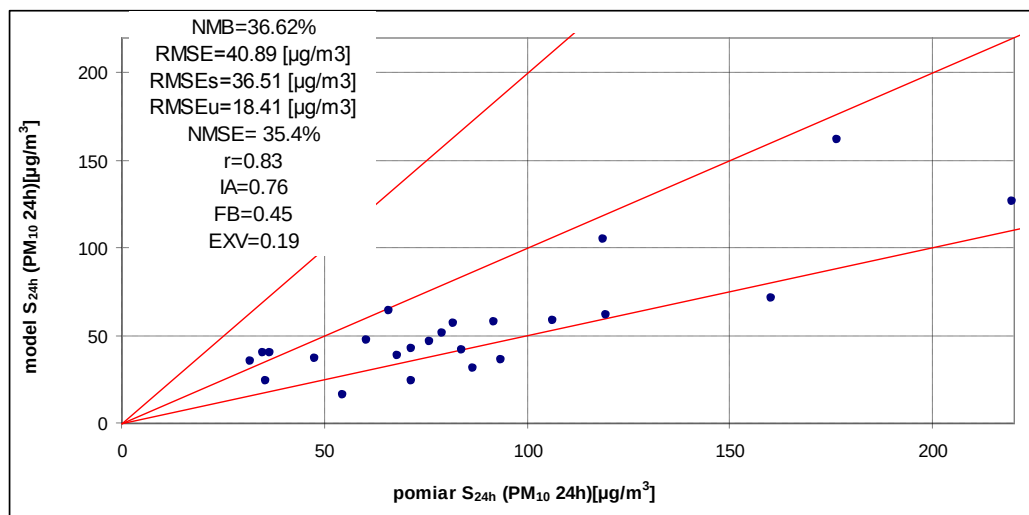
Rysunek 4-282 Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 6-17.02.2012 r.

Najwyższe stężenia dobowe pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzące od emisji z terenu Polski wystąpiły 17 lutego i osiągnęły największy zasięg. Równocześnie wyraźnie zaznacza się lokalny charakter epizodu, a najwyższe stężenia zanieczyszczeń koncentrowały się głównie wokół dużych skupisk emisji - czyli miast i aglomeracji. Odpływ zanieczyszczeń z terenu Polski w trakcie trwania omawianego epizodu następował w kierunku południowo-zachodnim, dlatego w rejonie Bramy Morawskiej zaznaczały się podwyższone stężenia zanieczyszczeń.



Rysunek 4-283 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 6.02.2012 – 17.02.2012r.

W analizie pomiarów ze stacji miejskich i pozamiejskich oraz odpowiadającym im wynikom modelowania, współczynnik korelacji i indeks zgodności są na poziomie oznaczającym wysoką korelację. Błędy NMB i NMSE są zbliżone do wartości oznaczających dobry model. Na wykresie widoczne jest przesunięcie dużej liczby punktów poniżej środkowego ramienia oznaczającego przypadek, gdy wyniki modelowania są identyczne jak pomiar, ale większa ich część znajduje się powyżej dolnego ramienia, co oznacza dobrą jakość modelowania względem pomiarów.



Rysunek 4-284 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 6.02.2012 – 17.02.2012r.

Jeżeli analizie zostaną poddane jedynie stacje o charakterze pozamiejskim, wówczas miary statystyczne oznaczające poprawność modelu wykazują lepszą zgodność. Błąd średniokwadratowy RMSE zmalał z 77% do 41%, a znormalizowany błąd średniokwadratowy NMSE z 53% do 35%. Znacząco wzrósł współczynnik korelacji, który dla stacji pozamiejskich wskazuje bardzo dużą zależność. Natomiast znormalizowane odchylenie średnie NMB utrzymało się na tym samym poziomie ok. 35%.

Po odrzuceniu stacji miejskich pozostały wyniki pomiarów ze stacji: Złoty Potok w gminie Janów oraz Bystricany – Rozvodna. Dla tych pomiarów 75% wyników modelowania znajduje się pomiędzy ramionami oznaczającymi dwukrotnie większe i dwukrotnie mniejsze wyniki modelowania, z czego 83% przypadków jest poniżej ramienia wskazującego idealny przypadek, gdy wyniki modelowania są identyczne jak pomiary.

4.9. Analiza zbiorcza uzyskanych w opracowaniu wyników

W pracy przedstawiono dwa podejścia do analizy występowania epizodów wysokich stężeń pyłu:

- metodę opartą o szeroko rozumianą analizę synoptyczną z elementami modelowania przebiegu trajektorii mas powietrza,
- modelowanie matematyczne przestrzennego przebiegu epizodów.

Obie metody z założenia komplementarne powinny dać w miarę kompletny obraz warunków meteorologicznych sprzyjających tworzeniu się epizodów. W istocie rzeczy w około 80 % przypadków ocena tła meteorologicznego a w szczególności kierunków napływu

mas powietrza odpowiedzialnych za powstawanie epizodów jest oboma metodami identyfikowana podobnie. Zdarzają się jednak sytuacje, gdy obserwuje się rozbieżność interpretacji kierunków napływu mas powietrza w trakcie epizodów identyfikowanych oboma metodami. Dotyczy to jednak sytuacji stagnacyjnych, gdy obiektywne określenie kierunków napływu było trudne do interpretacji a wyliczenia modelowe oparte były o parametryzację warunków meteorologicznych na podstawie danych niepewnych. W szczególności wyznaczone trajektorie wsteczne pochodzą z modelu wielkoskalowego, który siłą rzeczy bardzo upraszcza przyziemne pole wiatru w skali lokalnej a szacowane metodą modelową stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wyznaczone zostały przy użyciu modelu CAMx dla warstwy do maksymalnej wysokości 60 m. W zależności od bieżących warunków meteorologicznych miąższość oraz wysokość stropu tej warstwy mogły ulegać zmianom.

Modelowanie opiera się o szczegółową prognozę warunków meteorologicznych oraz emisyjnych, określanych w skali regionalnej dla siatki o oczku 7,5 km. Jakość danych emisyjnych niestety nie jest jednakowa na całym obszarze. Na obszarze Polski emisja została określona w oparciu o szczegółową inwentaryzację emisji, natomiast poza Polską wykorzystano dane emisyjne z EMEP. Należy o tym pamiętać przy interpretacji wyników obliczeń modelowych.

Konieczne jest podjęcie kroków w celu systematycznego badania procesów transportu zanieczyszczeń w obszarach transgranicznych, przy wykorzystaniu najnowszych osiągnięć naukowych i technicznych. W szczególności istotnym jest dokonanie krytycznego przeglądu możliwych do stosowania narzędzi modelowych, w tym modeli receptorowych ze wskazaniem najbardziej optymalnych rozwiązań, oraz wzbogacenie infrastruktury pomiarowej poprzez budowę sieci sodarów i operacyjne wykorzystanie sieci ceilometrów IMGW-PIB do oceny wysokości zalegania warstw aerozolowych. Badania epizodów wysokich stężeń pyłu PM powinno obejmować także ich skład chemiczny, zwłaszcza pod kątem możliwości oceny źródła pochodzenia zanieczyszczeń. Koniecznym jest także szybkie opracowanie koncepcji i systemu dokumentującego przyczyny i przebieg epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń w Polsce. Celem projektu powinno być stworzenie systemowych rozwiązań umożliwiających stałe śledzenie i dokumentacja ekstremalnych sytuacji związanych z przekraczaniem poziomów informowania, dla potrzeb zarządzania kryzysowego oraz wsparcia polityki resortu w zakresie zanieczyszczeń transgranicznych. Analizą powinna być objęta cała Polska, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów pogranicza polsko-niemieckiego, polsko-czeskiego i polsko-słowackiego. Efektem tych prac powinno być stworzenie systemu operacyjnego nadzoru i bieżącej analiza epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem obszarów transgranicznych PL-DE-CZ-SK dla potrzeb reanalizy sytuacji smogowych i incydentów związanych z przekraczaniem poziomów dopuszczalnych i alarmowych zanieczyszczeń powietrza.

5. Podsumowanie

Analiza przebiegu warunków termicznych Polski w latach 2011 i 2012 (temperatura powietrza jest dobrym meteorologicznym wskaźnikiem emisji i imisji zanieczyszczeń pyłowych), choć wykazuje lokalne różnicowanie w stosunku do średniej wieloletniej w różnych rejonach kraju (różne wielkości odchylen dla poszczególnych regionów i pór roku) potwierdza, że wybór tego okresu do badania epizodów wysokich stężeń pyłu zawieszonego był właściwy. Oba sezony chłodne tych lat nie należały do ekstremalnie ciepłych lub mroźnych, co może upoważniać do ostrożnego uogólniania wyników na okresy wieloletnie. Badanie częstości występowania epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na obszarze Polski w sezonach chłodnych 2011-2012 wykazało, że zdarzenia takie obserwuje się we wszystkich sytuacjach synoptycznych, przy czym największa ich częstość jest notowana w warunkach antycyklonalnych przy napływie mas powietrza z SE. Epizody zdarzające się w sytuacjach cyklonalnych i przy innych kierunkach ich napływu, choć także dość liczne, dotyczą raczej przypadków lokalnych o niewielkim zasięgu obszarowym. Jest to zjawisko powszechne zarówno w środku Polski, jak też w obszarach przygranicznych. W warunkach wystąpienia epizodów za które odpowiadają sytuacje antycyklonalne, szczególnie związane z napływem mas powietrza z sektora wschodniego i południowo-wschodniego ładunki zanieczyszczeń z wysokich źródeł emisji mogą być przemieszczane na dalekie odległości. Wskazują na to symulacje trajektorii wstecznych. Wątpliwości interpretacyjne budzi jednak fakt, że wspomnianym epizodom towarzyszą prawie zawsze inwersje temperatury identyfikowane jedynie na podstawie sondaży aerologicznych. Inwersje takie, szczególnie występujące przy powierzchni ziemi, albo na niewielkiej wysokości, które nie są identyfikowane dostępnymi metodami pomiarowymi, skutecznie utrudniają pionowy transport zanieczyszczeń. Powoduje to z jednej strony uwięzienie w warstwie inwersji przyziemnej lub w warstwie podinwersyjnej zanieczyszczeń lokalnych, a z drugiej strony uniemożliwia depozycje zanieczyszczeń transportowanych ponad warstwami inwersyjnymi. Nie uwzględnianie tego faktu przez stosowane modele globalne lub regionalne, które nie są zasilane (z braku danych pomiarowych) informacją meteorologiczną od powierzchni ziemi do wysokości 500 m, co powoduje często błędną interpretację wyników symulacji. Mając powyższe na względzie dalej przedstawiono tabelę 5 z syntezą wyników badań epizodów dokonując próby identyfikacji jakościowej wpływu odległości źródeł ich występowania na stężenia zanieczyszczeń PM₁₀ podczas badanych epizodów.

Tabela 5-1 Identyfikacja wpływu odległości źródeł zanieczyszczeń na występowanie stężeń pyłu PM₁₀ podczas wybranych epizodów ich wysokich stężeń.

Wybrany epizod i/lub wysoki stężenie						
Region	Data początku epizodu	Czas trwania epizodu (dni)	Typ cyrkulacji wg LIT podczas max stężeń PM10	Wpływ na stężenia		
				lokalny	regionalny	transgraniczny
Region 1	województwo: dolnośląskie (Ds), i/lub lubuskie (Lu) i/lub zachodniopomorskie (Zp)					
	28.01.2011	7	NWa	+	+	+
	1.03.2011	5	NWa		+	
	13.03.2011	4	Sc	+		
	11.11.2011	8	SEa	++	+	+
	10.02.2012	5	0a	++		
	16.03.2012	3	W ₀			+
Region 2	województwo: opolskie (Op) i/lub śląskie (Sl)					
	16.02.2011	5	SE ₀			+
	2.11.2011	9	Ea			+
	24.01.2012	22	SEa	+		+

Analiza wybranych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na podstawie danych pomiarowych,
meteorologicznych oraz analizy trajektorii

Region	Data początku epizodu	Czas trwania epizodu (dni)	Typ cyrkulacji wg LIT podczas max stężeń PM10	Wpływ na stężenia		
				lokalny	regionalny	transgraniczny
Region 3	województwo: małopolskie (Mp) i/lub podkarpackie (Pk)					
	21.02.2011	8	SEa			+
	26.10.2011	8	SEa			+
Region 4	województwo: lubelskie (Lb) i/lub podlaskie (Pd)					
	15.11.2011	12	SEa	+	+	+
	10.02.2012	9	NW ₀	+		
Region 5	województwo: warmińsko-mazurskie (Wm)					
	2.02.2012	8	SEa			+
Region 6	pogranicze polsko-niemieckie (PL-DE)					
	05.11.2011	5	0a	+		+/-
	13.11.2011	3	SEa	+		
	28.01.2012	2	SEa	+		
Region 7	pogranicze polsko-czeskie (PL-CZ)					
	12.11.2011	8	0a	++	+	+
	27.01.2012	19	0a	++	+	+
	04.03.2012	5	Ea			+
	20.03.2012	5	Na	+	+	
Region 8	pogranicze polsko-słowackie (PL-SK)					
	27.10.2011	9	S ₀			+
	11.11.2011	8	Wa	++	+	+
	30.11.2011	4	SWc	++		+
	26.01.2012	7	SEa	+		+
	06.02.2012	12	NW ₀	++		

Przedstawiona wyżej syntetyczna identyfikacja wpływu odległości źródeł zanieczyszczeń na występowanie stężeń pyłu PM₁₀ podczas wybranych epizodów ich wysokich stężeń ma charakter ekspercki. Przy braku właściwych narzędzi pomiarowych i dedykowanych modeli dokładna ocena pochodzenia źródeł zanieczyszczeń, szczególnie w przypadku dużych obszarowo epizodów jest trudna do interpretacji. Niemniej jednak na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski ogólne:

- za powstawanie największych epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀, w sensie meteorologicznym, odpowiadają sytuacje antycyklonalne związane z radiacyjnym typem pogody. W warunkach takich wykształcają się przyziemne inwersje – niska temperatura powietrza wywołuje zapotrzebowanie na ciepło komunalne, co zwiększa emisję pyłów, wybitnie stała równowaga atmosfery uniemożliwia skuteczną dyspersję zanieczyszczeń lokalnych. W większości analizowanych przypadków jest to główna przyczyna tworzenia się epizodów. Zwiększaniu się stężeń w tym przypadku może towarzyszyć depozycja zanieczyszczeń pyłowych pochodząca z dalekiego transportu jednak jedynie w przypadku, gdy inwersja przyziemna jest nietrwała a transport zanieczyszczeń odbywa się w warstwie mieszania;
- sytuacje meteorologiczne, które sprzyjają epizodom, których główną przyczyną jest daleki transport zanieczyszczeń nie są zbyt liczne a poziom stężeń zanieczyszczeń PM₁₀ nie jest w takich przypadkach zbyt wysoki;
- w przypadku gdy transport transgraniczny zanieczyszczeń oddziałuje na stężenia PM₁₀ w Polsce to w głównej mierze dotyczy stacji położonych w rejonach przygranicznych. W województwach lubelskim i podlaskim, a także warmińsko-mazurskim jest to transport z Białorusi i Ukrainy, w województwach śląskim małopolskim i opolskim transport z Czech

i Słowacji, niezwykle rzadko obserwuje się transport z kierunku zachodniego, który oddziałuje na stacje pogranicza polsko-niemieckiego.

Konieczne jest podjęcie kroków w celu systematycznego badania procesów transportu zanieczyszczeń w obszarach transgranicznych, przy wykorzystaniu najnowszych osiągnięć naukowych i technicznych. W szczególności istotnym jest dokonanie krytycznego przeglądu możliwych do stosowania narzędzi modelowych, w tym modeli receptorowych ze wskazaniem najbardziej optymalnych rozwiązań, oraz wzbogacenie infrastruktury pomiarowej poprzez budowę sieci sodarów i operacyjne wykorzystanie sieci ceilometrów IMGW-PIB do oceny wysokości zalegania warstw aerozolowych. Badania epizodów wysokich stężeń pyłu PM powinno obejmować także ich skład chemiczny, zwłaszcza pod kątem możliwości oceny źródła pochodzenia zanieczyszczeń.

Równolegle powinny być rozwijane prace związane z wykorzystaniem modeli jakości powietrza do analizy epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ w Polsce i na terenach przygranicznych. Modele te zapewniają większą wrażliwość na występowanie niskich warstw inwersyjnych, powyżej kilkudziesięciu metrów nad poziomem gruntu. Ze względu na wskazaną w pracy dużą częstość występowania epizodów o zasięgu ponad krajowym konieczne jest wykorzystanie siatkowego fotochemicznego modelu eulerowskiego np. modelu CAMx. Natomiast rozkłady stężeń w czasie epizodów obejmujących powierzchnie rzędu województwa zaleca się wyznaczyć modelem CALPUFF, zapewniającym możliwość określenia udziałów poszczególnych źródeł bądź grup źródeł w stężeniach całkowitych pyłu. Ocena jakości modelowania - zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w *sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu* (Dz. U. z dnia 18 września 2012 r., poz. 1032), poprzez porównanie z wynikami pomiarów. Ponadto ocena zgodność z wymaganiami Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w *sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy* (Dyrektywa CAFE), w oparciu o raport EEA: „*Technical report No 10/2011, „The application of models under the European Union's Air Quality Directive: A technical reference guide”*”, w którym szczegółowo omówiono zasady ewaluacji modeli jakości powietrza.

Koniecznym jest także szybkie opracowanie koncepcji i systemu ekspertowego dokumentującego przyczyny i przebieg epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń w Polsce. Celem projektu powinno być stworzenie systemowych rozwiązań umożliwiających stałe śledzenie i dokumentacja ekstremalnych sytuacji związanych z przekraczaniem poziomów informowania, dla potrzeb zarządzania kryzysowego oraz wsparcia polityki resortu w zakresie zanieczyszczeń transgranicznych. Analizą powinna być objęta cała Polska, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów pogranicza polsko-niemieckiego, polsko-czeskiego i polsko-słowackiego. Efektem tych prac powinno być stworzenie systemu operacyjnego nadzoru i bieżącej analizy epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem obszarów transgranicznych PL-DE-CZ-SK dla potrzeb reanalizy sytuacji smogowych i incydentów związanych z przekraczaniem poziomów dopuszczalnych i alarmowych zanieczyszczeń powietrza.

Literatura

1. Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej rok 2011 Nr 12 (111) i rok 2012 Nr 13 (124), IMGW-PIB Warszawa
2. CAMx (2006). *User's Guide to the Comprehensive Air Quality Model with Extensions (CAMx)*, Version 4.40. ENVIRON International Corporation, Novato, California 2006.
3. Černíkovský L., Blažek Z., Krejčí B., Volná V., Lipina P., Ošrůdka L., Krajny E., Wojtylak M., 2013. Vliv meteorologických podmínek na kvalitu ovzduší v přeshraniční oblasti Slezska a Moravy / Wpływ warunków meteorologicznych na jakość powietrza w obszarze przygranicznym Śląska i Moraw. ČHMÚ, IMGW-PIB, Ostrava, s. 182, ISBN 978-80-87577-15-8, ISBN 978-83-61102-79-3
4. Draxler R.R. and Rolph, G.D., 2010. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD
5. Dz. U. z 2012 r. poz. 1031, RMŚ z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu
6. Guidance on the use of models for the European Air Quality Directive, FAIRMODE 2010
7. Juda-Rezler K.: *New Challenges in Air Quality and Climate Modeling*, Archives of Environmental Protection, 36, 1, 3-28 (2010)
8. Lityński, J., 1969. Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski, Prace PIHM z. 97, 3-15
9. Pianko-Kluczyńska K., 2007. Nowy kalendarz typów cyrkulacji atmosfery według j. Lityńskiego. Wiadomości Meteorologii i Hydrologii Gospodarki Wodnej, IMGW, 1, 4, 6585
10. Rolph G.D., 2010. Real-time Environmental Applications and Display System (READY) Website (<http://ready.arl.noaa.gov>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD
11. Gebhart Kristi A., et al., 2001. Back-trajectory analyses of fine particulate matter measured at Big Bend National Park in the historical database and the 1996 scoping study. *The Science of the Total Environment*. Vol. 276 Elsevier, pp.185-204
12. Stohl A., 1998. Computation, Accuracy and Applications of Trajectories- A Review and Bibliography. *Atmospheric Environment*. Vol 32 Pergamon, pp. 947-966
13. Stohl A., Eckhardt S., Forster C., James P., Spichtinger N., Petra Seibert P., 2002. A replacement for simple back trajectory calculations in the interpretation of atmospheric trace substance measurements. *Atmospheric Environment*. Vol 36 Pergamon, pp. 4635-4648
14. Sturman A., P., 2002. Zawar-Reza, Application of back-trajectory techniques to the determination of urban clean air zones. *Atmospheric Environment*. Vol 36 Pergamon 2002. pp. 3339-3350
15. WRF, Weather Research and Forecasting, Version 3 Modeling System User's Guide, NCAR, UCAR, 2008.
16. Ziemiański M., Ošrůdka L. (red), 2012 Zmiany klimatu a monitoring i prognozowanie stanu środowiska atmosferycznego, IMGW-PIB, Warszawa
17. <http://www.acd.ucar.edu/wrf-chem/mozart/shtml>

Podziękowania

The authors gratefully acknowledge the NOAA Air Resources Laboratory (ARL) for the provision of the HYSPLIT transport and dispersion model and/or READY website (<http://www.arl.noaa.gov/ready.php>) used in this publication.

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 3-1 Róża typów cyrkulacji antycyklonalnych według Lityńskiego dla wszystkich dni, w których stężenie średnie dobowe PM ₁₀ > 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wystąpiło w latach 2011 – 2012 na jednej- lub kilku stacjach imisyjnych zlokalizowanych w 10 analizowanych województwach w Polsce	26
Rysunek 3-2 Róża typów cyrkulacji cyklonalnych według Lityńskiego dla wszystkich dni, w których stężenie średnie dobowe PM ₁₀ > 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wystąpiło w latach 2011 – 2012 na jednej- lub kilku stacjach imisyjnych zlokalizowanych w 10 analizowanych województwach w Polsce	27
Rysunek 3-3 Róża typów cyrkulacji zerowych według Lityńskiego dla wszystkich dni w których stężenie średnie dobowe PM ₁₀ > 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wystąpiło w latach 2011 – 2012 na jednej- lub kilku stacjach imisyjnych zlokalizowanych w 10 analizowanych województwach w Polsce	27
Rysunek 4-1 Mapa synoptyczna z dnia 28, 31 stycznia i 3 lutego 2011 roku, godzina 0 UTC.....	33
Rysunek 4-2 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	33
Rysunek 4-3 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f).....	34
Rysunek 4-4 Rys. 7 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego.....	34
Rysunek 4-5 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	35
Rysunek 4-6 Trajektorie wsteczne dla wybranych stacji.....	35
Rysunek 4-7 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 28.01-3.02.2011 r.	37
Rysunek 4-8 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 28.01-3.02.2011 r.	39
Rysunek 4-9 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 28.01-3.02.2011 r.	41
Rysunek 4-10 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 28.01.2011 - 3.02.2011r.	41
Rysunek 4-11 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach dolnośląskim, i zachodniopomorskim w terminie 28.01.2011 - 3.02.2011r.	42
Rysunek 4-12 Mapa synoptyczna z dnia 4 i 5 marca 2011 roku, godzina 0 UTC	43
Rysunek 4-13 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	44
Rysunek 4-14 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f).....	44
Rysunek 4-15 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	44
Rysunek 4-16 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	45
Rysunek 4-17 Trajektorie wsteczne dla epizodu 04.03.2011.....	45
Rysunek 4-18 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 1-5.03.2011 r.	47
Rysunek 4-19 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 1-5.03.2011 r.	49
Rysunek 4-20 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 1-5.03.2011 r.	51
Rysunek 4-21 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 1.03.2011 - 5.03.2011r.	51
Rysunek 4-22 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach dolnośląskim, i zachodniopomorskim w terminie 1.03.2011 - 5.03.2011r.	52
Rysunek 4-23 Mapa synoptyczna z dnia 15 marca 2011 roku, godzina 0 UTC	53
Rysunek 4-24 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	53
Rysunek 4-25 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f).....	54
Rysunek 4-26 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	54
Rysunek 4-27 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	55
Rysunek 4-28 Trajektorie wsteczne dla stacji we Wrocławiu, Wschowej i Widuchowej.....	55
Rysunek 4-29 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 13-16.03.2011 r.	56
Rysunek 4-30 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 13-16.03.2011 r.	58
Rysunek 4-31 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 13-16.03.2011 r.	59

Rysunek 4-32 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 13.03.2011 - 16.03.2011r.	59
Rysunek 4-33 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 13.03.2011 - 16.03.2011r.	60
Rysunek 4-34 Mapa synoptyczna z dnia 11, 14 i 18 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC	61
Rysunek 4-35 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	61
Rysunek 4-36 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (<i>V</i> _{śr}), temperatura powietrza (<i>T</i>) i wilgotność względna powietrza (<i>f</i>)	62
Rysunek 4-37 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	62
Rysunek 4-38 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	63
Rysunek 4-39 Trajektorie wsteczne dla epizodu 14.11.2011	63
Rysunek 4-40 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 11-18.11.2011 r.	65
Rysunek 4-41 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 11-18.11.2011 r.	68
Rysunek 4-42 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 11-18.11.2011 r.	70
Rysunek 4-43 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 11.11.2011 - 18.11.2011r.	71
Rysunek 4-44 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 11.11.2011 - 18.11.2011r.	71
Rysunek 4-45 Mapa synoptyczna z dnia 12 lutego 2012 roku, godzina 0 UTC	72
Rysunek 4-46 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	72
Rysunek 4-47 Rys. 26 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (<i>V</i> _{śr}), temperatura powietrza (<i>T</i>) i wilgotność względna powietrza (<i>f</i>)	73
Rysunek 4-48 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	73
Rysunek 4-49 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	74
Rysunek 4-50 Trajektorie wsteczne dla epizodu 12.02.2012	74
Rysunek 4-51 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 10-14.02.2012 r.	76
Rysunek 4-52 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 10-14.02.2012 r.	78
Rysunek 4-53 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 10-14.02.2012 r.	80
Rysunek 4-54 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 10.02.2012 - 14.02.2012r.	80
Rysunek 4-55 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 10.02.2012 - 14.02.2012r.	81
Rysunek 4-56 Mapa synoptyczna z dnia 17 marca 2012 roku, godzina 0 UTC	82
Rysunek 4-57 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	82
Rysunek 4-58 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (<i>V</i> _{śr}), temperatura powietrza (<i>T</i>) i wilgotność względna powietrza (<i>f</i>)	83
Rysunek 4-59 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	83
Rysunek 4-60 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	84
Rysunek 4-61 Trajektorie wsteczne w dniu 17.03.2012	84
Rysunek 4-62 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 16-18.03.2012 r.	85
Rysunek 4-63 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 16-18.03.2012 r.	87
Rysunek 4-64 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 16-18.03.2012 r.	88
Rysunek 4-65 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 16.03.2012 - 18.03.2012r.	89
Rysunek 4-66 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim w terminie 16.03.2012 - 18.03.2012r.	89
Rysunek 4-67 Mapa synoptyczna z dnia 18 lutego 2011 roku, godzina 0 UTC	90
Rysunek 4-68 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	91
Rysunek 4-69 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (<i>V</i> _{śr}), temperatura powietrza (<i>T</i>) i wilgotność względna powietrza (<i>f</i>)	91

Rysunek 4-70 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	91
Rysunek 4-71 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	92
Rysunek 4-72 Trajektorie wsteczne dla wybranych stacji	92
Rysunek 4-73 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 1-16.02.2011 r.	94
Rysunek 4-74 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 1-16.02.2011 r.	96
Rysunek 4-75 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 1-16.02.2011 r.	98
Rysunek 4-76 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach opolskim i śląskim w terminie 16.02.2011 - 20.02.2011r.	98
Rysunek 4-77 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach opolskim i śląskim w terminie 16.02.2011 - 20.02.2011r.	99
Rysunek 4-78 Mapa synoptyczna z dnia 2, 7, 10 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC	100
Rysunek 4-79 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	101
Rysunek 4-80 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)	101
Rysunek 4-81 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	102
Rysunek 4-82 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	102
Rysunek 4-83 Trajektorie wsteczne dla 9.11.2011	103
Rysunek 4-84 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 2-10.11.2011 r.	106
Rysunek 4-85 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 2-10.11.2011 r.	109
Rysunek 4-86 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 2-10.11.2011 r.	112
Rysunek 4-87 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach opolskim i śląskim w terminie 2.11.2011 - 10.11.2011r.	112
Rysunek 4-88 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach opolskim i śląskim w terminie 2.11.2011 - 10.11.2011r.	113
Rysunek 4-89 Mapa synoptyczna z dni 24 i 28 stycznia	114
Rysunek 4-90 Mapa synoptyczna z dni 2,12, 14 lutego 2012 roku, godzina 0 UTC.	114
Rysunek 4-91 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	115
Rysunek 4-92 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)	115
Rysunek 4-93 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	115
Rysunek 4-94 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	116
Rysunek 4-95 Trajektorie wsteczne dla stacji w Głubczycach, Opolu i Wodzisławiu	117
Rysunek 4-96 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 24.01-14.02.2012 r.	123
Rysunek 4-97 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 24.01-14.02.2011 r.	129
Rysunek 4-98 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 24.01-14.02.2011 r.	135
Rysunek 4-99 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach opolskim i śląskim w terminie 24.01.2012 - 14.02.2012r.	135
Rysunek 4-100 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach opolskim i śląskim w terminie 24.01.2012 - 14.02.2012r.	136
Rysunek 4-101 Mapa synoptyczna z dnia 21, 25, 28 lutego 2011 roku, godzina 0 UTC	137
Rysunek 4-102 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	138
Rysunek 4-103 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)	138
Rysunek 4-104 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	138
Rysunek 4-105 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	139
Rysunek 4-106 Trajektorie wsteczne dla 24.02.2011 dla Bochni, Krakowa i Tarnowa oraz Krosna, Mielca i Rzeszowa	140
Rysunek 4-107 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 21-28.02.2011r.	142

Rysunek 4-108 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 21-28.02.2011r.	144
Rysunek 4-109 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 21-28.02.2011r.	146
Rysunek 4-110 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach małopolskim i podkarpackim w terminie 21.02.2011 - 28.02.2011r.	147
Rysunek 4-111 Mapa synoptyczna z dnia 26, 29 października i 2 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC	148
Rysunek 4-112 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	148
Rysunek 4-113 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)	149
Rysunek 4-114 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego.	149
Rysunek 4-115 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego.	150
Rysunek 4-116 Trajektorie wsteczne dla stacji w Krośnie, Przemyślu i Rzeszowie dla 29.10.2011r.	150
Rysunek 4-117 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 26.10-2.11.2011 r.	153
Rysunek 4-118 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 26.10-2.11.2011 r.	155
Rysunek 4-119 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 26.10-2.11.2011 r.	157
Rysunek 4-120 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach małopolskim i podkarpackim w terminie 21.02.2011 - 28.02.2011r.	158
Rysunek 4-121 Mapa synoptyczna z dnia 15, 22, 26 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC.....	159
Rysunek 4-122 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	159
Rysunek 4-123 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)	160
Rysunek 4-124 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	160
Rysunek 4-125 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego.	161
Rysunek 4-126 Trajektorie wsteczne dla 22.11.2011	161
Rysunek 4-127 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 15-26.11.2011 r.	165
Rysunek 4-128 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 15-26.11.2011 r.	168
Rysunek 4-129 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 15-26.11.2011 r.	171
Rysunek 4-130 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach lubelskim i podlaskim w terminie 21.02.2011 - 28.02.2011r.	172
Rysunek 4-131 Mapa synoptyczna z dnia 10, 14, 18 lutego 2012 roku, godzina 0 UTC	173
Rysunek 4-132 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	173
Rysunek 4-133 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)	174
Rysunek 4-134 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	174
Rysunek 4-135 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	175
Rysunek 4-136 Trajektorie wsteczne dla Puław, Lublina i Białegostoku dla 14.02.2012r.	175
Rysunek 4-137 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 10-18.02.2012 r.	178
Rysunek 4-138 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 10-18.02.2012 r.	181
Rysunek 4-139 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 10-18.02.2012 r.	184
Rysunek 4-140 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach lubelskim i podlaskim w terminie 10.02.2012 - 18.02.2012r.	184
Rysunek 4-141 Mapa synoptyczna z dnia 2, 3, 9 lutego 2012 roku, godzina 0 UTC	186
Rysunek 4-142 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	186
Rysunek 4-143 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)	187
Rysunek 4-144 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	187
Rysunek 4-145 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	188
Rysunek 4-146 Trajektorie wsteczne dla 3.02.2012 dla stacji Nidzica i Elbląg.....	188

Rysunek 4-147 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 2-9.02.2012 r.	190
Rysunek 4-148 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 2-9.02.2012 r.	192
Rysunek 4-149 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 2-9.02.2012 r.	194
Rysunek 4-150 Zależność modelowania względem pomiarów w województwie warmińsko-mazurskim w terminie 2.02.2012 - 9.02.2012r.	195
Rysunek 4-151 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwie warmińsko-mazurskim w terminie 2.02.2012 - 9.02.2012r.	195
Rysunek 4-152 Mapa synoptyczna z dnia 8 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC	196
Rysunek 4-153 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10.....	196
Rysunek 4-154 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru ($V_{\text{śr}}$), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)	197
Rysunek 4-155 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	197
Rysunek 4-156 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	198
Rysunek 4-157 Trajektorie wsteczne dla Berlina, Locknitz i Frankfurtu nad Odrą dla 8.11.2011r.	198
Rysunek 4-158 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 5-9.11.2011 r.	200
Rysunek 4-159 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 5-9.11.2011 r.	202
Rysunek 4-160 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 5-9.11.2011 r.	204
Rysunek 4-161 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i landach graniczących z Polską i Niemcami w terminie 5.11.2011 - 9.11.2011r.	204
Rysunek 4-162 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich województwach i landach graniczących z Polską i Niemcami w terminie 5.11.2011 - 9.11.2011r.	205
Rysunek 4-163 Średnie stężenia pyłu zawieszonego PM10 w terminie 5.11.2011 - 9.11.2011r.	206
Rysunek 4-164 Mapa synoptyczna z dnia 14 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC.....	206
Rysunek 4-165 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10.....	207
Rysunek 4-166 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru ($V_{\text{śr}}$), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)	207
Rysunek 4-167 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	207
Rysunek 4-168 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	208
Rysunek 4-169 Trajektorie wsteczne dla Berlina, Cottbus i Locknitz w dniu 14.11.2011.....	208
Rysunek 4-170 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 13-15.11.2011 r.	210
Rysunek 4-171 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 13-15.11.2011 r.	212
Rysunek 4-172 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 13-15.11.2011 r.	213
Rysunek 4-173 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i landach graniczących z Polską i Niemcami w terminie 13.11.2011 - 15.11.2011r.	214
Rysunek 4-174 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich województwach i landach graniczących z Polską i Niemcami w terminie 13.11.2011 - 15.11.2011r.	214
Rysunek 4-175 Mapa synoptyczna z dnia 29 stycznia 2012 roku, godzina 0 UTC	215
Rysunek 4-176 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM10.....	215
Rysunek 4-177 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru ($V_{\text{śr}}$), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)	216
Rysunek 4-178 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	216
Rysunek 4-179 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	217
Rysunek 4-180 Trajektorie wsteczne dla Berlina, Zittau i Elsterweldy w dniu 29.01.2012	217
Rysunek 4-181 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w trakcie trwania epizodu od 28-29.01.2012 r.	218
Rysunek 4-182 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 28- 29.01.2012 r.....	219
Rysunek 4-183 Stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 28- 29.01.2012 r.....	220

Rysunek 4-184 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i landach graniczących z Polską i Niemcami w terminie 28.01.2012 - 29.01.2012r.	220
Rysunek 4-185 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich województwach i landach graniczących z Polską i Niemcami w terminie 28.01.2012 - 29.01.2012r.	221
Rysunek 4-186 Mapa synoptyczna z dnia 13, 19 marca 2012 roku, godzina 0 UTC	222
Rysunek 4-187 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	223
Rysunek 4-188 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)	223
Rysunek 4-189 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	223
Rysunek 4-190 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	224
Rysunek 4-191 Trajektorie wsteczne dla stacji w Bohuminie, Opawie i Ostrawie w dniu 13.11.2011	224
Rysunek 4-192 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 12-19.11.2011 r.	226
Rysunek 4-193 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 12-19.11.2011 r.	228
Rysunek 4-194 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 12-19.11.2011 r.	230
Rysunek 4-195 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i regionach graniczących z Polską i Czechami w terminie 12.11.2011 - 19.11.2011r.	231
Rysunek 4-196 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich województwach i krajach graniczących z Polską i Czechami w terminie 12.11.2011 - 19.11.2011r.	231
Rysunek 4-197 Mapa synoptyczna z dnia 28 stycznia, 3,12 lutego 2012 roku, godzina 0 UTC.....	233
Rysunek 4-198 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	233
Rysunek 4-199 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)	234
Rysunek 4-200 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	234
Rysunek 4-201 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	235
Rysunek 4-202 Trajektorie wsteczne dla stacji w Bohuminie, Opawie i Ostrawie w dniu 28.01.2012r. oraz dla stacji w Bohuminie, Karwinie i Vernovicach dla 12.02.2012r.	236
Rysunek 4-203 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 27.01-14.02.2012 r.	241
Rysunek 4-204 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 27.01-14.02.2012 r.	247
Rysunek 4-205 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 27.01-14.02.2012 r.	252
Rysunek 4-206 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Czechami w terminie 27.01.2012 - 14.02.2012r.	253
Rysunek 4-207 Zależność modelowania względem pomiarów w stacjach pozamiejskich w województwach i krajach graniczących z Polską i Czechami w terminie 27.01.2012 - 14.02.2012r.	253
Rysunek 4-208 Mapa synoptyczna z dnia 6 marca 2012 roku, godzina 0 UTC	255
Rysunek 4-209 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	255
Rysunek 4-210 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f)	256
Rysunek 4-211 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	256
Rysunek 4-212 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	256
Rysunek 4-213 Trajektorie wsteczne w dniu 6.03.2012	257
Rysunek 4-214 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 4-8.03.2012 r.	259
Rysunek 4-215 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 4-8.03.2012 r.	261
Rysunek 4-216 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 4-8.03.2012 r.	263
Rysunek 4-217 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Czechami w terminie 4.03.2012 - 8.03.2012r.	263
Rysunek 4-218 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach graniczących z Polską i Czechami w terminie 4.03.2012 - 8.03.2012r.	264
Rysunek 4-219 Mapa synoptyczna z dnia 23 marca 2012 roku, godzina 0 UTC	265
Rysunek 4-220 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	265

Rysunek 4-221 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (<i>p</i>), prędkość wiatru (<i>V</i> _{śr}), temperatura powietrza (<i>T</i>) i wilgotność względna powietrza (<i>f</i>)	265
Rysunek 4-222 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	266
Rysunek 4-223 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	266
Rysunek 4-224 Trajektorie wsteczne dla stacji w Bohuminie, Karwinie i Vernovicach w dniu 23.03.2012	267
Rysunek 4-225 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 20-24.03.2012 r.	269
Rysunek 4-226 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 20-24.03.2012 r.	271
Rysunek 4-227 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 20-24.03.2012 r.	273
Rysunek 4-228 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Czechami w terminie 20.03.2012 – 24.03.2012r.	273
Rysunek 4-229 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach graniczących z Polską i Czechami w terminie 20.03.2012 – 24.03.2012r.	274
Rysunek 4-230 Mapa synoptyczna z dnia 27, 31 października, 4 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC.	275
Rysunek 4-231 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	276
Rysunek 4-232 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (<i>p</i>), prędkość wiatru (<i>V</i> _{śr}), temperatura powietrza (<i>T</i>) i wilgotność względna powietrza (<i>f</i>)	276
Rysunek 4-233 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	276
Rysunek 4-234 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	277
Rysunek 4-235 Trajektorie wsteczne dla stacji w Humennem, Koszycach i Strazske w dniu 4.11.2011	277
Rysunek 4-236 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 27.10-4.11.2011 r.	280
Rysunek 4-237 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 27.10-4.11.2011 r.	283
Rysunek 4-238 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 27.10-4.11.2011 r.	286
Rysunek 4-239 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 27.10.2011 – 4.11.2011r.	286
Rysunek 4-240 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach i krajach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 27.10.2011 – 4.11.2011r.	287
Rysunek 4-241 Mapa synoptyczna z dnia 11, 15, 18 listopada 2011 roku, godzina 0 UTC	288
Rysunek 4-242 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	289
Rysunek 4-243 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (<i>p</i>), prędkość wiatru (<i>V</i> _{śr}), temperatura powietrza (<i>T</i>) i wilgotność względna powietrza (<i>f</i>)	289
Rysunek 4-244 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	289
Rysunek 4-245 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	290
Rysunek 4-246 Trajektorie wsteczne dla stacji w Humennem, Koszycach i Stratzke w dniu 18.11.2011	290
Rysunek 4-247 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 11-18.11.2011 r.	292
Rysunek 4-248 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 11-18.11.2011 r.	294
Rysunek 4-249 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 11-18.11.2011 r.	296
Rysunek 4-250 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 11.11.2011 – 18.11.2011r.	297
Rysunek 4-251 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach i krajach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 11.11.2011 – 18.11.2011r.	297
Rysunek 4-252 Mapa synoptyczna z dnia 3 grudnia 2011 roku, godzina 0 UTC	298
Rysunek 4-253 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	298
Rysunek 4-254 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (<i>p</i>), prędkość wiatru (<i>V</i> _{śr}), temperatura powietrza (<i>T</i>) i wilgotność względna powietrza (<i>f</i>)	299
Rysunek 4-255 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego	299
Rysunek 4-256 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego	300
Rysunek 4-257 Trajektorie wsteczne dla stacji w Humennem, Handlovej i Stratzke w dniu 2.12.2011	300
Rysunek 4-258 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [μg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 30.11-3.12.2011 r.	302

Rysunek 4-259 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [µg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 30.11-3.12.2011 r.....	303
Rysunek 4-260 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [µg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 30.11-3.12.2011 r.....	304
Rysunek 4-261 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 30.11.2011 – 3.12.2011r.....	305
Rysunek 4-262 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 30.11.2011 – 3.12.2011r.....	305
Rysunek 4-263 Mapa synoptyczna z dnia 26, 29 stycznia, 1 lutego 2012 roku, godzina 0 UTC.....	306
Rysunek 4-264 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	307
Rysunek 4-265 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f).....	307
Rysunek 4-266 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego.....	307
Rysunek 4-267 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego.....	308
Rysunek 4-268 Trajektorie wsteczne dla stacji w Martin, Zilinie i Trencinie w dniu 29.01.2012.....	308
Rysunek 4-269 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [µg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 26.01-1.02.2012 r.....	311
Rysunek 4-270 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [µg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 26.01-1.02.2012 r.....	313
Rysunek 4-271 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [µg/m ³] wyznaczone w oparciu o emisję wyłącznie z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 26.01-1.02.2012 r.....	315
Rysunek 4-272 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach i krajach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 26.01.2012 – 1.02.2012r.....	316
Rysunek 4-273 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 26.01.2012 – 1.02.2012r.....	316
Rysunek 4-274 Mapa synoptyczna z dnia 6, 14, 17 lutego 2012 roku, godzina 00 UTC.....	318
Rysunek 4-275 Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego PM ₁₀	318
Rysunek 4-276 Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne (p), prędkość wiatru (V _{śr}), temperatura powietrza (T) i wilgotność względna powietrza (f).....	319
Rysunek 4-277 Wysokość zalegania warstw inwersyjnych z sondażu aerologicznego.....	319
Rysunek 4-278 Pionowy profil temperatury pseudo-potencjalnej powietrza z sondażu aerologicznego.....	320
Rysunek 4-279 Trajektorie wsteczne dla stacji w Humennem, Koszycach i Stratzke w dniu 14.02.2012.....	320
Rysunek 4-280 Całkowite stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [µg/m ³] w trakcie trwania epizodu od 6-17.02.2012 r.....	323
Rysunek 4-281 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [µg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego na obszar Polski w trakcie trwania epizodu od 6-17.02.2012 r.....	327
Rysunek 4-282 Stężenia pyłu zawieszonego PM ₁₀ [µg/m ³] pochodzące z napływu transgranicznego z obszaru Polski w trakcie trwania epizodu od 6-17.02.2012 r.....	329
Rysunek 4-283 Zależność modelowania względem pomiarów w województwach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 6.02.2012 – 17.02.2012r.....	329
Rysunek 4-284 Zależność modelowania względem pomiarów dla stacji pozamiejskich w województwach graniczących z Polską i Słowacją w terminie 6.02.2012 – 17.02.2012r.....	330

SPIS TABEL

Tabela 2-1 Wykaz stacji monitoringu jakości powietrza PM w Polsce.....	11
Tabela 2-2 Wykaz stacji monitoringu jakości powietrza PM na obszarze pogranicza polsko-niemieckiego.....	16
Tabela 2-3 Wykaz stacji monitoringu jakości powietrza PM na obszarze pogranicza polsko-czeskiego.....	17
Tabela 2-4 Wykaz stacji monitoringu jakości powietrza PM na obszarze pogranicza polsko-słowackiego.....	20
Tabela 2-5 Wykaz stacji aerologicznych w Polsce i krajach sąsiadujących z Polską.....	21
Tabela 2-6 Wykaz stacji meteorologicznych w Polsce i krajach sąsiadujących z Polską.....	21
Tabela 2-7 Obszary i okresy występowania epizodów wysokich stężeń PM ₁₀	22
Tabela 5-1 Identyfikacja wpływu odległości źródeł zanieczyszczeń na występowanie stężeń pyłu PM ₁₀ podczas wybranych epizodów ich wysokich stężeń.....	332