

Dydaktyczne modele Bani Herona

Adam Buczek

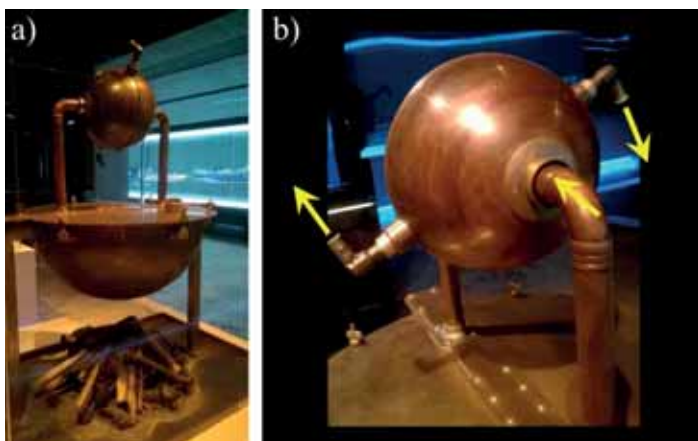
W artykule przedstawiono modele bani Herona, które można łatwo wykonać w ramach szkolnych projektów i zajęć, a nawet zadań domowych. Mimo prostoty pokazują ideę działania jednego z pierwszych silników cieplnych. Ich konstrukcja może być źródłem inspiracji do rozważań na temat praw fizyki i zasad współczesnej inżynierii. Przytoczone przykłady znajdują zastosowanie praktycznie na każdym poziomie nauczania.

1. Wstęp

Banię Herona uznaje się za jeden z pierwszych układów wykorzystujących energię pary wodnej do wywołania ruchu obrotowego. Nazwano ją od imienia uczonego, który u zarania naszej ery opisał jej konstrukcję w dziele „Pneumatyka”, choć inspirację czerpał prawdopodobnie z wcześniejszych źródeł [1]. W każdej z sytuacji była to jedna z pionierskich konstrukcji maszyny cieplnej, gdyż do jej napędu używano wspomnianej pary powstałej z zagotowania wody w naczyniu umieszczonym nad paleniskiem.

Tworzony gaz przekazywano do wirującego zbiornika o kształcie sferycznym (bani), z którego mógł uchodzić poprzez dwie kątowe rurki umieszczone na obwodzie. Rury dostarczające parę pełniły rolę osi obrotu, a moment pędu gazu uchodzącego wylotami powodował, na mocy III zasady dynamiki, powstanie momentu siły i obrót bani. Dzisiaj jej modele można podziwiać w muzeach – na przykład we wrocławskim Hydropolis (fot. 1).

Repliki bani dostępne są również w handlu [2]. Niemniej dla fizyka największą przyjemnością jest możliwość samodzielnej budowy i uruchomienia podobnego urządzenia. Konstrukcja ta doczekała się wielu realizacji mniej lub bardziej wiernych oryginałowi. Aby się o tym przekonać wystarczy wpisać „bani Herona”, „Hero’s engine” lub „Aeolipile” w serwisach internetowych.



Fot. 1. Model bani Herona znajdujący się w Hydropolis we Wrocławiu: a) całość, b) zbliżenie części rotującej – w tej perspektywie przeciwnie do wskazówek zegara. Strzałki pokazują kierunki ruchu gazu.

Najbardziej „egzotyczne” modele napędzane są ciekłym azotem [3]. Medium to, będąc w warunkach normalnych w stanie ciągłego wrzenia, nadaje się do tego idealnie. Duża ilość mgły powstającej ze skroplonej pary wodnej czyni te realizacje bardzo efektownymi. Jednak większość modeli operuje z użyciem ognia i wrzącej wody.

Zdarzają się układy dość wierne oryginałowi z poziomą osią obrotu i osobnym zbiornikiem do tworzenia pary [4]. Ale częściej tworzy się ją we wnętrzu rotującej i podgrzewanej bani, co upraszcza konstrukcję. Tutaj popularne są rozwiązania z pionową osią obrotu [5]. Podobne projekty można zrealizować przy pomocy elementów szklanych [6]. Warte uwagi są pomysłowe rozwiązania z poziomą osią rotacji [7, 8]. Dydaktyczną zaletą szklanych modeli jest możliwość obserwacji wnętrza bani: wrzącej wody, powstających bąbelków pary i drogi jej ujścia.

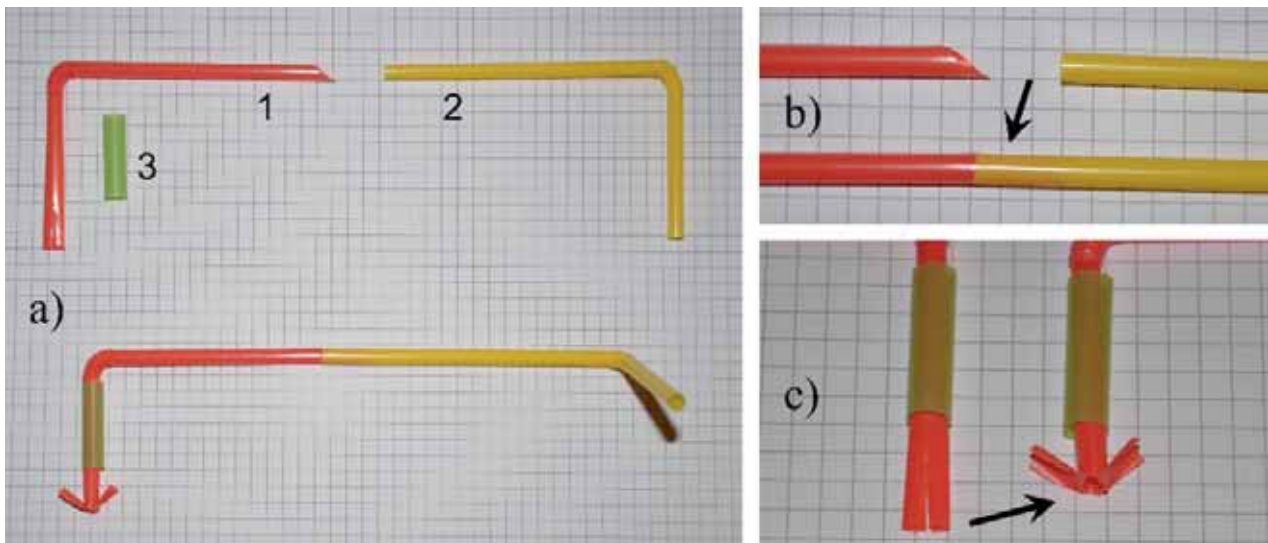
Niewątpliwie najłatwiejsze do wykonania są projekty wykorzystujące przedmioty codziennego użytku. Tutaj chyba najprostszym jest model z aluminiową puszką po napojach, gdzie rolę dysz wylotowych pełnią otwory wykonane i stosownie ukierunkowane za pomocą igieł lub cienkich gwoździ [9].

Wadą tej i wcześniej omawianych konstrukcji jest obecność albo ciekłego azotu, albo otwartego ognia, gorących elementów i pary wodnej co – jakkolwiek efektowne i bliskie oryginałowi – jest kłopotliwe z uwagi na bezpieczeństwo. Z tego względu atrakcyjny może być model analogiczny do ostatniego z opisanych, ale zamiast pary używający wody wyciekającej z puszki [10]. Stanowi przykład silnika, który został początkowo napełniony paliwem i „zużywa” je w trakcie pracy, analogicznie do napędu raketowego, co podkreślono w ciekawym opracowaniu „Pop Can ‘Hero Engine’”. Wraz z uwagami metodycznymi jest ono dostępne w materiałach NASA-education [11].

Idąc tropem bezpieczniejszych rozwiązań, można zbudować model z kubka i wygiętych słomek po napojach [12]. W ramach niniejszego artykułu przedstawiono kolejne trzy „bezpieczne” modele bani Herona napędzane sprężonym powietrzem. Różnią się wiernością oryginałowi, łatwością oraz czasem wykonania. Uczniowie, na różnych stopniach kształcenia, mogą je budować w ramach zajęć szkolnych, kółek zainteresowań lub zadań domowych.

2. Model słomkowy – najprostszy

Pierwszy z modeli można zbudować z użyciem trzech słomek, co pokazano na fotografii 2a. W jej górnej części przedstawiono poszczególne elementy, a na dolnej złożony układ. Zdjęcie wykonano na tle papieru w kratkę dla lepszej orientacji w rozmiarach. Dwie słomki o tych samych średnicach: czerwona (1) oraz żółta (2) powinny posiadać harmonijkowe kolanka umożliwiające wygięcie pod kątem 90° . Po złożeniu pełnią rolę części wirującej, przy czym element 1 jest wlotem a element 2 wylotem



Fot. 2. Model słomkowy: a) elementy składowe i złożony układ, b) sposób połączenia słomek 1 i 2, c) nacięcie i rozgięcie listków słomki 1 zapobiegające zsunięciu się elementu 3.

powietrza. Natomiast trzecia słomka – zielona (3) o nieco większej średnicy – jest „łożyskiem” umożliwiającym obrót.

Jeden z końców słomki 1 należy uciąć pod mniejszym kątem, co pozwala na jego trwale wciśnięcie do wnętrza słomki 2, przy zachowaniu drożności połączenia (fot. 2b). Po nałożeniu elementu 3 należy zapobiec jego zsunięciu. W tym celu odpowiadający mu koniec słomki 1 nacina się nieco i powstałe w ten sposób listki odgina na zewnątrz (fot. 2c). Ostatecznie część tę należy wsunąć do ust, a wargami szczelnie objąć element 3. W wyniku dmuchania układ słomek 1-2 powinien wirować. Ewentualne problemy wynikają zwykle z blokowania końcówki słomki 1 w ustach. Należy uczniów uczulić na ten szczegół.

Projekt ten pozwala na różne modyfikacje. Harmonijkowe kolanka słomek 1 i 2 umożliwiają zmiany kątów ich zagięć. W skrajnych pozycjach wpłynie to na kierunek obrotów. Ciekawą może być również obserwacja efektów związanych z modyfikacjami długości słomek 1 i 2.

W tym mocno uproszczonym modelu warto zauważyć brak samej „bani”. Przekonuje to uczniów, że ten sam rezultat można uzyskać przy bardzo różnych koncepcjach konstrukcyjnych. Wadą jest tutaj niesymetryczne położenie masy i powstawanie sił nieosiowych, czyli potocznie określane „bicie”, co również można poddać klasowej dyskusji.

3. Model słomkowy – z piłeczką

Drugi z proponowanych modeli, pokazany na zdjęciach 3, zawiera już banię, której rolę pełni pusta w środku piłeczka z tworzywa sztucznego – tutaj o kolorze niebieskim. Można ją nabyć jako wyposażenie dziecięcych baseników zabawowych. Ośią obrotu i wlotem powietrza jest słomka różowa (1). Natomiast rolę wylotów pełnią dwie pozostałe żółte (2, 3), których harmonijkowe kolanka wygięto pod kątem 90° . Wszystkie słomki mogą mieć te same średnice.

Na zdjęciu 3a pokazano elementy składowe, a na fotografii 3c złożony układ. Najpierw na obwodzie piłeczki należy wykonać w równych odstępach cztery otwory.

W ich symetrycznym umiejscowieniu pomóc mogą widoczne na większości takich produktów „szwy” technologiczne. Tworzywo piłeczki jest zwykle na tyle miękkie, że otwory dobrze przebija się zatemperowanym ołówkiem. Pomaga jego lekkie obracanie, podobnie jak w przypadku wiertła.

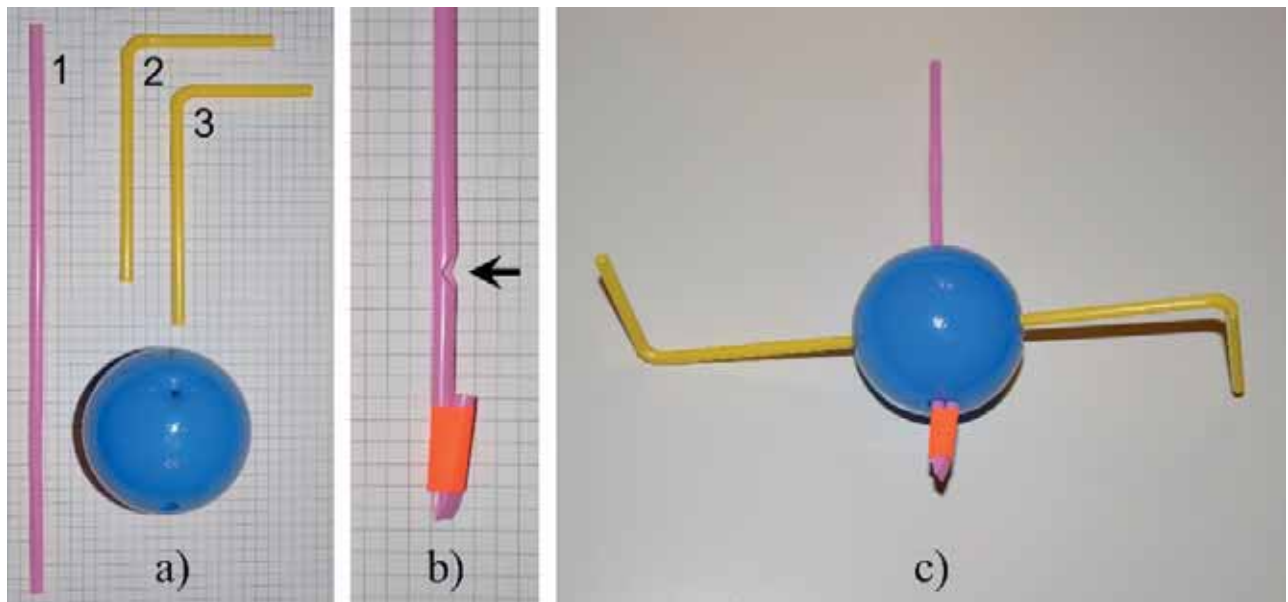
Parę naprzeciwległych przelotów można wykonywać jednocześnie: po wciśnięciu ostrza ołówka w pierwszy, wypycha się je przez drugi. Należy przy tym zachować ostrożność, aby uniknąć skaleczenia. Najprościej wykonywać otwory, gdy piłeczka jest szczelna i względnie twarda. Zatem przed tworzeniem kolejnych warto poprzednie zatkać chociażby palcami lub szeroką taśmą klejącą albo pozostawić w nich ciasno wciśnięte ołówki.

W przypadku odkształcenia, kulisty kształt piłeczki przywraca się wyginając jej ścianki za pomocą cienkiego sztywnego przedmiotu – na przykład spinacza wygiętego w haczyk – lub po prostu włączając do niej powietrze.

Średnice dwóch przeciwległych otworów powinny umożliwić szczelne wsunięcie wygiętych słomek wylotowych 2, 3, co należy zrobić jak najszybciej po wyciągnięciu ołówka. Po kilku chwilach obkurczające się tworzywo piłki zablokuje słomki. W razie potrzeby ich średnice można powiększyć nawinięciem taśmy klejącej. Natomiast pozostałe dwa otwory pełnią rolę „łożysk”, umożliwiając w miarę swobodne przełożenie i obrót słomki 1. W tym celu należy nieco powiększyć ich rozmiary – przykładowo rozpięrając obrzeża okrężnym ruchem ołówka.

Nadmiarowy brzeg otworów można również wypchnąć ołówkiem na zewnątrz i na jego drewnianym obwodzie obciąć ostrym nożykiem. Nie należy przesadzić, gdyż zbyt duża średnica tak stworzonych przelotów spowoduje nadmierną ucieczkę powietrza i słaby efekt końcowy.

Jak wspomniano, słomka 1 pełni rolę osi obrotu oraz dostarcza gaz do wnętrza piłeczki – analogicznie jak w konstrukcji opisanej przez Herona. Przygotowanie jej do tego zadania pokazano na fotografii 3b. Jeden z końców zagina się i zabezpiecza taśmą, aby zatrzymać wylot powietrza. Zapobiega to również zsunięciu się bani.



Fot. 3. Model słomkowy z piłeczką: a) elementy składowe, b) sposób przygotowania słomki 1 do roli osi obrotu dostarczającej jednocześnie powietrze do wnętrza piłeczki, c) złożony układ.

Następnie należy wyciąć w słomce otwór (zaznaczony strzałką) w odległości od wykonanego zagięcia równej w przybliżeniu promieniowi piłeczki. Najłatwiej zrobić to załamując chwilowo słomkę w tym miejscu i odcinając jeden z powstałych rogów. Ostatecznie tak przygotowaną oś obrotu należy przetknąć przez otwory piłeczki. Wdmuchnięcie powietrza w otwarty koniec słomki 1 powinno powodować obrót bani. Ewentualne problemy wynikają najczęściej ze zbyt ciasnych otworów – „łożysk”. Wówczas należy je powiększyć. Czasami też słomka 1 ma tendencję do zaginania się i blokowania ruchu obrotowego. Zapobiega temu podtrzymanie jej obu końców palcami.

Podobnie jak wcześniej, uczniowie mogą modyfikować rozmiary i kąty zagięć słomek wylotowych, a nawet ich ilość. Efekty i sensowność tych zabiegów warto poddać dyskusji klasowej lub uczynić przedmiotem zadania domowego.

Mimo wychodzenia z użytku, w domowych zapasach oraz sklepach nadal znajdziemy słomki z tworzyw sztucznych o zróżnicowanych średnicach, które pozwolą na realizację opisanych powyżej projektów. Niska cena tych elementów umożliwi uczniom budowę własnych, „osobistych” egzemplarzy, o czym należy pamiętać ze względów higienicznych.

4. Model z piłką plażową – najbardziej efektowny

Ostatni z opisywanych modeli jest największym, jaki autorowi udało się zbudować. Jego szczegóły pokazano na fotografiach 4. Rolę bani pełni tutaj piłka plażowa o specyfikowanej średnicy po napompowaniu równej 1m. W omawianym modelu, z racji na mniejsze ciśnienie, osiąga ona rozmiar 75 cm. Jako wyloty zastosowano dwie kątowe rurki – izolacje piankowe o średnicach otworów równych 30 mm – możliwe do nabycia w sklepach technicznych (fot. 4b) [13].

Powietrze dostarczane jest do wnętrza piłki za pomocą rurki PCW o średnicy zewnętrznej 32 mm, którą przycięto

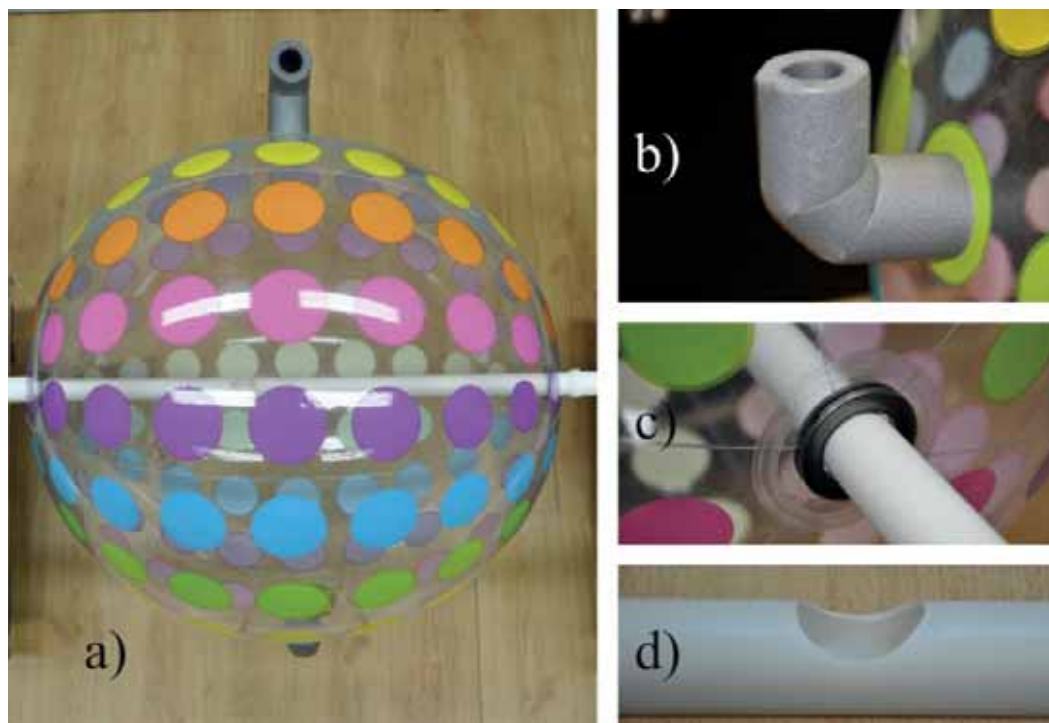
na długość 110 cm, pełniącej jednocześnie rolę osi obrotu. Mimo rozmiarów wykonanie układu jest stosunkowo proste. Najpierw, na nadmuchianej piłce, należy zaznaczyć miejsca czterech otworów, ale jeszcze ich nie wycinać. Ponownie lepiej to zrobić na widocznych „szwach” technologicznych lub nadrukowanych wzorach, jeśli są rozłożone symetrycznie. Następnie, do nadal nadmuchianej piłki, należy naprzeciwległe dokleić dwie kątowe rurki piankowe.

Autorowi udało się to zrobić w sposób bardzo trwały za pomocą kleju Cyjanopan. Czas schnięcia wynosi około doby, dlatego warto położenia rurek ustalić za pomocą taśmy klejącej. Nacięcia, które często występują na takich izolacjach, należy również skleić. W roli „łożysk” obrotowych zastosowano przelotki do zasłon o średnicy wewnętrznej 36 mm, składające się z dwóch wzajemnie pasujących połówek. Odpowiadające im otwory należy wyciąć na taką właśnie średnicę, a elementy przelotek zaizolować na nich z obu stron materiału piłki (fot. 4c).

Na końcu, poprzez właśnie wykonane otwory, wycina się wyloty powietrza dookoła wewnętrznych krawędzi doklejonych rurek kątowych. Wszystkie wycięcia w materiale piłki wykonuje się najlepiej za pomocą małych nożyczek kosmetycznych. Na środku rury dostarczającej powietrze należy wykonać otwór. W przypadku układu autora miał on kształt elipsy o długości 34 mm (wzdłuż rury) i szerokości 27 mm (fot. 4d).

Można też wykonać kilka wylotów za pomocą większego wiertła. Rurę należy przelożyć przez obie przelotki – „łożyska”, a jeden z jej końców zaślepić. Do drugiego dołącza się źródło strumienia powietrza. Może to być dmuchawa stosowana przy dydaktycznych torach powietrznych lub domowy albo ogrodowy odkurzacz.

W przypadku wersji z mniejszą średnicą piłek wystarczy może suszarka lub nawet pompka do materaców. Aby ułatwić mobilność, do układu nie przewidziano osobnego statywu. Powinien działać poprawnie zarówno przy po-



Fot. 4. Model z piłką piankową: a) działający układ, b) jedna z kątowych rurek piankowych pełniących rolę wylotów powietrza, c) „łożysko” z przelotki do zaston zatrzaśniętej na materiale piłki z widoczną osią – białą rurką PCW, d) otwór w rurce PCW, przez który powietrze jest włączane do wnętrza piłki.

ziomej, jak i pionowej orientacji rury-osi, którą wystarczy trzymać w rękach. Zawsze należy dbać, aby otwór dostarczający powietrze do bani znajdował się w jej wnętrzu. Gdyby piłka miała tendencję do przesuwania się wzdłuż osi, można ją podeprzeć za pomocą kolejnej przelotki do zaston lub większej rurki.

W każdej z opcji należy minimalizować tarcie. Autor użył w tym celu fragmentu karbowanej osłony elektrotechnicznej o średnicy wewnętrznej 38 mm, nałożonej na rurkę dostarczającą powietrze. Po włączeniu dmuchawy piłka początkowo się napełnia i efektywnie „puchnie”, a po osiągnięciu nominalnych rozmiarów zaczyna wirować. Ten „rozruch” i rozmiary bani zawsze robią wrażenie na obserwatorach, co jest dużym atutem tego modelu, zwłaszcza w trakcie wszelkich pokazów i festiwali naukowych.

5. Podsumowanie

Przedstawione w artykule konstrukcje są przykładami różnych realizacji podobnych do oryginalnej bani Herona. Na ich kanwie uczniowie mogą wymyślać i tworzyć własne wersje. W ten sposób uczą się, że ten sam efekt fizyczny można uzyskać za pomocą różnych rozwiązań technicznych.

Z drugiej strony stopień dopracowania i optymalizacji modeli – na przykład minimalizacja nieszczelności, dokładność osiowania, ukształtowanie i kierunki wylotów – wpływają na ich sprawność i uzyskiwane energie mechaniczne. Zatem kontakt nawet z tak prostą konstrukcją jest dobrym wstępem do zrozumienia zasad inżynierii.

Ciekawą dyskusję klasową może wywołać pytanie, czy wciąganie powietrza zamiast włączania spowoduje odwrotne wirowanie bani? Modele słomkowe pozwalają na doświadczalne sprawdzenie tej kwestii.

Na wyższych stopniach kształcenia można zachęcić uczniów do określania prędkości obrotowych stworzonych konstrukcji – przykładowo rejestrując jednocześnie ich ruch i wskazania stopera. Aparat fotograficzny lub te-

lefon z opcją odtwarzania filmów w zwolnionym tempie powinien ułatwić takie pomiary. Przy większych rozmiarach bani warto rozważyć użycie licznika rowerowego. Pomiar prędkości obrotowych różnych rozwiązań konstrukcyjnych może stać się inspiracją do klasowych lub szkolnych konkurencji „sportowo – naukowych”.

Warto podkreślić, że bania Herona jest nie tylko protoplastą współczesnych turbin parowych, ale też narzędzi pneumatycznych powszechnie stosowanych tam, gdzie używanie napędów elektrycznych jest niebezpieczne. Na zasadzie powstawania momentu sił przy przemieszczaniu się płynu działają również elektrownie wiatrowe, wodne i niektóre zraszacze ogrodowe. Uczniowie dowiadują się w ten sposób, że prawa mechaniki dotyczą jednako gazów i cieczy oraz znajdują szerokie zastosowania techniczne.

Adam Buczek

Politechnika Poznańska

Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej

LITERATURA

- [1] L. Russo, „Zapomniana rewolucja. Grecka myśl naukowa a nauka nowoczesna”, Universitas Kraków (2005),
- [2] <http://www.modele.sklep.pl/pl/Katalog/Silniki-parowe-boilery-oraz-komory-spalania/SAITO-STEAM-HERONS-TURBINE.html> (dostęp 21.09.2019),
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=1VR1JYUqDNE> (dostęp 21.09.2019),
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=psenEr9C4Bk> (dostęp 01.10.2019),
- [5] <https://www.youtube.com/watch?v=AyFMexBTpLs> (dostęp 17.09.2019),
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=9Muh55fX9gQ> (dostęp 17.09.2019),
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=vS46yuLBVec> (dostęp 23.09.2019),
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=z4YbadrdQ1w> (dostęp 23.09.2019),
- [9] <https://www.youtube.com/watch?v=ni9zhuOvtf8> (dostęp 01.10.2019),
- [10] <https://www.youtube.com/watch?v=fedfoM2Lb0E> (dostęp 21.09.2019),
- [11] <https://www.tes.com/teaching-resource/pop-can-hero-engine-6414009> (dostęp 21.09.2019),
- [12] <https://www.education.com/science-fair/article/newton-law-motion-action-reaction/> (dostęp 01.10.2019),
- [13] <https://www.jula.pl/catalog/artykuly-budowlane-i-farby/instalacja-wodna-i-sanitarna/instalacja-wodna-grzewcza-i-sanitarna/izolacja-rur/izolacja-rury-434316/> (dostęp 22.09.2019),