

Wpływ zmian wilgotności względnej powietrza na poziom eBC w miniaturowym aethalometrze AE51

G. Florczyk¹, K. Nurowska¹, A. Han¹, M. T. Chiliński², K. M. Markowicz¹

¹ Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

² Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski

Korespondencja: Grzegorz.Florczyk@fuw.edu.pl

STRESZCZENIE

Przedstawiono wstępną analizę danych dotyczących wpływu zmian czsowych wilgotności względnej na poziom stężenia masowego eBC. Dane te zostały zebrane z użyciem dwóch miniaturowych Aethalometrów AE-51 firmy Aeth Labs w listopadzie i grudniu 2020 roku w Instytucie Geofizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Aethalometry zostały podłączone równolegle do komory pomiarowej ACS 1000 umożliwiającej realizowanie cyklicznych zmian wilgotności względnej. Pierwsze wyniki analizy zebranych danych sugerują istnienie zaskakujących problemów z raportowaniem stężenia masowego eBC przez Aethalometry. Szybkie zmiany parametrów termodynamicznych korelują z pojawianiem się ostrych, ujemnych pików w obliczanej masie ekwiwalentu węgla czarnego, co jest bezpośrednim następstwem wahań w mierzonej atenuacji zebranego aerozolu. Zaprezentowano możliwe wytłumaczenia tego zjawiska oraz implikacje zaobserwowanych anomalii na wyniki analizy higroskopijności aerozoli.

1. WSTĘP

Badania atenuacji aerozolu absorbującego grają istotną rolę w zagadnieniach związanych z modelowaniem planetarnej warstwy granicznej, ze względu na ich interakcje z promieniowaniem elektromagnetycznym. Cząsteczki aerozolu atmosferycznego mogą w różnym stopniu absorbować i rozpraszać promieniowanie słoneczne, w zależności od ich składu chemicznego, kształtu, rozmiaru oraz własności higroskopijnych. Jednym z najbardziej popularnych sposobów pomiaru koncentracji masowej jest metoda oparta na zmianie

transmisji promieniowania przechodzącego przez filtr na który został zgromadzony aerozol. Jednym z urządzeń, korzystającym z tej metody jest miniaturowy aethalometr Aeth Labs AE-51. To niewielkie urządzenie składa się z dwóch komór pomiarowych zawierających źródło promieniowania w postaci diody LED oraz detektor. Drogi optyczne w obu komorach przedzielone są wymiennym ręcznie filtrem kwarcowym. Do jednej z komór doprowadzony jest strumień powietrza zawierającego cząsteczki aerozolu, które osadzają się na filtrze, powodując zmniejszenie natężenia promieniowania padającego na detektor po jego

drugiej stronie. Na podstawie porównania odpowiedzi detektorów z obu komór, obliczona zostaje tzw. atenuacja aerozolu na podstawie wzoru (1):

$$ATN = 100 \cdot \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (1)$$

gdzie I_0 i I to kolejno natężenia promieniowania przechodzącego przez filtr czysty i filtr na którym osadza się aerozol. Następnie, korzystając z wzorów (2) i (3) urządzenie oblicza stężenia masowe ekwiwalentu węgla czarnego eBC.

$$\Delta ATN = ATN_{t+\Delta t} - ATN_t \quad (2)$$

$$eBC = \frac{1}{\sigma_{ATN}} \left(\frac{A \cdot \Delta ATN}{100 \cdot Q \cdot \Delta t} \right) \quad (3)$$

gdzie σ_{ATN} to masowy przekrój czynny na atenuację, Q to wielkość strumienia gazu, a A to powierzchnia filtra, na której osadziły się cząsteczki aerozolu.

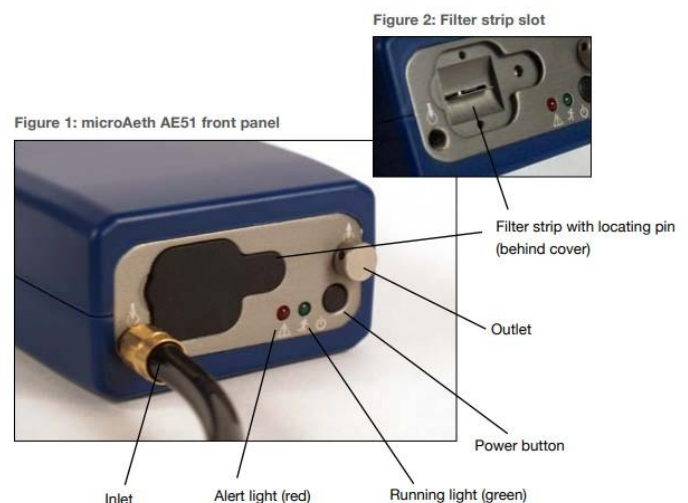
Podejrzewano, że higroskopijności aerozolu gromadzącego się na filtrze pociąga za sobą silną wrażliwość odpowiedzi aethalometrów objawiającą się zmianą wartości eBC w zależności od wilgotności względnej. Zdecydowano się zweryfikować to przypuszczenie, z użyciem komory pomiarowej Ecotech Aerosol Conditioning System (ACS 1000), umożliwiającej podłączenie dwóch identycznych przyrządów pomiarowych do kanałów nazwanych DRY oraz WET. W kanale WET użytkownik może zaprogramować żądany

poziom wilgotności względnej oraz temperaturę. W tym samym czasie, kanał DRY osusza aerozol i utrzymuje wilgotność względną powietrza na niskim poziomie (10-30%). Taka konstrukcja eksperymentu badawczego pozwala na jednoczesną analizę próbek tego samego aerozolu w różnych warunkach termodynamicznych.

2. APARATURA POMIAROWA

2.1 Aeth Labs AE-51

Urządzenie pozwala na zdeterminowanie stężenia masowego eBC w czasie rzeczywistym poprzez porównanie transmisji promieniowania w zakresie 880 nm przez filtr zanieczyszczony i referencyjny.



Rys. 1. Zdjęcie aethalometru Aethlabs AE-51 wraz z opisem poszczególnych części [2].

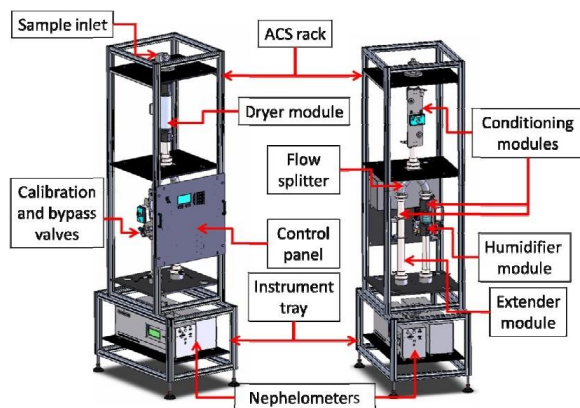
Specyfikacja:

- Strumień powietrza
 $Q = \{50, 100, 150, 200\}$ ml/min
- Częstotliwość próbkowania
 $f = \{1, 10, 30, 60, 300\}$ s

- Stężenie masowe eBC = [0; 1] mg/m³
- Niepewność pomiaru stężenia masowego u(eBC) = ±0.1 µg/m³

2.2 Komora Ecotech ACS 1000

Komora pozwala na wstępne osuszenie, a następnie rozdzielanie strumienia badanego gazu na dwa kanały nazywane WET i DRY. Do jednego z nich podłączony jest sterowany moduł nawilżający, stąd też jego nazwa - WET. Na wyjściu obu kanałów możliwe jest podłączenie dowolnych przyrządów pomiarowych.



Rys. 2. Rysunek przedstawiający przykładową konfigurację komory z dwóch perspektyw wraz z jej modułami [1].

Specyfikacja

- Strumień gazu Q = [1; 10] l/min
- Wilgotność RH = [40; 90] %
- Niepewność pomiaru wilgotności u(RH) = ±0.8%
- Temperatura T = [-40; 60] °C
- Niepewność pomiaru temperatury u(T) = ±0.1 °C
- Możliwość zaprogramowania dowolnego trybu działania komory

Komora Ecotech ACS 1000 pozwala na ustawienie własnoręcznie wybranego trybu działania. Czynność tę można wykonać, edytując plik konfiguracyjny zawierający dane charakteryzujące tzw. sekwencje.

Wybierając dowolną ilość punktów wyrażanych w [%] w wybranej kolejności, a następnie ustawiając czas pomiędzy nimi, definiujemy sekwencję, którą komora będzie powtarzać od chwili włączenia.

Wybranie punktów {45, 90}, a następnie ustawienie ich w sekwencji: (1,2,1) spowoduje stopniowe narastanie wilgotności względnej od poziomu 45% do 90% w zadanym czasie, a następnie powrót do wartości początkowej.

3. OPIS METODY BADAWCZEJ

Miniaturowe aethalometry AE-51 zostały podłączone równolegle do kanałów DRY oraz WET komory Ecotech ACS 1000. Komora została ustawiona według sekwencji przedstawionych na poniższej tabeli 1 zamieszczonej w aneksie.

Zbrane dane zostały uśrednione średnią bieżącą z 25 elementów. Dla każdej z sekwencji obliczono współczynnik wzrostu higroskopijnego zgodnie ze wzorem (4).

$$GF = \frac{eBC_{wet}}{eBC_{dry}} \quad (4)$$

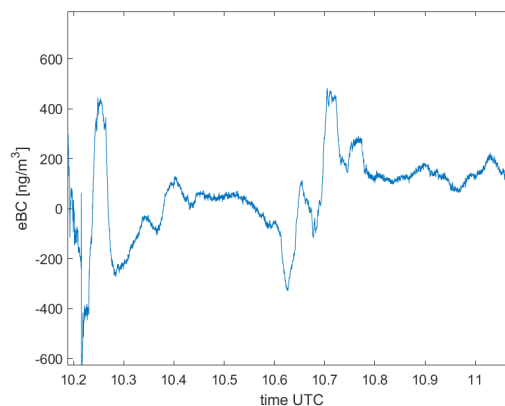
Zbiory danych podzielono na dwa podzbiory zawierające tylko przypadki, w których wilgotność względna wzrastała i oznaczono przykładowo jako Seq1(UP) oraz w których wilgotność względna opadała i oznaczono np. Seq1(DWN). Zauważono anomalie w zebranych danych. Z definicji współczynnika wzrostu higroskopijnego wynika, że nie powinien on przyjmować wartości mniejszych od jedności.

Taki wynik oznaczałoby, że cząsteczki nawodnionego aerozolu są mniejsze niż aerozolu suchego, a takich zjawisk nie obserwujemy podczas innych eksperymentów. Następnie, porównano numerycznie obliczoną pochodną wilgotności względnej po czasie z obserwowanymi ujemnymi pikami koncentracji eBC. Zauważono koincydencje ujemnych pików pochodnej wilgotności względnej po czasie oraz koncentracji eBC. Dla wszystkich sekwencji wykonano wykresy rozrzutu oraz dopasowano do punktów pomiarowych wielomian pierwszego rzędu korzystając z metody najmniejszych kwadratów.

4. WYNIKI I KONKLUZJE

Dane sugerują zależność ukazywania się "ujemnych mas" eBC przy gwałtownych spadkach wilgotności względnej. Wykresy przedstawiające dane dotyczące wilgotności względnej, pochodnej wilgotności względnej po czasie oraz koncentracji ekwiwalentu węgla czarnego eBC zostały umieszczone w aneksie. Obserwowane anomalie wpływają również na współczynnik wzrostu higroskopijnego. Na wykresach 4b, 5b i 6b przedstawiających obliczony współczynnik G dla zboczy opadających można zauważyć tendencję spadkową dla wyższych wartości wilgotności względnej. Analogiczną wzrostową tendencję obserwujemy dla zboczy rosnących na wykresach 4a, 5a i 6a. Analiza korelacji wykazała słabą zależność współczynnika wzrostu higroskopijnego G od pochodnej wilgotności względnej po czasie. Wykresy rozrzutu są dostępne do wglądu w aneksie. Podobne wyniki obserwowano podczas innych kampanii pomiarowych, podczas których używano np. dronów i balonów na uwięzi (Ryc.

3). W tym przypadku obserwowano niejednokrotnie ujemne wartości eBC na różnych wysokościach w atmosferze. Istnienie wspomnianej wyżej zależności może sugerować potrzebę wprowadzenia odpowiednich poprawek przy pozyskiwaniu danych lub ich obróbce.



Ryc. 3. Zmiany czasowe koncentracji eBC pozyskane za pomocą balonu na uwięzi podczas inicjatywy iAREA w miejscowości Ny-Ålesund (Spitsbergen) wiosną w latach 2015-2017 [4].

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] AethLabs (2016) microAeth® AE51 Operating Manual, <https://aethlabs.com>
- [2] Ecotech (2013) ACS 1000 Aerosol Conditioning System User Manual v1.0, <https://www.ecotech.com>
- [3] Markowicz, K. M., Ritter, C., Lisok, J., Makuch, P., Stachlewska, I. S., Cappelletti, D., Mazzola, M., Chilinski, M. T. (2017) Vertical variability of aerosol single-scattering albedo and equivalent black carbon concentration based on in-situ and remote sensing techniques during the iAREA campaigns in Ny-Ålesund. *Atmospheric Environment*, 164, 431-447. doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.06.014.

6. PODZIĘKOWANIA

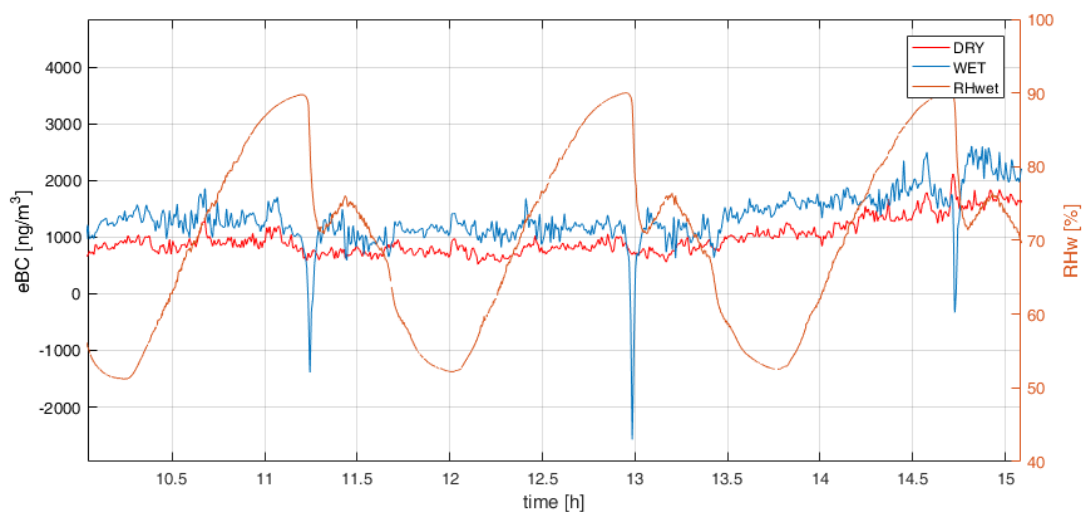
Badania zostały sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie umowy UMO-2017/27/B/ST10/00549

do projektu *OPUS pt.* Oddziaływanie aerozolu na własności mikrofizyczne, optyczne i radiacyjne mgły.

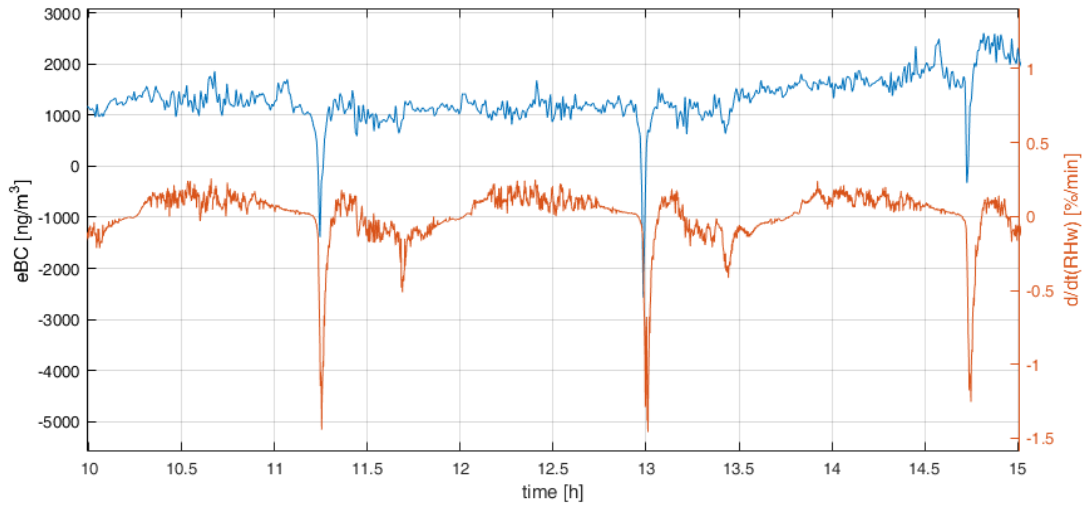
ANEKS

Tabela A1. Dane pozyskiwano przy ustawieniu trzech różnych sekwencji:

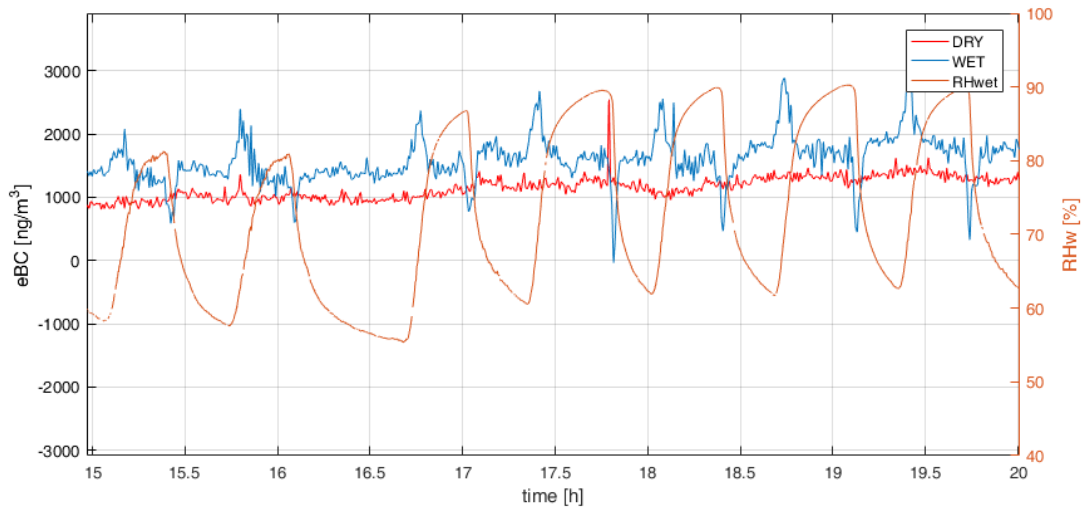
Nazwa sekwencji	Data	Punkty pomiarowe	Kolejność	Odstęp
Seq1	24.11-27.11	{45, 50, 55, ..., 90}	(1, ..., 9, ..., 1)	7 min
Seq2	27.11-28.11	{45, 90}	(1, 2, 1)	20 min
Seq3	28.11-30.11	{45, 90}	(1, 2, 1)	100 min



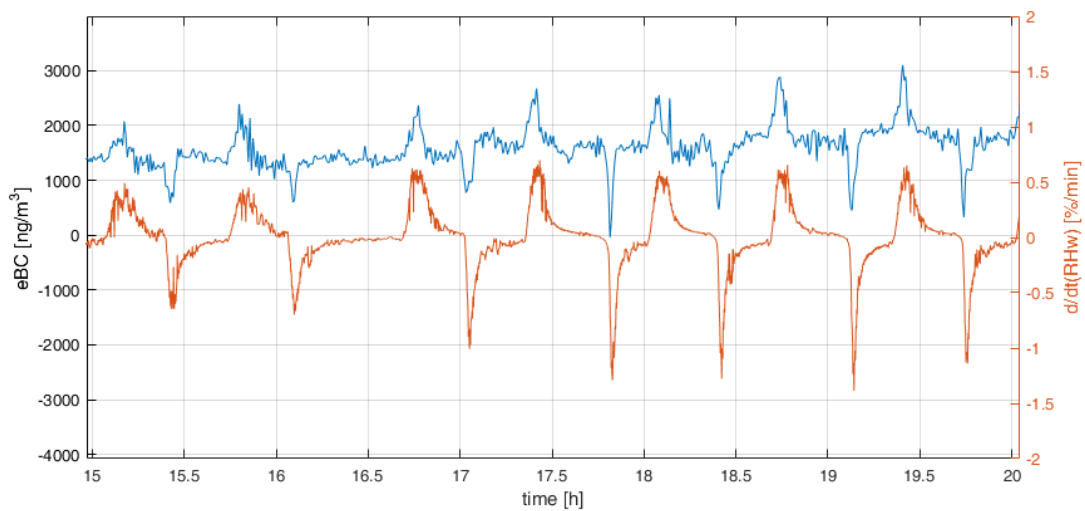
Wykres 1.2. Zmiany czasowe koncentracji masowej eBC w kanale WET i DRY oraz wilgotności względnej w kanale WET (RHwet), zebrane 24 listopada w godzinach 10.00-15.00.



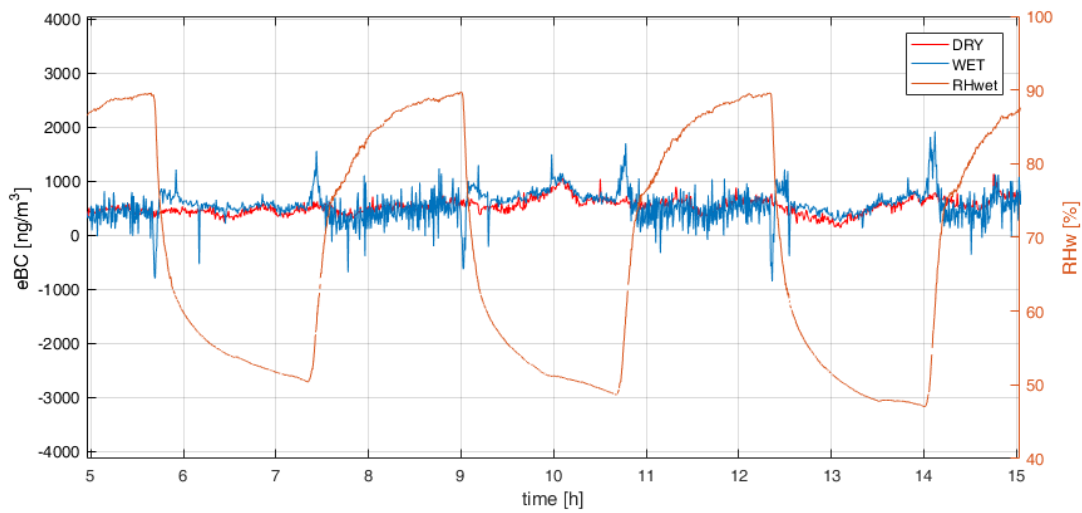
Wykres 1.3. Zmiany czasowe koncentracji masowej eBC w kanale WET oraz pochodnej RHwet po czasie, zebrane 24 listopada w godzinach 10.00-15.00.



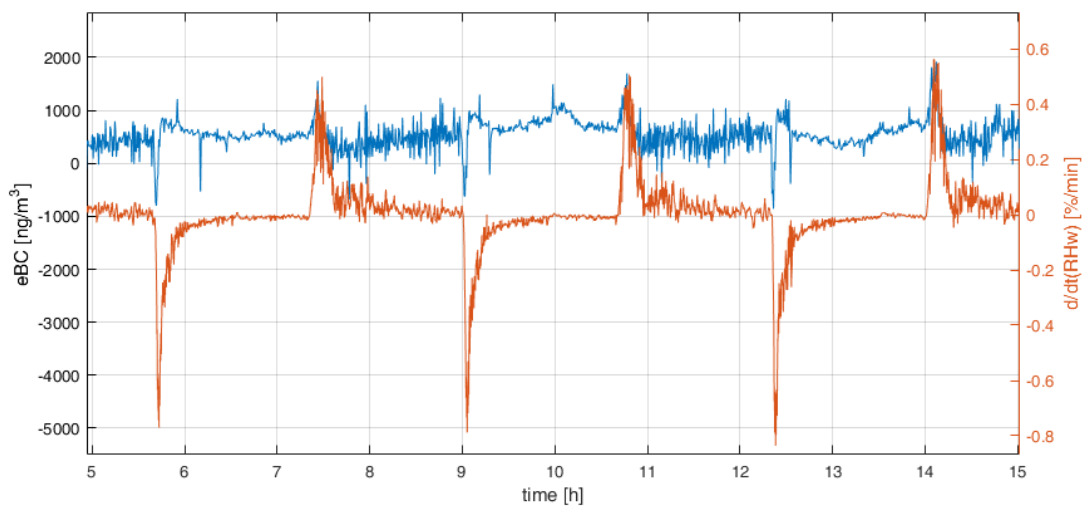
Wykres 2.1. Zmiany czasowe koncentracji masowej eBC w kanale WET i DRY oraz wilgotności względnej w kanale WET (RHwet), zebrane 27 listopada w godzinach 15.00-20.00.



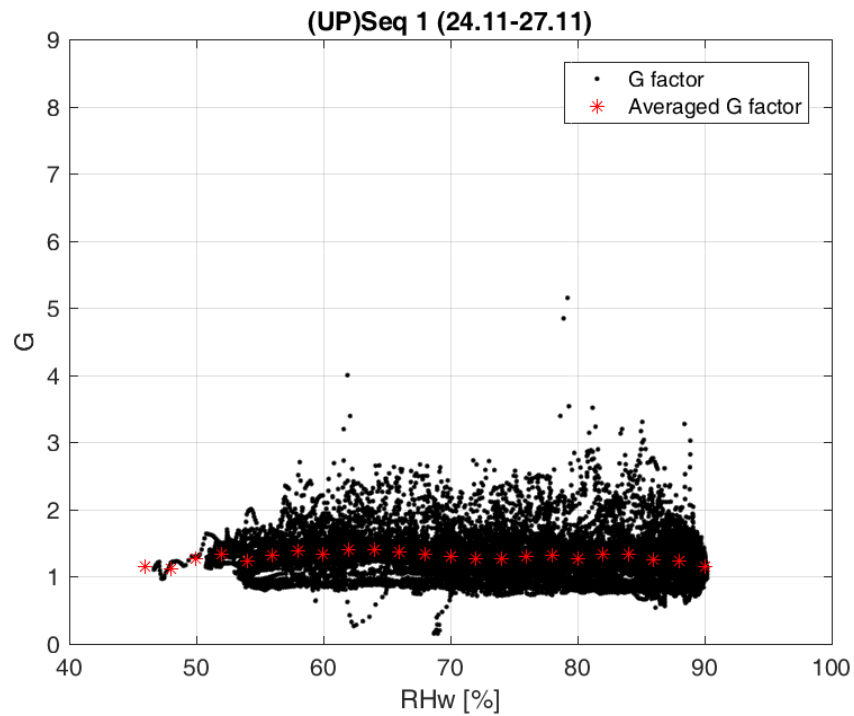
Wykres 2.2. Zmiany czasowe koncentracji masowej eBC w kanale WET oraz pochodnej RHwet po czasie, zebrane 27 listopada w godzinach 15.00-20.00.



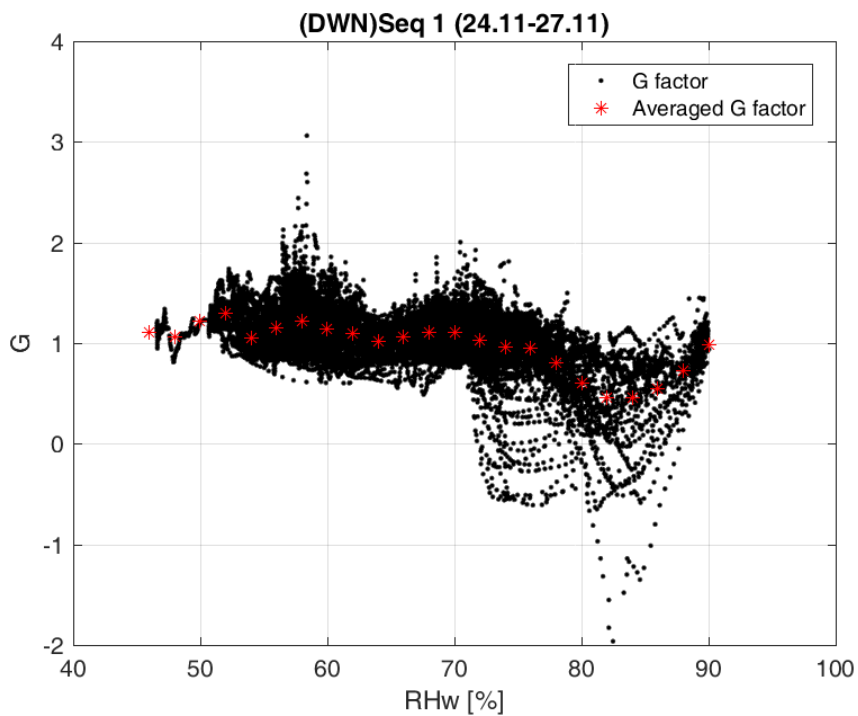
Wykres 3.1. Zmiany czasowe koncentracji masowej eBC w kanale WET i DRY oraz wilgotności względnej w kanale WET (RHwet), zebrane 29 listopada w godzinach 5.00-15.00.



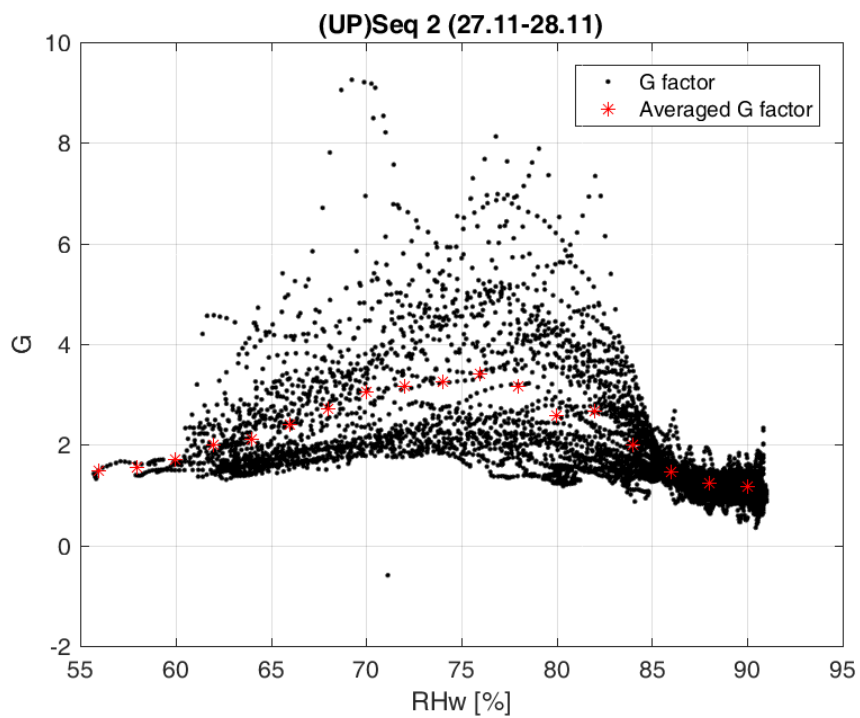
Wykres 3.2. Zmiany czasowe koncentracji masowej eBC w kanale WET oraz pochodnej RHwet po czasie, zebrane 29 listopada w godzinach 5.00-15.00.



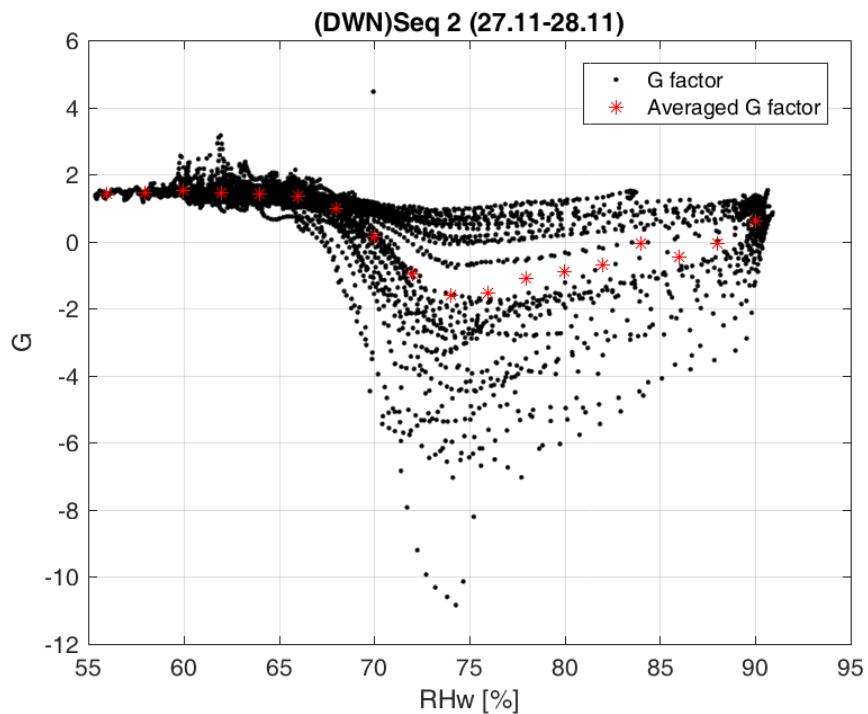
Wykres 4a. Wartości rzeczywiste i uśrednione współczynnika wzrostu higroskopijnego G od RH w kanale WET dla rosnących zbczy w sekwencji 1.



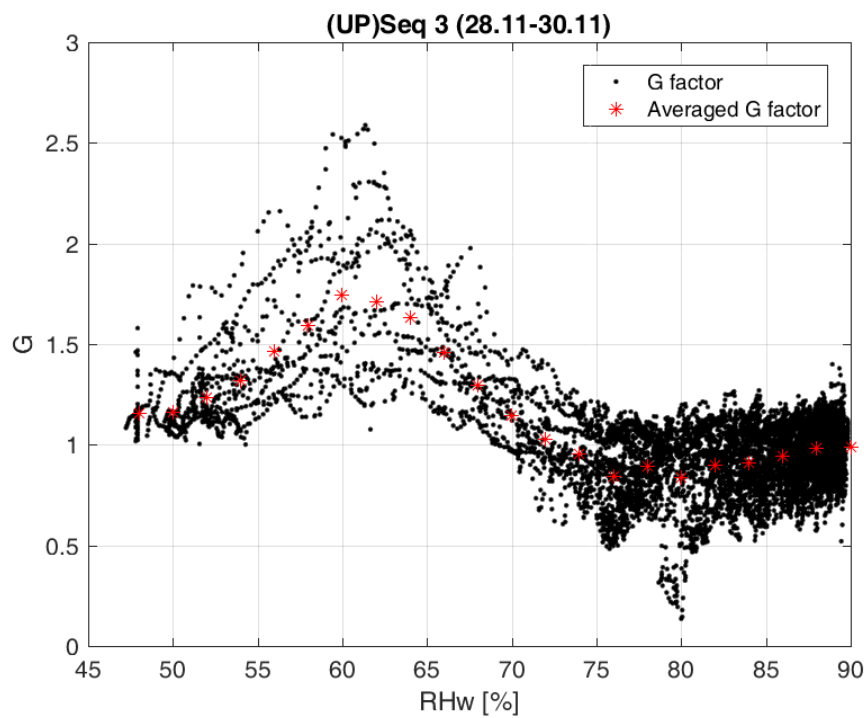
Wykres 4b. Wartości rzeczywiste i uśrednione współczynnika wzrostu higroskopijnego G od RH w kanale WET dla malejących zbczy w sekwencji 1.



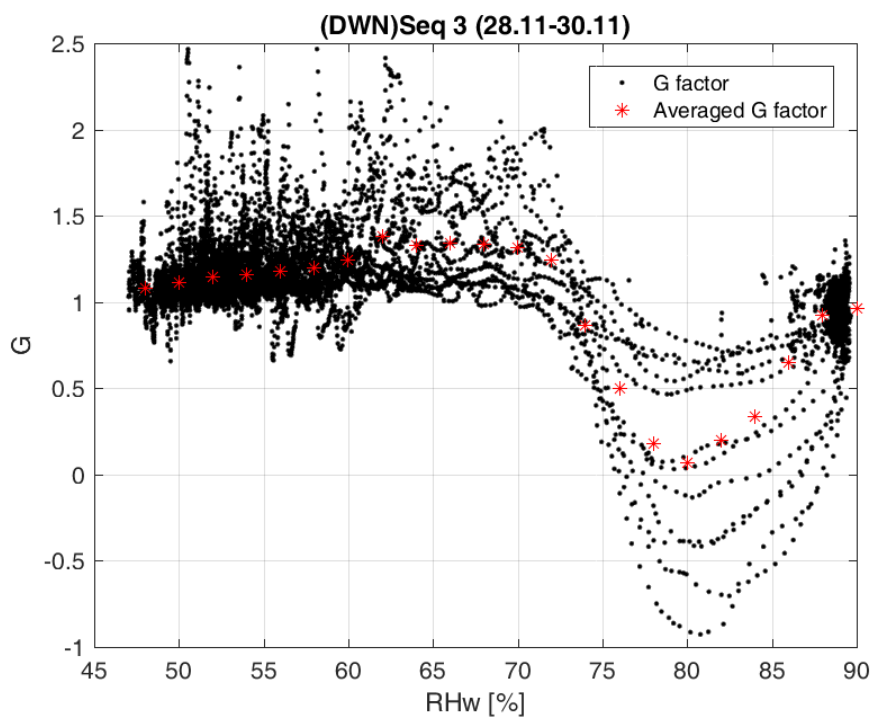
Wykres 5a. Wartości rzeczywiste i uśrednione współczynnika wzrostu higroskopijnego G od RH w kanale WET dla rosnących zbczy w sekwencji 2.



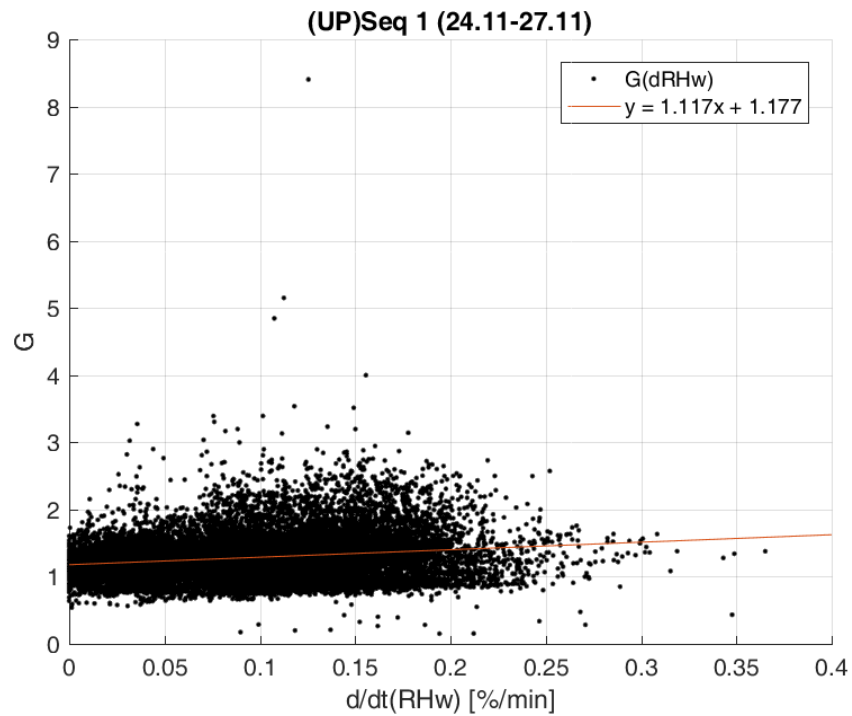
Wykres 5b. Wartości rzeczywiste i uśrednione współczynnika wzrostu higroskopijnego G od RH w kanale WET dla malejących zbczy w sekwencji 2.



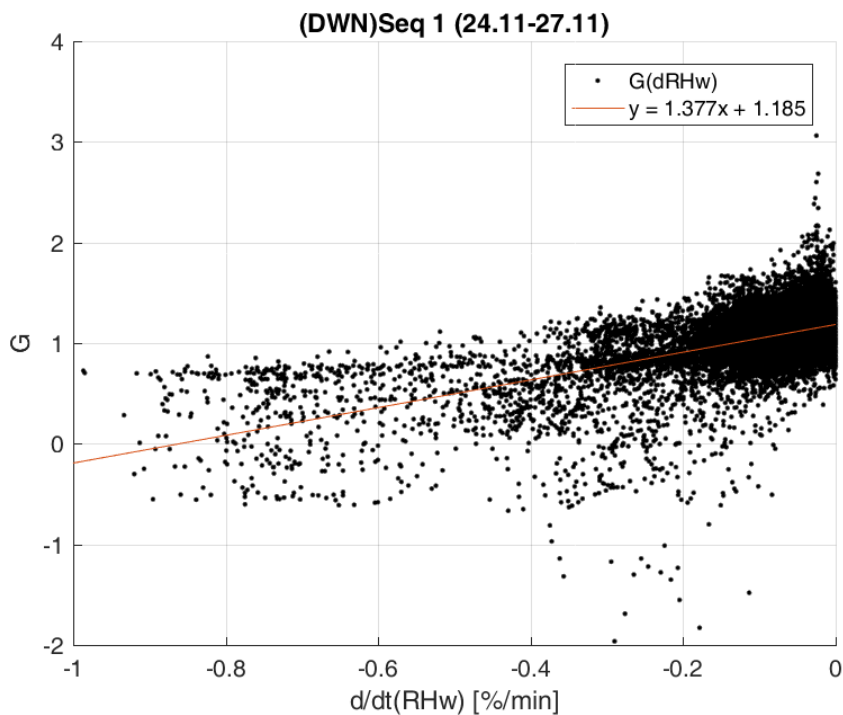
Wykres 6a. Wartości rzeczywiste i uśrednione współczynnika wzrostu higroskopijnego G od RH w kanale WET dla rosnących zbczy w sekwencji 3.



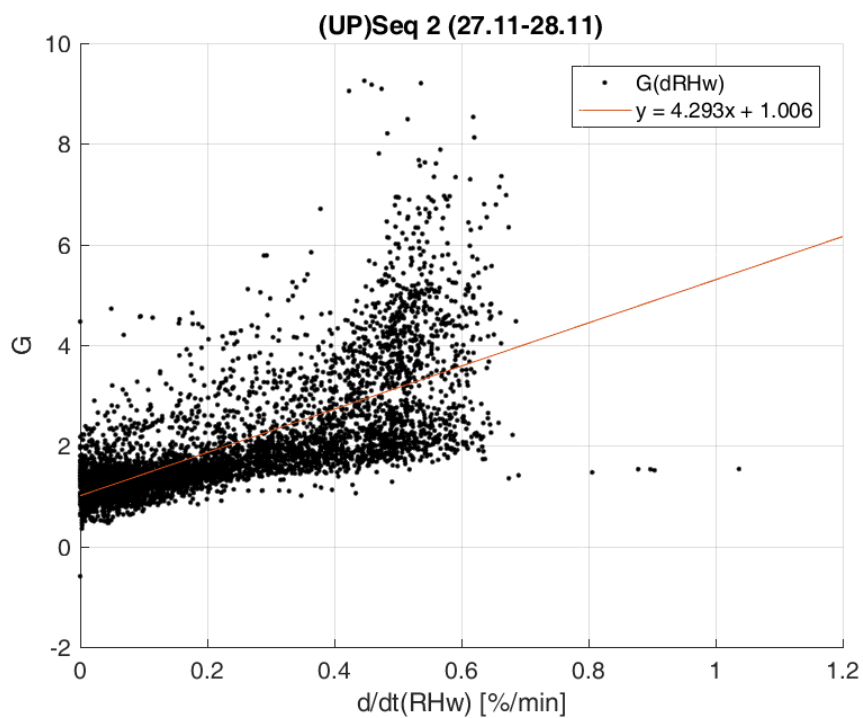
Wykres 6b. Wartości rzeczywiste i uśrednione współczynnika wzrostu higroskopijnego G od RH w kanale WET dla malejących zbczy w sekwencji 3.



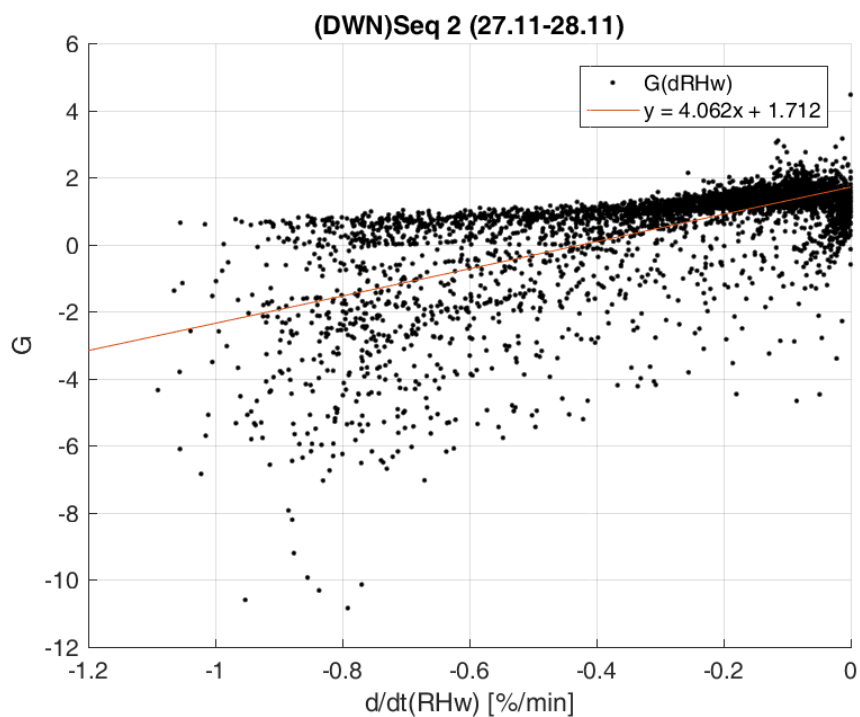
Wykres 7a. Wykres rozproszeniowy współczynnika wzrostu higroskopijnego G od pochodnej RHwet po czasie dla rosnących zbczy w sekwencji 1.



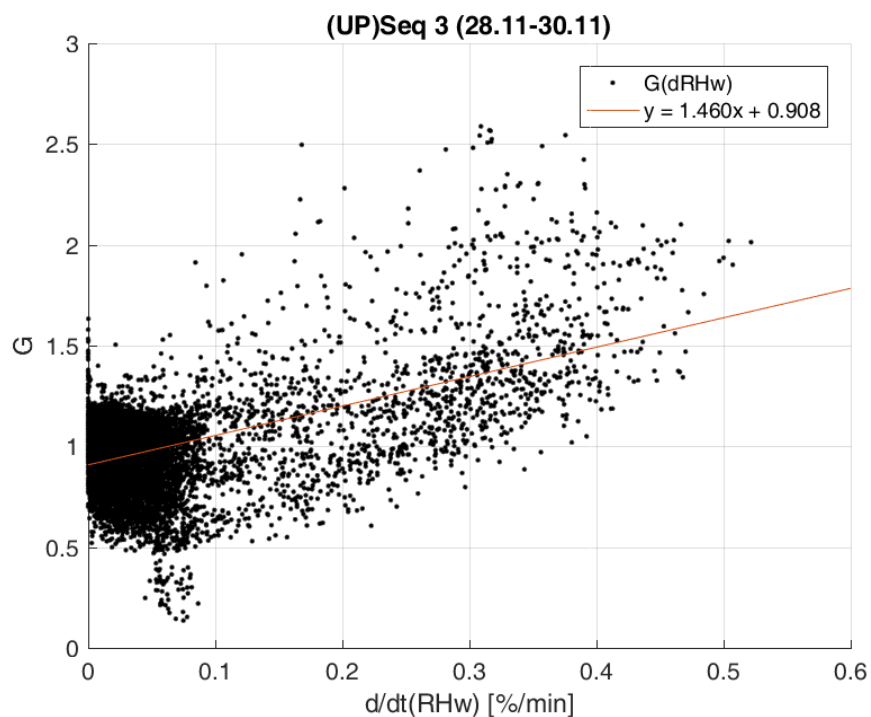
Wykres 7b. Wykres rozproszeniowy współczynnika wzrostu higroskopijnego G od pochodnej RHwet po czasie dla malejących zbczy w sekwencji 1.



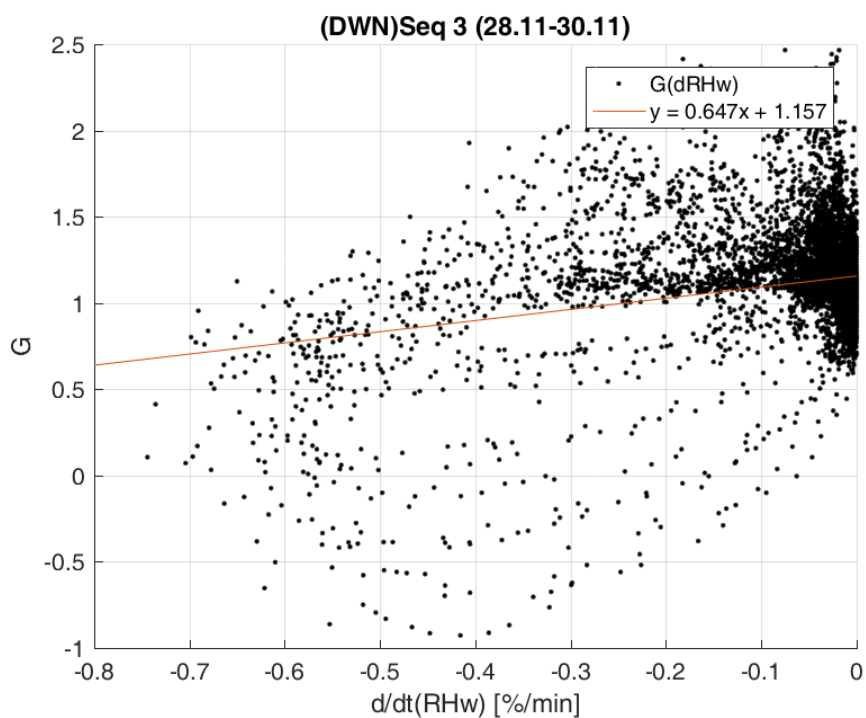
Wykres 8a. Wykres rozproszeniowy współczynnika wzrostu higroskopijnego G od pochodnej RHwet po czasie dla rosnących zboczy w sekwencji 2.



Wykres 8b. Wykres rozproszeniowy współczynnika wzrostu higroskopijnego G od pochodnej RHwet po czasie dla malejących zboczy w sekwencji 2.



Wykres 9a. Wykres rozproszeniowy współczynnika wzrostu higroskopijnego G od pochodnej RHwet po czasie dla rosnących zbczcy w sekwencji 3.



Wykres 9b. Wykres rozproszeniowy współczynnika wzrostu higroskopijnego G od pochodnej RHwet po czasie dla malejących zbczcy w sekwencji 3.