

## Tytuł: Rozważania o Kleszczach Kraba – jaki kształt da największe pole powierzchni.

Autor: Janusz Ostrowski

Wersja 1.3

W tym artykule rozważam kilka wybranych kształtów żagla typu Kleszcze Kraba, by określić, jakie maksymalne pole powierzchni można dla nich osiągnąć, przy spełnieniu warunków, które uważam za niezbędne.

Na łodziach proa o wielkości do 7 metrów staramy się zazwyczaj postawić tak duży żagiel, jak to jest możliwe, bo nie mamy problemów z wybalastowaniem wiatrów o sile do 3-4B, których jest na naszych akwenach dość, by nie wychodzić na wodę w gorszych warunkach.

Na proa tej wielkości po prostu potrzebujemy jak największej mocy, bo opór wody jaki jest do pokonania nie zmaleje poniżej pewnej wartości. Bez względu na wielkość proa, na jego pokładzie musi znaleźć się załoga. Minimum to jedna osoba, ale ze względów bezpieczeństwa należy rozważyć dwie, zatem czy zbudujemy vaka długości 3,4,5,6 czy 7 metrów, to nigdy wymagana wyporność łodzi nie zejdzie poniżej 200kg, a najczęściej to jest dobrze ponad 300kg (nie mam na myśli ile łódź waży, ale ile wody wypiera, żeby nie zatonać z załogą 😊). Te 300kg wody trzeba rozepchnąć na boki, żeby kadłub mógł posunąć się do przodu. Im smuklejsza łódź tym łatwiej wodę się rozpycha (opór falowy i ciśnienia), za to im krótsza, tym część podwodna ma mniejsze pole powierzchni (najmniejsze ma półkolista czasza) a zatem mniejsze tarcie.

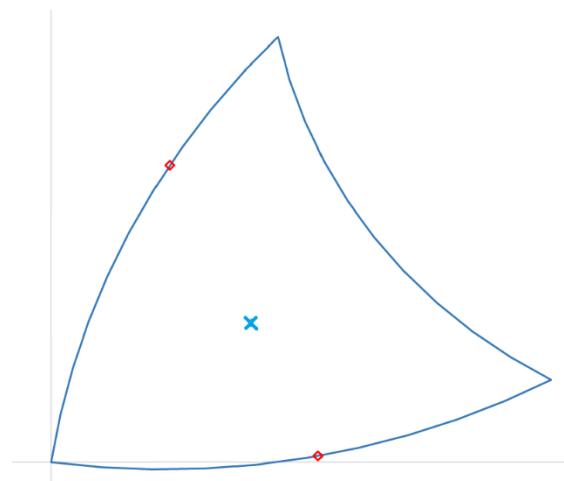
Najpierw omówię jakie wspólne wymagania postawiłem dla wszystkich badanych wariantów.

**Warunek 1:** Żeby dało się jakoś ogarnąć umysłem wszystkie małe siły, działające na każdy centymetr zanurzonego poszycia, zastępujemy je jedną dużą siłą, zaczepioną w jednym miejscu. To miejsce dobiera się tak, by sumaryczny efekt (wielkość oddziaływania, kierunek i momenty obracające) był identyczny dla jednego i drugiego modelu. Tak wyznaczony środek sił



hydrodynamicznych, w widoku z boku zwykle wypada nieco przed środkiem łodzi zwanym Środkiem Bocznego Oporu [w skrócie ŚBO], na rysunku z lewej oznaczony białym krzyżem.

Podobną, wymyśloną operację możemy przeprowadzić dla żagla, którego wynikową siłę zakotwiczymy w Środku Żagla (ŚŻ). Przyjęto się przyjmować, że ŚŻ leży w geometrycznym środku powierzchni żagla - na rysunku po prawej oznaczyłem go błękitnym „X”.



Żeby proa płynął prosto, Środek Żagla musi znajdować się dokładnie nad Środkiem Bocznego Oporu.

Na rysunku poniżej oba środki połączone są cienką, przerywaną, pionową linią.

Dzięki takiej lokalizacji siły działające na żagiel, równoważą się z tymi, które działają na kadłub i, w możliwie najszerszym zakresie kursów względem wiatru, nie ma potrzeby wspomaganie się wiośłem sterowym. Każde zaangażowanie wiosła do sterowania to dodatkowy wzrost oporów i niepotrzebny wysiłek fizyczny i psychiczny załogi oraz wytrącanie łodzi z jej naturalnego zachowania.

Na potrzeby tej analizy wyprowadzam z tego warunek, że teoretyczny środek ożaglowania dla wszystkich wariantów leży w tej samej odległości od rogu halsowego.

**Warunek 2:** Jeśli chcemy, by żagiel był jak największy, to musimy wykorzystać całą długość łodzi zatem róg halsowy umieszczamy możliwie najbardziej z przodu - na samym dziobie Vaka.

**Warunek 3:** W sposób naturalny dla łodzi szantujących (wekslujących), szot mocujemy do kadłuba w środku jego długości, a mocowanie szota do bomu znajdzie się ze względów praktycznych nieco powyżej tego miejsca. Nie chcemy, żeby bom oparł się o pomost, gdy takielunek będzie się giął pod obciążeniem no i potrzebujemy przestrzeni na bloczki, zmniejszające siły w ręce trzymającej szot. Na potrzeby tej analizy przyjmuję dla wszystkich wariantów, że bom przechodzi dokładnie przez ten sam punkt w przestrzeni, w którym zamocowałbym do niego szot. Na rysunku powyżej jest to czerwony romb na dolnej krawędzi żagla.

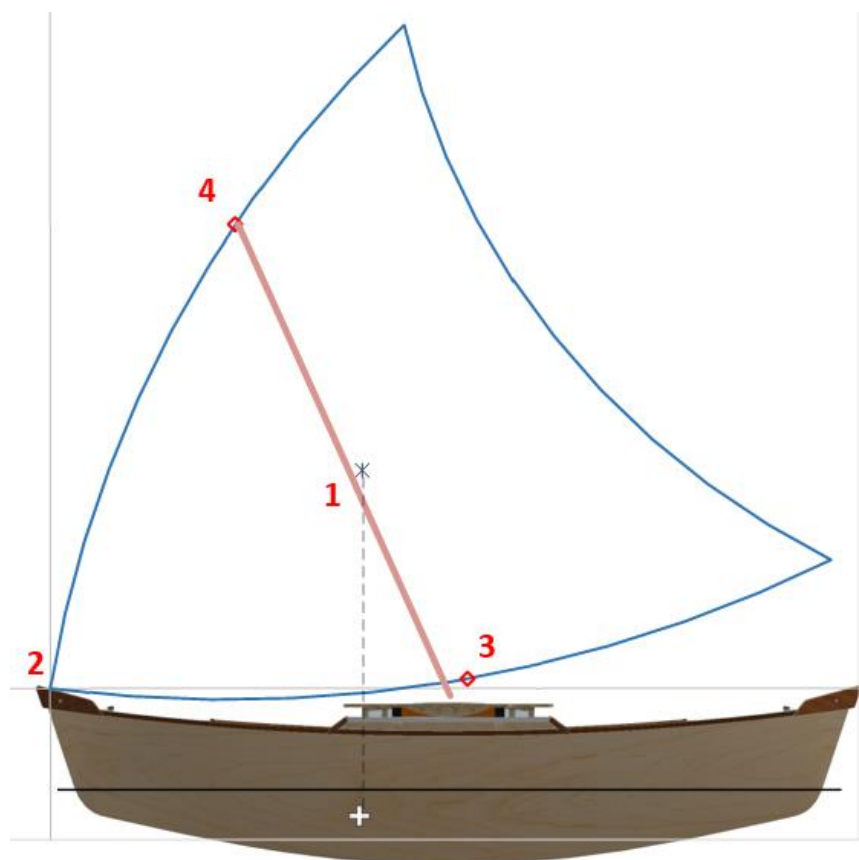
**Warunek 4:** Reję Kleszczy Kraba pochyla się do tyłu, żeby po lekkim uniesieniu bomu, z absolutnie płasko skrojonej tkaniny uzyskać piękny aerodynamiczny profil.

Miejsce wiązania fału do reji w rodzinie łodzi Pjoa wynika z naśladowania rozwiązań konstrukcyjnych z Wysp Marshalla. Po wykonaniu wielu obliczeń wytrzymałości drzewc, ich zmiennej sztywności i jak odkształcają się pod

obciążeniem, uzyskałem bardzo zbliżone wyniki do zaobserwowanych na starych zdjęciach z Oceanii, więc teraz wiem z czego to wynika i co do centymetra potrafię wyznaczyć na reji najlepsze miejsce dla fału 😊.

Reja wisi na fale tuż pod topem masztu i podczas szantowania jest przenoszona na nowy dziób. Kinematyka takielunku podczas tego manewru, lokuje połączenie masztu z reją na linii niemal w  $\frac{1}{4}$  długości kadłuba, tylko nieco bliżej dziobu.

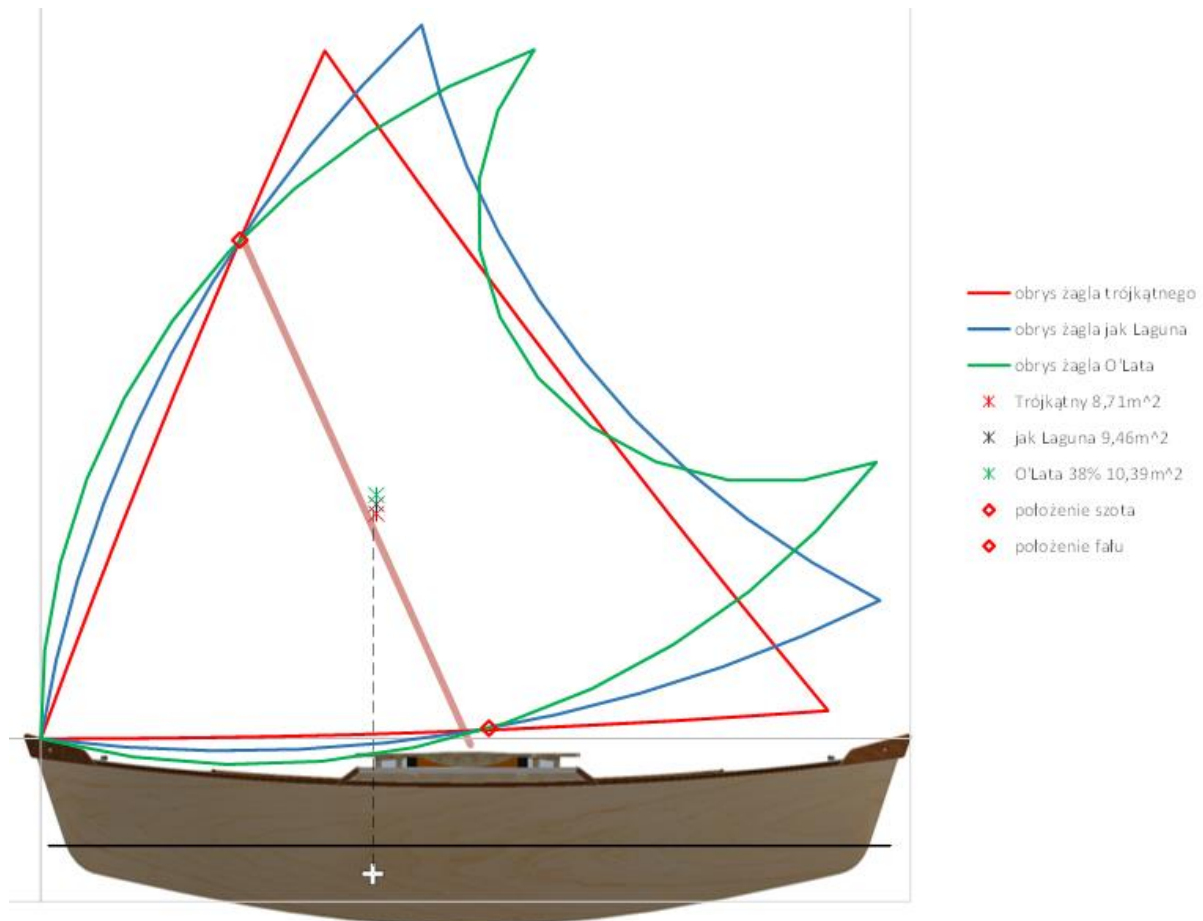
Uznałem, że na potrzeby niniejszego porównania reja wszystkich wariantów Kleszczy przechodzi przez to samo miejsce, oznaczone na rysunku prawej numerem 4.



### Wniosek 1:

Teraz możemy narysować kilka żagli o typowych dla Kleszczy Kraba kształtach, z których każdy spełnia te same, określone wyżej warunki.

Z badania własności czysto geometrycznych, uzyskałem kilka wartościowych informacji porównawczych.



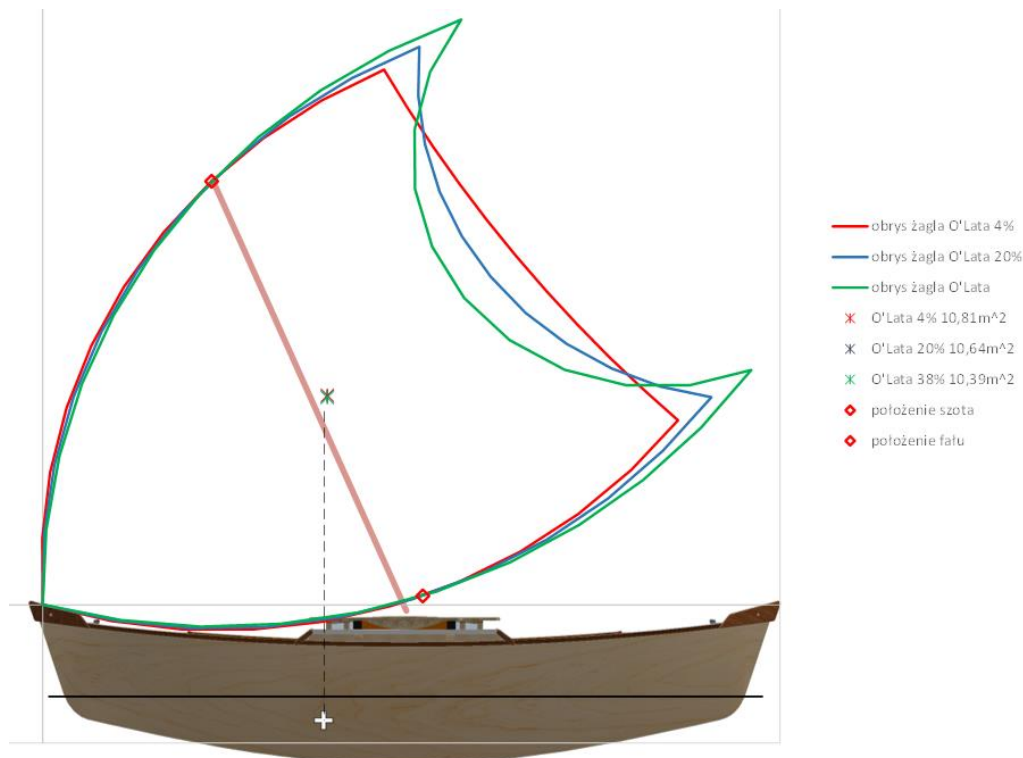
Dla Pjoa Folk, możliwie najłatwiejszego do zbudowania, przewidzieliśmy całkowicie proste drzewca i rozpinany na nich najprostszy, bo **trójkątny w obrysie** żagiel. Na rysunku powyżej wyróżniłem go linią czerwoną. Dobrze się składa dla początkującego proanauty, że ze wszystkich badanych kształtów ma on najmniejsze pole powierzchni i najniższe położeniu środka żagla.

Jako podstawowy kształt dla rodziny Pjoa, projektowałem żagle rozpinane na sztywnych **lekko ugiętych drzewcach i z lekko wklęsłym likiem tylnym**. Na rysunku pokazuję jego obrys pociągnięty niebieską kreską. Dla proa długości 5 metrów środek tego żagla jest wyżej o **6 cm** niż dla żagla trójkątnego za to jest większy i jego pole powierzchni stanowi **108,7%** wersji trójkątnej.

Niedawno rozpocząłem badania nad aeroelastycznością żagla o obrysie zbliżonym do **O'Lata z Wysp Santa Cruz** (na rysunku zaznaczony zielonią), który rozpiną się na lżejszych drzewcach. Być może okaże się to dobrym pomysłem dla projektu Junior Pjoa przeznaczonego dla młodzieży, więc i tę wersję wziąłem do porównań. Przy znormalizowanej długości waka 5 metrów, środek tego żagla jest wyżej o **12 cm** niż dla żagla trójkątnego za to jest jeszcze większy i jego pole powierzchni stanowi **119,3%** wersji trójkątnej. To jest o niemal 1/5 więcej(!) mocy bezcennej na słabych wiatrach.

## Wniosek 2:

Interesowało mnie, czy z dążenia do uzyskania możliwie największego żagla może wynikać zastosowanie wklęsłości na liku tylnym.



Nie ma chyba niespodzianki w tym, że wysokość, na jakiej znajduje się Środek Żagla praktycznie się nie zmienia.

Żagiel o prostym liku tylnym przyjąłem za podstawę porównań.

Wprowadzenie **lekko wklęsłego** liku tylnego, o strzałce podobnej jak zastosowana na Pjoa Laguna zmniejsza pole powierzchni do **98,5%**.

Istotne **pogłębienie liku tylnego**, do 38% jego cięciwy zmniejsza pole powierzchni do **96,1%**.

Wyciągam z tego wniosek, że stosowanie wklęsłości na liku tylnym **może być opłacalne** z punktu widzenia uzyskiwanej mocy, pod warunkiem, że w zamian uzyskamy taką poprawę jakości profilu, która zrekompensuje zmniejszenie powierzchni odpowiednio o 1,5% i 3,9%.

Żagle o tak wielkich krzywiznach brzegów jak w tym przykładzie rozwinięto szczególnie na Wyspach Santa Cruz, podobne też stawia się na podwójnych pirogach wokół Papui Nowej Gwinei, a na obu tych obszarach dominują słabe wiatry. Genialni innowatorzy polinezyjscy poszli krok dalej i zrezygnowali z drzewc, które są sztywne od samego początku, ale przez to ich ciężar na dużych TePuke stałby się ogromnym problemem. Chodzi wszak tylko o to by tkanina żagla nie mogła „wciągnąć” reji czy bomu ku środkowi, a efekt ten uzyskać w stanie początkowym można, jeśli dużo cieńsza belka jest od razu mocno odkształcona. Odkształcona w każdych warunkach, co osiągnęli specjalnym krojem żagla, opartym o duże wycięcie w liku tylnym. Wybór dużego wycięcia liku tylnego daje też szereg innych ciekawych efektów, do poszukiwania których zdecydowanie zachęcam 😊.

Stare Załubice, Listopad 2022.