

Analiza konstrukcji łodzi wielokadłubowej typu proa

Opracowanie na podstawie Pracy Przejściowej wykonanej na Politechnice Warszawskiej, na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych, o tym samym tytule.

Opracował: Kajetan Maracewicz
(adres email: maracewiczkajetan@gmail.com)

Wszelkie prawa zastrzeżone



Arman Manookian, Men in an Outrigger Canoe Headed for Shore, oil on canvas, 48 x 68 inches, ok. 1928r.

Spis treści

1	Wprowadzenie	3
1.1	Cel pracy	3
1.2	Wstęp historyczny	3
1.3	Założenia działania łodzi typu proa	6
2	Vaka, ama i aka	7
2.1	Stateczność poprzeczna	9
2.2	Stateczność kierunkowa	12
2.2.1	Przeciwdziałanie dryfowi	12
2.2.2	Nawietrzność i zawietrzność	15
2.3	Ama	17
2.4	Aka	17
3	Osprzęt	19
3.1	Ożaglowanie	19
3.1.1	Ożaglowania z likiem przednim prowadzonym na maszcie	19
3.1.2	Opisy rozpatrywanych typów ożaglowania	21
3.1.3	Tradycyjny typ ożaglowania w łodziach proa – kleszcze kraba	23
3.2	Drzewca	26
3.2.1	Rejka i bom	26
3.2.2	Maszt	27
3.2.3	Materiał	28
3.3	Olinowanie	29
4	Wnioski	31
5	Bibliografia	34

1 Wprowadzenie

1.1 Cel pracy

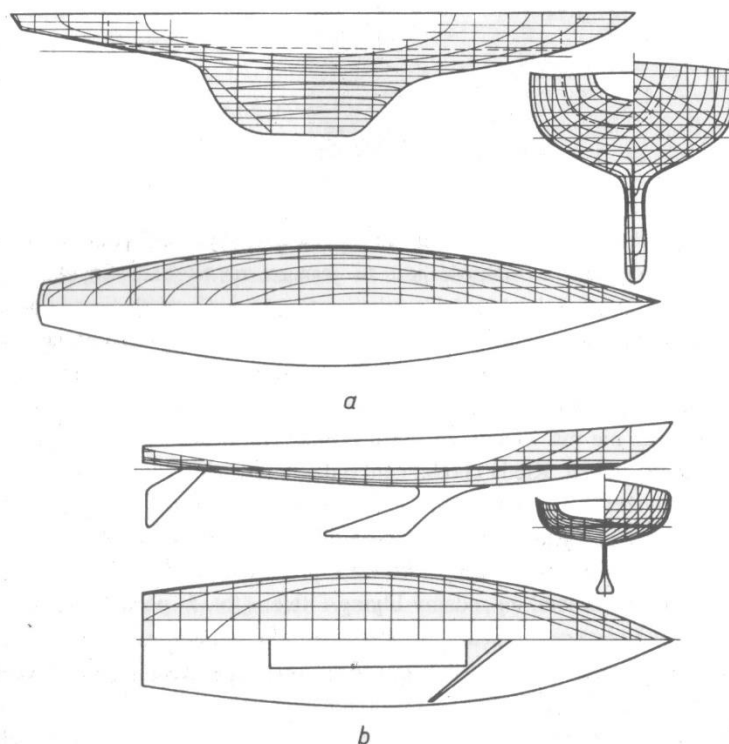
Celem pracy jest omówienie konstrukcji łodzi wielokadłubowej typu proa, która ma spełniać wymogi żeglarstwa plażowego, czyli pozwalającego na przemieszczanie się wzdłuż piaszczystych wybrzeży zbiorników wodnych, na przykład wzdłuż południowych bałtyckich plaż przy pełnej niezależności od infrastruktury brzegowej. To założenie wprowadza cały szereg wymogów, takich jak:

- Możliwość transportu na dziką plażę za pomocą samochodu osobowego (np. w częściach na dachu)
- Możliwość przeniesienia na plażę z oddalonego o kilkaset metrów parkingu i szybkiego montażu
- Możliwość zwodowania na plażę przy obecności przyboju
- Dzielność morską pozwalającą na bezpieczną żeglugę po przybrzeżnych rejonach morskich

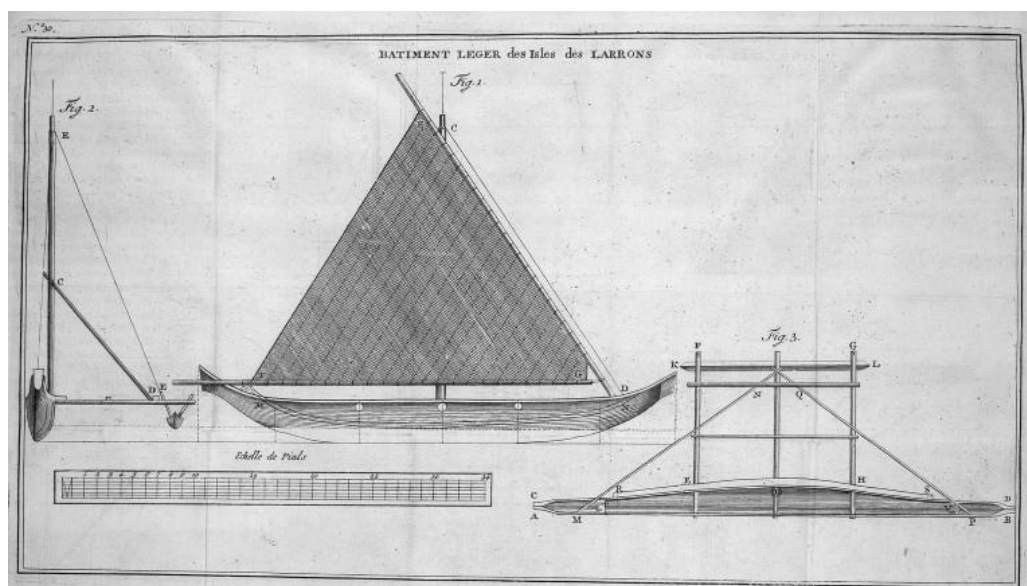
1.2 Wstęp historyczny

Projektowanie łodzi żaglowych, stanowi zagadnienie dla inżynierów (często amatorów) od kilku tysięcy lat. W różnych regionach świata oceaniczna praktyka skutnicza szła w różnych kierunkach, na przykład w Europie, ewoluowała ona przez powolne karawele; beczkowate galeony; smukłe klipry aż do monstualnych windjammerów. Są to wszystko jednokadłubowce, o sporej wyporności, gdzie moment prostujący jest zapewniony przez balast, w normalnej żegludze znajdujący się poniżej środka wyporności. Wybór takiej ścieżki ewolucyjnej w konstruowaniu statków prawdopodobnie wynika z położenia geograficznego oraz zaawansowania cywilizacyjnego. Europejskie statki, wraz z rozwojem cywilizacyjnym, budowane były w dużej mierze do transportu – musiały wejść do portu, zabrać na pokład duży ładunek po czym ponownie wejść do portu i się wyładować. Głęboko zanurzone, pojedyncze kadłuby, szczególnie w kwestii zajmowania małej powierzchni w porcie, zdają się być do tego doskonałe. Geografia Europy natomiast z powodu znacznych pływów lub występowania skał przybrzeżnych itp. wymagała budowy bezpiecznych, kosztownych portów, gdzie każdy metr (czy to długości kei czy metr kwadratowy powierzchni basenu portowego) w porcie generował znaczne opłaty, ważny więc stawał się stosunek powierzchni statku do jego wyporności. Duże masy załadowanych statków powodowały, że każdy kontakt z dnem był bardzo niebezpieczny – celowe, regularne sztrandowanie było więc zarezerwowane jedynie dla niewielkich łódek, jak na przykład kaszubska Pomeranka.

Oprócz przewozu towarów liczne statki (okręty) służyły do celów wojennych, przez co z racji na wyposażenie i wielkość załogi również wymagały dużych wyporności.



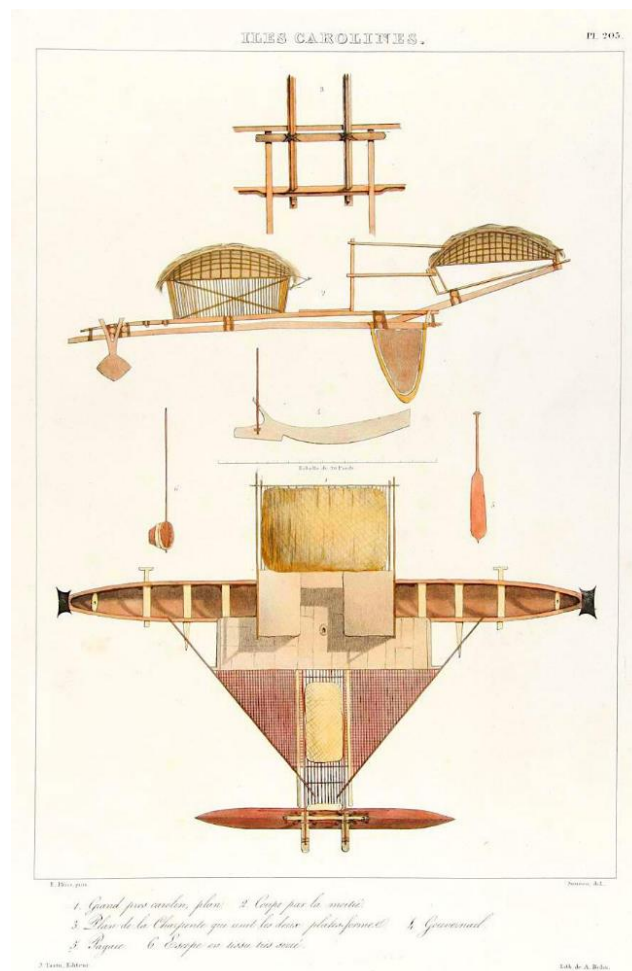
Rysunek 1. Kadłuby dwóch europejskich jachtów balastowych: jacht klasy IYRU R – 5,5 M (a) oraz Flying Fifteen (b). (Marchaj C., 2013, s.40)



Rysunek 2. Proa z żaglem „kleszcze kraba”, narysowana przez podróżnika George’a Anson’a podczas jego podróży dookoła świata. Widać pływak o znikomej wyporności, oraz niesymetryczny kadłub – vaka. (George Anson, Lekki okręt z wysp Larros. Ilustracja z podróży dookoła świata, wydawca Henri-Albert Gosse et Compagnie, Genewa 1750 r.)

W Oceanii żegluga oceaniczna miała zupełnie inne założenia i ograniczenia, z których na pierwszy plan wysuwały się braki materiałów, z powodu zamieszkiwania przez krajowców małych atoli. Celem żeglugi była kolonizacja, kontakt pomiędzy wysepkami i eksploracja dalszej części oceanu. Oczywiście był również uprawiany handel (m. in. obsydianem), lecz był

znacznie mniej „masowy”, a raczej „jakościowy” (poniekąd można znaleźć analogię do obecnego transportu dóbr: do przewozu węgla czy ropy używa się wielkich statków, lecz już diamenty lub pieniądze opłaca się przewozić samolotami). Pomiedzy wysepkami nie przewoziło się wielkich ilości tanich dóbr (drewno, ryby itp.), tylko małe ilości wartościowych przedmiotów (obsydian, biżuteria itp.), a z powodu małej liczby mieszkańców wysp, skala transportu była odpowiednio mniejsza – europejski, średniowieczny statek transportowy, miał po prostu zbędnie dużą wyporność do tego zadania. Strategia żeglarzy z Oceanii była następująca: wysyłano flotyllę łodzi, nieraz na odległości dochodzące do 2000 mil morskich, w celu znalezienia kolejnego atolu zdatnego do zamieszkania, a następnie powrotu na macierzystą wyspę. Biorąc pod uwagę ogrom Oceanu Spokojnego, zadanie takie wydaje się nam być niemożliwe do zrealizowania bez nowoczesnych urządzeń nawigacyjnych, szczególnie, że widoczność z poziomu morza to tylko kilka mil przy dobrej przejrzystości powietrza, co zmniejsza margines błędu wynikającego z nieidealnej nawigacji. Pomimo to, lud Oceanii zamieszkuje praktycznie wszystkie dostępne wysepki.



Rysunek 3. Proa bez ożaglowania, lecz o charakterystycznym niesymetrycznym vaku oraz z ciekawymi konstrukcjami na zewnętrznej burcie oraz na środku pomostu, służącymi najprawdopodobniej za schowki podczas podróży. (Admirał François-Edmond Pâris, Litografia Wa z pływakiem z Wysp Karoliny, pomiędzy 1826 – 1829.)

Tamtejsi konstruktorzy poszli w kierunku łodzi nie walczących, a podporządkowujących się morzu, o niewielkiej wyporności, a za to dużej stateczności kursowej. Uznając wysuniętą przez prof. Czesława Marchaję „darwinowską” teorię ewolucji łodzi żaglowych oraz rozpatrując dokonania i odkrycia ludów Oceanii, należy przeanalizować rozwiązania konstrukcyjne stosowane w proa oraz dostosowywać je do lokalnych południowo-bałtyckich warunków, które, choć wydają się zupełnie odmienne, są podobne dzięki długim piaszczystym plażom.

Zgodnie z nomenklaturą, proa jest to osobny typ statków wodnych, obok jednokadłubowców, katamaranów, trimaranów itp. Choć często mylnie proa uważane są za katamarany, to jednostki te różnią się między sobą pod praktycznie każdym względem.

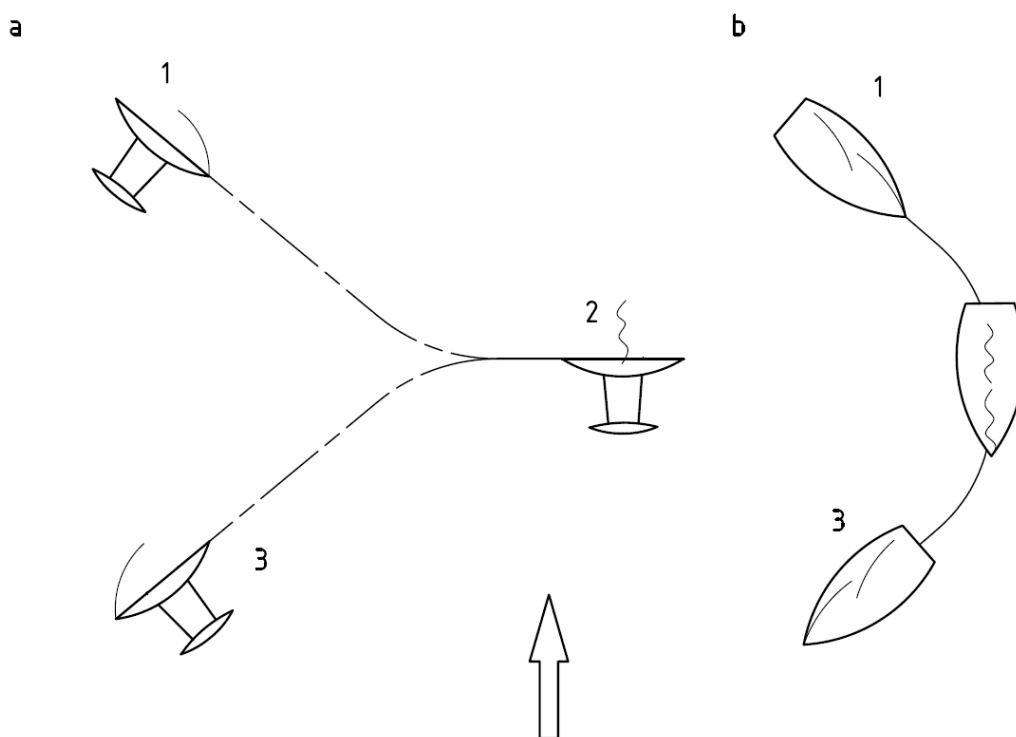
1.3 Założenia działania łodzi typu proa

Proa tradycyjne, zwane pacyficznym, to typ pirogi z przeciwwagą, której kadłuby znacznie różnią się wielkością i kształtem. Jeden duży – vaka służy zapewnieniu wyporności, natomiast drugi, mały – ama zapewniający moment prostujący. Jest to zawsze kadłub nawietrzny, który w warunkach normalnego użytkowania działa jako przeciwwaga – balast. Stały, nawietrzny pływak powoduje, że w tej konstrukcji możliwe jest poruszanie się zawsze tylko jedną i tą samą burtą wystawioną na wiatr. Oznacza to, że musi istnieć możliwość płynięcia raz w jedną, raz w drugą stronę, by umożliwić tak zwane wekslowanie – podobnie jak pociąg podjeżdżający pod bardzo stromą górę po specjalnych torach. Różni się ten sposób żeglowania od halsowania tym, że ani razu nie przekraczamy linii wiatru, tylko obracamy ożaglowanie i skierowujemy łódź w drugą stronę (Ostrowski J., 2018, s.10). Halsowanie natomiast polega m.in. na przechodzeniu dziobem linii wiatru, a więc zamianie burty nawietrznej z zawietrzną. Wiąże się to z koniecznością przerzucenia żagli na burtę przeciwną (tę, która stała się zawietrzną). W ten sposób pływają wszystkie europejskie jachty, żaglowce itp.

Wekslowanie i konieczność przekładania żagla przy każdym zwrocie, powoduje ograniczenia w projektowaniu ożaglowania i wymusza pożądane jego cechy. Większość używanych obecnie w jachtingu żagli, to żagle trójkątne, typu bermudzkiego. Cechą która prawdopodobnie zdecydowała o takiej powszechności tego rodzaju ożaglowania, jest prostota obsługi oraz wpływ jaki mają regatowe formuły pomiarowe na kierunek rozwoju całego żeglarskiego świata, promujące właśnie trójkątne żagle bermudzkie. Lecz na proa, żagle trójkątne znacznie utrudniają obsługę, więc użytkowanie ich na wekslującej łodzi nie jest rozwiązaniem oczywistym, należy więc określić wymagane cechy i zadania stojące przed ożaglowaniem oraz rozpatrzyć istniejące rozwiązania.

Dodatkowym ograniczeniem związanym z wekslowaniem jest trudność z montażem klasycznego steru, bez którego ciężko wyobrazić sobie jacht żaglowy. Na każdej europejskiej jednostce jedną z najważniejszych i odpowiedzialniejszych czynności jest sterowanie, czyli konkretnie wychylanie płetwy steru, co daje szybką i prostą możliwość wytworzenia dodatkowej siły hydrodynamicznej doprowadzającej do zrównoważenia kierunkowego jachtu lub zmiany kierunku żeglugi. Układ sterujący w klasycznym rozumieniu (obrotowa płetwa sterowa) jest na proa rozwiązaniem mocno komplikującym konstrukcję, podczas

manewrowania jako steru używa się zwykłego wiosła, natomiast podczas ustalonej żeglugi w normalnych warunkach w celu utrzymania zrównoważenia kierunkowego zmienia się jedynie trym żagla oraz trym podłużny i poprzeczny kadłuba.



Rysunek 4. Schemat wekslowania (a) i halsowania (b), strzałka pionowa określa kierunek wiatru rzeczywistego. Widać, że wekslowanie zdobywa wysokość względem wiatru ani razu nie przekraczając żadnym dziobem linii wiatru, natomiast halsowanie robi to przy każdym zwrocie.. Na odcinkach 1 i 3 proa oraz jacht idą ruchem ustalonym, na odcinku 2, załoga na proa (a) ustawia się bokiem do wiatru, przekłada żagiel na drugi dziób i odwraca kierunek żeglugi; natomiast załoga jachtu (b) ustawia się dziobem do wiatru, przechodzi linię wiatru i przekłada żagle na drugą burtę.

W dalszych dwóch częściach pracy zostaną omówione bardziej szczegółowo problemy oraz propozycje konstrukcji mogących je rozwiązać dla każdego z wybranych obszarów: części wodnej do której zalicza się główny kadłub (vaka) oraz pływak i platforma (ama i aka), oraz części powietrznej – osprzętu, czyli ożaglowania, drzewc i olinowania.

2 Vaka, ama i aka

Główny, duży kadłub, jest to element definiujący każdy jacht. Na niektórych jednostkach wielokrotnie zmieniano takielunek lub jeszcze bardziej radykalnie – rodzaj napędu, lecz kadłub pozostawał ten sam, a jednostka zachowywała historyczną ciągłość. Tak więc kadłub i jego elementy odpowiadają za szereg kwestii, które bardzo często decydują o konkretnej specyfikacji i/lub regatowym zacięciu jachtu. Na jednostce typu proa, będący odpowiednikiem kadłuba - vaka jest odpowiedzialny, w sferze fizyczno-żeglarskiej (bez uwzględnienia

zastosowań jako podpory dla osprzętu, miejsca dla sternika, komfortu itp.) za stateczność kierunkową oraz wyporność.



Rysunek 5. Tradycyjna piroga z płwakami z wybrzeża Kenii z żaglem łacińskim. Płwak jest zbudowany ze zwykłej deski o wyporności znacznie mniejszej niż ciężar łodzi – ich celem nie jest utrzymanie kadłuba na powierzchni, lecz do oddalenia masy od środka łodzi. (fot. Aleksandra Fabisiak)

Ama, czyli przeciwwaga znajdująca się zawsze na nawietrznej, służy jako balast, więc zapewnia stateczność poprzeczną. Zdarza się, że podczas żeglugi ama podnosi się ponad taflę wody, lecz w spokojniejszym żeglowaniu lub przy swobodnym unoszeniu się jachtu, przeciwwaga znajduje się w wodzie, spełniając funkcję płwaka zapewniającego stabilność poprzeczną na stronę nawietrzną. Wśród wielu spotykanych w różnych rejonach świata tradycyjnych wielokadłubowców lub tak zwanych „outrigger canoe” przeciwwaga ma wyporność zdecydowanie mniejszą niż ciężar jachtu, czasem bywa wykonany z bambusowego kija lub zwykłej deski (Mnich K., 2009), co powoduje, że na utrzymanie na wodzie swojej masy przeciwwaga, wykonana z bardzo lekkiego, namoczonego drewna lipowego, którego gęstość zaraz po ścięciu wynosi $580\text{--}880\text{kg/m}^3$ (Spława-Neyman S., Owczarzak Z.), wykorzystywałby, średnio, aż 73% swojej wyporności. Pokazuje to różnice założeń, względem europejskich płwaków stosowanych w nowoczesnych wielokadłubowcach, których wyporność jest projektowana tak, by w dużych przechyłach płwak utrzymywał cały jacht na wodzie.

Żeby połączyć vaka i ama, stosuje się aka-strukturę, która oprócz łącznika może zapewniać miejsce do przebywania na jachcie.

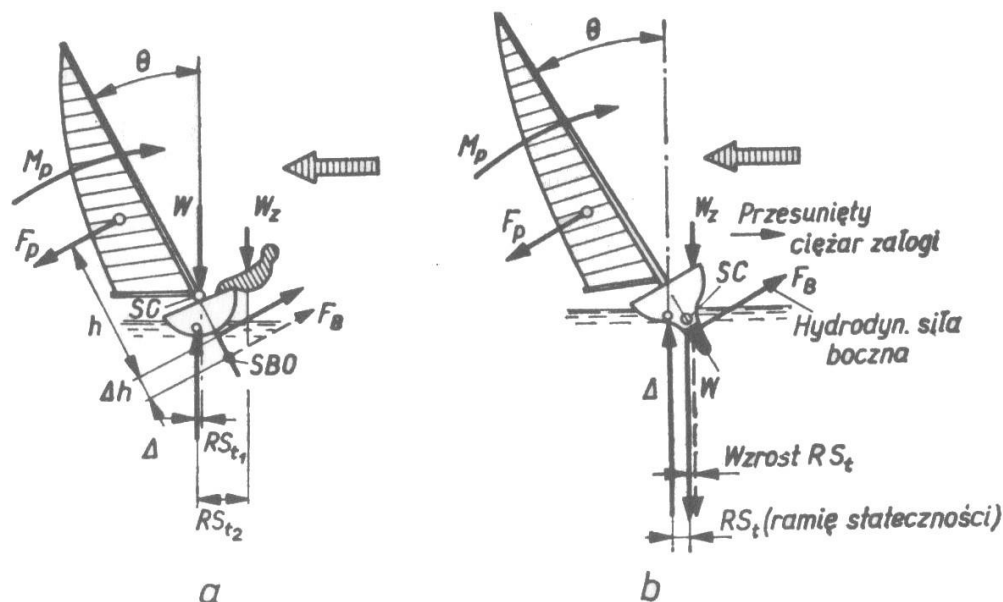
2.1 Stateczność poprzeczna

Stateczność poprzeczna, jest to zdolność jachtu do zachowania lub powrotu do pozycji początkowej w płaszczyźnie owręza, czyli płaszczyźnie prostopadłej do osi jachtu, przeciwstawiająca się oddziaływaniu zewnętrznemu (Marchaj C., 2013, s.130-131), np. falom lub sile przechylającej wytwarzanej na żaglu.

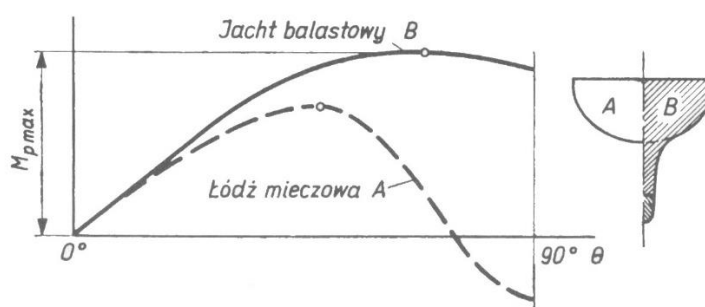
Główną różnicą między proa, a jachtem europejskim, jest niezapewnianie praktycznie żadnego momentu prostującego przez sam główny kadłub katamaranu z Oceanii. W europejskich jednostkach, występujących w dwóch zasadniczych odmianach - balastowych i mieczowych, moment prostujący jest złożeniem dwóch, a w nowoczesnych konstrukcjach trzech, momentów siły. Pierwszy pochodzi od kształtu kadłuba i przez analogię można porównać go do deski pływającej w wodzie – jednorodna deska zawsze ustawi się największą powierzchnią równolegle do tafli wody. Drugi natomiast pochodzi od balastu, który w nowoczesnych konstrukcjach najczęściej zamocowany jest na długiej płetwie balastowej pod stępką jachtu. Pomimo rozróżnień (na jachty balastowe i mieczowe), oba rodzaje zapewniania równowagi poprzecznej, działają na dokładnie tej samej zasadzie, a wyrażane są przez wektor siły ciężkości jachtu, działający na promieniu równym odległości wektorów siły ciężkości i siły wyporu. Zdecydowana różnica w stateczności między jachtami balastowymi, a mieczowymi jest spowodowana tym, że w pierwszym przypadku duży w stosunku do masy jachtu (np. 30% masy całej jednostki) balast pod stępką istotnie obniża środek masy jachtu, docelowo poniżej środka wyporu, co powoduje, że wraz z przechyłem (oczywiście do pewnego stopnia) zwiększa się moment prostujący, natomiast dla środka masy powyżej środka wyporu, wraz z przechyłem, od pewnego, znacznie mniejszego kąta (zależnego od konstrukcji kadłuba) ten moment się zmniejsza. Dobrze obrazuje tę różnicę wykres momentów prostujących widoczny na rysunku 7.

Proa, z racji kształtu głównego kadłuba, nie zapewnia w zasadzie żadnego momentu prostującego, wynikającego z jego konstrukcji. Jest tak dlatego, że burta zawietrzna – na którą przechyliła się łódź pod wpływem składowej poprzecznej siły aerodynamicznej – jest, z opisanych poniżej przyczyn, jedynie nieznacznie zaokrąglona, co powoduje, że środek wyporu pod wpływem przechyłu przemieszcza się o pomijalne wartości. Co ciekawe, w niektórych przypadkach, może być to nawet przemieszczenie ujemne powodujące nieznaczne zmniejszenie stateczności. W proa moment prostujący jest generowany przez znaczne przesunięcie środka masy na burtę nawietrzną, dzięki zastosowaniu przeciwwagi – pływakama. Moment prostujący w hipotetycznym proa, gdzie cała masa jest skupiona w pływaku, jest największy blisko zerowego kąta przechyłu; w hipotetycznym jachcie balastowym, w którym zakładamy nieważkość kadłuba i osprzętu, a więc masa balastu jest równa masie jachtu – moment prostujący jest maksymalny dla przechyłu równego 90° . To porównanie przedstawia różnicę w podejściu konstruktorów tych dwóch typów jachtów. Nowoczesne podejście europejskie ma pozwolić wyprostować jacht z dużego przechyłu (Mnich K., 2009), nawet wywrotki, a podejście mieszkańców Oceanii ma do tego przechyłu nie dopuścić. Trzeba nadmienić, iż istnieją jeszcze szczególne przypadki, które nie mieszczą się w tej dychotomii:

krążownicze katamarany, które mają zbliżone założenia do jachtów typu proa, wielką wygodę podróży, lecz równocześnie stwarzają problemy w żegludze na wiatr oraz generują duże koszty w portach spowodowane szerokością; oraz bardzo szybkie regatowe katamarany i trimarany.



Rysunek 6. Siły przechylające i prostujące działające na jacht mieczowy (a) i balastowy (b). Widać różnicę położenia środka masy jachtu, względem środka wyporu – w mieczowym powyżej, a w balastowym poniżej. Wraz ze wzrostem przechyłu, po przekroczeniu kąta granicznego, ramię stateczności zaczyna się zmniejszać – balast poniżej środka wyporu zwiększa kąt graniczny radykalnie. (Marchaj C., 2013, s.141)

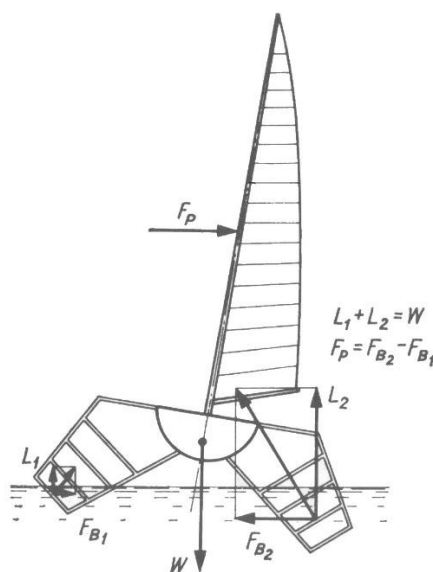


Rysunek 7. Krzywe stateczności jachtu mieczowego i balastowego o takim samym kształcie kadłuba. Co ważne, jacht mieczowy, po wywrotce i położeniu się na burcie, ma ujemny moment prostujący – będzie się wychylał dalej. (Marchaj C., 2013, s.138)

Założona niska masa, powoduje, że sternik przemieszczając się po platformie diametralnie zmienia położenie środka masy, więc i równowagę poprzeczną. Sama łódź bez sternika ma niewielki moment prostujący (np. w jednej z istniejących konstrukcji – Pjoa Folk, ama ma masę 13kg, a aka 14kg), natomiast odpowiednio umiejscowiony człowiek o masie 70kg, swoim ciężarem na np. końcu dwumetrowej platformy generuje moment prostujący około 1400Nm. Dla porównania, na pięciometrowym, oceanicznym jachcie typu „Setka A” –gdzie zastosowano

balast o masie 170kg, a zanurzenie całkowite wynosi 1,23 m, układ ten (w dużym uproszczeniu) w maksymalnym przechyle generuje niewiele ponad 2000Nm momentu prostującego. Różnica ta jest niezbyt wielka, biorąc pod uwagę różnicę klas jednostek. Należy wspomnieć, że Setki są bardzo dzielnymi jednostkami, na których żeglarze, na własnoręcznie zbudowanym jachcie, startują w regatach samotników przez Atlantyk – „Setką przez Atlantyk”, a sam moment prostujący nie jest jedynym parametrem wpływającym na ich dzielność.

Trzecim, wspomnianym sposobem na wygenerowanie momentu prostującego stosowanym w nowoczesnych jachtach regatowych są hydroskrzydła, działające na podobnej zasadzie co żagle lub skrzydła samolotu (Marchaj C., 2013, s.96). Hydroskrzydło jest to element wytwarzający hydrodynamiczną siłę nośną, która w zależności od geometrii hydroskrzydła, pełni rolę zwiększania wyporności, zapewniania stateczności poprzecznej, stateczności kierunkowej lub zdolności manewrowania. Dzieje się tak gdyż ster, miecz, płetwa balastowa a nawet cały kadłub wielkiego żaglowca są hydroskrzydłami, choć tą nazwą zwykło określać się konkretnie wyspecjalizowane elementy kadłuba stosowane przez między innymi niektóre jachty klasy IMOCA 60, jachty klasy AC75 lub łodzie patrolowe US Navy o oznaczeniu PHM. Jednak w odróżnieniu od innych rodzajów zapewniania stateczności poprzecznej, hydroskrzydła do wytworzenia niezbędnej siły nośnej generującej moment prostujący, wymagają różnicy prędkości pomiędzy skrzydłem a wodą, w innym przypadku są bezużyteczne (jak żagiel podczas flauty), czego można doświadczyć podczas próby manewrowania jachtem płynącym z bardzo małą prędkością lub obejrząc na znanym nagraniu z przygotowań obrońcy tytułu Mistrza Ameryki - „Emirates Team New Zealand” przed 36-tym Pucharem Ameryki, na którym to widać jak jacht po drastycznej utracie prędkości spowodowanej uderzeniem kadłuba o powierzchnię wody, traci siłę nośną na hydroskrzydłach i powoli kładzie się na burtę, przerywając trening efektowną wywrotką (Sailing Uncovered, 2019).



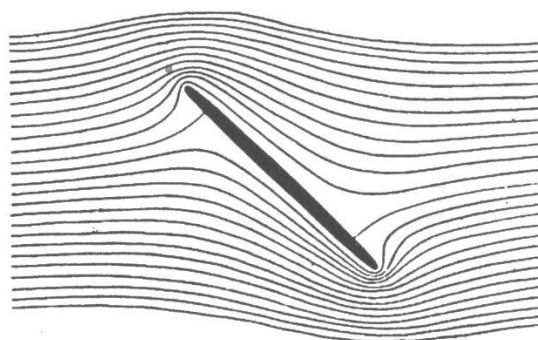
Rysunek 8. Rysunek eksperymentalnego jachtu U.S. Navy, który dzięki hydroskrzydłom rozpędzał się nawet do 30 węzłów. Taki układ pozwalał na płynną zmianę siły nośnej L , przez powolne wynurzenie się części płatów wraz ze wzrostem prędkości jachtu. (Marchaj C., 2013, s.97)

2.2 Stateczność kierunkowa

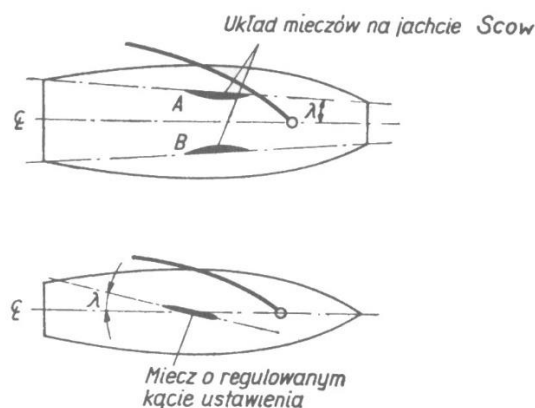
Druga opisana stateczność – stateczność kierunkowa (w płaszczyźnie wodnicy – taflí wody) składa się z dwóch elementów: przeciwdziałania dryfowi oraz niechcianej zmianie kursu względem wiatru. W porównaniu z równowagą poprzeczną, omawiana stateczność nie ma takiego bezpośredniego wpływu na bezpieczeństwo, lecz pośrednio, ten wpływ jest wielki. Ryzyko bardzo dużego niebezpieczeństwa może spotkać jacht podczas próby przejścia pod wiatr przez wąski przesmyk lub ucieczki z zatoki przy dopychającym wietrze, gdy np. ma konstrukcyjnie tendencje do dużego dryfu lub gdy głębokość akwenu jest zbyt mała by wypuścić miecz, bądź też nie ma miejsca na nabranie odpowiedniej prędkości, by miecz lub płetwa balastowa oraz ster zaczęły poprawnie pracować. Inną negatywną i bardzo niebezpieczną cechą jest zawietrzność jachtu. Abstrahując od niekorzystnej pracy steru w wytwarzaniu hydrodynamicznej siły bocznej przeciwdziałającej dryfowi (Marchaj C., 2013, s.149-150), sytuacja w której przypadkowe wypuszczenie rumpla z ręki, bądź nagły, nieprzewidziany szkwał powodują tendencję do ustawiania się bokiem do wiatru i ewentualnej fali, jest zjawiskiem które znacznie zwiększa możliwość wywrócenia się jachtu. Oprócz kwestii bezpieczeństwa stateczność kursowa wpływa na osiągi jednostki oraz w dużym stopniu na przyjemność płynącą z żeglowania.

2.2.1 Przeciwdziałanie dryfowi

Europejskie jachty przeciwdziałają dryfowi różnie, w zależności od konstrukcji. Każda metoda wymaga jednak pewnego kąta dryfu, żeby hydrodynamiczna siła boczna mogła w ogóle wystąpić. Dotyczy to zarówno starych, XIX-wiecznych długokilowców, północno-amerykańskich jachtów balastowo-mieczowych, jak i nowoczesnych jachtów z płetwą balastową np. bulbkilem i osobną płetwą sterową. Co ciekawe, niektóre jachty, jak na przykład Volvo Ocean 65 posiadają dwie płetwy sterowe, po jednej na burcie; uchylną płetwę balastową, oraz po jednym na burtę, niewspółosiowo zamontowanym mieczu, o przekroju skrzydła, które pozwalają zniwelować dryf do niespotykanych małych wartości, przez montaż zapewniający odpowiedni kąt natarcia bez dryfu.



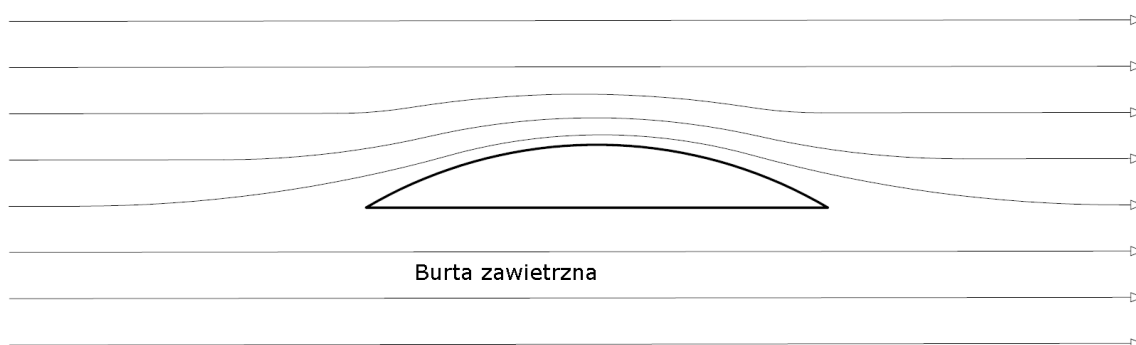
Rysunek 9. W idealnym, pozbawionym lepkości ośrodku, przepływ wokół płytki jak na rysunku, byłby symetryczny, więc opór płytki wynosiłby zero. W przypadku kadłuba, poruszającego się w ośrodku rzeczywistym, więc niepozbawionym lepkości – by wystąpiła hydrodynamiczna siła boczna, przeciwdziałająca sile poprzecznej wytworzonej na żaglu, przepływ wokół kadłuba musi być niesymetryczny, więc dla jachtów halsujących, niezbędny jest niezerowy kąt dryfu. (Marchaj C., 2000, s.139)



Rysunek 10. Dwa sposoby zwiększające skuteczność miecza w symetrycznych, europejskich kadłubach: dwa miecze zamontowane nie w osi jachtu oraz miecz o regulowanym kącie natarcia. (Marchaj C., 2013, s. 69)

Problem z dryfem jachtów europejskich jest spowodowany jednym czynnikiem – symetrią. Nie licząc nowoczesnych regatowych jachtów jak wspomniany Volvo Ocean 65, dryf wystąpić po prostu musi. Jego brak oznaczałby nieobecność hydrodynamicznej siły bocznej, gdyż w wypadku braku kąta dryfu, przepływ dookoła kadłuba oraz rozkład ciśnień byłyby symetryczne, więc nie wytwarzałyby się żadna siła nośna.

Proa również są symetryczne, lecz względem płaszczyzny równoległej do owręża, a nie płaszczyzny pionowej zawierającej w sobie oś jachtu (nazwa tej płaszczyzny w jachtach europejskich to płaszczyzna symetrii, w wypadku proa byłaby to nazwa myląca) – burta nawietrzna jest tu mocno zaokrąglona a zawietrzna prawie płaska, podobnie jak na rysunku nr 11, co powoduje, że hydrodynamiczna siła boczna wytwarza się z powodu samej geometrii, nawet dla zerowego kąta dryfu. Dodatkowo, jest to układ odporny na odchylenia, gdyż dla dodatnich wartości kąta dryfu, kadłub zaczyna pracować na tej samej zasadzie, choć wydajniej z powodu kształtu, co zwykły – europejski kadłub, natomiast dla ewentualnych ujemnych wartości, sprawność gwałtownie spada z powodu znacznie zmniejszającego się kąta natarcia, doprowadzając do oscylacji wokół bardzo niskiego lub nawet zerowego kąta dryfu. Dokładne sprawdzenie konkretnej konstrukcji wymaga obliczeń hydrodynamicznych MES lub badań modelowych, można jednak opierając się na istniejących konstrukcjach i ich właściwościach, oszacować sprawność danego kadłuba.



Rysunek 11. Uproszczony przepływ wody dookoła vaka. Zwiększenie prędkości cieczy w najszerszym miejscu kadłuba, powoduje spadek ciśnienia po stronie nawietrznej i pojawienie się hydrodynamicznej siły nośnej przeciwdziałającej dryfowi. Od przepływu przez dyszę, zgodnie z zasadą Venturi, odróżnia się brakiem płytki tę dyszę tworzącej, lecz jak wiadomo z doświadczeń oraz obserwacji natury, wszelkie zakrzywienie, w tym strug przepływu, ma miejsce w skończonej odległości od elementu to zakrzywienie powodującego. Pozwala wysnuć to wnioski, że oba przypadki – z płytką i bez płytki, są podobne, więc różnica ciśnień w sytuacji jak na obrazku niewątpliwie wystąpi, wytłumaczeniem zasadności tego rozumowania jest skuteczność w przeciwdziałaniu dryfowi polinezyjskich konstrukcji.

Nowoczesne jachty zdecydowaną większość wartości siły bocznej wytwarzają nie kadłubem lecz płetwą balastową i sterową (Marchaj C., 2013, s.61). Pozwala to na zastosowanie szerokiego, płaskodennego i wygodnego kadłuba, o wspaniałych parametrach regatowych, co nawet na długich jednostkach oceanicznych umożliwia osiągnięcie czystego ślizgu. Na długokilowych jachtach jest to w zasadzie niemożliwe. Jachty płaskodenne są szybsze od jednostek z klasyczną stępką, mają również lepszą stateczność poprzeczną kształtu, okazuje się jednak, że bardzo często dzieje się to wielkim kosztem – kosztem dzielności morskiej (Mnich K., 2009). Dzielność morska lub też, jak to nazwał profesor Marchaj - „zapomniany czynnik” , jest to zbiór parametrów, cech i własności kadłuba, które powodują, że jacht lepiej i bezpieczniej zachowuje się na morzu, co w szczególności uwidacznia się w złych, niesprzyjających warunkach. Niestety dzielność morska jest do dzisiaj nieopisana za pomocą wzoru lub współczynnika, a istnieje jedynie w ustnych przekazach typu: „s/y to był dopiero dzielny jacht...”. Niemożliwym więc jest sprawdzenie konstrukcji bez kosztownych prób prototypowych. Niewątpliwie negatywnym następstwem nieuchwytności dzielności morskiej, jest fakt, że wiele jachtów jest empirycznie badanych dopiero przez posiadaczy dopuszczonej do żeglugi jednostki.

Oprócz kwestii dzielności morskiej jako takiej, nowoczesne konstrukcje są narażone na niebezpieczeństwa związane z uderzeniami o dno lub zahaczeniem o sieci. Zbita, jednobryłowa konstrukcja ma zdecydowanie większą wytrzymałość na uderzenia, niż konstrukcja z wystającą płetwą balastową. Uderzenie o dno lub skałę jest oczywiście zawsze bardzo niebezpieczne, co niestety pokazuje przykład Zjawy IV, jednak niewielkich rozmiarów dziura w poszyciu, stanowi zagrożenie daleko mniejsze, niż urwanie balastu, z którym przy okazji często wiąże się również dziura w kadłubie. Jeszcze większa różnica występuje w kwestii radzenia sobie z płytkimi sieciami. Dla długokilowca sytuacja taka, nie licząc bardzo niefortunnnych przypadków związanych ze śrubą napędową itp., kończy się zwykle przejściem nad siecią i przeciągnięcie jej po stępce. W jachtach nowoczesnych, szczególnie z bulbkilem, może to oznaczać trudną operację odplątywania sieci od balastu, ponieważ jednak nie zawsze są do tego warunki, więc w tym przypadku również istnieje ryzyko bardzo niebezpiecznego urwania balastu.

W proa, płaskodenny vaka, możliwe, że osiągnąłby lepsze parametry szybkościowe, lecz wtedy, z powodu znacznego dryfu płaskodennego kadłuba, niezbędne byłoby zamontowanie miecza. Z powodu wekslowania, potrzebne by były albo dwa miecze obrotowe, co utrudnia konstrukcję oraz zwiększa koszt, albo jeden miecz szybrowy. Wadą miecza szybrowego, jest za to wrażliwość na uderzenia, co oczywiście nie oznacza, że obrotowe są na nie odporne, gdyż

ich konstrukcja zabezpiecza tylko przed uderzeniami od aktualnego dziobu do aktualnej rufy. Założenie żeglarstwa plażowego, gdzie czasami trzeba pokonać znaczny przybój, nieraz uderzając o dno lub sztrandować jednostkę przy dużej fali, wyklucza zastosowanie miecza szczególnie dlatego, że niesymetryczność kadłuba daje bardzo dobre właściwości przeciwdziałania dryfowi bez dodatkowej, wrażliwej płetwy.

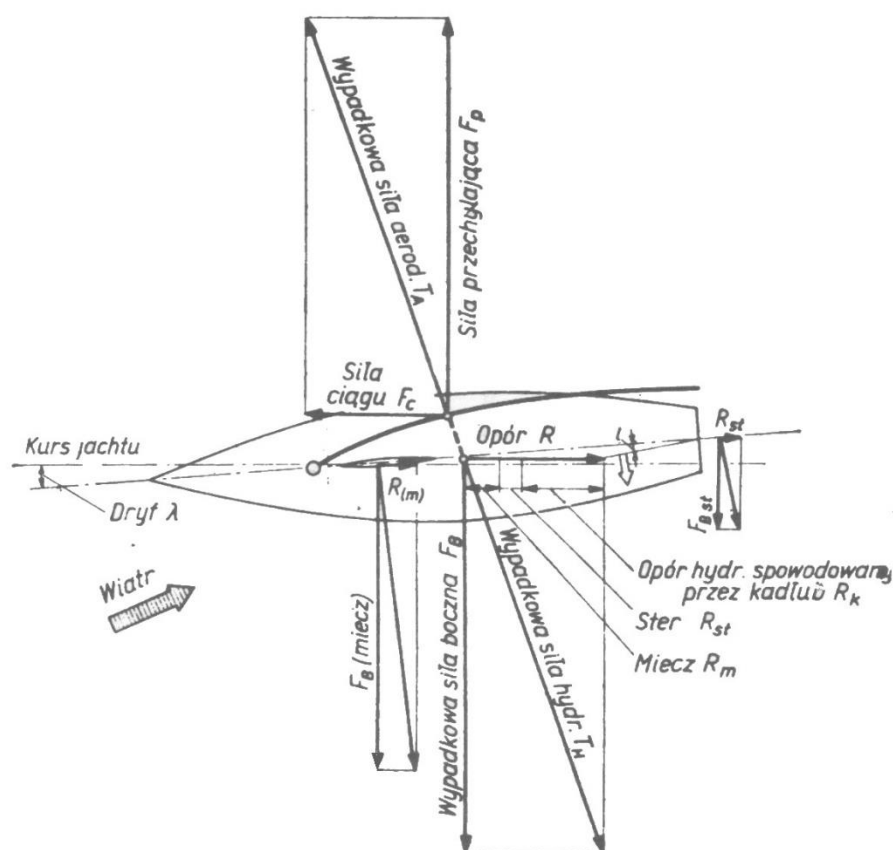
2.2.2 Nawietrzność i zawietrzność

Nawietrzność lub zawietrzność jachtu, czyli następstwo zrównoważenia żaglowego, jest to tendencja do zmiany kierunku żeglugi względem wiatru, w sytuacji, w której sternik nie trzyma steru (ster jest puszczone swobodnie) lub gdy jacht płynie w ustalonych warunkach, z konkretnym wychyleniem steru to zapewniającym i zaczyna zmieniać kierunek żeglugi z powodu nagłego wzrostu prędkości wiatru (Marchaj C., 2013, s.148-150). Jachty projektuje się jako nawietrzne głównie ze względów bezpieczeństwa – jacht nawietrzny pozostawiony swobodnie automatycznie stanie w linii wiatru, natomiast jacht zawietrzny stanie bokiem do wiatru, z wyraźnie ograniczonymi zdolnościami manewrowymi. Oprócz tego zaletami nawietrzności jest: wytwarzanie większej siły bocznej przez lekko wychylony ster, z powodu odchylenia strug wody pod wpływem działania miecza; oraz automatyczne wyostanie z powodu zwiększenia prędkości oraz zmiany kierunku wiatru pozornego na pełniejszy w szkwach, co pozwala zdobyć wysokość w żegludze na wiatr.

Niezależnie od braku miecza, co zostało opisane i uargumentowane w poprzednim podrozdziale, na proa nie ma również steru. Oprócz argumentów wynikających z niebezpieczeństwa kontaktu z dnem, ster znacznie komplikuje zrównoważenie żaglowe. Istnieje możliwość montażu jednego steru, przekładanego w miarę zwrotów, lecz montaż na skraju łódki, wymagałby transport steru po wąskim kadłubie; lub zastosowania dwóch sterów z których jeden byłby blokowany, co oczywiście pogarsza przepływ wody wzdłuż kadłuba, ale także powoduje narażenie na uszkodzenie przy podchodzeniu do plaży oraz stwarza oczywiste problemy związane ze sterowaniem ze znacznej odległości, co wymaga układu przełożeń itp. Natomiast montaż płetwy sterowej przy platformie, oznaczałby, że aby działać, musiałby on być odpowiednio większy (praca na krótszym ramieniu), co zwiększa opór steru. Oprócz wymienionych argumentów, ster jest kolejnym elementem który komplikuje układ jachtu, a okazuje się, że wcale nie jest niezbędny.

Za nawietrzność lub zawietrzność odpowiada położenie względem siebie środka boczego oporu i środka ożaglowania oraz wektory sił w tych punktach (w uproszczeniu, gdyż wektory sił dynamicznych nie są faktycznie przyłożone w tych punktach, lecz znajomość położenia oraz jego zmiana pozwala określać w sposób jakościowy zmiany równowagi układu; natomiast wyznaczenie faktycznych, chwilowych miejsc przyłożenia wektorów jest trudne z powodu: zmiennego gradientu wiatru, zmiennej prędkości wiatru, chwilowych oscylacji prędkości jachtu, falowania, lokalnych zawirowań powierzchni morza itp.). Kiedy wektory wypadkowych sił hydro i aerodynamicznych zaczynają obracać dziób jednostki w kierunku wiatru – łódka jest nawietrzna, gdy od kierunku z którego wieje wiatr – zawietrzna. W jachtach europejskich różnica ta występuje praktycznie zawsze, dlatego do ostatecznego zrównoważenia

doprowadza płetwa sterowa, wytwarzająca siłę hydrodynamiczną, pracująca z racji wychylenia pod innym kątem natarcia niż płetwa mieczowa. Na proa z powodu wekslowania, a więc ciągłych zmian środka ożaglowania w zależności od kierunku żeglugi oraz braku płetwy sterowej, relacja nawietrzności i zawietrzności jest regulowana trymem żagla i rozłożeniem masy na jednostce oraz krótkotrwale za pomocą pagaja pracującego jako płetwa sterowa. W żegludze w normalnych warunkach na wiatr fał oraz hals powinien być wybrany maksymalnie (Marchaj C., 2000, s.386-387) w celu uzyskania największej siły aerodynamicznej na żaglu. By zmieniać kurs na proa, należy zaburzyć zrównoważenie żaglowe i ponownie ustalić je na założonym kursie względem wiatru. Dlatego też, trym podłużny kadłuba, który w jachtach europejskich odpowiada w zdecydowanej mierze za osiągi jednostki, w jachtach typu proa jest ściśle połączony z równowagą kierunkową, gdyż w znacznej mierze pozwala manewrować jachtem.



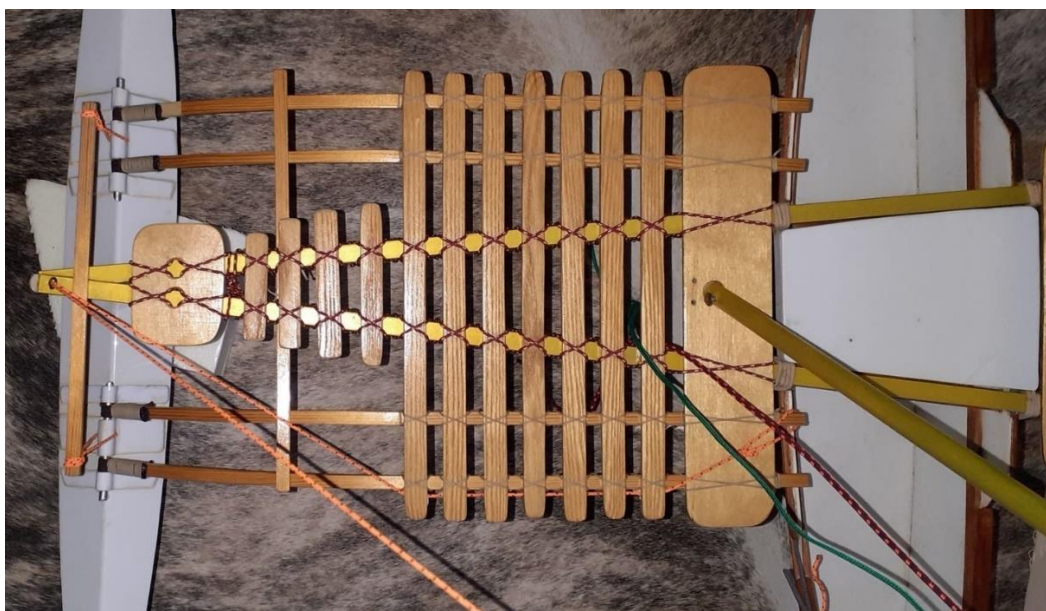
Rysunek 12. Jacht płynący ostrym bajdewindem w stanie równowagi kierunkowej. W momencie gdy nastąpi zmiana warunków, jak na przykład: zwiększenie prędkości wiatru, zmniejszenie prędkości jachtu lub zmiana kursu wskutek uderzenia w fale lub choćby zmiana burty przez jednego z załogantów na tódcie mieczowej, powoduje, że jacht musi ustalić ruch dla nowych parametrów, przez między innymi przez zmianę wychylenia steru. (Marchaj C., 2013, s.149)

2.3 Ama

Ama, czyli przeciwwaga powinna być zaprojektowana tak, żeby przecinać fale, np. podczas spadania z pozycji uniesionej lub podczas zanurzenia dziobu w grzbiecie fali oraz zapewniać minimalną wyporność pozwalającą na utrzymaniu się na powierzchni wody, podobnie jak pływak na rysunku 5. Jednak przy obecnych metodach, zaprojektowanie i wykonanie pływaka w którym na przykład zostanie zorganizowany schowek na część bagażu podręcznego załogi, jest na tyle proste w porównaniu do budowy całego jachtu, że warto założyć wyporność np. pozwalającą na swobodne położenie się człowieka na platformie w celu zapewnienia dostępu do schowka, przy zerowej sile aerodynamicznej, tak by ama pozostała nadal niezanurzona.

2.4 Aka

Aka jest strukturą nośną i ma za zadanie połączyć vaka i ama, w większych lub bardziej wyprawowych jednostkach, ma dodatkowo zapewnić miejsce oraz komfort dla załogi poprzez montaż np. desek, celem stworzenia pomostu. W europejskiej sztuce szutniczej, oprócz kilku przypadków jak np. „Connector” (Piwowski J., 1986, s.21), kadłuby i ich połączenia są projektowane jako sztywne, a odkształcenia występujące w konstrukcjach są traktowane jako tak zwane zło konieczne. Okazuje się jednak, że po drugiej stronie globu tradycyjni inżynierowie mieli do tematu sztywności podejście zupełnie inne. Oprócz różnic koncepcyjnych opisanych wcześniej, które na pierwszy rzut oka powodują największe rozbieżności w podejściu do żeglowania, jak na przykład wekslowanie i halsowanie, tak z inżynierskiego punktu widzenia, największa różnica pojawia się właśnie przy okazji łączenia kadłubów. Aka, w najbardziej rozwiniętych konstrukcjach (m. in. z wysp Marshalla), składa się z dwóch układów: dźwigarów sztywnych oraz sprężyn płaskich.



Rysunek 13. Zdjęcie z góry platformy modelu „Pjoa Laguna 2” Janusza Ostrowskiego w skali 1:5. Dźwigary w układzie A, związane deskami oraz cztery równoległe sprężyny płaskie mocowane do ama oraz do desek pomostu, oparte o burtę vaka. Oprócz czterech wymienionych sprężyn są jeszcze dwie: pierwsza, zamocowana równoległe do ama nad pływakiem z końcami belki dowiązanymi do ama; druga pomiędzy tą sprężyną a deskami pomostu, wciśnięta pomiędzy cztery sprężyny płaskie a dźwigary. Obie sprężyny służą do szybkiej zmiany sztywności układu.



Rysunek 14. . Zdjęcie z boku aka modelu „Pjoa” Janusza Ostrowskiego w skali 1:5. W tym rzucie widać wygięcie czterech sprężyn płaskich oraz punkt podporu ama do dźwigarów.

Dźwigary, projektowane jako sztywne, połączone deskami, zamocowane są do vaki. Na jednej desce, znajdującej się na burcie zawietrznej, jest zamontowany szot, na innej podstawa masztu, a na końcowej ściana want (z powodu małej wytrzymałości lin produkowanych w Oceanii oraz przenoszeniu największych obciążeń przez wanty, zwielokrotniono liczbę want, zamiast użycia jednej, grubszej dla zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości). Osprzęt montowany jest do sztywnej konstrukcji, ponieważ ewentualne, większe odkształcenia naprężałyby takielunek, mogąc prowadzić do awarii okuć lub zerwania lin. Na końcu, u zbiegu dźwigarów, punktowo, z możliwością obrotu wokół osi platformy, opiera się ama – łączenie to ma na celu przenoszenia obciążeń pionowych np. przy uderzeniu ama w falę. Oprócz desek trzymających osprzęt montuje się również deski tworzące pokład służący do poruszania się oraz do ewentualnej zabudowy na większych jednostkach. Deski oprócz tych zastosowań zwiększają sztywność dźwigarów oraz łączą je ze sprężynami płaskimi. Całość jest wiązana - wynika to prawdopodobnie z tego, że ludy Oceanii nie miały dostępu do metalu, lecz ma to swoje wielkie plusy. Połączenia wiązane powodują bardzo dobry rozkład naprężeń z powodu luzów w splocie oraz rozciągliwości sznurka, co pozwala pracować całej konstrukcji znacznie zwiększając poziom obciążeń niszczących. Oprócz tego, wiązanie nie powoduje powstawania karbu oraz zmniejszenia powierzchni przekroju, jak przy otworach do połączeń śrubowych lub nitowych; nie wnosi obciążeń wstępnych i deformacji materiału jak przy połączeniu spawanym oraz jest wytrzymalsze i nie powierzchniowe (co przy drewnie, które ma niską odporność na rozciąganie w płaszczyźnie równoległej do włókien, jest kluczowe) jak połączenie klejone.

Sprężyny płaskie służą do podatnego połączenia vaka i ama – dozwolony ruch to obrót dookoła osi platformy (oraz znacznie mniejsze obroty w innych osiach, powstałe między innymi przez luzy w konstrukcji oraz przez odkształcenia sprężyn). Obrót ten ma na celu zmniejszenie oporu wywoływanego przez ama podczas żeglugi, przez dostosowywanie chwilowego położenia względem powierzchni, w granicach określonych przez geometrię platformy, tak, by stwarzać najmniejszy opór. Rodzi to niebezpieczeństwa jak na przykład wywrotka przy zjeździe z fali i wbicie się ama w falę, lecz by temu zapobiec, konstruktorzy z Oceanii stworzyli układ o sprężystości nieliniowej – od pewnego kąta (około 15° - 20°) sprężystość zwiększa się radykalnie blokując dalszy obrót. Niestety brak publikacji na ten temat uniemożliwia podanie źródeł; są to wyniki dokładnego wzorowania się na tradycyjnych

konstrukcjach oraz lata obserwacji zachowywania się własnych jednostek dokonanych przez lokalnych polskich konstruktorów i miłośników proa.

3 Osprzęt

Osprzęt można podzielić na kilka elementów: żagle, drzewca oraz olinowanie (stałe i ruchome). Celem żagla jest nadanie niezbędnej do poruszania się siły ciągu, natomiast zadaniem drzewca oraz olinowania jest utrzymanie żagla w określonej pozycji. Oznacza to, że żagiel jest elementem determinującym wygląd reszty takielunku, a układ łodzi, głównie z powodu wekslowania, w dużej mierze ogranicza możliwość swobodnego doboru typu ożaglowania. Rysunek osprzętu widać na rys. 22.

3.1 Ożaglowanie

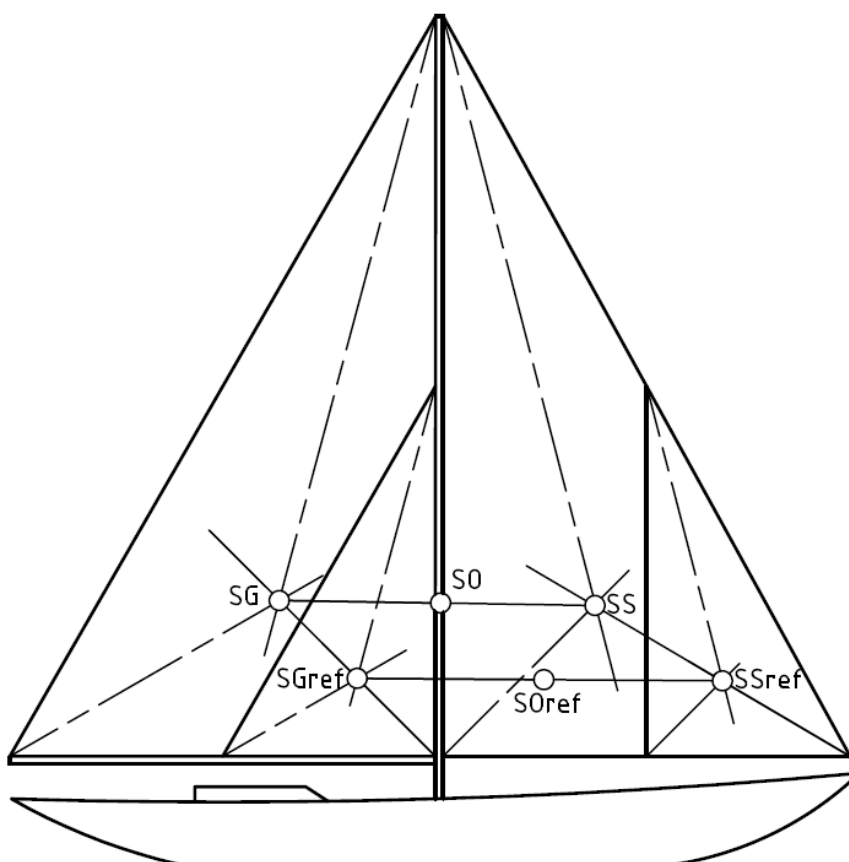
Problem związany z wekslowaniem i jego wpływem na wymagania względem ożaglowania, czyli głównie potrzeba obrócenia żagla na drugi koniec jachtu przy zwrocie, nie występuje w klasycznych, europejskich jachtach. Geometryczny środek ożaglowania, który określa nam miejsce przyłożenia wektora wypadkowej siły aerodynamicznej, jest zależny od przechyłu, postawionych żagli, trymu żagli itp.. Europejskie jachty są projektowane jako nawietrzne, na przykład wyprzedzenie żaglowe (stosunek wyrażony w procentach: długości o jaką geometryczny środek ożaglowania wyprzedza środek bocznego oporu oraz K_{LW}, czyli długości konstrukcyjnej linii wodnej) dla nowoczesnych jachtów typu słup, z takielunkiem ułamkowym i finkiem, powinno wynosić od 2% do 6% (Larsson L., Eliasson R. E., Orych M., 2014, s.214). Pokazuje to, że nawet w warunkach idealnych, potrzebne jest wychylenie steru, do utrzymania stałego kursu względem wiatru. W proa jest konieczna możliwość ustawienia geometrycznego środka ożaglowania w granicach pozwalających na zrównoważenie kierunkowe poprzez zmianę trymu podłużnego i poprzecznego kadłuba.

Historycznie w proa było używane ożaglowanie typu „kleszcze kraba” w nawet kilkunastu konfiguracjach, zależnie od rejonu zamieszkania konstruktorów, jednak z powodu najlepszej znajomości jednego, konkretnego typu za sprawą działalności prof. Czesława Marchaja, typ ożaglowania „kleszcze kraba” w poniższej pracy oznaczał będzie żagiel o kształcie podobnym do widocznego na zdjęciu nr 18. Tradycyjnie, do produkcji tych żagli, stosowano materiały z różnych roślin, które nie dość, że są w Polsce nieosiągalne, to niestety wiedza o ich zastosowaniu została w dużej mierze zapomniana. Obecnie jednak najprostszym do obróbki oraz najtańszym materiałem żaglowym jest dakron, który zdominował rynek płócien żaglowych o przeznaczeniu innym niż regatowe.

3.1.1 Ożaglowania z likiem przednim prowadzonym na maszcie

Wszystkie typy osprzętu wykorzystujące maszt do podtrzymania liku przedniego, w tym wymienione wcześniej ożaglowanie bermudzkie, w przypadku zastosowania ich na proa – bardzo komplikują konstrukcję. Jednym z możliwych rozwiązań jest maszt umiejscowiony na środku jachtu, a stawiane żagle to grotżagiel i sztaksel. Wymaga to jednak masztu obrotowego z olinowaniem stałym na krętliku, pozwalającym na obrót masztu; lub grotżagla stawianego na pierścieniach dookoła masztu (łącznie z obrotowym bomem), podobnie jak na klasycznych

kutrach gaflowych (oraz zaprojektowaniu rozwiązania pozwalającego na odpowiednie ustawienie bloczka fału na topie masztu). Dodatkowym problemem w tym rozwiązaniu jest sztaksel, którego należy zrzucić i stawiać po drugiej stronie podczas każdego zwrotu, co przy braku steru spowoduje brak sterowności przez długi czas potrzebny na przełożenie żagla. Refowanie w takim układzie powoduje przesunięcie środka ożaglowania bliżej dziobu, co przy silnym wietrze dodatkowo utrudni sterowanie jachtem. Innym rozwiązaniem jest ożaglowanie typu ket, z przenośnym masztem, lecz tutaj kłopotem jest sam transport masztu podczas zwrotu, co wymaga zrzucenia żagla itp., więc przenośny maszt na tyle utrudnia obsługę podczas żeglugi, że nie jest warty dalszego rozważania.



Rysunek 15. Schemat zmiany środków ożaglowania pełnych żagli marszowych (SO) dla ożaglowania typu kuter: grotżagiel (SG) i sztaksel (SS), pod wpływem refowania (S0ref, SGref, SSref). Na jachcie otaklowanym jako kuter (co najmniej dwa, równoległe sztagi, często maszt blisko środka długości jachtu, jak na powyższym rysunku), jest oczywiście więcej niż jeden sztag, więc istnieje możliwość postawienia mniejszego sztaksła na stensztagu lub sztagu kolumnowym, zamiast refować dużego sztaksła, co przesunie środek ożaglowania w stronę rufy, lecz na nowoczesnych jachtach, ze sztywnymi sztagami i rolfokiem, przy silniejszym wietrze, zanim postawi się foką sztormowego, często refuje się żagiel marszowy na forsztagu.

Powyższe rozważania sugerują odrzucenie takich typów ożaglowania, gdzie lik przedni jest prowadzony po maszcie i rozważenie ożaglowania z likiem przednim niezależnym od masztu, choć niektóre nowoczesne, oceaniczne proa, jak na przykład „Jzerro”, miewają klasyczne ożaglowanie bermudzkie, nie mają one jednak plażowego zastosowania.

3.1.2 Opisy rozpatrywanych typów ożaglowania

Na podstawie książki pt. „Na skrzydłach wiatru” Tomasza Maracewicza (Maracewicz T., 2019, s.15-20, s.27-29).

Łacińskie – europejskie, popularne dawniej, dziś już rzadziej spotykane, głównie w basenie morza Śródziemnego ożaglowanie, które stanowi żagiel rozpinany na długiej, zamontowanej ukośnie rei podciąganej w momencie stawiania żagla na maszcie. W tym typie ożaglowania ew. refowanie jest pracochłonne. Z mniejszych jednostek, ten rodzaj ożaglowania został zapożyczony na karawele, po czym powoli uległ wyparciu przez żagle rejowe. Na dużych statkach żagle łacińskie najdłużej używano jako sterżagiel na fregatach, między innymi na rosyjskim „Sztandarcie” – replice fregaty z przełomu siedemnastego i osiemnastego wieku.

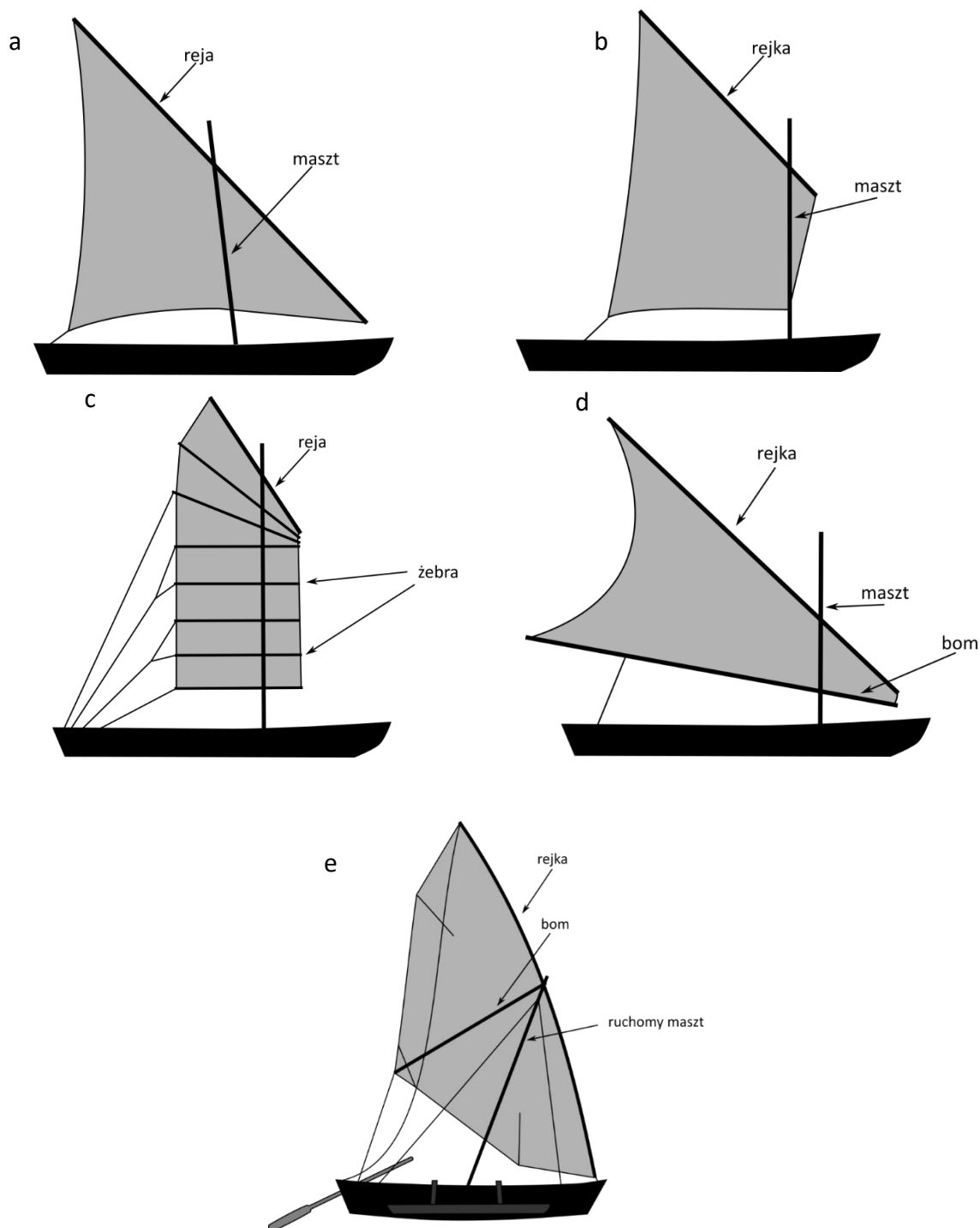
Lugrowe – ożaglowanie, będące modyfikacją ożaglowania łacińskiego, polegającą na skróceniu rei, tak by tylko krótki fragment wystawał za maszt, co spowodowało, że żagiel stał się czworokątny. Okazało się, że kształt żagla umożliwia skuteczniejszą żeglugę na wiatr, oraz pozwala na znaczne zmniejszenie masy rei, co oznacza ułatwienie obsługi i odciążenie masztu. Podobnie do żagla łacińskiego refowanie jest tu skomplikowane. Możliwe jest natomiast piętrowe umieszczanie żagli, co widać na replice osiemnastowiecznego statku przemysłowego „Grayhound”.

Dżonkowe – egzotyczne ożaglowanie pochodzące z Dalekiego Wschodu, zbudowane z poziomych płatów żagla rozpiętych pomiędzy żebrami, na szczycie zakończone reją. Każde żebro posiada własną linę pracującą jak szot, co pozwala na bardzo dobre trzymowanie żagla, lecz zwiększa liczbę lin i utrudnia obsługę. Refuje się poprzez opuszczanie żagla i złożenie dolnego pasa, co jest szybkie i nie wpływa znacząco na kształt. Ożaglowanie to było używane na różnej wielkości statkach, od wielkich dżonek do małych jachtów. W Europie znane głównie za sprawą płk. Herberta „Blondie” Haslera i jego jachtu „Jester” - ket z ożaglowaniem dżonkowym, na którym to w 1960 roku zajął drugie miejsce w regatach OSTAR.

Kleszcze kraba – tradycyjne ożaglowanie ludów Oceanii, spotykane w różnych odmianach, zależnie od ludu je wykorzystującego. Na wyspach Marshalla wykorzystuje się żagiel rozpostarty pomiędzy dwoma drzewcami: rejką i bomem, połączonymi przednimi końcami zamocowanymi na aktualnym dziobie. Refowanie jest najprostsze ze wszystkich wymienionych typów, gdyż wystarczy zbliżyć do siebie drzewce, by wyraźnie zmniejszyć wartość siły aerodynamicznej (Marchaj C., 2000, s.385). Ożaglowanie to ma duże zdolności samosterowne oraz może wytwarzać wyjątkowo dużą siłę aerodynamiczną. Co ciekawe, ożaglowanie to było nazywane przez europejskich podróżników „primitve lateen” lub „protolateen”, mimo że jest to ożaglowanie daleko bardziej wydajne, lecz z góry uznawane przez dominującą kulturę za prymitywne.

Gibbons rig – nowoczesne ożaglowanie wymyślone przez Amerykanina Euell Gibbons’a – propagatora zdrowego trybu życia, zdrowej żywności i antropologa, który zamieszkując na Hawajach zaczął zajmować się tradycyjnym jachtingiem. Ożaglowanie to jest prawdopodobnie wzorowane na ożaglowaniu łacińskim, różni się jednak tym, że jest w kształcie zbliżonym do

trójkąta równoramiennego, często posiada ożebrowanie oraz drzewce zastosowane w osi symetrii. Refowanie jest tu możliwe tylko przy odpowiedniej konstrukcji, lecz niewątpliwie należy zaznaczyć bardzo duże uproszczenie podczas manewru wekslowania, z racji na symetrię żagla – wystarczy wyluzować róg halsowy z jednej i wybrać z drugiej strony, bez manewru przenoszenie rogu żagla.

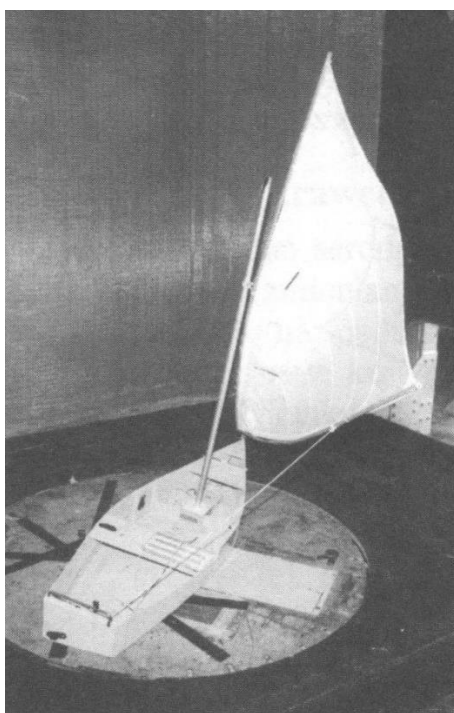


Rysunek 16. Ożaglowania: łacińskie (a), lugrowe (b), dżonkowe (c), kleszcze kraba (d) i gibbons rig (e). (autor: Tomasz Maracewicz)

3.1.3 Tradycyjny typ ożaglowania w łodziach proa – kleszcze kraba

Na podstawie książki pt. „Teoria Żeglowania. Aerodynamika Żagla” prof. Czesława Marchaja (Marchaj C., 2000, s.370-393).

Oprócz największego, historycznego znaczenia w konstrukcjach typu proa, ożaglowanie typu „kleszcze kraba” posiada zbiór ciekawych cech, które powodują, że oprócz aspektu podtrzymywania tradycji, jest to ożaglowanie prawdopodobnie najsprawniejsze i najużyteczniejsze w konstrukcjach tego typu. Najpewniej pierwsi konstruktorzy tego egzotycznego ożaglowania wzorowali się nie na ptakach, jak konstruktorzy europejscy, lecz na płetwach zwierząt morskich, które służyły do wytworzenia siły pozwalającej na płynięcie w określonym kierunku, a nie na przeciwstawienie się grawitacji jak to miało miejsce u ptaków. Ożaglowanie typu kleszcze kraba w odmianie wykorzystywanej na Wyspach Marshalla ze względu na kilka cech wymienionych w poprzednim podrozdziale zainteresowało jednego z najwybitniejszych żeglarskich naukowców prof. Czesława Marchaja. Badał to ożaglowanie w tunelu aerodynamicznym na Uniwersytecie w Southampton w różnych konfiguracjach, krojach i ustawieniach, co pozwala porównywać je z europejskimi rodzajami żagli, np. z ożaglowaniem bermudzkim. Swymi badaniami udowodnił, że ożaglowanie typu kleszcze kraba jest jednym z najlepszych znanych ożaglowań pod względem aerodynamicznym.



Rysunek 17. Zdjęcie modelu jachtu z ożaglowaniem typu „kleszcze kraba” podczas badań prof. Czesława Marchaja w tunelu aerodynamicznym na Uniwersytecie w Southampton. Fał oraz hals są wybrane maksymalnie, a także utrzymane jest małe wybrzuszenie – żagiel ma optymalny trym. (Marchaj C., 2000, s.386)

Wy tłumaczenie przewagi kleszczy kraba nad innymi typami ożaglowań nie jest do końca znane. Czesław Marchaj postawił hipotezę, że siła nośna powstaje podobnie jak na płacie delta, czyli zgodnie z hipotezą wirów brzegowych. Inne, późniejsze badania pokazały, że nie jest to prawda, a powodem jest odsunięcie momentu oderwania na bardzo duże kąty natarcia.

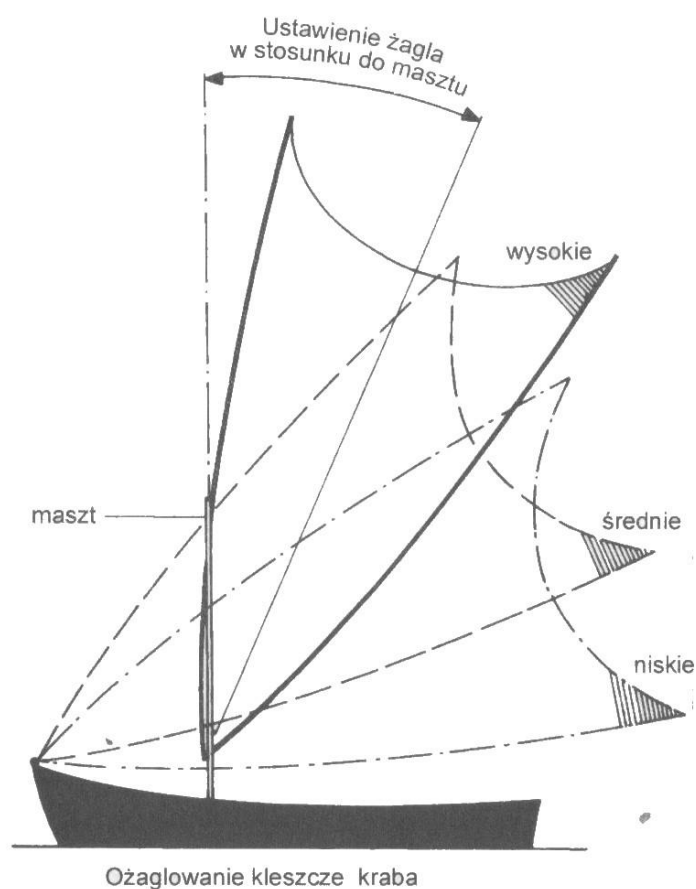
Być może dzięki zdolności żagla do dopasowania się kształtu do chwilowego rozkładu ciśnień. Pewne jest to, że dla tego żagla, całkowite oderwanie strug przepływu pojawia się znacząco później niż dla konwencjonalnych takielunków jak np. bermudzki grot.

W porównaniu ożaglowań, pod względem średniej siły napędowej, scałkowana funkcja potencjalnej siły napędowej w zależności od kursu żeglugi, przy założeniu wartości dla ożaglowania kleszcze kraba jako 1: dla bermudzkiego grotżagla wynosi około 0,76; natomiast dla bermudzkiego grotżagla i dużego sztaksla około 0,64. Oznacza to, że na jachcie klasy International Canoe, powierzchni żagli 20m^2 , na kursie pełny baksztag (najlepszy dla ożaglowania kleszcze kraba), przy prędkości wiatru 12 węzłów, prędkość jachtu z ożaglowaniem bermudzki grotżagiel i duży sztaksel będzie nawet o 0,5 węzła niższa, od prędkości tego jachtu w tych samych warunkach, lecz z żaglem typu „kleszcze kraba” o tej samej powierzchni. Jedyne kursy pozorne, dla których ożaglowanie bermudzkie ma przewagę nad ożaglowaniem kleszcze kraba to kursy od 0° do 40° , które i tak są przez większość jachtów nieosiągalne (Marchaj C., 2000, s.71).

Tradycyjne żagle typu kleszcze kraba mają stałą powierzchnię bez możliwości refowania, w rozumieniu zmniejszenia powierzchni żagla, co może być niebezpieczne podczas silnych wiatrów, jednakże, przez poluzowanie szotów, wybranie gejtawy i wyluzowanie rogu halsowego, można wyraźnie zmniejszyć siłę ciągu. Na przykład dla badanych przez prof. Marchaja przykładach, przez pogorszenie trymu siła ciągu zmalała o około 35% dla kursu pozornego 55° . W nowoczesnych, europejskich projektach są stosowane systemy pozwalające dodatkowo refować ten żagiel (Pjoa, 2020), co pozytywnie wpływa na bezpieczeństwo, podczas gwałtownej zmiany warunków.

W wielu tradycyjnych kleszczach kraba, rejka i bom, były naturalnie wygiętymi kawałkami drewna co, jak się okazało podczas badań prof. Marchaja, pozytywnie wpływa na parametry aerodynamiczne żagla. Sprawdzając różne kształty drzewc, okazało się, że te mocno zagięte do środka wytwarzają wyraźnie większą siłę aerodynamiczną, a sama siła napędowa jest o około 28% większa, niż dla drzewc prostych.

Żagiel był również badany dla różnych kątów pochylenia względem pionu. Wyniki te zaprzeczają zasadności zastosowania hipotezy wirów brzegowych, gdyż płąt delta powinien, według tej hipotezy, pracować najlepiej kiedy płaszczyzna symetrii płata jest równoległa do kierunku przepływu wiatru (Marchaj C., 2000, s.392). Rzeczywiście w pozycji niskiej wartość współczynnika siły nośnej jest największa, lecz stosunek siły nośnej do oporu jest lepsza dla pozycji średniej (około 45°). Tak więc, najbardziej opłacalnym ustawieniem żagla w kursach ostrych jest pozycja średnia, natomiast w kursach pełnych pozycja niska, choć może to być skutek obniżenia środka ożaglowania, a zatem zmniejszenia momentu przechylającego kadłub w stronę aktualnego dziobu.



Rysunek 18. Badane przez prof. Marchaję ustawienia żagla kleszcze kraba w tunelu aerodynamicznym: wysokie, średnie i niskie. Ustawienia niskie i średnie używane są przez m. in. Plemiona z wysp Marshalla, natomiast ustawienie wysokie – z mocowaniem rogu halsowego na maszcie lub u jego podstawy – jest stosowane przez ludy Nowej Gwinei. (Marchaj C., 2000, s.388)

	powierzchnia żagla [m ²]	8		10		12	
Max. prędkość wiatru [m/s]	Wiatr w stopniach B	F _c	F _p	F _c	F _p	F _c	F _p
5,4	3	44,3	188,6	55,4	235,8	66,4	282,9
7,9	4	94,8	403,7	118,5	504,6	142,2	605,5
10,7	5	173,9	740,5	217,4	925,7	260,9	1110,8
13,8	6	289,3	1231,8	361,6	1539,7	433,9	1847,6

Rysunek 19. Tabela z obliczonymi siłami ciągu F_c i przechylającymi F_p dla trzech powierzchni żagla, kątowi żeglugi równemu 30,4° względem wiatru oraz czterech maksymalnych prędkości wiatru w danym stopniu w skali Beauforta. Współczynnik siły nośnej oraz współczynnik siły oporu zostały wzięte z badań tunelowych przeprowadzonych przez prof. Czesława Marchaję dla żagla typu kleszcze kraba i wynosiły odpowiednio 1,3 oraz 0,4.

3.2 Drzewca

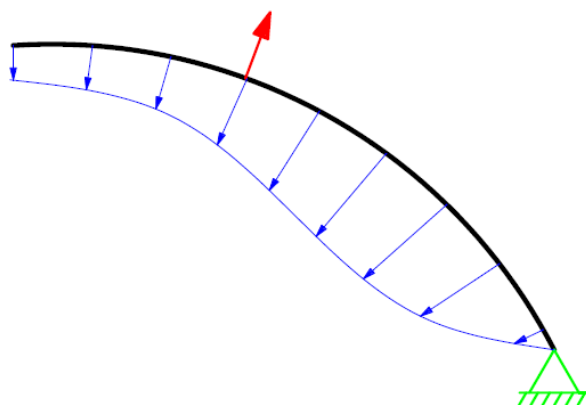
Drzewca w wybranym ożaglowaniu dzielą się na 3 elementy: rejkę, bom oraz maszt. Ich wygląd jest w znacznej mierze określony przez kształt żagla. Odpowiednie prowadzenie żagla wymaga wystarczającej wytrzymałości, natomiast cechami negatywnie wpływającymi na własności łodzi są masa oraz opór aerodynamiczny.

3.2.1 Rejka i bom

Rejka i bom powinny mieć symetryczne kształty, a różnić się jedynie miejscem montażu okuć: szota, fału i gejtawy, lecz przy dowiązywaniu ich do drzewc (co jest wskazane, by nie osłabiać struktury drzewca) nie wymaga to żadnego przygotowania ani określenia dokładnego miejsca dowiązania na drzewcu, choć zależnie od wybranego rozwiązania możliwe, że będzie wymagać tego konstrukcja żagla, gdyż jedną z lepszych aerodynamicznie metod łączenia żagla drzewcami jest kieszeń w żaglu w której znajduje się drzewce (Marchaj C., 2000, s.157).

Rejka i bom są zginane obciążeniem ciągłym pochodzącym od żagla, oraz podparte w dwóch miejscach – okucie od fału lub szota, oraz w miejscu łączenia obu drzewc – w rogu fałowym. Dodatkowo dochodzi siła pochodząca od ewentualnie użytkowanej gejtawy. Jako że jest to zginana w jednej płaszczyźnie belka, jej sztywność zależy od momentu bezwładności przekroju. Dla przekroju prostokątnego jest to $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$, gdzie b – szerokość, h – wysokość (Niezgodziński M.E., Niezgodziński T., 2002, s.84). Jedynym warunkiem odpowiedniej wytrzymałości bomu i rejki jest to, żeby nie wyginały się one tak mocno, by były widoczne pofałdowania materiału żagla spowodowane tym odkształceniem (Marchaj C., 2000, s.384). Rozwiązaniem uwzględniającym masę (jak najmniejsza) oraz szkody aerodynamiczne (spowodowane wprowadzeniem zaburzeń przepływu) jest wykonanie drzewc o przekroju wydłużonym, np. elipsa lub prostokąt, tak by powodowały jak najmniejszy opór, przy mniejszej masie i tej samej wytrzymałości, lecz przy zachowaniu niezbędnej do bezpiecznego użytkowania grubości i zabezpieczeniu przed ewentualnym skręceniem wynikającym z niedoskonałego łączenia okuć i żagla.

Ze względu na bardzo złożone obciążenie ciągłe wynikające ze zmiennego i niezbadanego rozkładu ciśnień oraz trudne do oszacowania siły pochodzące od fału, szota i halsu, tanim lecz najprawdopodobniej wystarczająco dobrym rozwiązaniem, jest wzorowanie się na już istniejących konstrukcjach i wykonanie drzewc do sprawdzenia modelowego. Niestety dokładne pomiary rozkładu ciśnień na żaglu typu kleszcze kraba prawdopodobnie nigdy nie były wykonane, a z racji rozbieżności teorii dot. płatu delta i kleszczy kraba wskazanej w podrozdziale 3.1.3, zasadność obliczeń sił na żaglu, w oparciu o dane eksperymentalne rozkładu ciśnień na płacie delta, jest wątpliwa.



Rysunek 20. Rejka (kolor czarny), jako belka, obciążona siłą punktową pochodzącą od fału (kolor czerwony), obciążeniem ciągłym od żagla (kolor niebieski) oraz zamocowana na obrotowym przegubie w rogu halsowym. Jest to schemat ideowy, gdyż róg halsowy jest złożeniem pracy halsu oraz wiązania rejki i bomu, więc przegub obrotowy jest uproszczeniem. Poza tym, obciążenie ciągłe od żagla jest narysowane jako możliwe, uproszczone, gdyż obciążenie od żagla typu kleszcze kraba znane nie jest - niestety funkcja przybliżająca obciążenie rzeczywiste dla podobnego żagla nie została wyznaczona, a stosowanie wzorów np. na obciążenia bomu grotżagla w ożaglowaniu bermudzkim, z racji na zaokrąglenie drzewca i inny charakter przepływu, dać może niemiarodajne wyniki.

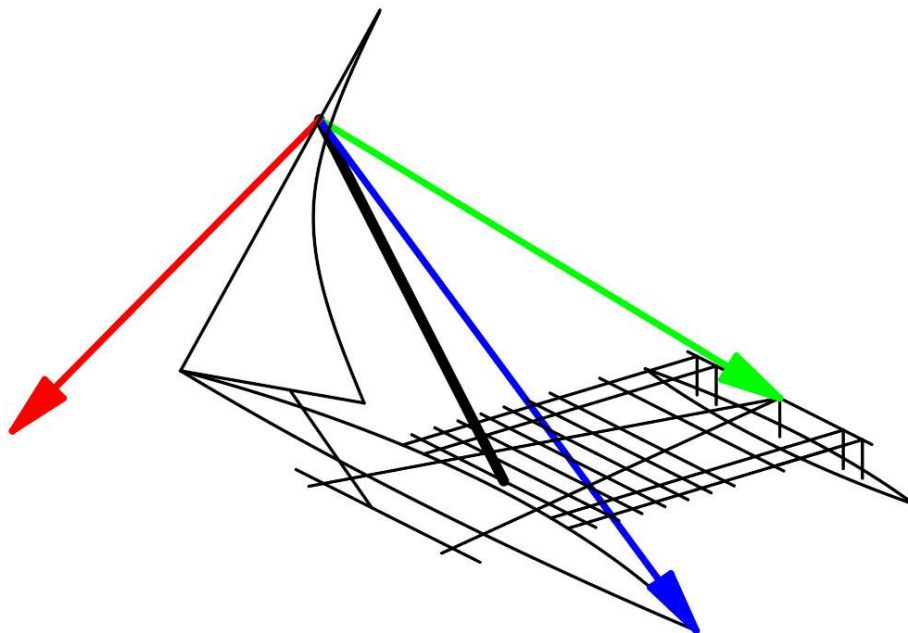
3.2.2 Maszt

Ze względu na przyjęte ożaglowanie, konstrukcję kadłuba oraz styl żeglowania, maszt różni się bardzo od klasycznych masztów na jachtach europejskich. Największą różnicą jest to, że maszt nie jest sztywno zamocowany w miejscu stopy masztu – jest tam przegub pozwalający na odchylenie masztu od pionu w każdym kierunku, w zakresie pozwalającym na ustawienie żagla w każdej wartej rozważania pozycji. Przypomina to montaż masztu (pędnika) na windsurfingu.

Maszt jest zamontowany do jachtu za pomocą obrotowego przegubu, po to, żeby można było, w zależności od obciążenia oraz kursu względem wiatru, odpowiednio ustawić miejsce w którym powinien znajdować się tzw. róg fałowy. Z tego powodu i wanta, i sztag są olinowaniem półstałym, gdyż sam maszt zmienia swoje położenie przy każdym zwrocie. Sama idea masztu niesztywnego, jest całkowicie przeciwstawna do idei europejskiego masztu, który będąc nieraz uznawany przez żeglarzy za najmocniejszą rzecz na pokładzie służy do dowiązywania liny kotwicznej przed potężnym huraganem, gdyż prawdopodobnie wytrzyma więcej niż pokładowe knagi. Maszt w zastosowanym układzie przy ożaglowaniu „kleszcze kraba”, podczas pracy, powinien być pochylony w kierunku ruchu, pod kątem zależnym od geometrii kadłuba oraz kształtu i trymu żagla. Z przeciwnej strony napina się maszt za pomocą sztagu.

Następną, nie mniejszą różnicą, wynikającą z innego montażu ożaglowania niż najczęściej używane - bermudzkie, jest rozkład sił gdy sztag, wanta i fał zamocowane są na jednym okuciu. Wtedy, okazuje się, że maszt teoretycznie nie jest w ogóle zginany, a jedynie ściskany (lub w szczególnych przypadkach rozciągany) co znacznie upraszcza model obciążeń tego drzewca i

zwiększa siłę niezbędną do wystąpienia niszczącego wyboczenia. Przy montażu mocowań lin w nieznacznych odległościach oczywiście moment zginający występuje, lecz nadal jest on zdecydowanie mniejszy, niż w sytuacji gdy cały lik przedni żagla opiera się na maszcie. Na mniejszych, jeziorowych jednostkach, przy silniejszym wietrze, maksymalne odkształcenie masztu od pozycji środkowej, może wynosić nawet 10-15 cm, co znacznie zwiększa ryzyko ewentualnego wyboczenia.



Rysunek 21. Schemat obciążeń masztu w rzucie izometrycznym od strony chwilowej rufy z zawietrznej burty. Jeżeli fał, wanta i sztąg zamocowane są na jednym okuciu (na tej samej wysokości), to siły pochodzące od tych lin (czerwona – fał, niebieska – sztąg, zielona – wanta) generują jedynie siłę ściskającą, gdyż stopa masztu zamocowana jest na przegubie obrotowym i nie przenosi momentów, a jedynie siły. Ciemniejszymi, czarnymi liniami narysowana proa z żaglem.

3.2.3 Materiał

W tradycyjnych konstrukcjach głównym materiałem były różne lokalne drzewa, lecz są to gatunki w Polsce trudno lub nawet niedostępne. Natomiast do najczęściej wykorzystywanych w europejskim jachtingu materiałów do produkcji drzewc, obok drewna, należą: stal, aluminium i włókno węglowe.

Stal wykorzystywana jest do drzewc na niektórych jachtach np. s/y Polonez na którym Krzysztof Baranowski opływał świat dookoła lub s/y Zjawa IV, oraz na większości współczesnych, dużych żaglowców takich jak: SV Dar Młodzieży, STS Fryderyk Chopin czy s/y Zawisza Czarny II. Jej największą zaletą jest wysoka wytrzymałość oraz niska cena. Jednak jest stosowana praktycznie tylko na dużych jednostkach, gdyż jej zalety są przeważające dopiero na większych statkach.

Na jachtach przeważnie stosowane są pozostałe materiały, zależnie od przeznaczenia. Na jednostkach turystycznych oraz turystyczno-regatowych dominują drzewca z aluminium, gdyż są względnie tanie, nie wymagają trudnej konserwacji jak maszty stalowe oraz są łatwe do

nabycia i montażu dzięki znormalizowaniu przekrojów przez producentów i możliwości samodzielnej, obróbki wykańczającej do konkretnego jachtu. W zawodowym żeglarskim regatowym stosuje się często drzewca z włókna węglowego (lub mieszanki włókna szklanego i włókna węglowego co obniża koszt elementu np. w windsurfingu oraz zmniejsza kruchość), gdyż jest to materiał wytrzymały, odporny na obciążenia cykliczne oraz bardzo lekki. Niestety jest również drogi i bardzo trudny w recyklingu, dlatego jest to materiał ekskluzywny, rzadko wykorzystywany poza sportem.

Dla jachtu o plażowym zacięciu i amatorskim przeznaczeniu prawdopodobnie najlepszym materiałem jest drewno. Głównie z powodu łatwości obróbki, możliwości wykonania drzewca za pomocą domowych narzędzi oraz niskiej ceny materiałów. Zagięcie reyki i bomu jest aspektem znacznie zwiększającym zastosowanie drewna, gdyż odpowiedni kształt drzewca wykonanych z aluminium lub włókna szklanego, wymaga kosztownej (w skali jednostkowej) produkcji, natomiast wykonanie reyki i bomu z klejonych drewnianych listewek może być dokonane małym kosztem w domu, dlatego tańszym i technologicznie prostszym rozwiązaniem będzie wykonanie reyki i bomu z drewna.

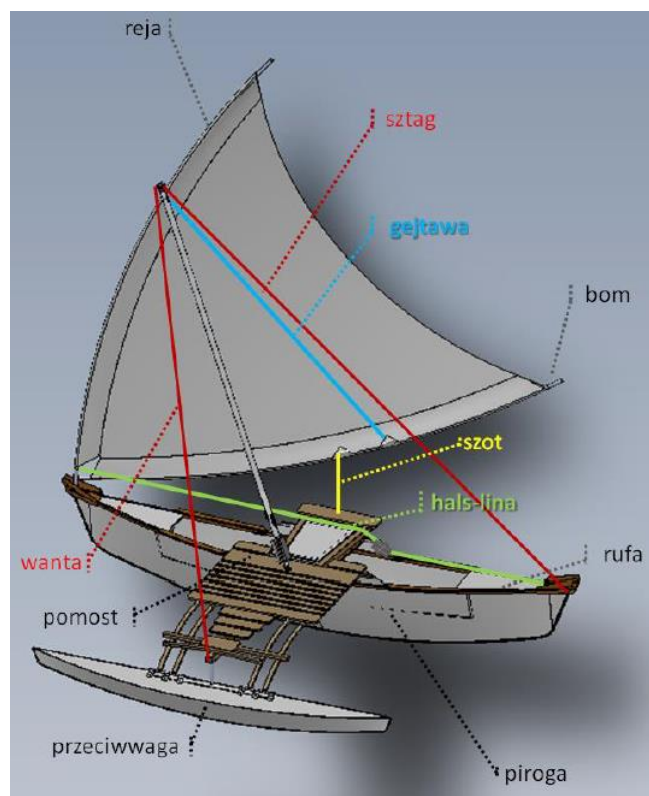
Wymagany przez kleszcze kraba maszt, jest zdecydowanie niższy niż maszt dla ożaglowania bermudzkiego o tej samej powierzchni, dlatego też zagadnienie doboru odpowiedniego materiału jest zagadnieniem prostszym. Ze względu na wykonywanie większości elementów z drewna, drewniany maszt wpisuje się w ideę konstrukcji, lecz równie dobrze można użyć aluminiowej rury, co może się okazać niewiele droższe, lecz prostsze technologicznie, natomiast masa, opór aerodynamiczny i wytrzymałość zależą od konkretnej konstrukcji.

3.3 Olinowanie

Liny niezbędne do prawidłowego funkcjonowania żagla, to sztag, wanta, fał, szot oraz hals. Dwie pierwsze, wspólnie z żaglem uznawanym jako całość, utrzymują maszt na miejscu. Szot pełni niejako rolę zawietrznej wanty, a hals - sztagu (lina nazywana w proa sztagiem pełni faktycznie rolę achtersztagu). Z wekslowania wynika, że wanta jest niezbędna tylko na burcie nawietrznej. Wanta, fał oraz szot nie potrzebują udogodnień, jednak przez dodanie kilku lin i bloczków można uprościć żeglowanie i obsługę żagla, a dodatkowo skrócić czas potrzebny do wykonania zwrotu, zwiększyć bezpieczeństwo oraz zmniejszyć ryzyko utraty kontroli nad jachtem. Te dodatkowo zastosowane liny to: drugi sztag, dwie gejtawy oraz drugi hals.

Zastosowanie pojedynczego sztagu oraz halsu, powoduje, że przy każdym zwrocie niezbędna jest zamiana tych lin miejscami, co powoduje, że sternik by to zrobić musi dwa razy znaleźć się na jednym dziobie, oraz raz na drugim, a to wszystko albo z żaglem w rękę, albo z niestabilnym, nieodpowiednio podpartym masztem oraz dodatkowo ryzykiem splątania sztagu przy okuciu. Drugi sztag oraz drugi hals sprawiają, że sternik aby wykonać zwrot, nie musi wstawać z miejsca by przełożyć żagiel, gdyż wystarczy, że odnaguje hals i przeciągnie róg żagla na drugą stronę, ponieważ nienapięty wcześniej sztag, w miarę przeciągania żagla, zaczyna się naprężać i podtrzymywać maszt. Wymaga to oczywiście wcześniejszego zaknagowania obu sztagów z pozostawieniem ściśle określonego, potrzebnego do zmiany

pochylenia masztu, odcinka liny. Natomiast gejtawa, lina która łączy, przez układ bloczków, rejkę i bom, służy do zwiększania wybrzuszenia, co, jak udowodnił prof. Marchaj wyraźnie zmniejsza siłę aerodynamiczną na żaglu. Jest to więc lina która służy do refowania w trudnych warunkach. Potrzebne są dwie liny, po jednej na każdą stronę żagla, by możliwe było refowanie w obu kierunkach żeglugi. Dodatkowo gejtawy mogą służyć do przełamywania żagla, w celu zmiany kursu względem wiatru (Ostrowski J., 2018, s.8).



Rysunek 22. Schemat proa wraz z olinowaniem na przykładzie „Pjoa” projektu Janusza Ostrowskiego. (Ostrowski J., 2018, s.3)

W celu jeszcze większego uproszczenia olinowania ruchomego, można przepuścić hals przez bloczki na obu końcach vaka i dowieźć obie końcówki do rogu halsowego żagla, czyniąc z liny pętle. Hals zależnie od kierunku w jakim jest wybierany, przenosi róg żagla na odpowiedni koniec jachtu i, po wybraniu i zaknagowaniu, ustala „aktualny” dziób. Podobne rozwiązanie spotyka się w olinowaniu genakera na małych regatowych jachtach (np. RS Vision), gdzie jedna lina, w zależności od kierunku wybierania, pełni rolę fału żagla oraz liny odpowiedzialnej za wysuwanie bukszprytu lub kontrafału oraz liny chowającej bukszpryt.

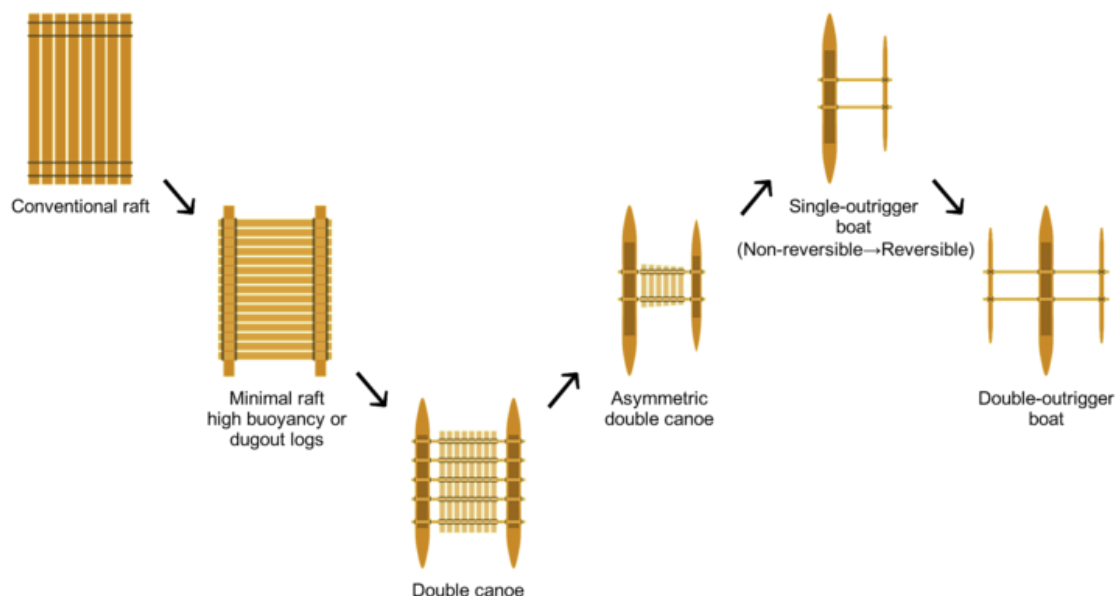
Z powodu niewielkich rozmiarów jachtu, więc i niewielkiej powierzchni żagla, wszelkie napotkane naprężenia w olinowaniu, są na tyle niskie, że nowoczesne, plecione liny o średnicy pozwalającej na wygodne użytkowanie, mają znacznie większą wytrzymałość niż jest wymagana. Na przykład: tania, pleciona lina przeznaczona na szot o średnicy 6mm, ma wytrzymałość na zerwanie około 550kg (Zefir marine), natomiast obliczona siła przechylająca dla 6°B dla żagla o powierzchni 12m² wynosi niecałe 2000N. Daje to w zasadzie pełną dowolność przy doborze olinowania.

4 Wnioski

Na tradycyjnych proa, pod względem rozwiązań konstrukcyjnych, jest wiele różnic koncepcyjnych względem europejskich jednostek, które nieraz upraszczają konstrukcję (np.: prosty takielunek i brak wystających płetw), rozwiązując konkretne problemy w sposób często nam nie znany. Zrozumienie mechanizmów rządzących ewolucją techniki w Oceanicznej gałęzi żeglarstwa wymaga spojrzenia kompleksowego, znacznie wykraczającego poza wiedzę li tylko mechaniczną. Kwestie kulturowe wśród plemion, które w naszym rozumieniu nie stworzyły cywilizacji, często pozostają zagadką. Z powodu brutalnego podporządkowywania i niszczenia dorobku autochtonów przez kolonizatorów, antropologów, pomimo tego, że plemiona Oceanii często stanowią dzisiaj niepodległe państwa, mają spore trudności w studiowaniu dziejów tych najbardziej morskich z ludów. Przez liczne próby jądrowe niektóre wyspy nie nadają się do zamieszkania, więc dostęp do tradycyjnie użytkowanych, endemicznych gatunków, potrzebnych do budowy proa został zablokowany, choć już przed próbami jądrowymi kolonizatorzy ograniczali niezależne podróże i kulturową wymianę, chcąc uzależnić od siebie pradawnych odkrywców.

Jednak oprócz wpływu specyficznej kultury, związanej z bardzo silnym kultem morza, pozostają jeszcze wpływy czysto geograficzne (które oczywiście mają wielki wpływ na kulturę). Ocean Spokojny zajmuje 30% powierzchni Ziemi, jest na nim około 25 000 wysp – więcej niż na wszystkich pozostałych zbiornikach wodnych razem wziętych. Wyspy te są w większości niewielkie, o małej wysokości nad poziomem morza i małej powierzchni. Takie położenie rodzi wielkie problemy związane z przestrzenią życiową oraz dostępem do materiałów. Brak wystarczającej przestrzeni życiowej powodował, że mieszkańcy musieli decydować się na wyprawy odkrywcze, a następnie kolonizacyjne. Brak dostępu do dużej ilości materiałów utrudniał podróże, a każda łódź nadwyrężała zasoby wyspy, więc to najprawdopodobniej, oszczędność oraz dobra obserwacja fauny morskiej zdecydowała o kierunku rozwoju skutnictwa.

W podróże brać na pokład można było tylko najpotrzebniejsze przedmioty, gdyż każdy dodatkowy kilogram wyporności, oznaczał dodatkową wycinkę. Transport kamieni w zębach, z perspektywy mieszkańców Oceanii, jest czynnością absurdalną. Natomiast budowa płaskodennego kadłuba, zapewniającego stateczność samym kształtem, bez metalu, bez swobody doboru pni na deski, było czynnością bardzo trudną – nawet w Europie nie budowano takich kadłubów w morskich jednostkach, do czasów współczesnych. Lecz stateczność kształtu można uzyskać łącząc dwa kadłuby pomostem. Jeszcze większą oszczędność można uzyskać znacznie zmniejszając jeden z kadłubów oraz umieszczając go na stałe na nawietrznej, by jego celem nie było zapewnienie dodatkowej wyporności, lecz odsunięcie jak najdalej środka masy jednostki. Jest to prawdopodobna droga ewolucji proa – oszczędność.



Rysunek 23. Prawdopodobna droga ewolucji tak zwanych outrigger canoe. Ostatni etap, double-outrigger boat, bywał używany w miejscach gdzie materiał był lepiej dostępny – Filipiny czy Indonezja. (Obsidian Soul, 2019)

Pomimo, że większość żeglarzy patrzy na proa jak na ciekawostkę, a większość ludzi jedyny kontakt z żeglarstwem z Oceanii miała tylko dzięki obejrzeniu *Vaiana: Skarb Oceanu* produkcji Disney'a, to okazuje się, że pomysł ludów Oceanii nie zniknął. Proa i jachty na nich wzorowane znalazły swoją niszę w nowoczesnym żeglarstwie – tzw. speed sailing. Rekord prędkości żeglugi na wodzie – 65,45 węzła w 2012 roku na jachcie Vestas Sailrocket w układzie proa; rekord prędkości na łódzie pojazdem zasilanym siłą wiatru – 202,9 km/h w 2009 roku w pojeździe Ecotricity Greenbird, również w układzie proa. Jest to piękny rozdział w historii łodzi typu proa, który niejako został przepowiedziany przez pierwszego Europejczyka który proa opisał – Antonio Pigfeta, uczestnika wyprawy Magellana. Po przybyciu w 1521 roku na wyspę Guam napisał on: "łódzie krajowców przepływały szybko obok nas, mimo że płynęliśmy pod pełnymi żaglami. Nie ma w nich różnicy pomiędzy dziobem i rufą i są jak delfiny, skaczące z fali na falę" (Baltic-Proa, 2013).

Biorąc pod uwagę wszystkie wymienione i opisane aspekty, należy stwierdzić, że konstrukcja niewielkich łodzi typu proa ponad wszelką wątpliwość spełnia założone w celu pracy wymogi dotyczące warunków transportu, obsługi i wykorzystywania w żeglarstwie plażowym. Jest to możliwa droga zwiększenia popularności tego rodzaju aktywności, gdyż europejskie, małe jachty nie spełniają dobrze wymogów stawianych przez nietypowy, w naszych rejonach, sposób żeglowania – są wrażliwe na lądowanie na plaży oraz odchodzenie z niej.

Dodatkowo, odmienne warunki meteorologiczne i oceanograficzne, a także zdecydowanie inne przeznaczenie (osadnicza podróż oceaniczna, a żeglarstwo rekreacyjne) oraz wymogi kulturowe, w tym kwestie komfortu socjalnobytowego, nie stoją na przeszkodzie w użytkowaniu tego typu jachtów, przy założeniu jednak realizowania wyłącznie żeglugi

przybrzeżnej (plażowej), w okresie letnim i w porze dziennej. Warunki te nie stoją na przeszkodzie turystyce żeglarskiej, winna być ona jednak oparta na założeniu spędzania nocy (biwakowania) na plaży. Choć wydaje się to być znacznym ograniczeniem, to bardzo mocno obniża tzw. próg wejścia, gdyż za cenę około dwutygodniowego czarteru małego jachtu pełnomorskiego, jest możliwość własnoręcznego wykonania łodzi i eksploracji południowych brzegów Bałtyku od półwyspu Jutlandzkiego, do Sankt Petersburga, oraz południowego wybrzeża Szwecji, od Helsingborgu do Åhus.

Ruch entuzjastów proa zaczyna w Polsce i w Europie rosnąć z roku na rok. Nie powinno to dziwić, gdyż wiele ciekawych rozwiązań powoduje, że jest to najprostsza i najtańsza żaglówka możliwa do wykonania w domu przez amatora. Wzrost popularności będzie oznaczał większe projekty, może po jakimś czasie badania, klasa regatowa, a może ostatecznie monotyp olimpijski. Choć są to tylko rozważania, to należy wziąć pod uwagę, że nawet bardzo konserwatywne środowisko żeglarskie nie kwestionuje już wykorzystywania wielokadłubowców w uznanych regatach, jak na przykład America's Cup, co jeszcze niecałe 100 lat temu byłoby nie do pomyślenia. Możliwe więc, że niektóre przewagi jachtów typu proa będą w przyszłości powszechniej wykorzystywane w nowoczesnym żeglarstwie.

5 Bibliografia

Baltic-Proa, 2013, *Proa*, w: Baltic-Proa [online], [dostęp 10.01.2021], dostęp w: http://baltic-proa.com/?lodzie_proa,7

Larsson L., Eliasson R. E., Orych M., 2014, wyd. 4., *Podstawy Projektowania Jachtów*, Warszawa, Almapress, ISBN 978-83-7020-652-9

Maderski J., *Setka A*, w: Maderski [online], [dostęp 18.12.2020], dostęp w: <http://www.maderski.pl/setka-a.html>

Maracewicz T., 2019, *Na skrzydłach wiatru: Żaglowce bez tajemnic*, Warszawa, Fundacja STS Fryderyk Chopin, ISBN 978-83-937936-1-7

Marchaj C., 2000, wyd. 4., *Teoria żeglowania: Aerodynamika żagla*, Warszawa, Almapress, ISBN 83-7020-269-1

Marchaj C., 2013, wyd. 1., *Teoria żeglowania: Hydrodynamika kadłuba*, Warszawa, Almapress, ISBN 978-83-7020-529-4

Mnich K., 2009, *Dzielne – niebezpieczne?*, w: Port21 [online], [dostęp: 28.12.2020], dostęp w: <http://port21.pl/dzielne-niebezpieczne/>

Niezdodziński M.E., Niezdodziński T., 2002, wyd. 15., *Wytrzymałość materiałów*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, ISBN 83-01-12484-9

Obsidian Soul, 2019, *Succession of forms in the development of the Austronesian boat*, w: Wikimedia Commons [online], [dostęp 28.12.2020], dostęp w: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Succession_of_forms_in_the_development_of_the_Austronesian_boat.png

Ostrowski J., 2018, *Elementarz żeglowania po Mikronezyjsku*, w: Pjoa [online], [dostęp: 09.10.2020], dostęp w: http://pjoa.eu/wp-content/uploads/2020/10/Elementarz-ze-glowania-po-mikronezyjsku-6_3PL.pdf

Piwowoński J., 1986, wyd. 2., *Niezwykłe Okręty*, Warszawa, Instytut Wydawniczy „Nasza Księgarnia”, ISBN 83-10-08674-1

Pjoa, 2020, *Sails*, w: Pjoa [online], [dostęp 28.12.2020], dostęp w: <http://pjoa.eu/sails/>

Sailing Uncovered, 2019, *First video of an AC75 capsize! Emirates Team New Zealand go over*, w: Youtube [online], [dostęp 10.01.2020], dostęp w: <https://www.youtube.com/watch?v=DKRmBaigV9Q>

Splawa-Neyman S., Owczarzak Z., *Lipa (Tilia cordata Mill.)*, w: Łukasiewicz Instytut Technologii Drewna [online], [dostęp 10.01.2020], dostęp w: <https://www.itd.poznan.pl/pl/vademecum/lipa>

Zefir marine, *LINA NA FAŁY 6mm*, w: Zefir marine [online], [dostęp 03.03.2020], dostęp w: <https://zefir.sklep.pl/liny-na-faly/546-lina-na-faly-6mm-czerwona.html>