

## Wyznaczenie wzrostu higroskopijnego aerozolu w oparciu o licznik OPC-N3

K. Nurowska<sup>1</sup>, G. Florczyk<sup>1</sup>, A. Han<sup>1</sup>, M. T. Chiliński<sup>2</sup>, K. M. Markowicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

<sup>2</sup> Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski

Korespondencja: [knurowska@fuw.edu.pl](mailto:knurowska@fuw.edu.pl)

---

### STRESZCZENIE

Przedstawiono pierwsze wyniki pomiarów współczynnika higroskopijności  $\kappa$  na podstawie badań eksperymentalnych wykonanych w okresie marzec - maj 2020 r. w Instytucie Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski. Wykonano pomiary za pomocą komory klimatycznej ACS1000 do której podłączono dwa miniaturowe liczniki cząstek (Alphasense OPC-N3).

### 1. WSTĘP

Zmiany własności fizycznych aerozolu atmosferycznego wraz z wilgotności względnej (RH) powietrza zależą od składu chemicznego aerozolu. Wzrost aerozolu poprzez kondensację pary wodnej jest pierwszym etapem tworzenia się chmur. Ich wzrost zależy od właściwości higroskopijnych aerozolu (CNN). Teoria Koehlera pozwala na opis higroskopijności aerozolu za pomocą jednego bezwymiarowego parametru  $\kappa$ . Z obserwacji aerozolu atmosferycznego wynika, że typowe wartości mieszczą się w przedziale  $0.1 \leq \kappa \leq 0.9$  [Petters and Kreidenweis, 2007]. Wartość parametru

dla silnie higroskopijnych związków wynosi  $0.5 \leq \kappa \leq 1.4$  - do tej grupy zalicza się np. chlorek sodu [Petters and Kreidenweis, 2007].

### 2. APARATURA POMIAROWA

Komora Ecotech's Aerosol Conditioning System (ACS 1000) jest urządzeniem pozwalającym na badanie właściwości higroskopijnych aerozolu - dzięki możliwości kontrolowania RH powietrza. Pomiar właściwości fizycznych aerozolu odbywa się poprzez podłączenie do komory różnego rodzaju czujników. Komora składa się z dwóch gałęzi w których można kontrolować wilgotność. W jednej z nich, wilgotność była utrzymywana poniżej 37%, w drugiej wilgotność zmieniała się w zakresie od 58 do 92% w programowalnych cyklach. Jeden cykl trwał około 2h 50 min, przebiegał od wilgotności minimalnej do maksymalnej a następnie z powrotem do wilgotności minimalnej. Ustawienie eksperymentu pozwala na porównanie danych zbieranych w dwóch torach pomiarowych przez takie same urządzenia. Do komory zostały podłączone liczniki cząstek (Alphasense OPC-N3). OPC-N3 pozwala na pomiar ilości cząstek w 24 przedziałach od  $0.38 \mu\text{m}$  do  $40 \mu\text{m}$ . Wewnętrzny algorytm urządzenia oblicza

wartości PM 1, PM 2.5 oraz PM 10. Dane z OPC-N3 były interpolowane liniowo tak aby odpowiadać pomiarom z komory. Rozdzielczość czasowa pomiarów wynosiła ok 7s.

### 3. OPIS METODY BADAWCZEJ

Oba czujniki OPC-N3 zostały skalibrowane względem siebie w następujący sposób. Dane z czujnika pracującego w warunkach wilgotnych były kalibrowane zależnością liniową względem czujnika suchego. Kalibracji dokonano przy wykorzystaniu danych dla których wilgotność w gałęzi wilgotnej komory wynosiła poniżej 60%. Kalibracja została wykonana na podstawie danych z całego okresu dla każdej wielkości PM oddzielnie.

Kalibracja liniowa opisana jest wzorem

$$PM_{wet} = a \cdot PM_{dry} + b \quad (1)$$

gdzie odpowiednio dla danego PM wartości  $a$  i  $b$  wynoszą:

	$a$	$b$
PM 1	$0.6166 \pm 0.001$	$0.01 \pm 0.01$
PM 2.5	$0.6455 \pm 0.002$	$0.21 \pm 0.02$
PM 10	$0.5354 \pm 0.005$	$1.17 \pm 0.07$

Tab.1 Wartości parametrów  $a$  i  $b$  dopasowania liniowego dla PM 1, PM 2.5 i PM 10.

W pracy [Crilley i in., 2018] zaproponowano poniższy wzór w celu wyznaczenia bezwymiarowego współczynnika higroskopijności  $\kappa$ :

$$GF = \frac{PM_{wet}}{PM_{dry}} = 1 + \frac{\frac{\rho_w}{\rho_p} \kappa}{-1+RH^{-1}} \quad (2)$$

gdzie  $GF$  (ang. Growth Factor) współczynnik wzrostu aerozolu,  $RH$  wilgotność względna,  $\rho_w$  - gęstość wody  $1.0 [\frac{g}{cm^3}]$ ,  $\rho_p$  - wewnętrzny parametr gęstości aerozolu ustawiony w czujnikach OPC-N3  $1.65 [\frac{g}{cm^3}]$ .

Współczynnik wzrostu  $GF$  aerozolu jest wyznaczony jako iloraz wartości PM z gałęzi wilgotnej do wartości PM z gałęzi suchej.

W celu uzyskania lepszego stosunku sygnału do szumu, dane pomiarowe są poddane procedurze filtracji. Wartości współczynnika wzrostu powyżej 3.5 są odrzucane, następnie są uśrednione średnią bieżącą co 12 punktów pomiarowych.

Dla każdego dnia (przebieg kilku cykli pomiarowych) obliczano parametr  $\kappa$ . Współczynnik wzrostu nie powinien być mniejszy od jedności, dlatego wzór (2) zmodyfikowano o parametr  $C$ . Parametr  $C$  jest kolejną kalibracją danych tym razem dla pojedynczego dnia pomiarów.

$$GF = \frac{PM_{wet}}{PM_{dry}} = C \cdot \left(1 + \frac{\frac{\rho_w}{\rho_p} \kappa}{-1+RH^{-1}}\right) \quad (3)$$

Za pomocą metody najmniejszych kwadratów dopasowano parametry  $\kappa$  i  $C$ , krzywej (3) do danych.

W celu oszacowania jaki typ aerozolu występował danego dnia przeanalizowano kierunek napływu mas powietrza nad stację badawczą na podstawie modelu trajektorii wstecznych *HYSPLIT (transport and dispersion model)*.

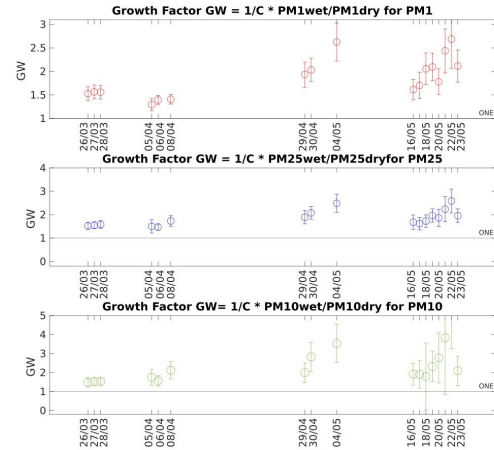
### 4. WYNIKI I KONKLUZJE

Dla 17 dni z okresu marzec - maj 2020 obliczono współczynnik wzrostu  $GF$  na

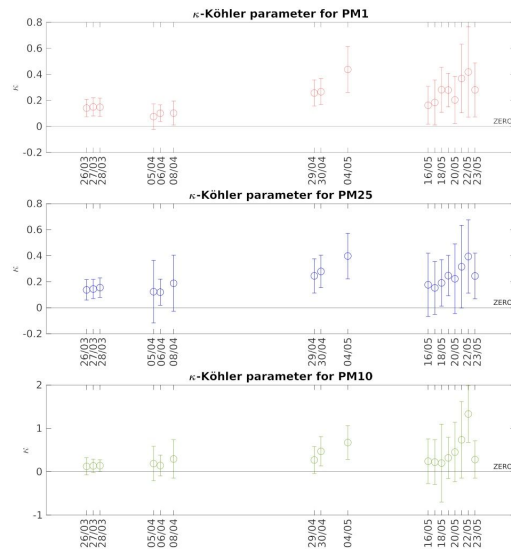
podstawie PM 1, PM 2.5 i PM 10 dla wilgotności względnej  $85\% \pm 0.5\%$  (patrz tabela 2) oraz parametr (patrz tabela 3). Wyniki te w postaci graficznej są przedstawione na Rys. 1 i Rys. 2. Otrzymane wartości są liniowo skorelowane z wartościami GF dla wilgotności względnej 85 %. Wyniki można podzielić na dwa okresy (Rys. 1). Pierwszy pomiędzy 25.03 — 08.02.2020 r. kiedy to parametr wynosił poniżej 0.2, oraz drugi pomiędzy 18 a 23 maja 2020 r., gdy parametr był powyżej 0.2 i osiągał wartość do 0.4. Te dwa okresy różnią się kierunkiem napływu mas powietrza nad stację badawczą. Rys. 3 i Rys. 4 pokazują dane z reanalizy napływu mas powietrza dla dnia 26.03 oraz 22.05.

W dniu 26.03 powietrze napływało ze środka kontynentu - poprzez Ukrainę i południowo-wschodnią Polskę. Prawdopodobnie mierzony aerozol był pochodzenia antropogenicznego. W tym dniu wartość wynosiła 0,1409 dla PM 1, co odpowiada niskiej higroskopijności aerozolu. Z wcześniejszych publikacji (Zieger i in., 2013) wynika, że aerozole antropogeniczne są mało higroskopijne.

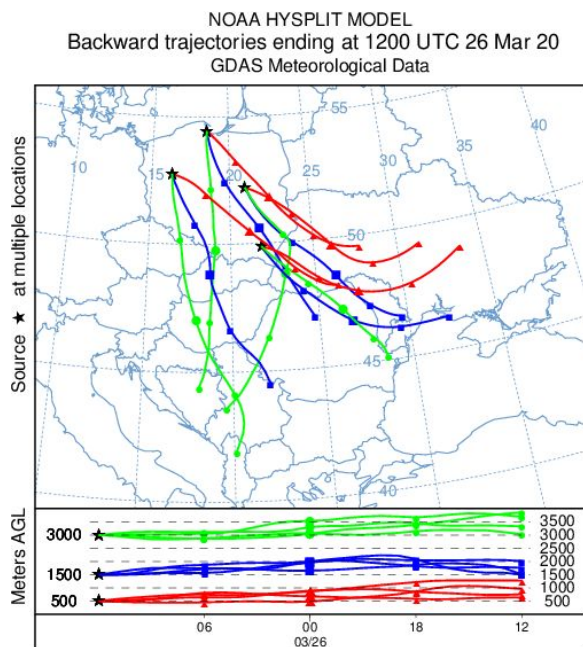
W dniu 22.05 powietrze napływało z północy, znad Bałtyku. W skład obserwowanego aerozolu prawdopodobnie wchodziła sól morską, która jest silnie higroskopijna. W tym dniu wartość wynosiła 0,4186 dla PM 1, co odpowiada wysokiej higroskopijności aerozolu.



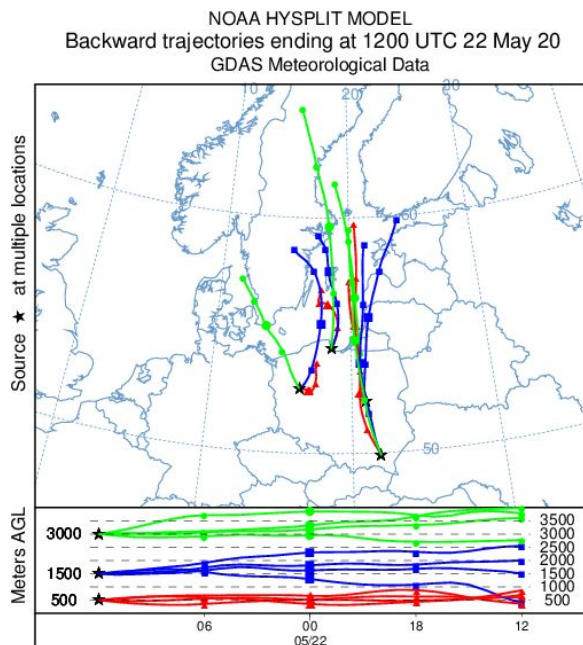
Rys.1 Przebiegi czasowe współczynnika wzrostu GF na podstawie PM 1 (górny panel), PM 2.5 (środkowy panel) i PM 10 (dolny panel) dla wilgotności względnej  $85\% \pm 0.5\%$ .



Rys.2 Przebiegi czasowe parametru na podstawie PM 1 (górny panel), PM 2.5 (środkowy panel) i PM 10 (dolny panel).



Rys.3 Trajektorie wsteczne napływu mas powietrza nad trzy lokalizacje w Polsce. Wykonane na godzinę 12 UTC 26 Marca 2020, trajektorie wsteczne są wykonane na 24 godziny wstecz. Linia czerwona oznacza kierunek napływu powietrza na wysokości 500m n.p.m.



Rys.4 Trajektorie wsteczne napływu mas powietrza nad trzy lokalizacje w Polsce.

Wykonane na godzinę 12 UTC 22 Maja 2020, trajektorie wsteczne są wykonane na 24 godziny wstecz. Linia czerwona oznacza kierunek napływu powietrza na wysokości 500m n.p.m.

## 5. BIBLIOGRAFIA

Crilley, L. R. et al., 2018, Evaluation of a low-cost optical particle counter (Alphasense OPC-N2) for ambient air monitoring, Atmos. Meas. Tech, 11 (2), 709–720, doi:10.5194/amt-11-709-2018.

Petters, M. D. and Kreidenweis, S. M., 2007, A single parameter representation of hygroscopic growth and cloud condensation nucleus activity, Atmos. Chem. Phys., 7, 1961–1971, doi:10.5194/acp-7-1961-2007.

Zieger, P., Fierz-Schmidhauser, R., Weingartner, E., and Baltensperger, U.: Effects of relative humidity on aerosol light scattering: results from different European sites, Atmos. Chem. Phys., 13, 10609–10631, <https://doi.org/10.5194/acp-13-10609-2013>, 2013.

## 6. PODZIĘKOWANIA

Autorzy z wdzięcznością dziękują NOAA Air Resources Laboratory (ARL) za udostępnienie modelu transportu i dyspersji HYSPLIT i/lub witryny READY (<https://www.ready.noaa.gov>) użytej w tej publikacji. Badania zostały zrealizowane w ramach projektu OPUS Narodowego Centrum Nauki Oddziaływanie aerozolu na własności mikrofizyczne, optyczne i radiacyjne mgły, UMO-2017/27/B/ST10/00549.

## APPENDIX

Średnie dobowe wartości współczynników wzrostu higroskopijnego dla wszystkich dni pomiarowych w 2020 roku.

2020 r.	PM 1		PM 2.5		PM 10	
Data	GF1	GF1	GF2.5	GF2.5	GF10	GF10
26.03	1,5279	0,1445	1,5213	0,1504	1,4833	0,2381
27.03	1,5651	0,1476	1,5459	0,1513	1,5234	0,2085
28.03	1,5587	0,1467	1,5815	0,1621	1,5359	0,1936
05.04	1,2941	0,1296	1,4979	0,2827	1,7536	0,4263
06.04	1,3929	0,1008	1,4713	0,1316	1,5664	0,272
08.04	1,4088	0,1038	1,7331	0,2247	2,1248	0,4549
29.04	1,9339	0,2666	1,8932	0,2844	1,995	0,5142
30.04	2,0331	0,2461	2,0791	0,2747	2,8286	0,7656
04.05	2,6253	0,4034	2,4876	0,3864	3,5334	1,0085
16.05	1,6132	0,2146	1,6818	0,302	1,9193	0,5723
17.05	1,7046	0,2785	1,615	0,267	1,9039	0,722
18.05	2,0567	0,3393	1,7289	0,2659	1,7947	1,756
19.05	2,0949	0,2916	1,9653	0,2809	2,3248	0,7977
20.05	1,7802	0,2729	1,864	0,368	2,7767	1,3142
21.05	2,4388	0,4667	2,2359	0,5306	3,8264	2,9684
22.05	2,6872	0,6181	2,585	0,5087	6,2333	2,9611
23.05	2,1147	0,3422	1,9585	0,2891	2,0915	0,7727

Tab.2 Wartości GF dla wilgotności względnej  $85\% \pm 0.5\%$  dla PM 1, PM 2.5 i PM 10.

2020 r.	PM 1			PM 2.5			PM 10		
Data		C	RMSE		C	RMSE		C	RMSE
26.03	<b>0,1409</b>	0,881	0,066	<b>0,137</b>	0,875	0,079	<b>0,124</b>	0,933	0,195
27.03	<b>0,1497</b>	0,853	0,07	<b>0,144</b>	0,843	0,074	<b>0,136</b>	0,906	0,154
28.03	<b>0,1478</b>	0,881	0,07	<b>0,155</b>	0,851	0,075	<b>0,141</b>	0,94	0,137
05.04	<b>0,0754</b>	1,067	0,098	<b>0,124</b>	1,139	0,241	<b>0,188</b>	1,174	0,398
06.04	<b>0,1012</b>	0,968	0,064	<b>0,12</b>	1,013	0,1	<b>0,144</b>	1,048	0,243
08.04	<b>0,1024</b>	1,162	0,092	<b>0,188</b>	1,223	0,215	<b>0,295</b>	1,152	0,441
29.04	<b>0,2569</b>	0,883	0,1	<b>0,245</b>	0,855	0,131	<b>0,271</b>	0,808	0,312
30.04	<b>0,2667</b>	0,864	0,101	<b>0,279</b>	0,78	0,125	<b>0,471</b>	0,506	0,338
04.05	<b>0,4375</b>	0,778	0,176	<b>0,398</b>	0,744	0,176	<b>0,673</b>	0,487	0,388
16.05	<b>0,1626</b>	1,034	0,146	<b>0,177</b>	1,082	0,242	<b>0,242</b>	1,039	0,515
17.05	<b>0,1838</b>	0,968	0,173	<b>0,153</b>	0,991	0,203	<b>0,222</b>	0,841	0,514
18.05	<b>0,2821</b>	0,86	0,173	<b>0,191</b>	0,899	0,178	<b>0,2</b>	0,855	0,898
19.05	<b>0,2796</b>	0,839	0,129	<b>0,247</b>	0,853	0,155	<b>0,32</b>	0,778	0,475
20.05	<b>0,2039</b>	0,986	0,181	<b>0,223</b>	0,96	0,267	<b>0,454</b>	0,624	0,685
21.05	<b>0,3682</b>	0,806	0,264	<b>0,315</b>	0,761	0,318	<b>0,737</b>	0,346	0,881
22.05	<b>0,4186</b>	0,762	0,348	<b>0,394</b>	0,667	0,282	<b>1,333</b>	0,199	0,652
23.05	<b>0,2811</b>	0,827	0,207	<b>0,244</b>	0,778	0,175	<b>0,281</b>	0,609	0,43

Tab.3 Wartości  $i$  C dopasowania krzywej (3) dla PM 1, PM 2.5 i PM 10, RMSE błąd dopasowania.