

OPTYMALNE PROFILE OSTRZY PŁÓZ

Dariusz Kosecki Witold Kurski

październik 2009

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

1 Wstęp

Aby móc ocenić poprawność jakiegokolwiek rozwiązania technicznego należy opierać się zarówno na teorii jak i praktyce. Jeśli ponadto chcemy ocenić efektywność rozwiązania trzeba podać dodatkowe kryteria.

W przypadku doboru profilu ostrza płozy, dzięki któremu jej opory w ruchu po lodzie będą zminimalizowane, pozostaje praktyka, bowiem do chwili obecnej, choć znamy wiele mechanizmów odpowiedzialnych za małe współczynniki tarcia metalu po lodzie, to nie istnieją wiarygodne teorie, pozwalające na uogólnienia. Pozostaje wyciąganie wniosków z praktyki.

Jednakże przeprowadzanie doświadczeń nad oporami tarcia płóz po lodzie stwarza również poważne problemy natury metodycznej. Najprostsze doświadczenia to holowanie ślizgu za pomocą dynamometru jak zalecał to robić rosyjski trener żeglarstwa D.N.Korowielskij [1]. Jednakże zbyt duża liczba czynników nie pozwala na wydzielenie i zbadanie wpływu jednego z czynników, jakim jest profil ostrza. Bardziej zaawansowane badania przeprowadzali w Polsce T.Łobożewicz i W.Urbaniak [2]. Ich badania polegały na wystrzeliwaniu sań o określonej masie ze ściśle określoną prędkością, z zamocowanymi badanymi płozami i badaniu przebytej po lodzie odległości. Jednakże ich badania były skierowane na określenie wpływu rodzaju materiału płozy na opory tarcia.

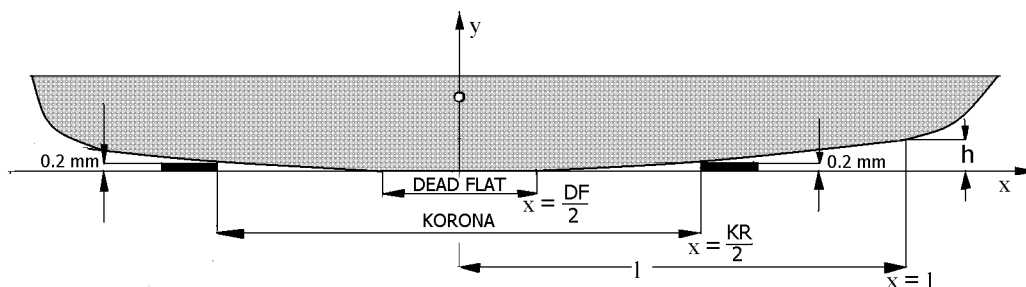
W naszych poszukiwaniach optymalnego przy danych uwarunkowaniach profilu ostrza, przyjęliśmy założenie, że czołowi zawodnicy jak i ich trenerzy przy przygotowaniu sprzętu popełniają mniej błędów i lepiej znają problem, niż zawodnicy z dalekich pozycji. A więc analiza kształtu ostrzy płóz ślizgów czołowych zawodników może doprowadzić do konstruktywnych wniosków, bez badań fizycznych oporu płóz w naturalnych warunkach czy też na stanowisku pomiarowym.

2 Opis geometrii ostrza

Przyjmijmy następujące oznaczenia:

DF – długość tak zwanego DEAD FLAT

SKR – długość tak zwanej SUBKORONY czyli części ostrza o rzędnych nie większych niż 0.1 mm.



Rysunek 1: Parametry geometryczne płozy

KR – długość tak zwanej KORONY czyli części ostrza o rzędnych nie większych niż 0.2 mm .

l – współrzędna x , miejsca gdzie zachodzi zmiana przepisu wysokości ostrza i zaczyna się konstrukcyjne zaokrąglenie.

h – wysokość rzędnej w miejscu gdzie zachodzi zmiana przepisu wysokości ostrza i zaczyna się konstrukcyjne zaokrąglenie.

Wysokość h i współrzędna l w naszych poszukiwaniach będzie każdorazowo ustalona po obmierzeniu płozy i wykonaniu obliczeń, ale należy oczekiwać, że nie będzie to dla h więcej niż 2 mm dla płóz nie dłuższych niż 1200 mm , a 3 mm dla płóz dłuższych. Mówimy o całkowitej długości płozy a nie o podwojonej wartości l .

Przy pomocy pomiarów przedewszystkiem płóz do DNA chcemy znaleźć analityczne przepisy dla profili ostrzy płóz używanych przez czołowych zawodników lub przygotowanych przez trenerów.

Poszukiwania nasze planowaliśmy wykonać w następującej kolejności:

1. Pomiary geometrii płóz. Oznaczenia patrz rys.1.
2. Wyznaczenie przepisu analitycznego dla poszczególnych płóz zależnie od ich przeznaczenia za pomocą analizy regresji.
3. Obróbka statystyczna uzyskanych wyników i wyciągnięcie wniosków.

Już pierwsze pomiary sprowadziły nas do rzeczywistości, gdyż wykazały, że idealizacja kształtu ostrza pokazana na rysunku 1 jest nieprawidłowa, gdyż współrzędna x środka korony nie pokrywa się ze współrzędną x środka Dead Flat a oś sworznia czyli początek układu współrzędnych jest jeszcze w innym miejscu a krzywizny ostrza przodu płozy są odmienne od krzywizny ostrza z tyłu płozy. Kształt ostrza tyłu płozy nie jest odbiciem lustrzanym kształtu ostrza z tyłu płozy. Dlatego zostały wprowadzone odrębne opisy kształtu ostrzy przodu i tyłu płozy i wprowadzone dwa układy współrzędnych x_1, y_1 dla przedniej części płozy i x_2, y_2 dla tylnej części płozy (patrz rys.2) oraz oznaczenia :

l_1 – współrzędna x_1 , miejsca gdzie zachodzi zmiana przepisu wysokości ostrza i zaczyna się konstrukcyjne zaokrąglenie przedniej części płozy.

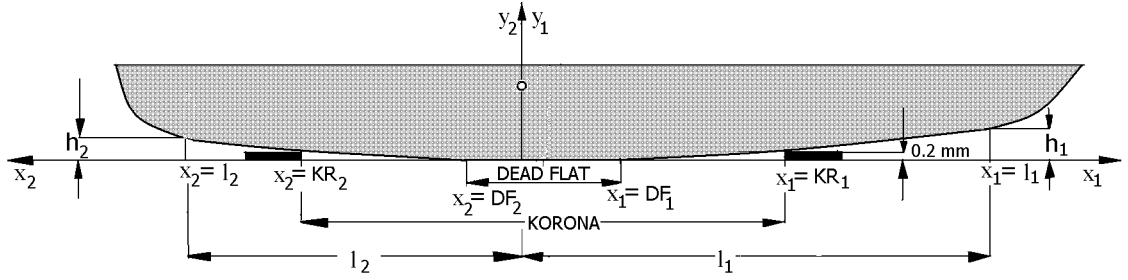
h_1 – wysokość rzędnej w miejscu gdzie zachodzi zmiana przepisu wysokości ostrza i zaczyna się konstrukcyjne zaokrąglenie przedniej części płozy.

l_2 – współrzędna x_2 , miejsca gdzie zachodzi zmiana przepisu wysokości ostrza i zaczyna się konstrukcyjne zaokrąglenie tylnej części płozy.

h_2 – wysokość rzędnej w miejscu gdzie zachodzi zmiana przepisu wysokości ostrza i zaczyna się konstrukcyjne zaokrąglenie tylnej części płozy. Według naszego rozpoznania

bardzo dobre przybliżenie rzędnej ostrza y_1 dla

$$DF_1 < x_1 \leq l_1$$



Rysunek 2: Układy współrzędnych do opisu parametrów płozy

można uzyskać za pomocą zależności analitycznej w formie funkcji potęgowej:

$$y_1 = h_1 \cdot \left(\frac{x_1 - DF_1}{l_1 - DF_1} \right)^{m_1} \quad (1)$$

i podobnie bardzo dobre przybliżenie rzędnej ostrza y_2 dla

$$DF_2 < x_2 \leq l_2$$

można uzyskać za pomocą zależności analitycznej w formie funkcji potęgowej:

$$y_2 = h_2 \cdot \left(\frac{x_2 - DF_2}{l_2 - DF_2} \right)^{m_2} \quad (2)$$

Dla konkretnej płozy poszukiwane są cztery wartości to jest h_1 i m_1 oraz h_2 i m_2 . Oczekiwane wartości dla m_1 i m_2 to powyżej 2.0, bowiem tylko wtedy promienie krzywizn łuków ostrzy R zmieniają się płynnie od nieskończonych długości w punktach $x_1 = DF_1$ i $x_2 = DF_2$ do coraz mniejszych bliżej końców płozy (uzasadnienie patrz Załącznik 2).

Poprzez przekształcenia sprowadzamy problem do postaci zlinearyzowanej. Logarytmujemy obustronnie równanie (1)

$$\ln y_1 = \ln h_1 + m_1 \cdot \ln \left(\frac{x_1 - DF_1}{l_1 - DF_1} \right) \quad (3)$$

Zmieniamy zmienne:

$$O_1 = \ln y_1 ; A_1 = \ln h_1 ; B_1 = m_1 ; D_1 = \ln \left(\frac{x_1 - DF_1}{l_1 - DF_1} \right) \quad (4)$$

więc:

$$O_1 = A_1 + B_1 \cdot D_1 \quad (5)$$

Wystarczy teraz pomierzyć DF_1 i współrzędne x_1, y_1 dostatecznej liczby punktów pomiarowych z warunkami:

$$DF_1 < x_1 \leq l_1$$

i zastosować metodę najmniejszego odchylenia kwadratowego aby wyznaczyć A_{1r} i B_{1r} a następnie ponownie zmienić zmienne i wyznaczyć h_{1r} i m_{1r} dla przedniej części płozy. Indeksy r oznaczają, że są to wartości wyznaczone z regresji.

$$h_{1r} = e^{A_{1r}} ; m_{1r} = B_{1r} \quad (6)$$

Podobnie wykonujemy obliczenia dla tylnej części płozy.

Tabela 1: Dane dla płozy bocznej J.ADSTENA

nr.p.p.	x_2 mm	y_2 mm	nr.p.p.	x_1 mm	y_1 mm
1	150	0.05	1	125	0.05
2	190	0.10	2	160	0.10
3	260	0.20	3	260	0.20
4	325	0.40	4	325	0.5
5			5	370	1.0
4			6	400	1.5
5			7	440	2.5
8			8	475	5.0

3 Uzyskane rezultaty pomiarów i obliczeń

Pierwsza próba miała na celu sprawdzenie poprawności działania programu obliczeniowego. Jako dane wprowadzono punkty „pomiarowe” obliczone z krzywej analitycznej dla $DF_1 = 40$ mm, $l_1 = 400$ mm, $h_1 = 2$ mm i $m_1 = 3.8$. Rezultaty potwierdziły poprawność działania programu.

Druga próba polegała na wprowadzeniu danych dla płozy bocznej J.Adstena patrz rys.3. Zwracamy uwagę na kształt ostrza bowiem bowiem środek subkorony i środek Dead Flat znajdują się za sworzniem bliżej tyłu płozy!.

Długość płozy wynosi 905 mm, długość $l_1 = 475$ mm, długość $l_2 = 325$ mm, subkorona 350 mm podzielona w ten sposób, że $SKR_1 = 160$ mm a $SKR_2 = 190$ mm.

Rezultat obliczeń płozy bocznej Adstena przy odrzuceniu punktu pomiarowego 8.

$$A1. \quad h_{1r} = 2,09 \text{ mm} ; \quad m_{1r} = 2.94 ; \quad h_{2r} = 0.3862 \text{ mm} ; \quad m_{2r} = 2.62$$

A więc płoza charakteryzuje się bardzo płaską tylną częścią ostrza wynikającą z małej wartości $h_{2r} = 0.3862$ mm.

Kolejna próba dotyczyła rezultatów pomiarów dwóch płóz sterowych ostrzonych przez jednego trenera z zamiarem uzyskania jednakowych rezultatów. Płozy ostrzone są w ten sposób, że środek Dead Flat jest przesunięty ku przodowi płozy od sworznia, wartość średnia z dwóch płóz 12 mm. Wartość średnia Dead Flat 100 mm.

Rezultaty w postaci wartości średnich dwóch płóz sterowych:

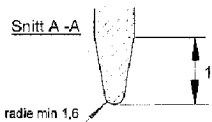
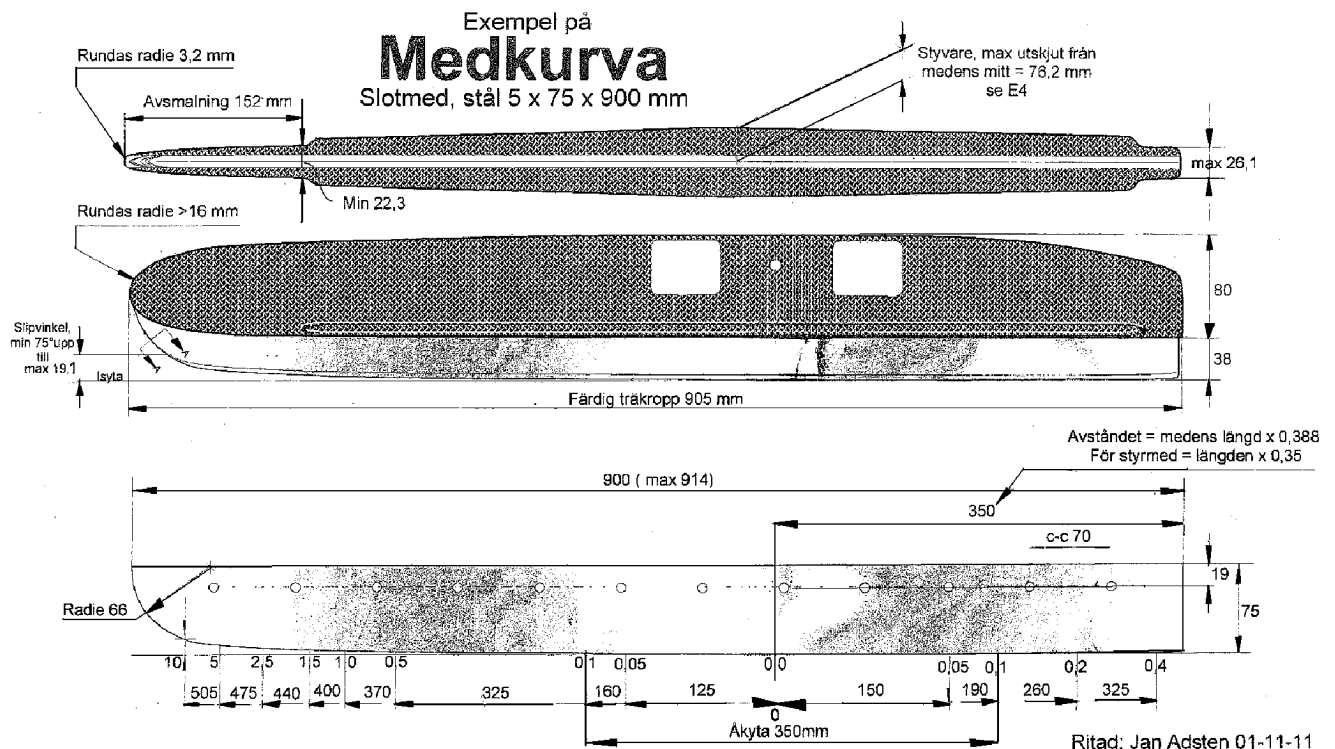
$$S1 \text{ i } S2 \quad h_{1r} = 0.962 \text{ mm} ; \quad m_{1r} = 2.91 ; \quad h_{2r} = 1.77 \text{ mm} ; \quad m_{2r} = 2.29$$

Z pomiarów wyszło, że

$$h_{1r} < h_{2r}$$

a powinno być odwrotnie. Oznacza to, że za bardzo zeszlifowano część Dead Flat przed osią obrotu.

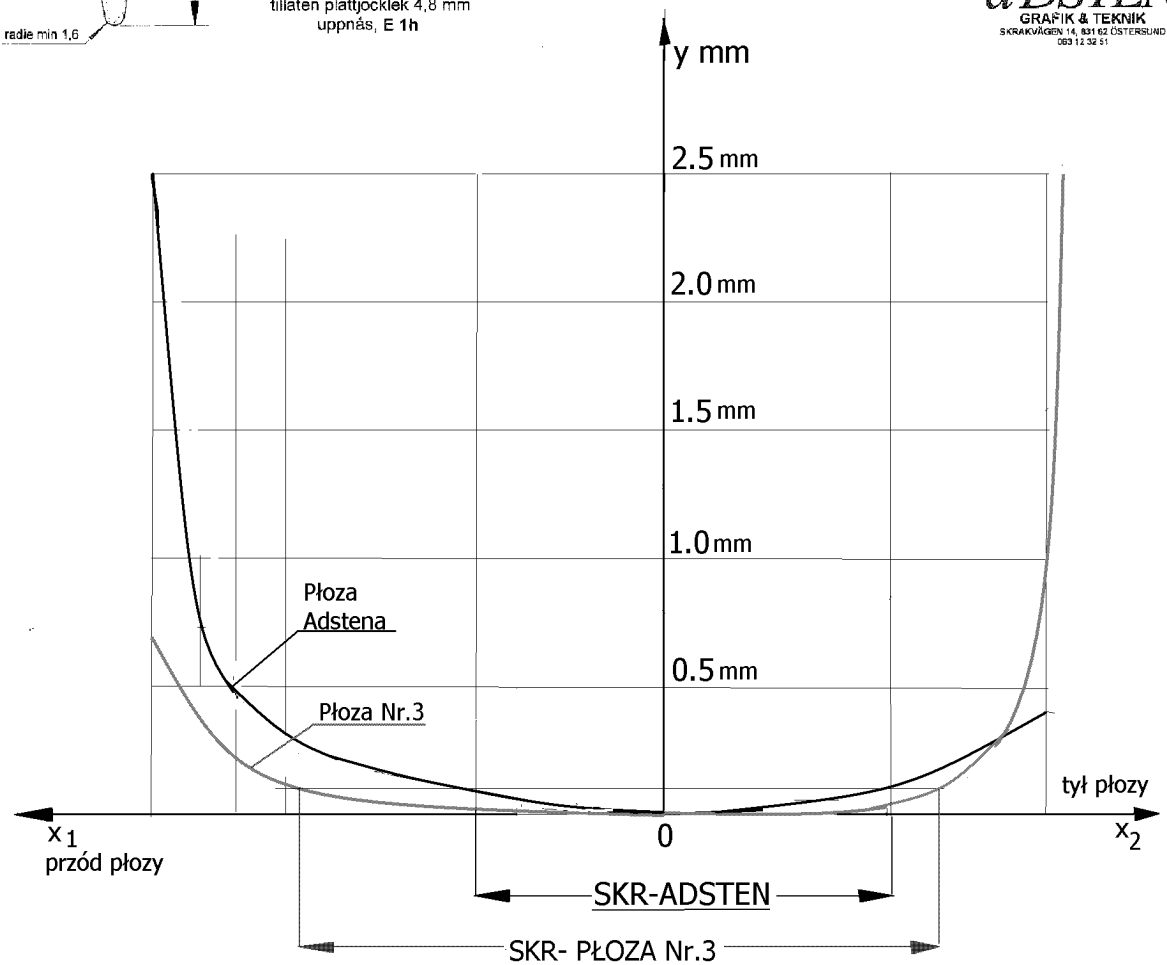
Następna próba dotyczyła rezultatów pomiarów czterech płóz bocznych ostrzonych przez jednego trenera. Płozy ostrzone są w ten sposób, że środek Dead Flat jest przesunięty ku przodowi płozy od sworznia, wartość średnia z czterech płóz 20 mm. Wartość średnia dla Dead Flat 120 mm.



E 1h
Tillåten avsmalning.
Inom 10 mm, måste minimal tillåten plättjocklek 4,8 mm uppnås, E 1h

Ritad: Jan Adsten 01-11-11
Dokfil: medkurva.ds4

aDSTEN
GRAFIK & TEKNIK
SKRAKVIKGVÄG 14, 831 62 ÖSTERLUND
069 12 32 51



Rysunek 3: Płozą JANA ADSTENA i 5 porównanie profili ostrza z płozą nr.3

Rezultaty dla płóz bocznych podano dla każdej z płóz oddzielnie.
Płozy boczne ze stali miękkiej:

$$B1. \quad h_{1r} = 1.860 \text{ mm} ; \quad m_{1r} = 5.72 ; \quad h_{2r} = 0.844 \text{ mm} ; \quad m_{2r} = 2.43 \quad ;$$

$$B2. \quad h_{1r} = 0.998 \text{ mm} ; \quad m_{1r} = 6.41 ; \quad h_{2r} = 0.998 \text{ mm} ; \quad m_{2r} = 2.37$$

Płozy boczne ze stali hartowanej:

$$B3. \quad h_{1r} = 1.180 \text{ mm} ; \quad m_{1r} = 2.80 ; \quad h_{2r} = 2.520 \text{ mm} ; \quad m_{2r} = 4.66$$

$$B4. \quad h_{1r} = 1.140 \text{ mm} ; \quad m_{1r} = 2.26 ; \quad h_{2r} = 1.020 \text{ mm} ; \quad m_{2r} = 1.29$$

Wynik $m_{2r} = 1.29$ dla płozy hartowanej *B4* wskazuje na błędy w krzywiznie tylnej części ostrza (przegrzanie przy ostrzeniu ?). Również nietypowo niska jak dla płozy bocznej wartość $m_{1r} = 2.26$ wskazuje na błąd w naostrzeniu i płoza ta wymaga poprawki!
Obydwie płozy ze stali hartowanej mają zbyt małe wartości h_{1r} , a za duże h_{2r} , co wskazuje na nadmierne zeszlifowanie przedniej części Dead Flat.

4 Uwagi końcowe

1. Trudności z pomiarami w szczególności dla rzędnych poniżej 0.2 mm. Przy zastosowanych środkach pomiaru i mocowania płóz pomiary są nadzwyczaj czasochłonne.

2. W przypadku Dead Flat równego zeru celem właściwego umocowania płozy do pomiaru należy kierować się warunkiem aby punkt styku ostrza wypadł pod środkiem sworznia. Dokonać tego można poprzez zmianę położenia płytki pomiarowej 0.2 mm po długości pod ostrzem w przedniej części płozy. Kierować się należy warunkiem aby punkt styku a więc i środek strefy szarej wypadł pod osią sworznia. To są nasze wyobrażenia, bowiem jeszcze nie pomierzaliśmy płozy z zerowym Dead Flat. Ustawienie płozy na przymiarze stalowym w sposób pewny nawet przy krótkim Dead Flat nie sprawiało jakichkolwiek trudności.

3. Uzyskane wyniki potwierdziły, lecz nie dla wszystkich przypadków, wcześniej uzyskane rezultaty o mniejszej wartości wykładnika m dla sterówek, a większej dla płóz bocznych. Duża wartość wykładnika m to bardzo płaska zasadnicza część ostrza, a mniejsza wartość wykładnika m to bardziej równomierna krzywizna.

4. Po dopracowaniu sposobów mocowania, pomiaru i rejestracji danych, pozostaje wykonanie pomiarów na ślizgach czołowych zawodników i dokonanie krytycznej oceny wyników, a następnie sformułowanie zaleceń dla warsztatu poprzez narzucenie następujących parametrów zależnie od rodzaju płozy i jej przeznaczenia.

- Wymiarów *DF1* i *DF2*.
- Parametrów dla przodu płozy to jest l_1, h_1, m_1 .
- Parametrów dla tylnej części płozy to jest l_2, h_2, m_2

Wymiarów *SKR1, SKR2, KR1, KR2* nie trzeba podawać bowiem wynikają one z podanych parametrów, a ściślej mówiąc to te wymiary są podstawą wyznaczenia wartości parametrów.

5. Przy podanym sposobie opisu kształtu ostrza należy określić osiem parametrów. Parametry te wynikną z analizy zjawisk fizycznych podczas jazdy i manewrów, co wykracza już poza cel tego opracowania.

A zacząć należy od dyskusji nad pytaniem czy wogóle Dead Flat jest potrzebne. Jeśli tak jest to należy zastanowić się nad wyborem długości DF i podziałem na $DF1$ i $DF2$, bowiem ten podział ma wpływ na sterowność ślizgu i siły na sterownicy podczas manewrów. Ma także wpływ na wibracje płozy.

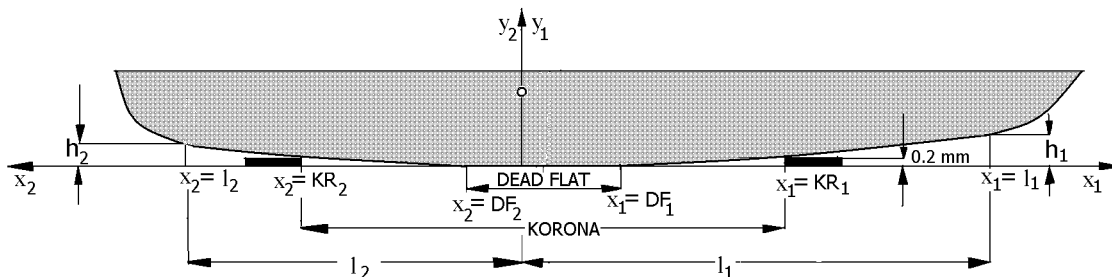
Następnie należy dyskutować nad problemem wartości wykładników m_1 i m_2 oraz wartości h_1 i h_2 w zależności czy jest to płoza sterowa, czy też boczna i czy jest to część przednia czy tylna i na jaki rodzaj lodu jest przeznaczona.

Literatura

- [1] Korowielskij.D.N.: Bujernyj Sport. wyd: Fizkultura i Sport, Moskwa 1969.
- [2] Łobozewicz T., Urbaniak W.: Wstępne wyniki eksperymentu nad ustaleniem tabeli doboru płóz bojerowych, Żagle 11/71.

Darek Kosecki DN P-125
e-mail: Joanna Cimińska asiaeskulap@poczta.fm

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



nr.p.p.	x_2 mm	y_2 mm	nr.p.p.	x_1 mm	y_1 mm
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
4			6		
5			7		
8			8		
9			9		
10			10		
11			11		
12			12		

ZAŁĄCZNIK 1 ARKUSZ POMIAROWY PŁOZY Nr.....

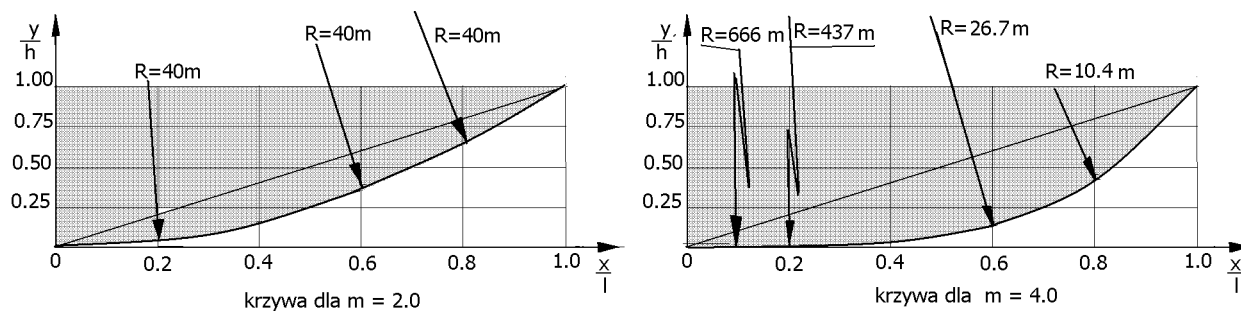
1. PochodzenieDługość płozy.....
2. Płozą sterowa boczna od ślizgu.....Właściciel.....
3. Przygotowana przezdnia.....

CECHY GEOMETRYCZNE

1. Odległość l_1 od początku układu współrzędnych do konstrukcyjnego zaokrąglenia.....
2. Odległość l_2 od początku układu współrzędnych do konstrukcyjnego zaokrąglenia.....
3. DEAD FLAT - całkowita długość styku ostrza z przymiarem.....
4. KORONA - Długość odcinka o rzędnych ostrza na jego końcach równych 0.2 mm.....
5. Punkty pomiarowe - Numer punktu - nr ; x-współrzędna x ; y - współrzędna y
Początek układów współrzędnych umieszczamy pod otworem na sworznię. Jeśli jest kilka otworów na sworzni, to należy wytypować jeden i zaznaczyć to w arkuszu pomiarowym.

Wyniki pomiarów i obliczeń

1. DEAD FLAT $DF =$ mm; $DF_1 =$ mm; $DF_2 =$ mm;
2. SUBKORONA $SKR =$ mm; $SKR_1 =$ mm; $SKR_2 =$ mm;
3. KORONA $KR =$ mm; $KR_1 =$ mm; $KR_2 =$ mm;
4. RZĘDNA h_1 $h_{1r} =$ mm ; odch.stand = mm.
5. WYKŁADNIK m_1 $m_{1r} =$ odch.stand =
6. RZĘDNA h_2 $h_{2r} =$ mm ; odch.stand = mm.
7. WYKŁADNIK m_2 $m_{2r} =$ odch.stand =



Rysunek 4: Do opisu właściwości krzywych potęgowych

Tabela 2: Wartości promieni krzywizn dla $l=400\text{mm}$, $h=2\text{mm}$, i różnych wartości wykładnika m

x/l	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
R przy $m=2$ [metrów]	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
R przy $m=4$ [metrów]	∞	666	437	167	74.0	42.0	26.7	13.6	10.4	8.2	6.7

ZAŁĄCZNIK 2. Właściwości krzywej potęgowej

Jeśli jest dana krzywa potęgowa o postaci:

$$y(x) = h \cdot \left(\frac{x}{l}\right)^m$$

to jej pierwsza pochodna względem zmiennej x jest:

$$y'(x) = \frac{m \cdot h}{l} \cdot \left(\frac{x}{l}\right)^{m-1}$$

a jej druga pochodna względem zmiennej x jest:

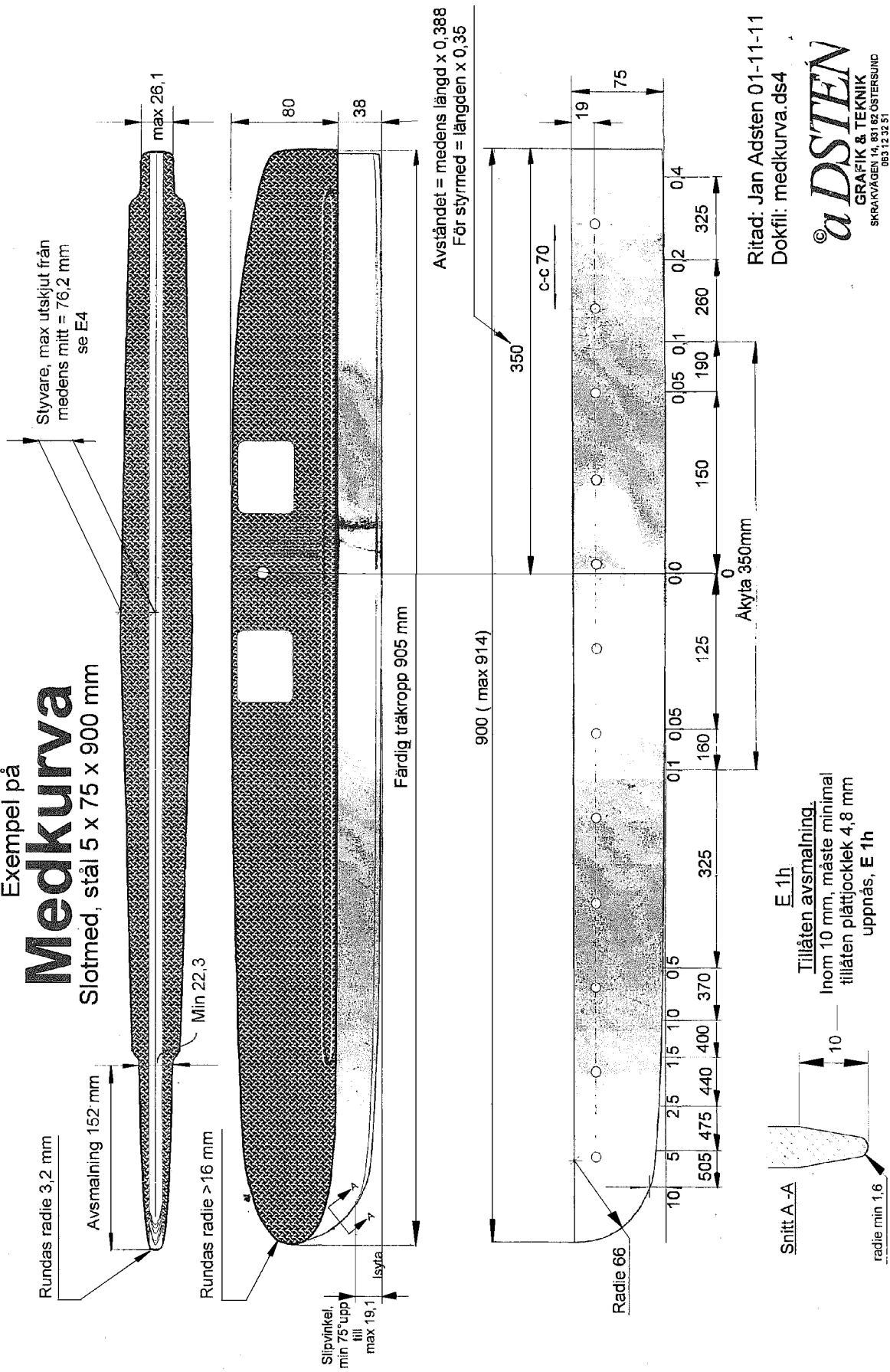
$$y''(x) = \frac{m \cdot (m-1) \cdot h}{l \cdot l} \cdot \left(\frac{x}{l}\right)^{m-2}$$

Przy małych wartościach $y'(x) \ll 1$ odwrotność drugiej pochodnej jest promieniem krzywizny $R(x)$ z bardzo dobrym przybliżeniem.

$$R(x) \cong \frac{l \cdot l}{h \cdot m \cdot (m-1)} \cdot \left(\frac{l}{x}\right)^{m-2}$$

Na rysunku 4 pokazano przebiegi krzywych potęgowych i zmiany promieni krzywizny dla wykładników $m = 1$, $m = 2$, $m = 4$. Dla wykładnika $m = 1$ promień krzywizny jest wszędzie równy nieskończoności, dla wykładnika $m = 2$ promień jest wszędzie taki sam (jeśli $h \ll l$), a dla wykładnika $m=4$ zmienia się od nieskończonego dla $x = 0$ do bardzo małego przy $x = l$. Wartości promieni R podane są dla przypadku $h = 2\text{ mm}$ i $l = 400\text{ mm}$. Wartości promieni podano również w tabelicy 2.

Exempel på
Medkurva
 Slotmed, stål 5 x 75 x 900 mm



Ritad: Jan Adsten 01-11-11
 Dokfil: medkurva.ds4

aDSTEN
 GRAFIK & TEKNIK
 SKRAIKVÄGEN 14, 831 82 ÖSTERSUND
 083 12 32 51