

ASPEKTY TECHNICZNE REKORDÓW PRĘDKOŚCI ŚLIZGÓW LODOWYCH

WITOLD KURSKI

październik 2009

Materiały Szkoleniowe dla Instruktorów Żeglarstwa Lodowego.
Przygotowane na kursokonferencję środowiskową w Gdańsku, 7–8 listopad 2009 r.

1 Wstęp

Prędkości jednostek W.D. Wind Driven

CLAREL (Ż) 140 mph = 225 km/godz (wątpliwe)

DEBUTANTE (Ż) 143 mph = 230 km/godz (wątpliwe- J.D.Buckstoff 1938 r)

GREENBIRD (Windjet) (A) na kołach 126.2 mph = 202.9 km/godz (26.03.2009 r)

GREENBIRD (Windjet) (A) na lodzie znacznie gorzej !! ??

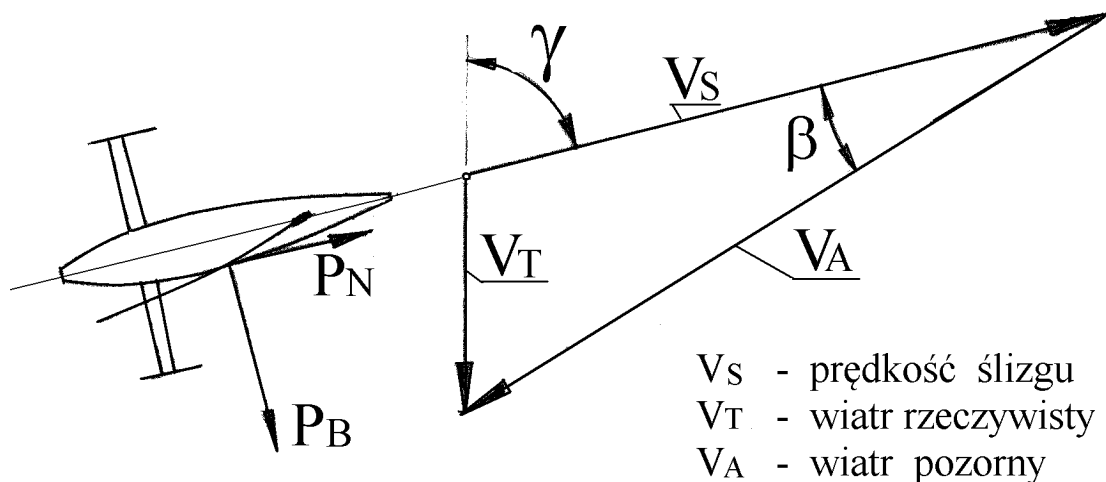
E-SKEETER (Ż) 186 km/godz

W.GIRS (A) 125 km/godz

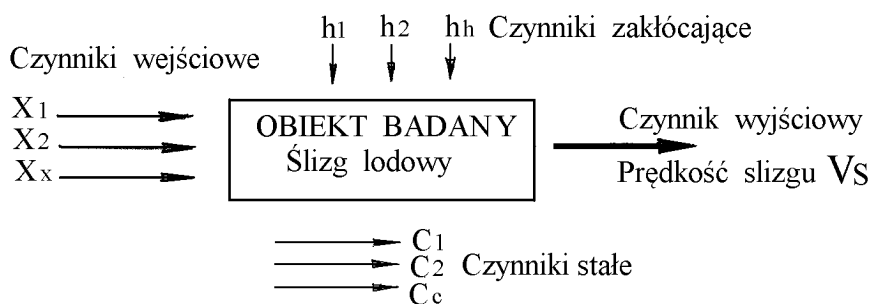
Obecny rekord prędkości na lodzie 133 mile/godz = 214 km/godz

Prędkość ślizgu lodowego V_S względem powierzchni lodu jest czynnikiem związanym z przemieszczaniem się ślizgu i dlatego ma zasadnicze znaczenie dla żeglarza. Drugi składnik trójkąta prędkości (patrz rys.1) jakim jest prędkość wiatru pozornego V_A , jest mniej interesujący dla żeglarza i nikt nie przeprowadza zawodów mających na celu osiągnięcie największych prędkości wiatru pozornego, mimo iż można wykazać, że prędkość wiatru pozornego jest bardziej miarodajna dla oceny właściwości ślizgu niż prędkość V_S .

Dlatego rekordy prędkości na ślizgu lodowym określa się jedynie dla prędkości ślizgu V_S , gdyż mimo, że ten czynnik nie odzwiedla właściwości technicznych ślizgu tak dobrze jak prędkość wiatru pozornego V_A , to jednak próby bicia rekordów prędkości dostarczają emocji sportowych dla załogi, są spektakularne dla widzów, a do pomiaru prędkości V_S nie trzeba używać przyrządów opartych o zasady aerodynamiki, lecz wystarczy znajomość długości bazy oraz czasu przejazdu ślizgu. Wystarczy więc użyć pro-



Rysunek 1: Trójkąt prędkości ślizgu



Rysunek 2: Obiekt badań w metodzie systemowej

stych środków pomiarowych dostępnych w każdych warunkach. W żeglarstwie lodowym istnieje mityczny rekord prędkości osiągnięty rzekomo przez ślizg CLAREL w 1908 r. i wynoszący 140 mil/godz. Rekordy prędkości na ślizgach lodowych osiągnęte współcześnie są jeszcze dalekie od tej wartości, a przecież Clarel był prymitywnym ślizgiem z ozaglowaniem łańciskim. Pozostawiając otwartą sprawę wiarygodności uzyskania przez Clarela tak wielkiej prędkości, coś jest nie w porządku przy porównywaniu rekordów prędkości, co wymaga wyjaśnienia.

Prędkość ślizgu względem powierzchni lodu jest zależna od szeregu czynników, które w metodzie systemowej (patrz rys.2) możemy podzielić na :

1. Czynniki wejściowe x_1, x_2, \dots, x_x tworzące zbiór **X**,
2. Czynniki zakłócające h_1, h_2, \dots, h_h tworzące zbiór **H**,
3. Czynniki stałe c_1, c_2, \dots, c_c tworzące zbiór **C**

Obiektem badań jest ślizg lodowy. Czynnikiem wynikowym jakim jest prędkość ślizgu V_S określona podczas próby pobicia rekordu prędkości jest podstawą do zatwierdzenia tego

rekordu. Prędkości rekordowe można porównywać i stąd wyciągać wnioski o właściwościach sprzętu i jego jakości. Ponieważ osiągnięte prędkości V_S są zależne od wskazanych czynników, więc porównywanie tych prędkości ma sens jedynie wtedy, jeżeli czynniki tworzące zbiory \mathbf{X} , \mathbf{C} , \mathbf{H} w próbach, których wyniki mają być porównywane, będą ustalone na tych samych poziomach.

Konkretny regulamin próby prędkości ustala dla szeregu czynników odpowiednie poziomy. Przy nie ustaleniu poziomu dla jednego tylko czynnika, porównywanie prędkości V_S traci sens. Tym bardziej traci sens porównywanie prędkości V_S gdy nie są ustalone poziomy dla kilku czynników.

Nie można również porównywać rekordowych prędkości osiągniętych w próbach z wykorzystaniem różniących się regulaminów, które ustalają czynniki wejściowe lub stałe na różnych poziomach.

Np. w pewnym okresie przepisy regatowe w ZSRR narzucały dla próby rekordu prędkości wymaganie żeglugi kursem półwiatr względem wiatru rzeczywistego, gdy w tym samym czasie przepisy Polskiego Związku Żeglarskiego nakazywały żeglugę kursem dziewięćdziesiąt stopni plus stała ślizgu. Jak wiadomo ślizg na kursach baksztagowych zachowuje się statecznie, a więc na tych kursach osiąga się większe prędkości aniżeli na kursie półwiatr. Rekord prędkości uzyskany na kursie półwiatr należy cenić znacznie wyżej niż uzyskany na kursie baksztagowym.

2 Aspekty techniczne rekordów prędkości

Prędkość ślizgu lodowego V_S jest zależna od następujących czynników:

a) Warunków lodowych i meteorologicznych, które można określić przez:

V_T - prędkość wiatru rzeczywistego w m/s.

Q - opór czołowy płóz zależny od stanu pokrywy lodowej w daN.

b) Właściwości aerodynamicznych ślizgu określonych przez jego biegunową aerodynamiczną. Biegunowe aerodynamiczne ślizgów lodowych przetwarza się do wygodnej dla użytkowników postaci otrzymując biegunowe wykresy współczynników k_N i k_M i z pomocą tych wykresów (patrz rys.3 i rys.4) określa się właściwości aerodynamiczne. Metody przeliczania punktów biegunowej aerodynamicznej na wartości k_N i k_M są opisane w [1] i [2].

c) Konstrukcji ślizgu, która wyznacza następujące wielkości:

G - ciężar ślizgu w ruchu (wraz z załogą) daN.

S - powierzchnię żagla w metrach kwadratowych.

a - ramię prostujące w metrach.

H - wysokość środka ożaglowania w metrach nad powierzchnią lodu, (patrz rys.2)

Skojarzenie tych danych z warunkami podanymi w „a”, „b”, „d”, pozwala jednoznacznie wyznaczyć ograniczenie prędkości z warunków oporowych i z warunków równowagi poprzecznej.

Ale o rekordowej prędkości mogą decydować inne czynniki, należące do najtrudniejszych problemów inżynierskich, które muszą rozwiązywać konstruktorzy samochodów wyścigowych. Są to problemy stateczności ruchu, z którymi na wodzie nie dają sobie rady konstruktorzy szybkich łodzi motorowych. Zadziwiający fakt przekroczenia na łądzie przez GREENBIRD prędkości 200 km/godz i uzyskanie znacznie gorszego wyniku

na lodzie, skłania do poszukiwania w tarciu opon po podłożu czynnika stabilizującego pojazd przy większych prędkościach jazdy.

W tym opracowaniu poza wskazaniem problemów stabilności ruchu nie będziemy się nimi zajmowali. W referatach na poprzednich konferencjach autor wskazał na decydujący czynnik stabilizujący ruch ślizgu jakim jest układ konstrukcji z przednią płożą sterującą. Trzeba poszukiwać dalszych efektów tłumiących w ruchu ślizgu, a jest nim prawdopodobnie sam żagiel (tłumienie aerodynamiczne), a które w przypadku zastosowania aeropłata jest mniejsze.

d) Obranego kursu γ względem wiatru rzeczywistego.

Przygotowany do bicia rekordu ślizg w określonych warunkach meteorologicznych ma ściśle określone wartości k_N i k_M i na każdym kursie wyznaczają one dwie prędkości. Oczywiście mniejsza wartość określa możliwą do uzyskania prędkość. Zależnie od wyboru kursu te ograniczenia można przesunąć ku większym prędkościom jazdy.

Wykres współczynnika k_N składowej ciągu siły aerodynamicznej można traktować jako wykres prędkości ślizgu lodowego, jeżeli obliczymy wartość współczynnika k_N przy której żegluje ślizg.

$$k_N = \frac{2 \cdot Q}{S \cdot \rho \cdot V_T^2} \quad (1)$$

gdzie ρ jest gęstością powietrza.

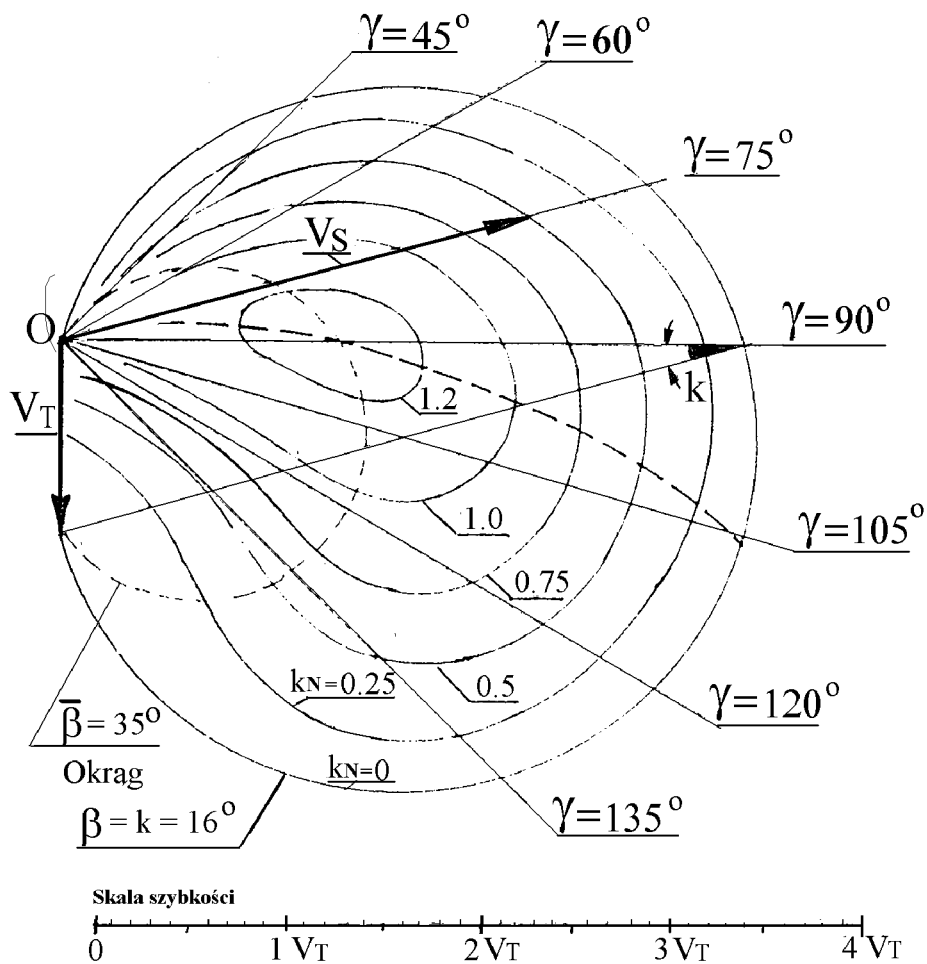
Ten warunek wynika z przyrównania siły oporu czołowego płóz Q do składowej napędowej siły aerodynamicznej P_N co opisano w [1] i [2]. Linia $k_N = const$ dla wyliczonej z powyższego wzoru wartości k_N wskazuje prędkość ślizgu przy ograniczeniu spowodowanym istnieniem oporu czołowego płóz Q . Oczywiście rekordowe prędkości można uzyskać tylko wtedy, gdy wiatr jest dostatecznie silny, a opory czołowe płóz są niewielkie. Wtedy wartość współczynnika k_N jest również niewielka i niewątpliwie będzie mniejsza od 0.5. W takiej sytuacji ślizg osiąga maksymalne prędkości na kursach nieco ostrzejszych niż $90^\circ + k$ (gdzie k jest stałą ślizgu) i jeśli przepisy nie przewidują inaczej należałoby trasę dla rekordowego przejazdu ustawić na kursie γ względem wiatru rzeczywistego pomiędzy baksztagiem $\gamma = 90^\circ + k$ a półwiatrem $\gamma = 90^\circ$. W przypadku ograniczeń wynikających z utraty równowagi poprzecznej, uzyskanie prędkości ślizgu V_S wskazanych przez linię $k_N = const$ nie jest możliwe bowiem wcześniej ślizg się wywraca.

Prędkość przy której ślizg się wywraca jest określona z warunku równowagi momentów względem osi obrotu przechodzącej przez płożę zawietrzną i sterową. Przyrównanie momentu wywracającego M_w do największego momentu prostującego $G \cdot a$ pozwala obliczyć wartość współczynnika momentu k_M przy której ślizg się wywraca.

$$k_M = \frac{2 \cdot G \cdot a}{S \cdot \rho \cdot V_T^2 \cdot H} \quad (2)$$

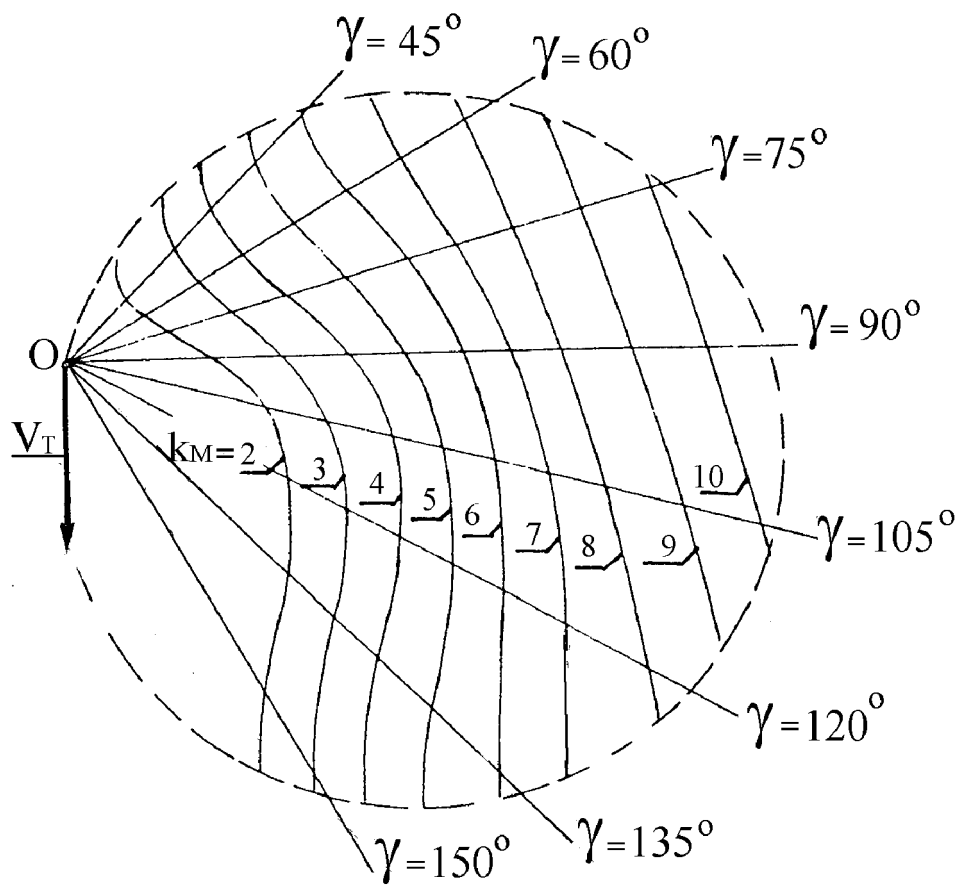
Biegunowy wykres współczynnika momentu przewracającego k_M można traktować jako wykres ograniczeń dla prędkości ślizgu V_S . Jeżeli koniec wektora aktualnej prędkości ślizgu V_S wskazuje linię k_M dla wartości mniejszej od wyliczonej z podanego wzoru to ślizg zachowuje się statecznie i może żeglować bez obawy wywrotki.

Analizując biegunowy wykres współczynnika k_M stwierdzamy, że im pełniej względem wiatru rzeczywistego żegluje ślizg, tym większą może osiągnąć prędkość własną bez obawy wywrotki. Biegunowe wykresy współczynników k_N i k_M pozwalają na wszechstronną analizę wpływu czynników, od których zależy prędkość ślizgu. Na niektóre z tych czynników może wpływać jedynie konstruktor w procesie projektowania ślizgu, ale

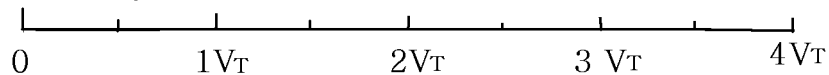


Biegunowy wykres współczynnika siły ciągu k_N dla ślizgu o stałej $k = 16^\circ$ i maksymalnej wartości współczynnika siły wyporu $C_{L \max} = 1.22$

Rysunek 3:

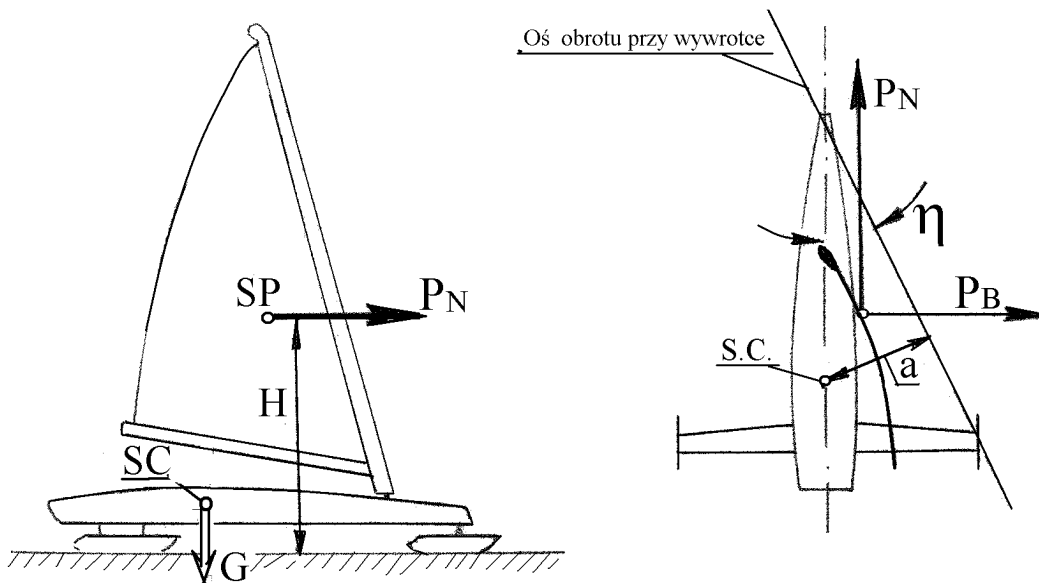


skala szybkości



Biegunowy wykres współczynnika momentu wywracającego k_M dla ślizgu o stałej $k = 16^\circ$ i maksymalnej wartości współczynnika siły wyporu $C_{Lmax} = 1.22$

Rysunek 4:



Rysunek 5: Charakterystyczne wymiary ślizgu lodowego

pozostają te, które należy ustalić. Zostawiając na później sprawy refowania i balastowania ślizgu rozważmy wpływ dwóch czynników, to jest prędkości wiatru rzeczywistego V_T oraz kursu γ względem kierunku wiatru rzeczywistego.

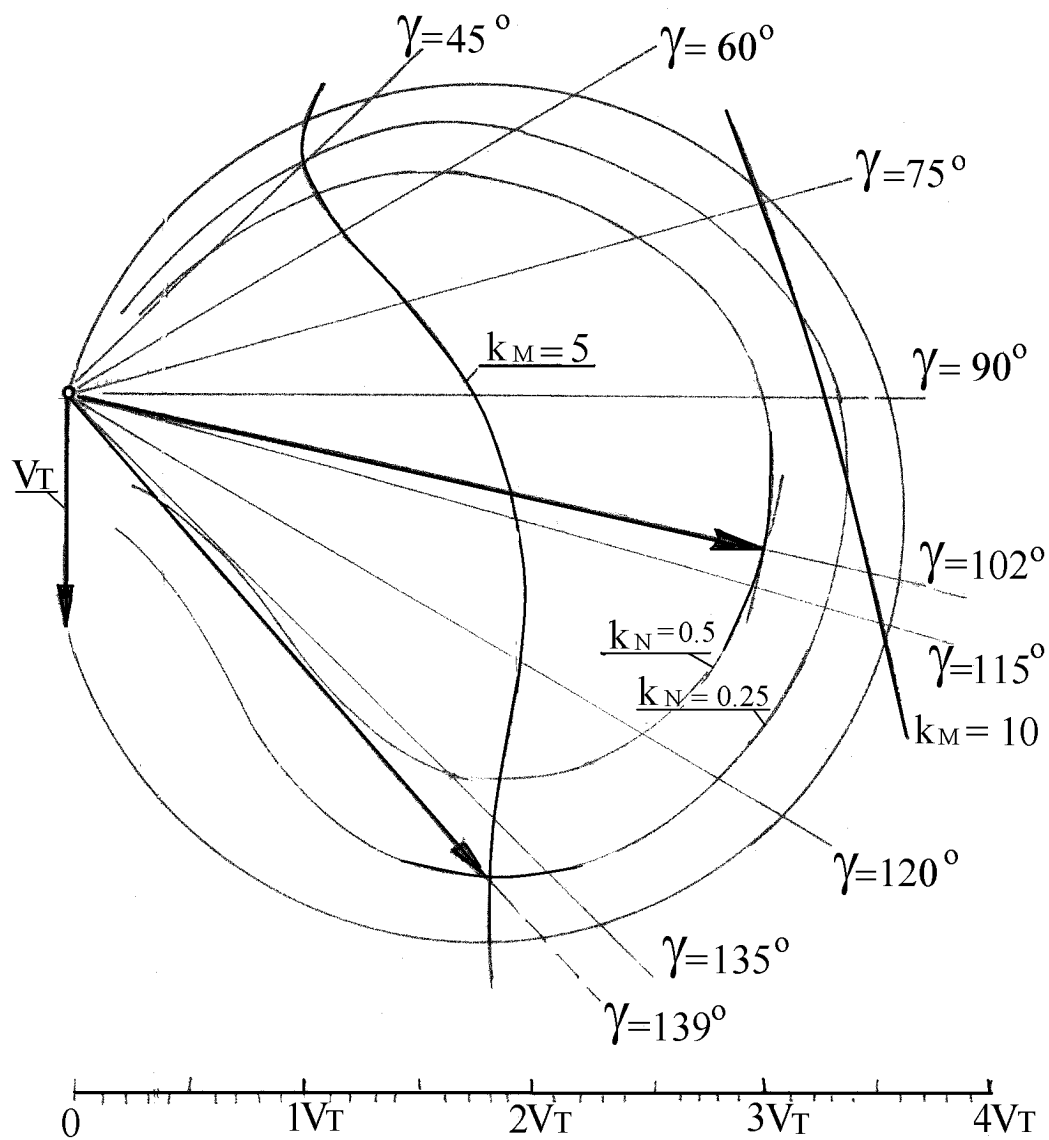
W przypadku, gdy warunek utraty równowagi nie wpływa na ograniczenie szybkości, to chcąc uzyskać największą prędkość V_S należy żeglować kursami baksztagowymi zbliżonymi do półwiatru. Wynika to z analizy wykresów na rysunku 6 na którym naniesiono linie $k_N = const$ i $k_M = const$. Dla konkretnego ślizgu i prędkości wiatru rzeczywistego $V_T = 10$ m/s wyliczone $k_N = 0.5$ zaś $k_M = 10$. Warunek stateczności nie interweniuje bo linie o wskazanych wartościach nie przecinają się. Aby ślizg osiągnął maksymalną prędkość to winien żeglować kursem $\gamma = 102^\circ$ względem wiatru rzeczywistego.

Gdy jednak prędkość wiatru rzeczywistego wzrośnie do $V_T = 14.1$ m/s to wartości k_N i k_M zmaleją dwukrotnie i wyniosą $k_N = 0.25$ i $k_M = 5$ a linie reprezentujące wskazane wartości przecinają się, co przedstawiono na rys.6. Warunek równowagi poprzecznej ślizgu zaczyna interweniować i chcąc osiągnąć maksymalną prędkość V_S , ślizg musi żeglować znacznie pełniejszym kursem γ względem wiatru rzeczywistego bo wynoszącym aż 139° .

WNIOSEK: Aby osiągnąć maksymalną prędkość ślizgu przy istnieniu ograniczeń ze strony niewystarczającej stateczności ślizgu należy wyliczyć wartości k_N i k_M i na wspólnym wykresie znaleźć punkt przecięcia się linii o wskazanych wartościach. Odcinek poprowadzony z punktu O do wyznaczonego punktu przecięcia przedstawia maksymalną prędkość jaką jest w stanie ślizg osiągnąć przy istnieniu ograniczeń.

Przyjmijmy że na tak wyznaczonym kursie osiągnięto rekordową prędkość. Czy słusznym jest porównywanie tej prędkości z rekordami osiągniętymi w innych warunkach np. przy innej prędkości wiatru rzeczywistego V_T lub narzuconych kursach względem wiatru rzeczywistego $\gamma = 90^\circ$ czy też $90^\circ + k$. Wydaje się to niesłuszne, bowiem znaczący wpływ na rekordowe prędkości ma prędkość wiatru rzeczywistego V_T i kurs γ względem tego wiatru.

Zachodzi tu klasyczny przypadek ustalenia wybranych czynników wejściowych i czyn-



Rysunek 6: Wykres do analizy wpływu ograniczeń na prędkość ślizgu

ników stałych na różnych poziomach i skutkiem tego przez porównywanie czynnika wyjściowego jakim jest prędkość ślizgu V_S nie możemy wyciągnąć wniosków o właściwościach technicznych sprzętu.

Aby móc wyciągnąć wnioski o właściwościach technicznych sprzętu na podstawie czynnika wynikowego jakim jest prędkość ślizgu V_S należy ustalić czynniki wejściowe na tych samych poziomach.

Rolę bardzo istotnego czynnika pełni kurs γ względem wiatru rzeczywistego. Ustalenie tego czynnika na poziomie $\gamma = 90^\circ$ narzucałoby żeglugę kursem półwiatr przy próbie szybkości.

Wpływ pozostałych czynników wejściowych jest również istotny i postaramy się przeanalizować ich wpływ na prędkość ślizgu jeśli jest ona ograniczona przez warunek stateczności. Przekształcamy wzór (2) na współczynnik k_M do postaci

$$V_T = \sqrt{2} \cdot G^{0.5} \cdot a^{0.5} \cdot S^{-0.5} \cdot \rho^{-0.5} \cdot H^{-0.5} \cdot k_m^{-0.5} \quad (3)$$

po zlogarytmowaniu tego wzoru otrzymujemy

$$\ln V_T = 0.5 \cdot \ln 2 + 0.5 \cdot \ln G + 0.5 \cdot \ln a - 0.5 \cdot \ln S - 0.5 \cdot \ln \rho - 0.5 \cdot \ln H - 0.5 \cdot \ln k_M \quad (4)$$

następnie różniczkujemy powyższy wzór

$$0.5 \cdot \frac{\delta G}{G} + 0.5 \cdot \frac{\delta a}{a} - 0.5 \cdot \frac{\delta S}{S} - 0.5 \cdot \frac{\delta \rho}{\rho} - 0.5 \cdot \frac{\delta H}{H} - 0.5 \cdot \frac{\delta k_M}{k_M} - \frac{\delta V_T}{V_T} = 0 \quad (5)$$

i przechodzimy do przyrostów skończonych

$$0.5 \cdot \frac{\Delta G}{G} + 0.5 \cdot \frac{\Delta a}{a} - 0.5 \cdot \frac{\Delta S}{S} - 0.5 \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho} - 0.5 \cdot \frac{\Delta H}{H} - 0.5 \cdot \frac{\Delta k_M}{k_M} - \frac{\Delta V_T}{V_T} = 0 \quad (6)$$

Z powyższego wzoru wyciągamy następujące wnioski odnośnie zmian prędkości V_S , która proporcjonalnie odpowiada zmianom prędkości V_T . Oceniamy wpływ poszczególnych czynników na ograniczenie ze strony stateczności:

Wpływ ciężaru ślizgu G Zwiększenie ciężaru o 1% powoduje wzrost szybkości jazdy o 0.5%. Dlatego dobalastowujemy rekordowe ślizgi.

$$\frac{\Delta V_T}{V_T} = 0.5 \cdot \frac{\Delta G}{G} = \frac{\Delta V_S}{V_S} \quad (7)$$

Jednakże większy ciężar G oznacza zwiększenie oporów czołowych jazdy Q i przesuwają ograniczenie prędkości ze względu na konieczność pokonywania oporów czołowych płóz do mniejszych prędkości jazdy.

Wpływ powierzchni ożaglowania S Większa powierzchnia ożaglowania zmniejsza wartości k_N i k_M co oznacza, że ograniczenie spowodowane niewystarczającą statecznością przesuwają się w stronę mniejszych prędkości jazdy.

$$\frac{\Delta V_T}{V_T} = -0.5 \cdot \frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta V_S}{V_S} \quad (8)$$

Ograniczenie wywołane koniecznością pokonywania oporów czołowych płóz przesuwają się w stronę większych prędkości jazdy. Jest to analiza uproszczona, bowiem za zmianą wielkości powierzchni idzie zmiana jej kształtu, a więc zmienia się biegunowa aerodynamiczna czyli zmieniają postać biegunowe wykresy prędkości. W analizie zmian wielkości powierzchni należy uwzględniać nie tylko zmianę biegunowej aerodynamicznej lecz również zmianę wysokości środka ożaglowania H nad powierzchnią lodu.

Wpływ wysokości środka ożaglowania Aby przesunąć ograniczenie ku większym prędkościom jazdy należy obniżyć położenie środka ożaglowania. Obniżenie wysokości środka ożaglowania o 1% skutkuje wzrostem prędkości o 0.5%.

$$\frac{\Delta V_T}{V_T} = -0.5 \cdot \frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta V_S}{V_S} \quad (9)$$

Zmiana wysokości środka ożaglowania nie wpływa na kryterium k_N wynikające z konieczności pokonywania oporów płóz.

Wpływ gęstości powietrza Spośród czynników decydujących o prędkości V_S istotną rolę ma gęstość powietrza ρ przy czym gdy gęstość powietrza maleje to ograniczenie wywołane niewystarczającą statecznością poprzeczną przesuwają się w stronę większych prędkości jazdy, bowiem ślizg może żeglować przy większej prędkości wiatru rzeczywistego V_T co oznacza wzrost prędkości przy nie zmienionej wartości współczynnika k_M .

Zachodzi relacja otrzymana z warunku $k_M = const$ dla przyrostu prędkości wiatru rzeczywistego, przy której ślizg będzie żeglował statecznie:

$$\frac{\Delta V_T}{V_T} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta V_S}{V_S}$$

Oznacza to wzrost rekordowej prędkości o 5%, dla próby przeprowadzanej na wysokości 1000 m nad poziomem morza w porównaniu z wynikiem osiągniętym na poziomie morza. Są to wartości znaczące i przy organizowaniu prób szybkości winny być brane pod uwagę.

Zmniejszenie gęstości powietrza obniża prędkość z kryterium pokonywania oporów płóz, ale przecież szanse na pobicie rekordu istnieją jedynie przy idealnych warunkach lodowych.

3 Uwagi końcowe

Przedstawione rozważania wykazują, że analiza wpływu czynników wejściowych winna być brana pod uwagę tak przy planowaniu rekordu jak i przy analizie wyników.

Z przedstawionej analizy wpływu wybranych czynników wynika, że rekordy prędkości przy ustanawianiu których wprowadzono jakiekolwiek ograniczenia w stosunku do czynników wejściowych powinny być inaczej oceniane niż gdy takich ograniczeń nie ma.

Naturalną konsekwencją jest wniosek, że rekordy prędkości winny być rejestrowane co najmniej w dwóch grupach.

A. Rekord prędkości absolutny – Poziomy czynników wejściowych i stałych są dowolne a osiągnięty rezultat nie może służyć jako podstawa do porównywania konstrukcji.

Przykładem jest rekord prędkości osiągnięty przez ślizg CLAREL. Rekordowa prędkość mogła być osiągnięta jedynie przy bardzo silnym wietrze i na kursie pełny baksztag. Rekord ten nie jest zasługą konstrukcji lecz warunków meteorologicznych.

Kolejny przykład to znaczące podwyższenie krajowego rekordu prędkości na ślizgu DN do 97.3 km/godz. Jest to niewątpliwie skutek ustalenia znaczących czynników wejściowych na innych poziomach niż w poprzednich próbach bicia rekordu.

B. Rekord prędkości kwalifikowany – Poziomy dla znaczących czynników wejściowych i stałych są dokładnie ustalone.

Np. przy rekordzie kwalifikowanym proponuje się:

- a. dla kursu względem wiatru rzeczywistego ustalić wartość 90° . Ślizg więc żegluję półwiatrem;
- b. dla wiatru rzeczywistego V_T ograniczyć jego prędkość do $V_T < 12$ m/s;
- c. określić maksymalną dopuszczalną wysokość akwenu nad poziomem morza do 300 m lub podać sposób redukcji osiągniętego rezultatu do warunków na poziomie morza;
- d. narzucić ograniczenia na sposób dobalastowania ślizgu.

Po wprowadzeniu takich zasad okaże się, że znane rekordy prędkości należy przewartościować i oceniać w zupełnie innym świetle. Porównywanie rekordów kwalifikowanych stanowić może podstawę do oceny sprzętu.

Streszczenie

Prędkość ślizgu lodowego jest czynnikiem wynikowym dla obiektu badań, którym w metodzie systemowej jest ślizg lodowy. Czynnikiem wynikowym jest zależny od czynników wejściowych, takich jak prędkość wiatru i kurs względem wiatru rzeczywistego, od czynników stałych oraz od czynników zakłócających.

Wykazano, że porównywanie rekordowych prędkości ma sens jedynie wtedy, gdy dla różnych prób ustalono czynniki wejściowe na tych samych poziomach. Regulaminy przeprowadzania prób prędkości w różnych krajach ustalają te czynniki na różnych poziomach, bądź nie określają tych czynników. Stąd wynika konieczność przewartościowania osiągniętych rekordów prędkości oraz podania sposobu ich przeliczania bądź redukcji.

Wykazano, że dla ślizgu lodowego znaczącym czynnikiem jest gęstość powietrza, a więc wysokość akwenu nad poziomem morza, na którym przeprowadza się próby rekordów prędkości. Przeprowadzenie próby na wysokości 1000 m nad poziomem morza oznacza 5% wzrostu rekordowej prędkości w porównaniu do próby przeprowadzonej na poziomie morza.

Przedstawione aspekty techniczne wykazują jak precyzyjne powinny być regulaminy przeprowadzania prób prędkości w zakresie określania poziomu czynników niezależnych. Dotychczasowe regulaminy w tym zakresie są bardzo niedoskonałe tak dla ślizgów lodowych jak i łodzi żaglowych, gdyż nie precyzuje się najważniejszych czynników, zwracając uwagę na drugorzędne. Przykładem są World Sailing Speed Record Rules 1990, gdzie zasadniczą uwagę zwraca się na dokładności pomiaru długości trasy i czasu przebycia jachtu, a tylko jeden z czynników i to stały ustala się na określonym poziomie. Czynnikiem ten to wpływ falowania.

Literatura

- [1] Kurski W.: Wpływ prędkości jazdy ślizgu lodowego na siły aerodynamiczne. Zeszyty Naukowe AWF w Gdańsku, Nr 12/1990 s.219-228.
- [2] Kurski W.: Żeglarstwo lodowe. Skrypt wydany przez AWF Gdańsk 1993 r.

Opracowanie to jest poprawioną wersją artykułu wydrukowanego pod tym samym tytułem w Roczniku Naukowym AWF w Gdańsku Tom III 1994 r.

Witold Kurski DN P-383
e-mail:Witold Kurski wiku@pg.gda.pl