

# Żeglarstwo, fizyka i komputery

Na podstawie artykułów: „Stars & Stripes” (*Scientific American*, Vol. 257, August 1987, Nr 2) i „Teoria żeglowania” (*Sport i Turystyka* 1970).

Andrzej WITOWSKI

Podobno historia lubi się powtarzać. Pod koniec ubiegłego wieku uważano, że w fizyce praktycznie nic nowego nie można już zrobić. Pozostawało do wyjaśnienia tylko kilka niezbyt istotnych zjawisk. A potem była teoria względności i teoria kwantów.

Podobna sytuacja miała miejsce w żeglarstwie na początku lat siedemdziesiątych. W klasie 12 metrów, w której rozgrywane są najbardziej prestiżowe regaty o Puchar Ameryki, i która technicznie jest najbardziej rozwinięta, wydawało się, że nie należy spodziewać się żadnych nowości technicznych. Wydawało się, że konstrukcja jachtu osiągnęła swoje optimum i sądzono, że tylko wyszkolenie oraz zdolności załogi będą decydowały o wygranej. Przebudzenie było bardzo przykre dla Amerykanów. W 1983 roku, po raz pierwszy od stu lat utracili Puchar. Zwyciężył jacht z Australii właśnie dzięki nowościom technicznym, a dokładnie – dzięki nowej konstrukcji kilu.

Urażona duma może stać się potężnym motorem postępu. Natychmiast znaleziono stosowne fundusze i zorganizowano zespoły odpowiednich ludzi. Postawiono jasny cel: zbudować jacht, który na pewno wygra. Niestety, w miarę szybko modelowanie komputerowe wykazało, że nie można w klasie 12 m zbudować jachtu wygrywającego zawsze, jedynie można spróbować zbudować taki, który ma ponad 50% szans wygrania. Powodem tego jest formuła klasy, do której zaliczany jest jacht. Klasa jachtu nie jest ustalana na podstawie sztywno ustalonych wymiarów i kształtów. Wzór, według którego oblicza się przynależność klasową, zawiera wiele parametrów:

$$K = (L + \sqrt{S_A} - F \pm B \pm D \pm P + A \pm H + C - k)P_f/2,$$

gdzie:

$K$  – wartość klasyfikacyjna w metrach lub stopach,

$L$  – długość,

$S_A$  – powierzchnia ożaglowania,

$F$  – wolna burta,

$B$  – współczynnik szerokości,

$D$  – współczynnik zanurzenia,

$P$  – współczynnik wyporności,

$A$  – współczynnik dla nawisów,

$H$  – współczynnik dla profilu kadłuba poniżej linii wodnej,

$C$  – współczynnik dla rufy skróconej,

$k$  – współczynnik dla żelaznego kilu,

$P_f$  – współczynnik zależny od rodzaju śruby napędowej.

Wartość liczbowa  $K$  zależy zasadniczo od  $L + \sqrt{S_A}$ . Każda klasa ma określoną najmniejszą i największą długość linii wodnej i odpowiednią do niej wyporność. Znaki + albo – zmieniają się stosownie do wielkości współczynników względem podstawowych standardów dla określonej klasy. Powierzchnia żagli jest mierzona według instrukcji pomiarowej i wchodzi do wzoru po pomnożeniu jej przez współczynnik zależny od rodzaju otaklowania. I tak np. dla kutra lub słupu o ożaglowaniu bermudzkiem (trójkątne) współczynnik ma wartość 1, a dla kecza o ożaglowaniu gaflowym wartość 0,90.

Z powyższego widać, mimo że wzór nie jest skomplikowany, dlaczego jego interpretacja zajmuje 25 stron drobnego druku, a konstruktorzy mają duże możliwości manewru. Tak więc do klasy może należeć

## Przygody matematyki wśród ludzi (I)

(na podstawie wykładów wygłoszonych na antenie *Radia Bis*)

## Skąd się wzięła nazwa „matematyka”?

Marek KORDOS

Matematyka zajmuje się trzema jeno obiektami: są to liczby, figury i nieskończoność. Tych wszystkich z Państwa, którzy zaprotestowali w tym miejscu, bo pamiętają, że pod tym hasłem uczono ich o całym mnóstwie innych rzeczy, pragnę uspokoić i poinformować, że wszystko inne w matematyce to tylko zmyślnie kombinacje tych trzech obiektów: liczb, figur i nieskończoności. Kombinacje utworzone po to, by liczby, figury i nieskończoność badać było wygodniej, no i – co tu ukrywać – żeby nie było monotennie, by było ciekawiej.

Matematycy najbardziej są dumni z owego badania nieskończoności, ona bowiem najpóźniej się w matematyce zadomowiła (bo dopiero niewiele ponad stulecie temu), choć zabiegała o to od co najmniej 2200 lat. Wacław Sierpiński, zmarły w 1969 roku, najbardziej bodaj znany matematyk polski, polecił nawet, by na grobie wyryto mu – jako jedyny obok imienia i nazwiska – napis *badacz nieskończoności*.

Nie każdy jednak, kto zajmuje się liczbami, figurami bądź nieskończonością, jest zaraz matematykiem. Księgowy czy informatyk zajmują się liczbami, architekt czy plastyk – figurami, teolog czy filozof – nieskończonością, a przecież są to zupełnie odrębne od matematyki formy ludzkiej działalności. Podobnie, tradycyjnie tylko – można powiedzieć przez grzeczność – nazywamy zainteresowanie liczbami i figurami mędrców chaldejskich i egipskich matematyką. To było coś zupełnie innego. Bo matematyka to bardzo określony sposób zajmowania się liczbami i figurami. W ogóle, każdą naukę określa nie tylko obiekt jej zainteresowań, lecz w większym nawet stopniu sposób badania, metodologia. I tak człowiekiem zajmuje się medycyna, psychologia, socjologia, ekonomia, historia, etyka i nikt nie ma wątpliwości, że są to różne dyscypliny.

Matematyka powstała jako odłam szerokiego, trwającego przynajmniej dwa tysiąclecia, ruchu intelektualnego zwanego pitagoreizmem. Jego wyznawcy w wieku -VI, czyli dwa i pół tysiąca lat temu, rozpropagowali doktrynę głoszącą, że w tym, iż świat nie rozpada się, musi być coś nadprzyrodzonego. Pełno przecież na świecie przeciwstawnych tendencji: ogień chce wszystko spalić, woda chce wszystko zatopić, żeby już nie wspominać o tym, co wycyniają ludzie. Tą siłą nadrzędną, którą się utrzymuje wszystko, nie wyłączając bogów – jak mówili, jest HARMONIA. A celem życia człowieka jest badanie owej harmonii. I życie człowieka tym bardziej jest godziwe, im dalej na drodze badania tej harmonii zawędrował.

Nie sposób nie zwrócić uwagi na fakt – cudowny zgola – że w owym (-VI) wieku pytanie o sens życia człowieka zostało postawione równocześnie na całej praktycznie kuli ziemskiej i w wielu jej miejscach udzielono na to pytanie bardzo ważkich odpowiedzi do dziś mających wielu wyznawców. I tak w Chinach żyli wtedy: Konfucjusz – twórca doktryny poszanowania zastanego i Lao-tsy – inicjator taoizmu, w Indiach Budda – twórca wielkiej religii wyrzeczenia (jak pisze papież: wielkiej religii ateistycznej) i Dżajna – twórca idei zwycięstwa nad sobą, jako celu człowieczego istnienia. Doktryny te to dziś idee życia ponad połowy ludzkości. Warto o tym pamiętać, że pitagoreizm, ustanawiający poznanie struktury świata jako sens istnienia, w takim właśnie powstał towarzystwie.

Narzędziem poznawania harmonii miała być dedukcja – pochodząca od Talesa idea wyprowadzenia drogą rozumowania wszelkiej wiedzy z niewielkiej liczby prostych i oczywistych założeń, zwanych aksjomatami. Wówczas pewność uzyskanej na tej drodze wiedzy była tak niepodważalna, jak oczywistość owych aksjomatów – była więc stosunkowo prosta do weryfikacji.

Pitagorejczycy twierdzili też, że wiedzą, gdzie najłatwiej harmonię jest dostrzec. Odpowiednimi dyscyplinami miały być: muzyka, arytmetyka, geometria i astronomia (używając ich dzisiejszych nazw). Co więcej – ich badania jeszcze we wspomnianym, -VI wieku, gdy byli jedynie grupką fanatyków zamieszkujących miasteczko na południu Półwyspu Apenińskiego – Krotone – przyniosły wyniki potwierdzające trafność tego wyboru. Okazało się, że muzyka i arytmetyka są ściśle związane.

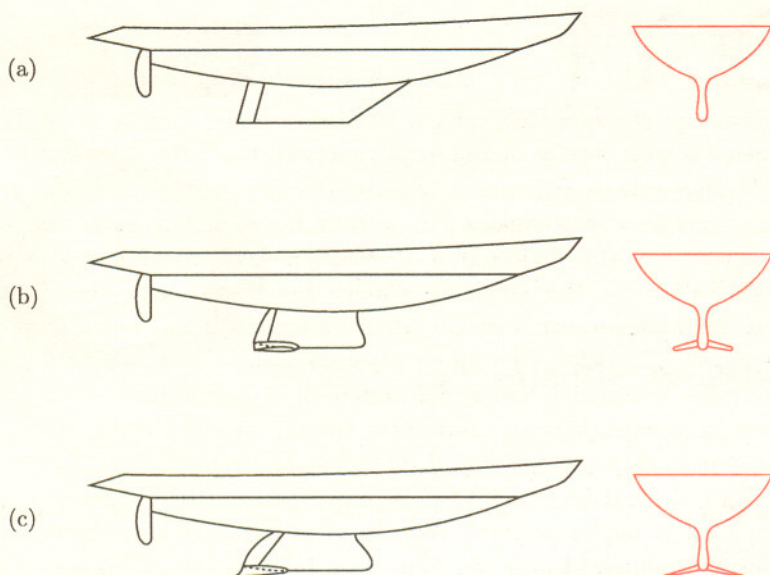
zarówno jacht krótki, lekki i o dużej powierzchni ożaglowania, jak i długi, ciężki, o małej powierzchni żagla. O tym, który z nich jest lepszy, decydują, oczywiście, obok wyszkolenia załogi, warunki meteorologiczne. Pierwsza konstrukcja jest lepsza na słabsze wiatry. Tak więc w zależności od rodzaju akwenu czy pory roku, raz jeden, a raz drugi typ konstrukcji będzie miał większe szanse na zwycięstwo. Co gorsza, przepisy regat wymagają dwóch niezależnych zawodów. W pierwszych, w których bierze udział wiele jachtów, wyłoniony zostaje „pretendent” do walki o tytuł. W kilka miesięcy później pretendent spotyka się z obrońcą pucharu w regatach jeden na jednego. Oczywiście, w tym czasie zazwyczaj ulegają zmianie warunki meteorologiczne i jacht, który z łatwością wygrał eliminacje, praktycznie może nie mieć szans na zwycięstwo we właściwych regatach. Taki układ ułatwia obronę. Wystarczy przygotować się tylko do typowych warunków meteo panujących w okresie „wielkiego finału”. Biorąc to wszystko pod uwagę prace prowadzono wielotorowo. Podział zadań wyglądał następująco:

- opracowanie nowej konstrukcji jachtu,
- optymalizacja parametrów i założeń jednostki, dająca największe szanse na wygraną,
- zebranie danych meteorologicznych i ich opracowanie pod kątem ustalenia typowych warunków meteo panujących na akwenu w terminach regat.

Realizacja każdego z tych punktów byłaby niemożliwa bez wykorzystania najnowocześniejszych komputerów. W ostatnim przypadku zastosowanie jest oczywiste. W drugim działano poprzez teorię gier i programy obliczające poruszanie się modelowego jachtu w określonych warunkach. Z porównania z danymi uzyskanymi przy użyciu prototypów okazało się, że otrzymane z programów wyniki nie przewidują prawdziwych prędkości i innych parametrów ruchu, natomiast poprawnie oddają różnice między modelami. Pozwoliło to na właściwą modyfikację konstrukcji jachtów pod kątem zminimalizowania oporów: dynamicznego, indukowanego, tarcia itp. Pełna modyfikacja prowadząca do żądanych rezultatów była wynikiem złożenia drobnych poprawek, które możliwe były do oceny tylko dzięki modelowaniu komputerowemu, a więc wspomnianym programom.

Przy ostatecznej konstrukcji wykorzystano programy używane przy konstruowaniu samolotów – oczywiście, z pewnymi modyfikacjami. W obu przypadkach chodzi przecież o przepływ cieczy (gazu) wokół zadanych kształtów i minimalizację oporów przy utrzymaniu siły nośnej czy też bocznego oporu w przypadku jachtu. Po przebadaniu wielkiej liczby różnorodnych kształtów, szczególnie części zanurzonej kadłuba, okazało się, że najlepszy jest taki, jak wprowadzony w jachcie australijskim. W lotnictwie już od dawna było wiadomo, że minimalny opór przy zadanej sile nośnej otrzymuje się w układach wielopłaszczyznowych (samoloty wielopłatowe). W konstrukcji jachtu omawianej klasy wprowadzenie dwóch kilów jest niemożliwe. Ale przecież dodatkowa płaszczyzna może być prostopadła do głównej. Tak powstały „skrzydełka” przy kilu (patrz rysunek). Również w nowoczesnych konstrukcjach samolotów pasażerskich można zobaczyć takie „skrzydełka” prostopadłe do płatów i umieszczone na ich końcu. „Australijski” pomysł skrzydełek należało tylko zmodyfikować. Wyniki i porównanie ewolucji kształtu kilu przedstawiamy na rysunku.

Oczywiście, również „komputerowo” przeprowadzono optymalizację ożaglowania. Jacht ma wiele kompletów żagli, które wykorzystuje się w zależności od warunków meteorologicznych i kursu względem wiatru.



Konfiguracja kadłub-kil dla „12-metrowych” jachtów określona jest przepisami klasowymi, które pozwalają na dużą dowolność w konstrukcji kilu. Do 1983 roku standardem był kształt trapezoidalny (a). *Australia II* (b) zdobyła Puchar Ameryki w 1983 r. dzięki innowacyjnej konstrukcji kilu łączącej „skrzydelka” ze zmienionym kształtem kilu (odwrócony przedni skos). Kształt kilu jachtu *Stars & Stripes* (c) jeszcze bardziej podkreśla ten trend: silniejsze ścięcia czołowe, grubsza część najniższa oraz dłuższe i szerzej rozstawione „skrzydelka”.

Wyższość techniki komputerowej nad klasycznym projektowaniem nie przejawia się tylko w możliwości uzyskania lepszych konstrukcji. Niebagatelne, a być może podstawowe znaczenie ma strona finansowa. Dla porównania: komputerowe przetestowanie modelu kosztuje około \$15, test na modelu w skali 1/3 kosztuje \$25 tys., badanie zaś prototypu \$0,5 mln do \$1 mln. W czasie prac badawczych wykonano 40 testów na modelach oraz przetestowano 5 modeli pełnowymiarowych. To daje skalę zaangażowanych środków finansowych i oszczędności możliwych dzięki modelowaniu komputerowemu.

Po kilku latach pracy (regaty odbywają się co 4 lata) powstała konstrukcja mająca sprostać zarówno umiarkowanym warunkom (wiatr i fala) eliminacji, jak i silnym wiatrom właściwych regat. W eliminacjach miał być użyty jacht z mniejszym balastem, czyli płycej zanurzony, a więc o krótszej linii wodnej i mniejszej powierzchni zmoczonej, ale o większej powierzchni ożaglowania. Następnie dzięki zwiększeniu balastu uzyskano jednostkę o dłuższej linii wodnej i zmniejszonym ożaglowaniu, czyli mogącą lepiej zachowywać się przy silnych wiatrach.

Opór tarcia daje 37% całkowitego oporu jachtu w czasie ruchu. Okazało się, że najlepiej sprawuje się czysta powierzchnia lakierowana i polerowana. Jednak dzięki specjalnym foliom firmy 3M o specjalnie ukształtowanych mikronowych rowkach udało się obniżyć i ten opór o 2% do 4%.

Jak pokazał ostateczny sprawdzian, założenia były słuszne i wykonanie prawidłowe. Jacht *Stars & Stripes* wygrał nie tylko eliminacje, ale i regaty główne i po krótkiej przerwie Puchar Ameryki powrócił w 1987 roku do Ameryki, a to dzięki fizyce, jak i komputerom. W tym roku (1995) trwa dalszy ciąg tej pasjonującej historii. W styczniu rozpoczęły się regaty eliminacyjne na wodach zachodniego wybrzeża Stanów Zjednoczonych.

Jeśli dwie jednakowe i napięte jednakową siłą struny mają stosunek długości 1:2, to równocześnie potrącone brzmiać zgodnie, harmonijnie. Podobnie jest, gdy stosunek ten jest 2:3 czy 3:4. Nie jest tak jednak dla 4:5. Spostrzeżenie to (wymienione współbrzmienia dziś nazywamy oktawą, kwintą i kwartą) kazało ideologicznie nastrojonym pitagorejczykom zakrzyknąć: *wszystko jest liczbą*, co wykląda się tak, że harmonia realizuje się jako stosunek liczb naturalnych i tym jest pełniejsza, im liczby te są mniejsze. Wyciągnęli z tego pitagorejczycy mnóstwo poprawnych, lecz też i naciąganych wniosków, ale to już inna sprawa. Decydujące znaczenie ma fakt, że spotkało ich nieszczęście: jakiś zapalony badacz zaczął badać harmonię, jaką tworzą bok i przekątna kwadratu, i stwierdził, że – w sensie podanym przed chwilą – nie tworzą żadnej: ich stosunek nie jest stosunkiem żadnej pary liczb naturalnych.

Po ogromnym sukcesie – natychmiast niemal (odstęp był około pięćdziesięciu lat) całkowita klęska: ktoś bowiem ośmieliłby się odmówić kwadratowi harmonijnej budowy.

Klęska dzieli – pitagorejczycy (wówczas już ruch intelektualny obejmujący całą Grecję) podzielili się. Sposób podziału można było łatwo przewidzieć. Jedni uznali, że w tej klęsce kryje się mistyczna tajemnica niepoznawalności i należy wsłuchiwać się w naszeptywanie nadprzyrodzonego i poświęcić się medytacji odkrytej sprzeczności – nazwali się *akuzmatykami*, co tłumaczy się jako *nasłuchujący, uczniowie*. Drudzy byli zdania, że sprzeczność musi się dać rozwiązać siłą intelektu. Oni nazwali się *matematykami*, co po grecku znaczyło *uczeni, nauczyciele* – piękna, ale i zobowiązująca nazwa.

Matematycy zresztą też wyznawali dwie opcje. Jedni mówili *z tymi liczbami to pomyłka, liczby należy zostawić kupczykom – wszystko jest figurą*. Im zawdzięczamy np. wprowadzenie złotej proporcji podziału ciała w rzeźbie greckiej, jak też obecną na flagach większości państw gwiazdę pięcioramienną – symbol matematyków noszony potem przez stulecia jako medalik (taka gwiazda – pentagram – ma w sobie całe mnóstwo złotych proporcji).

Ale byli i drudzy. Ci twierdzili, że należy ulepszyć pojęcie liczby tak, aby przywrócić słuszność pierwotnemu zawołaniu pitagorejskiemu (nie kwestionując zresztą znaczenia proporcji figur).