

**BADANIE DYSPERSJI MAŁYCH OBIEKTÓW DLA POTRZEB MORSKICH  
SYSTEMÓW GEOINFORMATYCZNYCH**

**EXAMINATION OF DISPERSION OF SMALL OBJECTS FOR THE NEEDS OF  
MARINE GEOINFORMATIC SYSTEMS**

**Marek Przyborski**

Studium Szkolenia Ogólnomorskiego, Akademia Marynarki Wojennej

SŁOWA KLUCZOWE: dyspersja obiektów, turbulencja, SAR

STRESZCZENIE: Turbulentne mieszanie płynów i gazów jest wszechobecne w naturze. Jest ono podstawą wielu procesów technologicznych, determinuje rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń oraz przemieszczanie się pyłków roślinnych jak również zachowanie się tak złożonych systemów jak atmosfera ziemska czy też oceany. Jednym z najbardziej podstawowych elementów turbulentnego mieszania płynów jest separacja dwóch sąsiednich elementów. Artykuł przedstawia wyniki badań dyspersji małych obiektów na powierzchni wzburzonego morza. Badania tego typu dają bardzo istotną informację z punktu widzenia osoby planującej przeprowadzenie akcji ratunkowej na morzu. Uzyskane wyniki potwierdzają potrzebę wykorzystania tego typu danych w morskich systemach geoinformatycznych pracujących w polskim ratownictwie okrętowym.

## **1. WPROWADZENIE**

Turbulencja jest zjawiskiem powszechnym w otaczającym nas świecie. Mamy z nią do czynienia gdy mieszamy kawę do której dolaliśmy śmietankę jak również obserwując nieustawicznie zmieniającą się pogodę za oknem i pędzące po niebie chmury. Patrząc na sztormowe wzburzone morze również mamy do czynienia z chaotycznym mieszaniem mas wody. Badania nad zjawiskiem turbulencji są szeroko prowadzone na świecie od wielu lat jednakże nadal nie dały jednoznacznej odpowiedzi na pytanie jaki mechanizm daje początek temu zjawisku oraz jak ono przebiega i w jaki sposób można je przewidywać. Obecnie naukowcy są w stanie doświadczalnie weryfikować długo znane teorie jednakże droga do pełnego zrozumienia fenomenu turbulencji jest jeszcze bardzo daleka. Turbulencja jest odpowiedzialna za wiele zjawisk zachodzących w procesach technologicznych, determinuje rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w atmosferze i wodzie.

Na spokojnej powierzchni płynu dyspersja dwóch sąsiednich obiektów jest zdominowana przez zjawisko dyfuzji. Obiekty poruszają się zgodnie z ruchem Browna, i średnio kwadratowa separacja pomiędzy nimi rośnie liniowo w czasie. W przepływie turbulentnym z jakim mamy do czynienia obserwując powierzchnię morza w czasie sztormu, jeżeli odległość pomiędzy obiektami na tej powierzchni jest mniejsza niż wielkość największych wirów w tym przepływie, wówczas obiekty te będą oddalały się szybciej. W przypadku większych odległości oraz czasu separacji, lokalne korelacje

odpowiedzialne za superdyfuzyjną separację nie będą dłużej obecne, stąd też uśredniając relatywna dyspersja nadal będzie liniowa w czasie.

## **2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU BADAWCZEGO**

Fundamentalnym składnikiem turbulentnego mieszania płynów jest separacja dwóch sąsiednich elementów płynu znana jako dyspersja par. Pomimo wielu lat naukowych poszukiwań nie znaleziono prostego i klarownego wytłumaczenia tego fundamentalnego aspektu zjawiska turbulencji. Jednym z najważniejszych pytań jest kwestia wpływu jaki na prędkość ruchu ma odległość początkowa pomiędzy analizowanymi cząsteczkami płynu. Znaczny postęp w tej dziedzinie został poczyniony przez zespół prof. Eberharda Bodenschatza z Max-Planck Institut for Dynamics and Self-Organization w Getyndze, któremu udało się przeprowadzić doświadczenie [1,2] podczas którego rejestrowane były trasy poruszania się małych elementów imitujących cząsteczki płynu. Uzyskane rezultaty odpowiadały przewidywaniom opartym na prawie Batchelora [4], jednakże nie zaobserwowano prawa Richardsona-Obukova[3]. Pozostaje nadal otwartym pytanie jak wyglądałaby sytuacja w przypadku innego niekontrolowanego środowiska jakim może być na przykład powierzchnia wzburzonego sztormem morza. Zrozumienie mechanizmów kierujących tym procesem zaowocowałoby znacznym postępem w walce z wyciekami substancji szkodliwych w rejonach przybrzeżnych, usprawniłoby również proces przygotowywania i prowadzenia operacji ratowniczych na morzu. W przypadku zaistnienia katastrofy morskiej należy liczyć się z rozbitkami, którzy znajdują się w wodzie. W tak złożonej sytuacji trudno zachować przytomność umysłu i postępować zgodnie z instrukcjami, zatem istnieje duże prawdopodobieństwo, że będą oni luźno porzuceni na powierzchni morza. Określenie w jakim stopniu ich początkowy rozrzut będzie miał wpływ na trajektorie ruchu poszczególnych rozbitków będzie miało decydujące znaczenie dla powodzenia akcji ratowniczej, czyli uratowania życia ludzkiego.

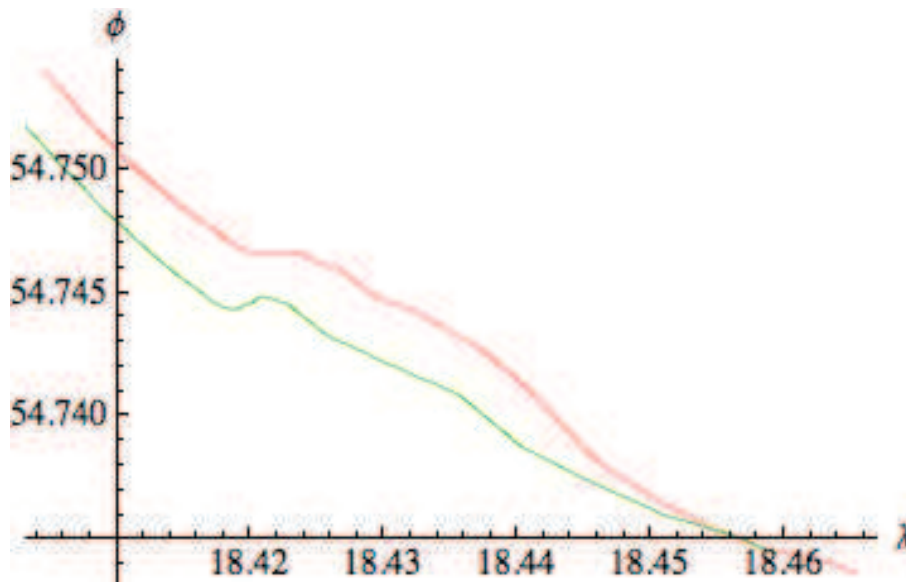
## **3. METODYKA BADAŃ**

Jako baza wyjściowa do badań separacji małych obiektów na powierzchni morza posłużą pomiary zrealizowane w ramach projektu badania prądów powierzchniowych w rejonach zatoki puckiej, gdańskiej oraz ławicy słupskiej oraz projektu dotyczącego separacji małych obiektów. Podstawą systemu pomiarowego stworzonego w tym celu są boje pomiarowe, które drogą radiową transmitują swoją pozycję do centrum odbiorczego, w którym powstaje mapa obrazująca trasę poruszania się boi. System składa się z 5 takich urządzeń, które mogą być wykorzystywane jednocześnie, zatem istnieje aparatura pomiarowa zdolna do przeprowadzenia eksperymentu dotyczącego separacji małych obiektów na powierzchni morza. Boje pomiarowe wyposażone są w akumulatory umożliwiające pracę przez okres 5 dni. System monitoringu ruchu boi wykorzystuje telefonię GSM do transmitowania pozycji poprzez sieć internet do centrum odbiorczego. Wykorzystywany jest system stosowany do monitorowania ruchu pojazdów kołowych, bardzo ważną cechą tego rozwiązania która ułatwia prowadzenie badań jest fakt, iż dryftery mogą gromadzić dane o swoich pozycjach w przypadku utraty łączności z siecią i wysłać całość zgromadzonych danych po odzyskaniu łączności. Jako element kontrolny wykorzystywana jest boja wyposażona w modem

radiowy jej pozycja śledzona jest na statku badawczym (który nie posiada łącza z internetem), dzięki czemu możliwe jest odnalezienie grupy dryfterów na powierzchni morza. Eksperymenty z „flotą“ dryfterów są nadal prowadzone, a gromadzone dane posłużą do weryfikacji uzyskanych do tej pory wyników.

W trakcie prowadzonych eksperymentów zmierzono dyspersję obiektów znajdujących się na powierzchni sztormowego morza w następujących warunkach – stan morza 6 B, siła wiatru 8 B. Zarejestrowanych zostało 6 tras dryfterów. System ten został po raz pierwszy wykorzystany w celu określenia rozkładu prądów powierzchniowych w czasie realizacji projektu badawczego nr O T00A 013 28. Wyniki wówczas uzyskane wskazywały na ogromne znaczenie początkowego rozrzutu dryfterów na trasy ich poruszania się.

Przykład dwóch tras dryfterów równocześnie zarejestrowanych w trakcie wykonanych w nowym projekcie eksperymentów przedstawiony jest na rys. 1, rys. 2 oraz Rys. 3.

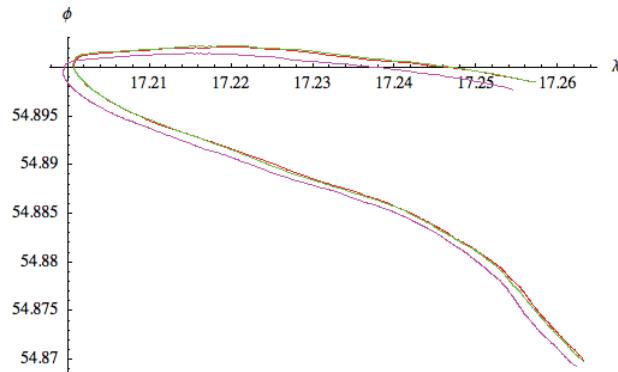


Rys. 1. Trasy dryfterów w trakcie jednego z eksperymentów

#### 4. ANALIZA WYNIKÓW I DYSKUSJA

Analizując zgromadzone dane, badano ewolucję średnio-kwadratowej separacji pomiędzy dryfterami znajdującymi się na powierzchni morza. Superdyfuzja w przepływach turbulentnych znalazła swój początek w pracach Richardsona, który w roku 1926 zasugerował, iż powinna ona rosnąć z  $t^3$ . Następnie wykorzystując elementy teorii Kołmogorowa, w 1941 Obukow stwierdził, iż w inercyjnym zakresie turbulencji jedynym znaczącym parametrem przepływu jest dysypacja na jednostkę masy  $\varepsilon$ , dyspersja par powinna rosnąć zatem jak  $g\varepsilon^3$ , gdzie  $g$  jest stałą uniwersalną. Batchelor w 1950 rozwinął tę teorię, przewidując zarówno, że średnio-kwadratowa

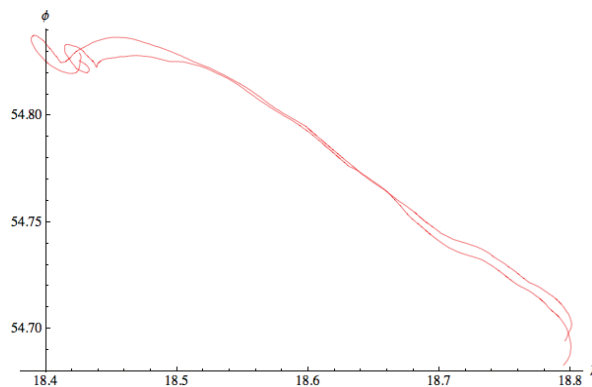
separacja powinna rosnąć z  $t^2$  dla krótkich czasów oraz małej separacji początkowej. Definiując  $\Delta_i(t)$  jako separację dwóch obiektów w czasie  $t$  wzdłuż koordynaty  $i$  i  $\Delta_{0i}$  jako separację początkową pomiędzy dowolnymi małymi obiektami np: na powierzchni morza, Batchelor przewidział że, dla  $\Delta_0$  w inercyjnym zakresie uzyskujemy



Rys. 2. Trasy dryfterów w trakcie jednego z eksperymentów

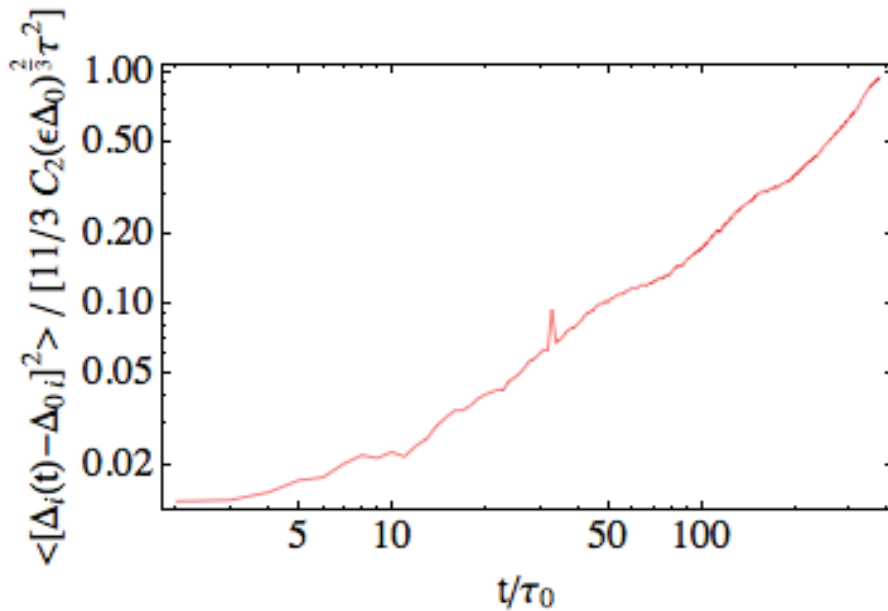
$$\langle [\Delta_i(t) - \Delta_{0i}]^2 \rangle = \frac{11}{3} C_2 (\varepsilon \Delta_0)^{2/3} t^2, \quad t < t_0 = \left( \frac{\Delta_0^2}{\varepsilon} \right)^{1/3}, \quad (1)$$

Gdzie  $C_2$  jest uniwersalną stałą z wartością przybliżoną 2.13 [2]. Sumowanie jest wykonane poprzez powtarzalny index  $i$ .  $t_0$  może być interpretowane jako czas po którym dwa elementy na powierzchni płynu pamiętają swoją względną prędkość, zakładając że poruszają się w tym samym wirze o wielkości  $\Delta_0$ .



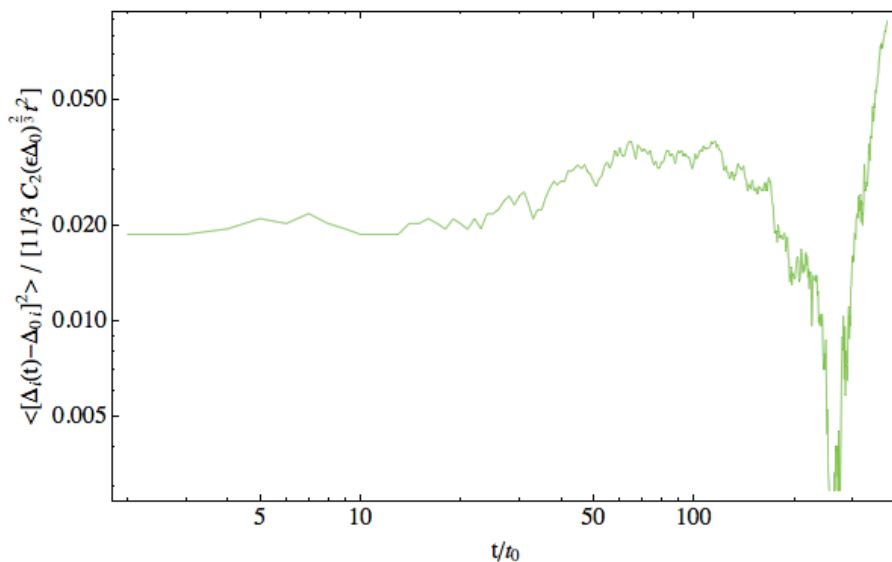
Rys. 3. Trasy dryfterów w trakcie jednego z eksperymentów

Aby rozróżnić skale Batchelora i Richardsona-Obukowa musimy dysponować dużym zakresem inercyjnym, który implikuje dużą separację pomiędzy czasem trwania wiru  $T_L$  a tzw. czasem Kolmogorowa  $\tau_\eta$ . Aby osiągnąć tak szeroki zakres skal, poziom turbulencji musi być bardzo wysoki  $R_\lambda \approx (T_L / \tau_\eta)$ . Uzyskane wyniki w trakcie przeprowadzonych eksperymentów dotyczące relatywnej dyspersji obiektów w przepływie o wysokim poziomie turbulencji (powierzchnia wzburzonego sztormem morza) przedstawiono na rys. 4. Uzyskane wyniki układają się zgodnie z  $t^2$ . Nie odnotowano zachowania przewidzianego przez Richardsona i Obukowa -  $t^3$ . Należy podkreślić, iż wykres przedstawiony na rys. 4 nie jest dopasowaniem lecz rzeczywiście odzwierciedla wartości  $(11/3)C_2(\epsilon\Delta_0)^{2/3}t^2$ .



Rys. 4. Ewolucja dyspersji średnio-kwadratowej pomiędzy dryfterami

Na Rys. 4 czas przedstawiony jest w jednostkach  $\tau_\eta$ , dane dla różnych separacji początkowych odbiegają od prawa  $t^2$ , jeśli natomiast przeskalujemy czas zgodnie z  $t_0 = (\Delta_0^2 / \epsilon)^{1/3}$  jak to przedstawiono na rys. 5



Rys. 5. Ewolucja dyspersji średnio-kwadratowej pomiędzy dryfterami dla czasu wyrażonego w jednostkach  $t_0$

Wyniki dla każdej początkowej separacji odbiegają od przewidywań Batchelora począwszy od wartości około  $100 t/t_0$ .

## 5. WNIOSKI

Przedstawiony eksperyment z przepływem o wysokim poziomie turbulencji jest jednym z unikalnych osiągnięć jakie udało się dokonać zespołowi pracującemu nad projektami badawczymi dotyczącymi badań dynamiki środowiska morskiego. Przepływy turbulentne są jednymi z najbardziej dramatycznych zjawisk z jakimi mamy do czynienia na Ziemi. Obserwujemy je zarówno w ruchu płynnego jądra Ziemi jak i w zachowaniu naszej atmosfery, ich wpływ na wszystko co nas otacza jest dominujący. Względy o których wspomniano we wstępie dotyczące wiadomości priorytetowych dla organizowania akcji ratowniczych na morzu w dużej mierze zależą od wiedzy na temat separacji małych obiektów na powierzchni wzburzonego morza. Zaprezentowane badania i uzyskane wyniki potwierdzają znaczenie tego typu informacji na każdym etapie organizowania i przeprowadzania akcji ratunkowych na morzu. Bardzo ważnym następstwem przeprowadzonych badań jest stwierdzenie, że początkowa separacja wpływa na rozprzestrzenianie się dwóch sąsiednich obiektów na powierzchni morza w każdych warunkach pogodowych. Uzyskane rezultaty są efektem wykorzystania systemu dryfterów, dzięki któremu możliwe się stało zgromadzenie tak unikalnego materiału. Dalsze prace zespołu będą się również skupiały na unowocześnianiu i rozbudowie posiadanych boi pomiarowych.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2010 jako projekt badawczy.

## 6. LITERATURA

OTT, S. & MANN, J. 2000. An experimental investigation of the relative diffusion of particle pairs in three-dimensional turbulent flow. *J. Fluid Mech.* 422, 207-223.

SREENIVASAN, K. R. 1995. On the universality of the Kolmogorov constant. *Phys. Fluids* 7, 2778-2784.

HEPPE, B. M. O. 1998. Generalized Langevin equation for relative turbulent dispersion. *J. Fluid Mech.* 357, 167-198.

### EXAMINATION OF DISPERSION OF SMALL OBJECTS FOR THE NEEDS OF MARINE GEOINFORMATIC SYSTEMS

KEY WORDS: pair dispersion, turbulence, SAR

#### Summary

Turbulent mixing of liquids and gases is ubiquitous in nature. It is the basis of all industrial fluid mixing processes, and determines the spread of pollutants or bioagents in the atmosphere and oceans. A fundamental component of turbulent mixing is the separation of two adjacent fluid elements, *i.e.*, a pair dispersion. Despite of years of intense scientific inquiry, no clear understanding of this fundamental aspect of turbulence has emerged. One critical unresolved question is the extent to which the initial separation of the fluid particles influences their subsequent motion.

dr inż. Marek Przyborski  
e-mail: marekprzyborski@gmail.com