

**DYSPERSJA MAŁYCH OBIEKTÓW  
NA POWIERZCHNI MORZA W ASPEKCIE  
MORSKICH SYSTEMÓW GEOINFORMACYJNYCH\***

DISPERSION OF SMALL OBJECTS  
ON THE SEA SURFACE WITH REGARD  
TO NAVAL GEOINFORMATION SYSTEMS

**Marek Przyborski**

Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia

**Słowa kluczowe: dyspersja, turbulencja, SAR**  
Keywords: dispersion, turbulence, SAR

## Wstęp

Turbulencja jest zjawiskiem powszechnym w otaczającym nas świecie. Mamy z nią do czynienia gdy mieszamy kawę, do której dolaliśmy śmietankę, jak również obserwując ciągle 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 relatywna dyspersja nadal będzie liniowa w czasie.

---

\*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008–2010 jako projekt badawczy.

## 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 (Ott & Mann, 2000; Sreenivasan, 1995), podczas którego rejestrowane były trasy poruszania się małych elementów imitujących cząsteczki płynu. Uzyskane rezultaty odpowiadały przewidywaniom opartym na prawie Batchelora (1950), jednakże nie zaobserwowano prawa Richardsona-Obukova (Hepe, 1998). Pozostaje nadal otwarte 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 porzrzućani na powierzchni morza. Określenie w jakim stopniu ich początkowy rozrzut będzie miał wpływ na trajektorię ruchu poszczególnych rozbitków będzie miało decydujące znaczenie dla powodzenia akcji ratowniczej, czyli uratowania życia ludzkiego. Ratownictwo morskie wykorzystuje cyfrowe mapy nawigacyjne w procesie wypracowywania decyzji i podczas koordynacji akcji. System wspomagania podejmowania decyzji stosowany przy akcjach ratowniczych na morzu nie uwzględnia wielu danych środowiskowych, które mogą być kluczowe dla powodzenia całej operacji. Wynika to z faktu, iż elektroniczne mapy nawigacyjne nie dostarczają tego typu informacji, umożliwiają jednak dokładanie kolejnych warstw danych do istniejącej mapy. Ta możliwość daje sposobność aby wzbogacić istniejące mapy w bardzo precyzyjne dane środowiskowe, takie jak np.: kierunki i prędkości prądów morskich, kierunki i prędkości wiatrów, zasolenie temperatury wody i powietrza, jak również parametr niezbędny w procesie planowania akcji ratowniczej – dyspersja małych obiektów na powierzchni morza.

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. Eksperymenty takie 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 rysunkach 1, 2 i 3.

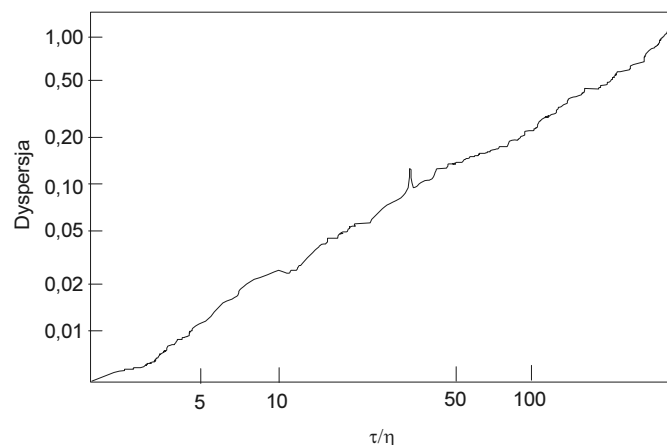
Analizując zgromadzone dane, badano ewolucję średniokwadratowej separacji pomiędzy dryfterami znajdującymi się na powierzchni morza. Superdyfuzja w przepływach turbulentnych znalazła swój początek w pracach Richardsona, który w roku 1926 zasugerował, iż powinna ona rosnać z  $t^3$ . Następnie wykorzystując elementy teorii Kołmogorowa, w 1941 r. Obukow stwierdził, iż w inercyjnym zakresie turbulencji jedynym znaczącym parametrem przepływu jest dysypacja na jednostkę masy  $\varepsilon$ , dyspersja par powinna rosnać zatem jak  $g\varepsilon^3$ , gdzie  $g$  jest stałą uniwersalną. Batchelor w 1950 r. rozwinął tę teorię, przewidując zarówno, że średniokwadratowa separacja powinna rosnać z  $t^2$  dla krótkich czasów oraz małej separacji początkowej. Definiując  $\Delta_i(t)$  jako separację dwóch obiektów w czasie  $t$  wzdłuż współrzędnej  $i$  i  $\Delta_{0i}$  jako separację początkową pomiędzy dowolnymi małymi obiektami np. na powierzchni morza, Batchelor przewidział że, dla  $\Delta_0$  w inercyjnym zakresie uzyskujemy:

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

gdzie:

- $C_2$  – jest uniwersalną stałą z wartością przybliżoną 2,13 (Sreenivasan, 1995),
- sumowanie jest wykonane przez powtarzalny index  $i$ ,
- $t_0$  może być interpretowane jako czas, po którym dwa elementy na powierzchni płynu pamiętają swoją relatywną prędkość, zakładając że poruszają się w tym samym wirze o wielkości  $\Delta_0$ .

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 Kołmogorowa  $\tau_\eta$ . 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 rysunku 4.

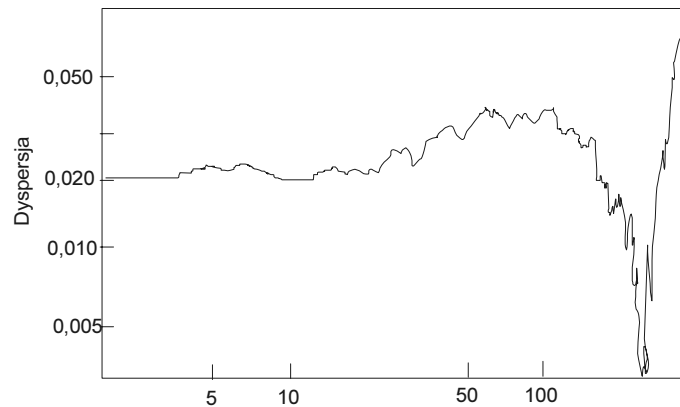


Rys. 4. Ewolucja dyspersji średniokwadratowej pomiędzy dryfterami

Uzyskane wyniki układają się zgodnie z  $t^2$ . Nie odnotowano zachowania przewidzianego przez Richardsona i Obukowa –  $t^3$ . Należy podkreślić, iż wykres na rysunku 4 nie jest dopasowaniem lecz rzeczywiście odzwierciedla wartości  $(11/3)C_2 (\varepsilon\Delta_0)^{2/3}t^2$ .

Na rysunku 4 czas przedstawiony jest w jednostkach  $\tau_\eta$ , dane dla różnych separacji początkowych odbiegają od prawa  $t^2$ , jeśli natomiast przeskalujemy czas zgodnie z  $t_0 = (D_0^2/e)^{1/3}$ , jak to przedstawiono na rysunku 5.

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



**Rys. 5.** Ewolucja dyspersji średniokwadratowej pomiędzy dryfterami dla czasu wyrażonego w jednostkach  $t_0$

## 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 turbulентne 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.

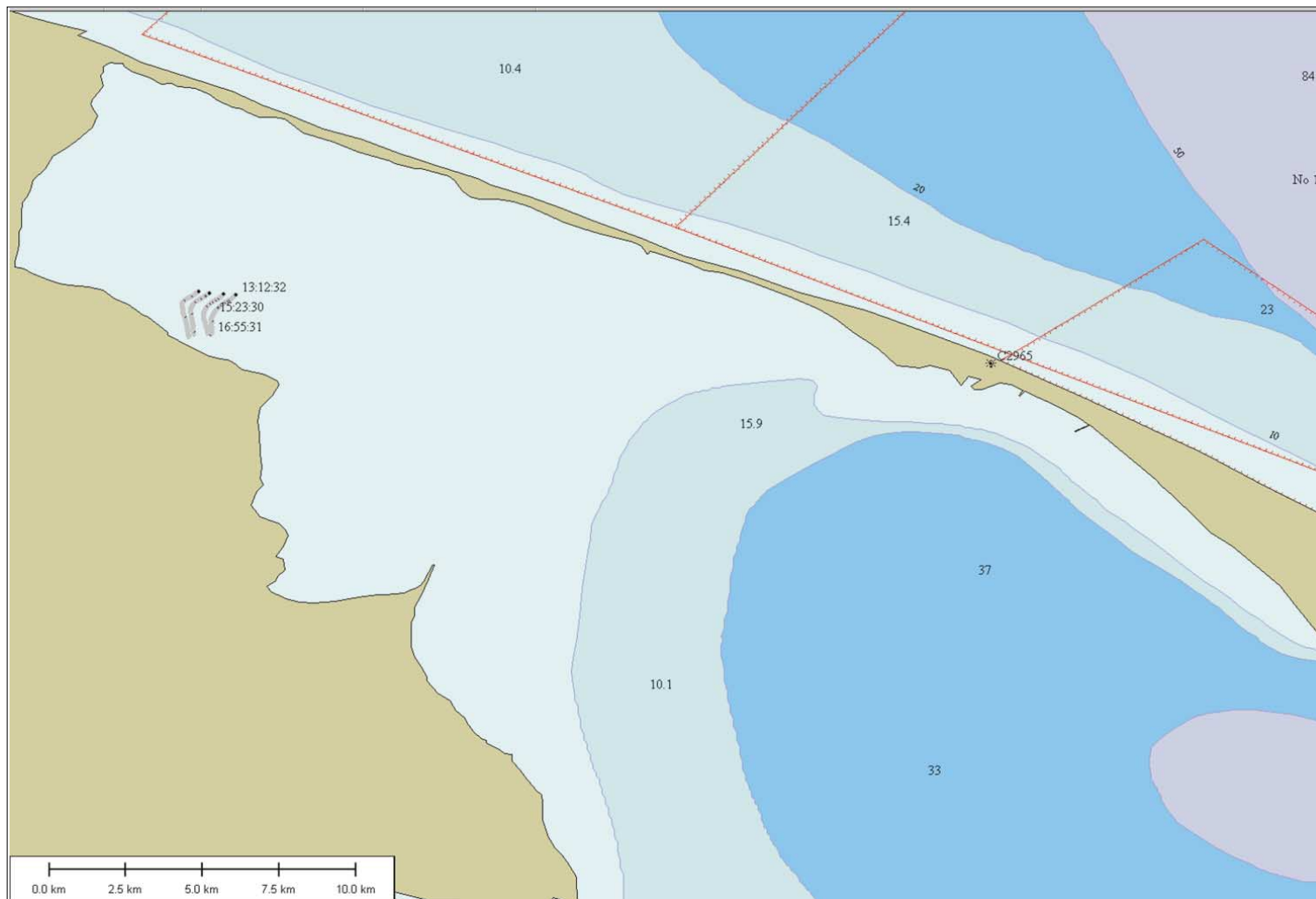
### Literatura

- Ott S. & Mann J., 2000: An experimental investigation of the relative diffusion of particle pairs in three-dimensional turbulent flow. *J. Fluid Mech.* 422, pp. 207-223.
- Sreenivasan K.R., 1995: On the universality of the Kolmogorov constant. *Phys. Fluids* 7, pp. 2778-2784.
- Hepe B.M.O., 1998: Generalized Langevin equation for relative turbulent dispersion. *J. Fluid Mech.* 357, pp. 167-198.
- Batchelor G.K., 1950: The application of the similarity theory of turbulence to atmospheric diffusion. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 76, pp. 133-146.

### Abstract

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

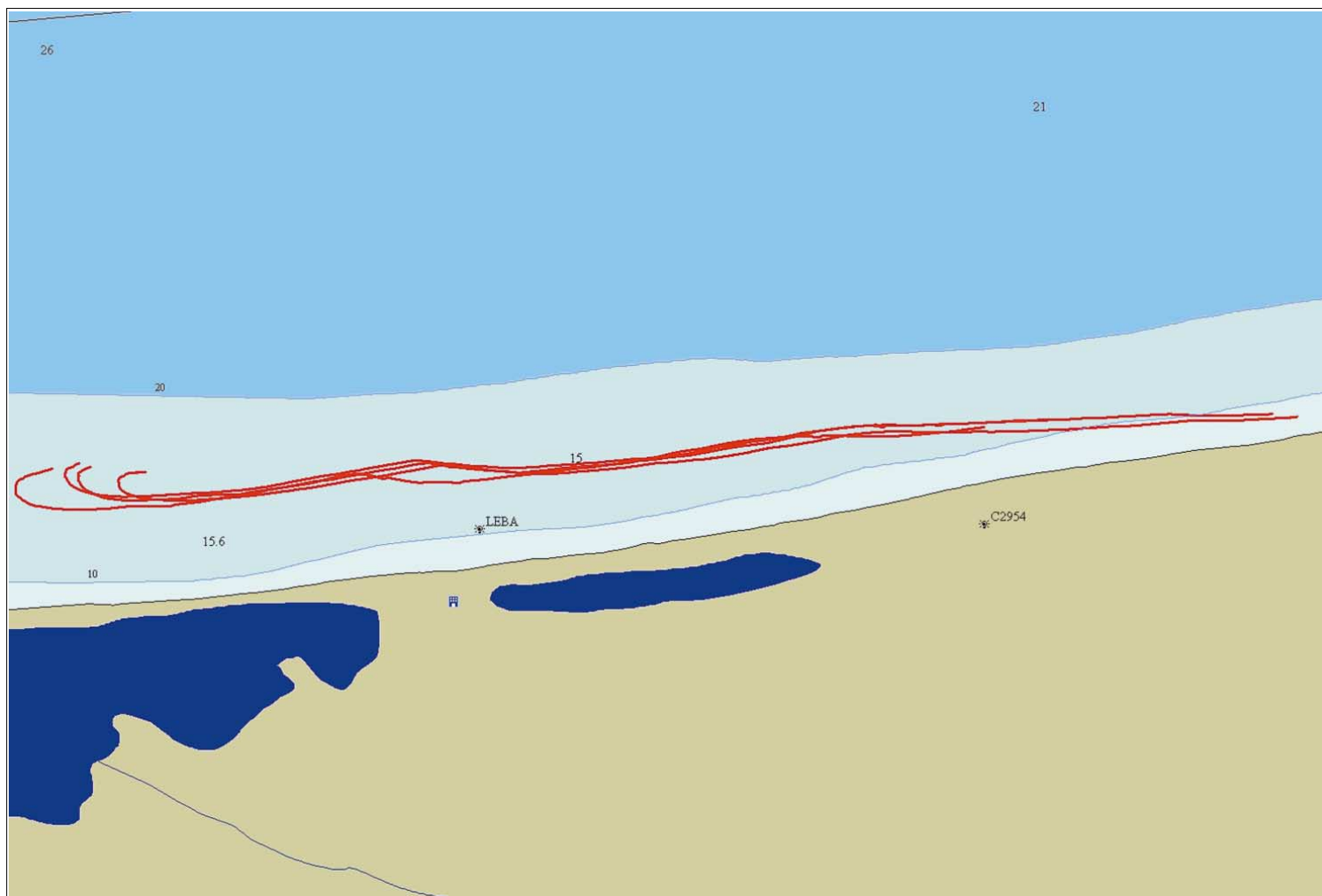
dr inż. Marek Przyborski  
marekprzyborski@gmail.com



**Rys. 1.** Trasy dryfterów w trakcie jednego z eksperymentów



**Rys. 2.** Trasy dryfleurów w trakcie kolejnego eksperymentu



Rys. 3. Kolejny przykład uzyskanych w eksperymentach tras dryfterów