

Czy wiosło może być lepsze od śruby?

W tym odcinku zajmiemy się problemem napędu jednostek pływających. Oczywiście, będziemy mówić o rozwiązaniach nietypowych i mało znanych. Mamy tu na myśli napęd elektromagnetyczny oraz napęd za pośrednictwem propellera śliskowego.

Jak wiadomo, do napędu jednostek pływających stosuje się obecnie prawie wyłącznie śruby napędowe, które doskonale zdają egzamin zarówno na morzach i oceanach, jak i w żegludze śródlądowej. Śruba napędowa daje możliwość napędu do przodu i do tyłu, po zmianie kierunku obrotów śruby. Ponadto buduje się śruby napędowe, których skok (nastawienie łopat) może być regulowany, co daje pełne możliwości dostosowania propellera do znamionowych warunków pracy siłowni. Wydawać by się mogło, że śruba jest idealnym propellerem, tym bardziej, że jej odmianę – śmigło stosuje się w samolotach i helikopterach.

Jednakowoż śruba ma bardzo istotną wadę, a mianowicie wywołuje silne zaburzenia wirowe płynu (cieczy lub gazu). Te zaburzenia są przyczyną strat. Z natury płynów wynika niemożność całkowitego wyeliminowania zaburzeń wirowych, lecz istnieją szanse ich ograniczenia. Interesującym przykładem naturalnym jest delfin, który dzięki odpowiedniemu kształtowaniu ciała oraz bogato unerwionej i umięśnionej skórze niemal całkowicie eliminuje zaburzenia wirowe wody.

W związku z tym delfiny z największą łatwością „dotrzymują kroku” nawet najszybszym transatlantykowi posiadającym gigantyczne siłownie.

Niestety, pomimo interesujących badań nie udało się całkowicie odtworzyć technicznie metody pływania delfinów. Na drodze stoi komplikacja. Po prostu, delfiny dysponują supermózgiem, który potrafi tak sterować ich ciałem, że prują one toń morską lepiej niż przysłowiowa strzała, bez widocznego wysiłku z ich strony.

Zastanówmy się, jak z fizycznego punktu widzenia należy postąpić, aby zmniejszyć nieuniknione zawirowania płynu, przyjmijmy wody, podczas napędu za pośrednictwem dowolnego propellera. W tym celu wystarczy zauważyć, że propeller powinien w minimalnym stopniu wpływać na ruch wody. Z zasady zachowania pędu wynika, że masa odrzucanej wody powinna być możliwie duża, a marzyłoby się, żeby ta „odrzucana” masa wody była w bezruchu, w stosunku do pozostałej części płynu. Gdyby propeller odpychał się od wody w taki sposób, jak np. koło samochodu odpycha się od drogi (bez poślizgu), wówczas napęd lądowy i wodny byłyby tożsame pod względem sprawności. W takim przypadku masa jedno-

stki napędzanej, w stosunku do masy Ziemi, jest zupełnie pomijalna.

Prawda jak szybko odpowiada na pytanie fizyka? Od razu widać, co trzeba uczynić i jest to niezmiernie cenne, a nawet bezcenne. Jednakże z wiedzy tej nie wynika bezpośrednio sposób technicznego rozwiązania problemu. W praktyce budowano i buduje się ogromne propellery. Z pewnością Czytelnicy pamiętają z ilustracji i fotografii ogromne koła łopatkowe dawnych statków, które stanowiły konstrukcyjny etap pośredni między wiosłem a śrubą. Warto tutaj powiedzieć, że śruby statków też bywają ogromne. Ich średnice przekraczają niejednokrotnie siedem metrów! Jest to spowodowane nie tylko wielkością statków, lecz przede wszystkim dążnością do koniecznego „uruchamiania” możliwie dużej masy wody i nadawania jej masie małego przyspieszenia.

Zwróćmy jednak uwagę na ideę wiosła. Ten prehistoryczny wynalazek jest, jak wszystko co proste, genialny. Pióro wiosła porusza się niemal po prostej i pracuje w wodzie tylko w jedną stronę; wówczas natrafia na opór wody. Ruch w przeciwną stronę odbywa się ponad wodą, co radykalnie zmniejsza straty. Widać tutaj bezpośredni związek z kołem łopatkowym – wykonać pracę niemal po prostej i wyjść z ośrodka. Warto dokładnie zaobserwować nie tylko pracę wiosłarza współczesnej łodzi sportowej, lecz również zwrócić uwagę na konstrukcję napędu wiosłowego. To cały złożony mechanizm sterowany i uruchamiany przez wiosłarza. Mowy nie ma o tym, żeby ten sam wiosłarz mógł napędzać za pomocą śruby, np. kajak, z taką prędkością jak przy użyciu wiosła. Czyli że wiosło może być lepsze od śruby, ponieważ przy jego użyciu udaje się ograniczyć zawirowania wody. Ograniczyć, ale nie wyeliminować.

Czytelnik powinien zwrócić uwagę, że na płytkich zbiornikach wód zamiast wiosła do ręcznego napędu często używa się, zdaloby się, prymitywnego drąga. Jednakże podstawy fizyki są intuicyjnie znane ludziom parającym się pływaniem już od prawieków. Pozornie prymitywny drąg daje pełny opór dla dowolnej działającej siły i taki napęd jest o wiele skuteczniejszy od innego napędu, znajdującego opór w cieczy. Proponujemy głębsze przemyślenie tych, zdawałoby się, oczywistych spraw, chociażby w tym celu, żeby móc z pełną świadomością rzeczy konstruować nawet zabawkowe pływadełka.

Napęd elektromagnetyczny

Przed wielu laty publikowano na łamach „Młodego Technika” opis napędu elektromagnetycznego do jednostek pływających. Była to swego rodzaju rewelacja, ponieważ po raz pierwszy zasto-

sowano taki napęd do modelu poruszającego się w wodzie morskiej. Być może ktoś z Czytelników chciałby w domowym zaciszu skonstruować zabawkę pływającą zupełnie bez szmeru, bez śruby, wiosła i koła łopatkowego, krótko mówiąc – w sposób tajemniczy. Podstawy do takiego niezwykłego napędu daje elektrodynamika, a dokładniej mówiąc, pompa elektromagnetyczna zaproponowana przez Michała Faradaya. Powiem tylko, że współcześnie pompy elektromagnetyczne stosuje się do wywoływania intensywnej cyrkulacji stopionych metali w niektórych elektrowniach jądrowych. Ciekły metal pełni tutaj rolę wymiennika ciepła. Poza tym, co może być interesujące, trwają intensywne prace, między innymi w Japonii, nad konstrukcją elektromagnetycznej pompy wody morskiej do napędu statków.

Wiadomo, że siła działająca na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym jest określona przez formułę: $F = B \cdot I \cdot L$, gdzie F – siła, B – indukcja magnetyczna, I – natężenie prądu w przewodniku, L – długość przewodnika w polu magnetycznym. Zakładamy tutaj, że linie sił pola magnetycznego są prostopadłe do przewodnika z prądem.

Woda, a szczególnie woda morska, jest elektrolitem, który ma własność przewodzenia prądu elektrycznego. Pod wpływem prądu w elektrolicie poruszają się jony obu znaków. Warto wiedzieć, iż przewodnictwo elektrolitów jest o wiele rzędów słabsze niż przewodnictwo metali. Na przykład, przewodnik miedziany o przekroju 1 mm^2 i długości 1 m zastępuje „przewodnik” elektrolityczny o przekroju 1 m^2 i długości 1 m . Czyli opór elektrolitów dla prądu jest około milion razy większy od oporu metali. Oczywiście, ta liczba jest tylko orientacyjna.

Rozpatrzmy teraz rys. 1, który ilustruje działanie pompy elektrolitycznej. Prostopadle do biegunów silnego magnesu są umieszczone dwie elektrody. Elektrody wraz z magnesami (biegunami) tworzą rurę o przekroju prostokątnym. Całość jest zanurzona w wodzie morskiej. Prąd płynący między elektrodami powoduje przepływ jonów, prostopadle do linii sił pola magnetycznego. Prąd elektryczny to właśnie ruch jonów. Pole magnetyczne spycha jony w kierunku poosiowym rury. W wyniku tego woda w rurze jest przyspieszana, ze zwrotem zależnym od polaryzacji elektrod. Dodajmy, że jony w elektrolitach nie poruszają się oddzielnie lecz są oblepione (dosłownie) polarnymi dipolami wody, a przez to efektywna masa przyspieszanego elektrolitu jest dużo większa od masy samych jonów.

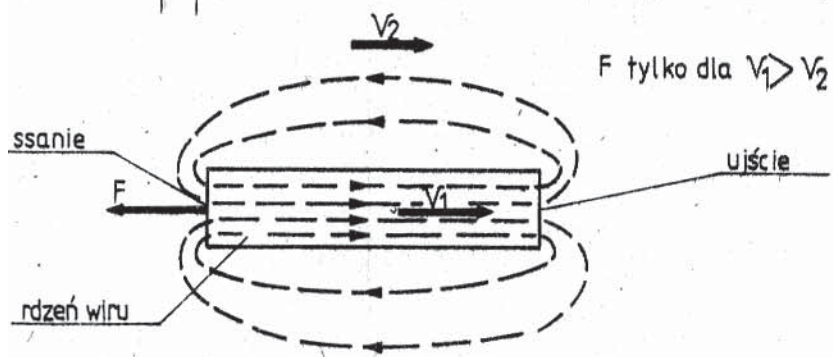
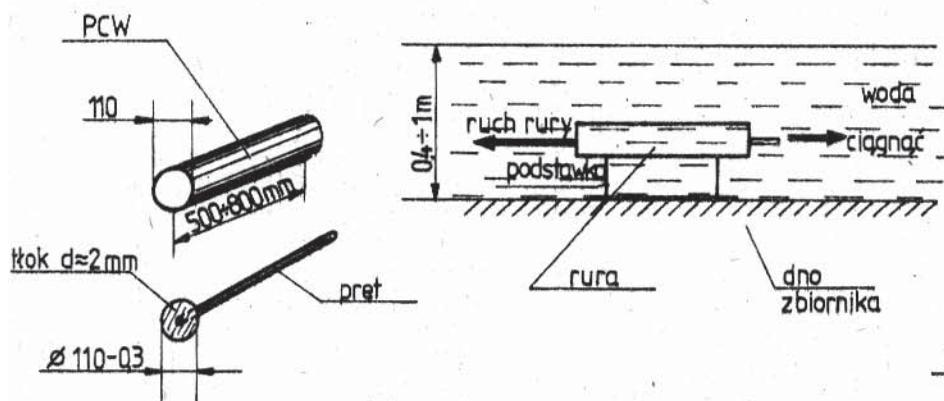
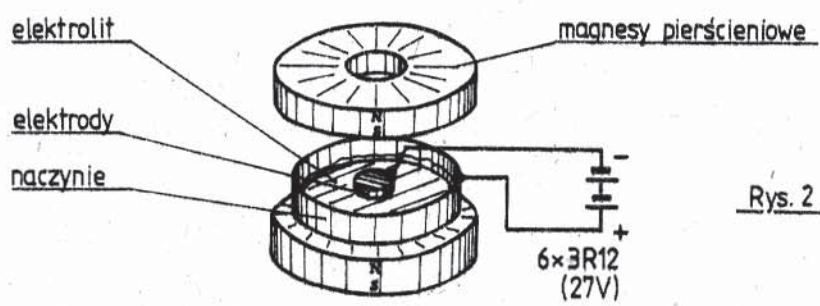
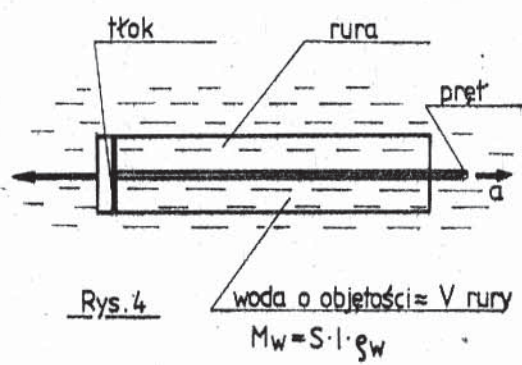
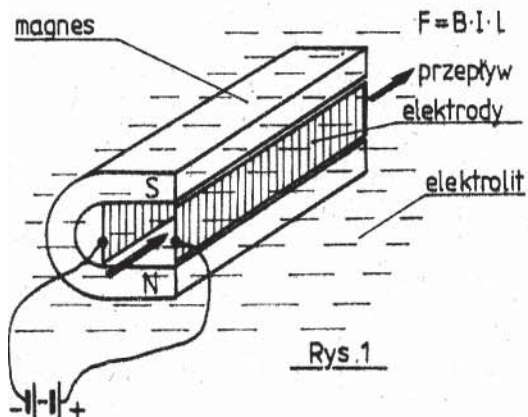
Ponieważ budowa jakiejś zabawki z napędem za pomocą liniowej pompy jonowej wymaga zastosowania bardzo silnych magnesów płytkowych, dla majsterkowiczów o skromniejszym zapleczu polecamy doświadczenie ilustrujące samą

zasadę pracy pompy – patrz rys. 2. Między dwoma silnymi magnesami pierścieniowymi umieszczono szklane naczynie z dwiema współosiowymi, koncentrycznymi i niemagnetycznymi elektrodami metalowymi. W naczyniu znajduje się silnie zakwaszona woda, posypana drobinami korka lub styropianu. Po włączeniu prądu (możliwie silnego) woda zaczyna krążyć w naczyniu, co doskonale uwidaczniają drobinny korka. Oczywiście, do napędu zabawki pływającej należy zastosować pompę liniową i również zakwaszyć wodę w większym naczyniu, np. w dużej plastikowej wanience lub miednicy. Pompa powinna być całkowicie zanurzona w wodzie, a bateria umieszczona wewnątrz pływakielka. Rzecz jasna, siły są tutaj znikome, ale wystarczające do poruszenia modelu. Cały problem wynika ze słabego przewodnictwa elektrolitów.

Wydawałoby się, że jony w elektrolicie poruszają się całkiem poosiowo od osi rury. Tak nie jest, albowiem ruch jonów jest złożeniem dwóch ruchów – od pola elektrycznego i od siły elektrodynamicznej. Po prostu, jony nie są związane sztywno z cieczą i w związku z tym zbaczą na elektrody. Ten fakt wystarczy przemyśleć, co doprowadzi do wniosku, że nawet w pompie liniowej powstają mikrozawirwania cieczy.

Zastosowanie pompy elektrolitycznej do napędu to sprawa wyrafinowanej techniki. Zasadniczym problemem są tutaj straty energii na ciepło Joule'a, które są ogromne w elektrolitach. Wystarczy powiedzieć, że pompy elektrodynamiczne siłowni jądrowych mają sprawność niewiele przekraczającą 40%, a przecież pracują one na ciekłych metalach, których opór elektryczny jest bez porównania mniejszy niż opór elektrolitów. W praktycznych rozwiązaniach napędu elektrodynamicznego można wykorzystywać zjawisko łuku elektrycznego, który powstaje po przebiciu elektrycznym warstwy słabszego elektrolitu, jakim jest woda morska. Elektrodynamiczna pompa z łukiem elektrycznym może być stosowana i w wodach słodkich. Poza tym, napęd statków przy użyciu omówionej pompy ma same zalety w porównaniu do innych napędów i jest najzupełniej prosty. Poważne szanse rokują tutaj niezwykle silne i nie pobierające prądu magnesy nadprzewodnikowe (elektromagnesy), które stosują Japończycy w swych modelach eksperymentalnych.

Trzeba jeszcze powiedzieć, że woda przyspieszana w długiej rurze, ciągnącej się przez całą zanurzoną część statku, wywołuje dodatkowy efekt dynamiczny, o którym nie pisano przed laty. Ten efekt sprawdzimy w prostym doświadczeniu, które powinno się stać przyczynkiem do skonstruowania przez Czytelników odmiany napędu ręcznego. Tym razem jest to raczej niezabawowy problem dla wodniaków z pomysłami.



Doświadczenie

Do doświadczenia będzie potrzebny odcinek rury z tworzywa, np. kanalizacyjnej o długości około 0,8 m i średnicy około 100 mm, oraz cienki tłok z prętem. Eksperyment można wykonać w basenie, czy w innym zbiorniku wodnym albo nawet w wannie. Wymiary rury są orientacyjne. Wykonywano doświadczenia rurami od średnicy 30 mm i długości kilkunastu centymetrów. Przy zastosowaniu rury według opisu efekt jest silny i wyraźny. Szkic doświadczenia znajduje się na rys. 3. Tłok, wykonany ze starej płyty gramofonowej, albo z innego cienkiego materiału, przybijamy gwoździem drewnianego pręta długości około 0,9 m. Średnica tłoka powinna być nieznacznie mniejsza od wewnętrznej średnicy rury (ruch suwliwy bez oporu). Zbyt duża szczelina może zniweczyć efekt, natomiast zbyt mała szczelina może spowodować zacieranie tłoka o rurę, co spowoduje pociągnięcie rury za tłokiem. Po zanurzeniu rury do wody dość szybkim ruchem wyciągamy z niej tłok. Wtedy powinniśmy odczuć znaczny opór wody. Wbrew oczekiwaniom, bez widocznych przyczyn, rura zaczyna poruszać się przeciwnie do zwrotu ruchu tłoka i to dość gwałtownie. Po kilku próbach łatwo stwierdzimy, że tłok bez rury, poruszany ze zbliżoną prędkością w wodzie, stawia znacznie mniejszy opór.

Siła oporu dla ruchu tłoka jest złożona z dwóch sił – siły oporu masowego wynikającej z drugiej zasady dynamiki i siły oporu czołowego, którą dość trudno sprecyzować ilościowo, w przypadku naszego doświadczenia. Dla pełnego zrozumienia siły oporu masowego przeanalizujmy rys. 4. Tłok poruszany w rurze z przyspieszeniem „a” napotyka opór dynamiczny od bezwładności masy wody w rurze. Przyjmijmy, że masa wody w rurze, po czynnej stronie tłoka, wynosi „m”, zaś przyspieszenie wody i tłoka wynosi – „a”. Wtedy siłę określi formuła: $F = m \cdot a$. dla przykładu, weźmy rurę o przekroju 100 cm^2 i długości 4 m. Załóżmy przy tym, iż tłok znajduje się z jednej strony rury, tak jak na rys. 4. Masa wody po czynnej stronie tłoka wyniesie w przybliżeniu $m = s \cdot l \cdot w$,

$$m = 100 \cdot 400 \cdot 1 = 40\,000 \text{ g} = 40 \text{ kg.}$$

Nadając tej masie realne przyspieszenie $a = 5 \text{ m/s}^2$ otrzymamy siłę oporu masowego $F = 40 \cdot 5 = 200 \text{ N}$. Jest to dość znaczny opór, powstający w zasadzie bez wywoływania ruchu wirowego wewnątrz rury, albowiem tłok porusza się zgodnie z ruchem słupa wody w rurze. Wyraźne zawirowania powstają dopiero poza obrybem rury. U wylotu rury powstaje szereg drobnych wirów oraz, przede wszystkim, indukuje się duży wir otaczający zanurzoną rurę, o rdzeniu wewnątrz rury – rys. 5.

Powstałe intrygujące pytanie – skąd się bierze siła formalnie ciągnąca rurę, przeciwnie do zwrotu prędkości wody w rurze? Siła ta występuje do czasu zrównania prędkości przepływu wewnątrz

rury z prędkością przepływu na zewnątrz rury. Oczywiście, wraz z maleniem prędkości przepływu wewnątrz rury maleje i siła ciągnąca rurę. Niestety, autorowi nie udało się w pełni objaśnić tego efektu, po bezskutecznych poszukiwaniach wyjaśnienia w literaturze fachowej.

Wyobraźmy sobie teraz, że nasza rura jest związana sztywno z jednostką pływającą, a przyspieszenie tłoka w rurze powoduje siłownia. W takim przypadku na jednostkę pływającą podziała pojedynczy impuls siły. Postawmy teraz warunek cykliczności ruchów tłoka w rurze. Oczywiście, przy ruchu powrotnym tłok powinien „zniknąć”. W takim zastosowaniu otrzymamy swoisty napęd jednostki pływającej z wydatnie ograniczonymi zaburzeniami wirowymi wody. Zwróćmy też uwagę, że na tłok działają dwa efekty – opór masowy i opór czołowy. Siły od tych oporów przenoszą się poprzez reakcję na statek. Ta reakcja jest zgodna, co do zwrotu, z siłą ciągnącą rurę przymocowaną do kadłuba. Siła napędowa jest wypadkową tych trzech sił. Powstają więc bardzo korzystne warunki napędu. Nietrudno obliczyć, że dla przeciętnego statku opór masowy, np. dla tłoka o przekroju 2 m^2 pracującego w rurze o długości 50 m, przy przyspieszeniu tłoka 1 m/s^2 , wyniesie około 100 000 N. Tak małe przyspieszenie wody, o tak dużej masie, jest nie do zrealizowania przy innych sposobach napędu; nawet przy użyciu największej śruby.

Pewnie statku budować nie będziemy, ale możemy się pokusić o budowę łodzi z napędem tłokowym wg naszych objaśnień. Do tego celu wystarczy rura kanalizacyjna z PCW o średnicy 105 mm. Z oczywistych powodów średnica rury może być większa, co tylko poprawi efekt. Rzecz jasna, dla prostoty taki napęd powinien być ręczny.

Jak ten problem rozwiązać technicznie, nie na papierze, lecz w konstrukcji?

To pytanie pozostawiamy Czytelnikom, mając nadzieję, że ktoś zbuduje łódź z nietypowym napędem. Gdyby tak się stało prosimy o kontakt z redakcją. W ten sposób wychodzimy naprzeciw oczekiwaniom tych Czytelników, którzy oprócz pomysłów mają odwagę ich samodzielnej realizacji praktycznej. Pamiętajmy jednak o najważniejszym. Wszystko, co nowe jest tajemnicze i lubi zaskakiwać nieoczekiwanym. Tak właśnie się nam zdarzyło podczas badania przepływów przez zanurzone rury. Choć nie wszystko zostało wyjaśnione, to jednak wiadomo, że napęd z tłokiem w rurze daje realną szansę odzyskania części energii wiru, indukowanego przyspieszonym ruchem wody w zanurzonej rurze, przy jednoczesnym ograniczeniu zawirowań lokalnych i bardzo znacznym oporze dla ruchu tłoka. Wir, biorąc od nas energię, nieoczekiwanie okazał się skłonny do częściowego jej zwrotu.

Włodzimierz Augustyniak