



Ειδικές Ναυπηγικές Κατασκευές και Ιστιοφόρα σκάφη

Διδάσκουσα:

Σ. Πέππα, Καθηγήτρια Εφαρμογών

Συστηματικές σειρές

Συστηματικές Σειρές Ιστιοπλοϊκών Σκαφών

- Κατά τη σχεδίαση των αγωνιστικών ιστιοπλοϊκών σκαφών, χρησιμοποιούνται κυρίως τα ημι-εμπειρικά μοντέλα των προγραμμάτων πρόβλεψης της ταχύτητας.
- Παρά το γεγονός ότι τα ιστιοπλοϊκά σκάφη που πρωταγωνιστούν στους μεγάλους αγώνες, έχουν προηγουμένως δοκιμασθεί και βελτιωθεί με συστηματικές δοκιμές σε πειραματικές δεξαμενές, τα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν είναι εμπιστευτικού χαρακτήρα και δεν δημοσιεύονται.
- Έτσι, πολύ περιορισμένα πειραματικά αποτελέσματα για την επίδραση των παραμέτρων σχεδίασης στη συμπεριφορά των σκαφών μπορεί κανείς να συναντήσει σε άρθρα επιστημονικών περιοδικών και παρουσιάσεις σε συναφή συνέδρια (Chesapeake Symposia, HISWA Symposia)

Συστηματική Σειρά DELFT

- Στο Πολυτεχνείο του Delft, ο Καθηγητής Gerritsma και οι συνεργάτες τους ξεκίνησαν, στα μέσα της δεκαετίας του 1970, την πειραματική διερεύνηση των χαρακτηριστικών της υδροδυναμικής συμπεριφοράς μιας συστηματικής σειράς ιστιοπλοϊκών σκαφών που απαρτίζεται από 50 πρότυπα.
- Για τη διαμόρφωση της σειράς αποφασίστηκε η διερεύνηση της μεταβολής των λόγων
 - L_{WL}/B_{WL} ,
 - B_{WL}/T_C (T_C : βύθισμα της γάστρας χωρίς τα παρελκόμενα),
 - του πρισματικού συντελεστή C_p ,
 - της διαμήκουσ θέσης του κέντρου βάρους LCB και
 - του λόγου $L/\nabla^{1/3}$

Συστηματική Σειρά DELFT

- Η σχεδίαση των 19 έγινε σε συνεργασία με το MIT
- Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα για τα πρώτα εννέα από τα πρότυπα αυτά διαμορφώθηκαν σχέσεις για την εκτίμηση της αντίστασης με ή χωρίς εγκάρσια κλίση, των πλευρικών δυνάμεων, της βρεχόμενης επιφάνειας, της γωνίας πλευρικής απόκλισης και της εγκάρσιας ευστάθειας των ιστιοπλοϊκών σκαφών.
- Η πειραματική διερεύνηση επεκτάθηκε στη συνέχεια και στα πρότυπα Νο 10 έως 22
- Τα πρότυπα Νο 1 έως 22 αποτέλεσαν τη συστηματική σειρά I του Πολυτεχνείου του Delft.
- Το πατρικό σκάφος των πρώτων 22 προτύπων της σειράς βασίστηκε στο πολύ επιτυχημένο σκάφος "STANDEFAST 43" που είχε σχεδιασθεί από το γνωστό σχεδιαστή Frans Maas. Το σκάφος αυτό είχε καθαρές γραμμές, χωρίς υπερβολικές μεταβολές της καμπυλότητας στην επιφάνεια της γάστρας.

Συστηματική Σειρά DELFT

- Δεδομένης της τάσης προς μείωση του εκτοπίσματος των ιστιοπλοϊκών σκαφών, ο Gerritsma παρουσίασε το 1988 πειραματικά αποτελέσματα για άλλα έξι πρότυπα, τα πρότυπα Νο 23 έως 28, που συνιστούν τη συστηματική σειρά II του Πολυτεχνείου του Delft, καθώς και ανάλυση των αποτελεσμάτων που αφορούσε τα πρότυπα αυτά
- Τα πρότυπα αυτά βασίστηκαν σε μια σχεδίαση του van de Stadt & Partners.
- Ο ίδιος συγγραφέας παρουσίασε το 1992 τα πειραματικά αποτελέσματα για τα 11 τελευταία πρότυπα (29 έως 39) που συνιστούν τη συστηματική σειρά III του Πολυτεχνείου του Delft.
- Τα πρότυπα αυτά βασίστηκαν στην ίδια πατρική μορφή με εκείνα της σειράς II.
- Έτσι, συμπληρώθηκε η ανάλυση με τα αποτελέσματα και των 39 προτύπων.

Συστηματική Σειρά DELFT

- Τέλος, ένα νέο πρότυπο σχεδιάστηκε από τους Sparkman και Stephens το 1995. Βασίστηκε σε μια μέση IMS (international measurement system) σχεδίαση, ειδικά για σκοπούς έρευνας και του δόθηκε ο αριθμός 44.
- Έτσι φτιάχτηκε η 4^η σειρά προτύπων που αποτελείται από τα μοντέλα με αριθμό 41 έως 50.

Συστηματική

Σειρά DELFT

- Παράμετροι μορφής των σκαφών

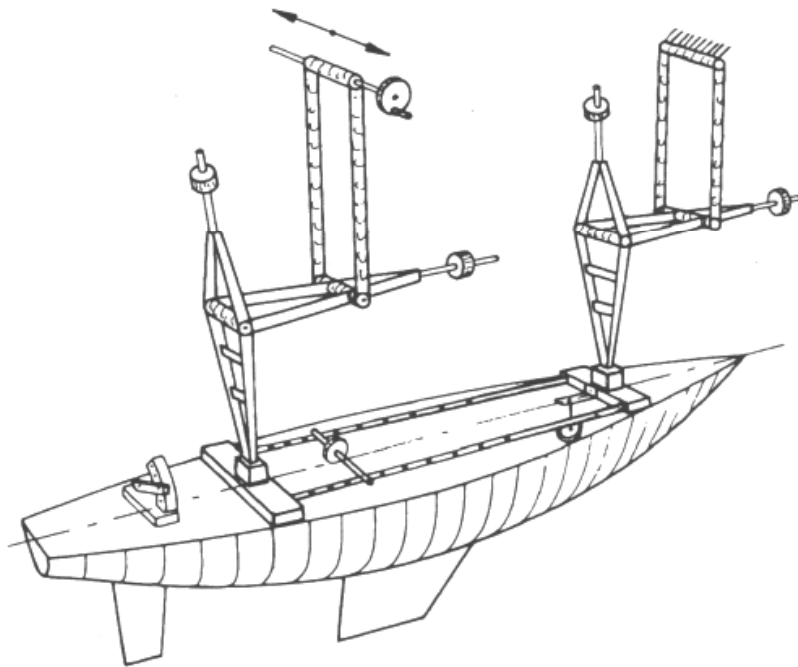


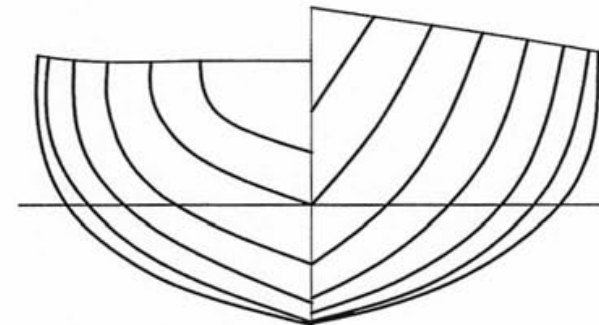
Table 2 Hull Form Parameters of DSYHS

Sysser	Lwl/Bwl	Bwl/Tc	Lwl / VOLc ^{1/3}	LCB	LCF	Cb	Cp	Cw	Cm	Aw / VOLc ^{2/3}
				%	%					
1	3.155	3.992	4.775	-2.29	-3.33	0.365	0.564	0.688	0.646	4.976
2	3.623	3.043	4.776	-2.30	-3.34	0.367	0.567	0.691	0.646	4.349
3	2.747	5.345	4.779	-2.30	-3.32	0.370	0.572	0.695	0.647	5.776
4	3.509	3.947	5.097	-2.29	-3.33	0.367	0.568	0.691	0.646	5.119
5	2.747	3.957	4.356	-2.41	-3.43	0.361	0.559	0.683	0.647	4.719
6	3.155	2.979	4.339	-2.40	-3.42	0.363	0.561	0.685	0.646	4.091
7	3.155	4.953	5.143	-2.29	-3.35	0.362	0.561	0.685	0.646	5.743
8	3.279	3.841	4.775	-2.40	-3.32	0.379	0.586	0.707	0.647	4.921
9	3.049	4.131	4.776	-2.20	-3.34	0.353	0.546	0.672	0.646	5.026
10	3.155	3.992	4.775	0.00	-1.91	0.365	0.564	0.694	0.646	5.017
11	3.155	3.992	4.775	-4.98	-4.97	0.365	0.565	0.682	0.646	4.928
12	3.509	3.936	5.104	-0.01	-1.93	0.364	0.564	0.693	0.647	5.149
13	3.509	3.936	5.104	-5.01	-5.01	0.364	0.564	0.681	0.646	5.057
14	3.509	3.692	5.104	-2.30	-3.47	0.342	0.529	0.657	0.646	4.879
15	3.165	3.683	4.757	-2.29	-3.45	0.343	0.530	0.658	0.646	4.708
16	3.155	2.810	4.340	-2.30	-3.48	0.342	0.529	0.657	0.646	3.926
17	3.155	4.244	4.778	-0.01	-1.79	0.387	0.598	0.724	0.647	5.241
18	3.155	4.244	4.778	-5.00	-4.89	0.387	0.599	0.712	0.647	5.152
19	3.155	3.751	4.777	0.01	-2.06	0.342	0.530	0.664	0.646	4.802
20	3.155	3.751	4.778	-4.99	-5.09	0.342	0.530	0.651	0.646	4.712
21	3.509	4.167	5.099	-2.29	-3.22	0.387	0.598	0.718	0.647	5.322
22	2.732	4.231	4.337	-2.29	-3.22	0.387	0.599	0.719	0.647	4.947
23	3.472	4.091	5.001	-1.85	-5.29	0.394	0.547	0.673	0.721	4.850
24	3.497	10.958	6.935	-2.09	-5.84	0.402	0.543	0.670	0.739	9.215
25	4.000	5.388	6.003	-1.99	-5.54	0.399	0.548	0.671	0.727	6.048
26	3.994	12.907	7.970	-2.05	-6.33	0.407	0.543	0.678	0.749	10.791
27	4.496	2.460	5.011	-1.88	-5.24	0.395	0.546	0.677	0.724	3.780
28	4.500	6.754	6.992	-2.05	-5.95	0.400	0.544	0.672	0.736	7.305
29	4.000	10.870	7.498	-4.59	-7.63	0.413	0.549	0.671	0.751	9.437
30	4.000	7.082	6.500	-4.56	-7.66	0.413	0.549	0.672	0.751	7.096
31	4.000	15.823	8.499	-4.53	-7.81	0.412	0.548	0.674	0.752	12.172
32	4.000	10.870	7.498	-2.14	-6.22	0.413	0.549	0.687	0.751	9.651
33	4.000	10.870	7.498	-6.55	-8.73	0.413	0.549	0.659	0.751	9.266
34	4.000	10.373	7.491	-4.37	-7.55	0.395	0.522	0.649	0.757	9.106
35	4.000	11.468	7.472	-4.49	-7.58	0.440	0.580	0.694	0.758	9.686
36	4.000	10.163	7.470	-4.36	-7.29	0.390	0.551	0.663	0.707	9.249
37	4.000	9.434	7.469	-4.42	-6.93	0.362	0.552	0.654	0.657	9.117
38	3.000	19.378	7.503	-4.53	-7.86	0.413	0.547	0.675	0.755	12.666
39	5.000	6.969	7.499	-4.55	-7.54	0.413	0.549	0.670	0.753	7.534
41	4.000	5.208	5.927	-8.16	-9.51	0.400	0.540	0.652	0.741	5.722
42	3.319	3.711	4.699	-3.28	-6.41	0.394	0.554	0.670	0.711	4.460
43	2.784	6.291	4.983	-3.28	-6.49	0.394	0.553	0.672	0.712	5.991
44	3.319	4.424	4.982	-3.29	-6.25	0.394	0.554	0.668	0.712	4.996
45	4.175	2.795	4.982	-3.28	-6.24	0.394	0.554	0.668	0.711	3.969
46	3.319	5.569	5.379	-3.29	-6.26	0.394	0.553	0.668	0.712	5.825
47	3.337	6.042	5.474	-6.02	-8.40	0.410	0.548	0.699	0.749	6.278
48	3.337	5.797	5.426	-0.65	-5.03	0.404	0.557	0.690	0.725	6.084
49	3.352	6.307	5.523	-6.34	-8.43	0.421	0.566	0.699	0.743	6.359
50	3.333	6.342	5.521	-7.90	-9.14	0.419	0.539	0.688	0.777	6.291

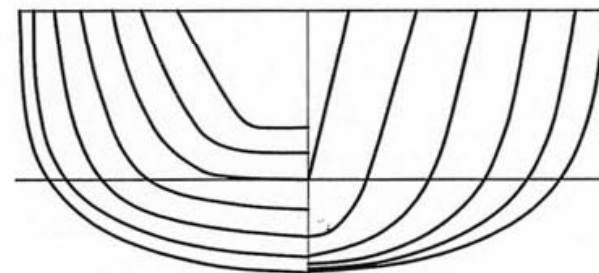
Συστηματική Σειρά DELFT

- Περιοχές διακύμανσης και πατρικές γεωμετρίες

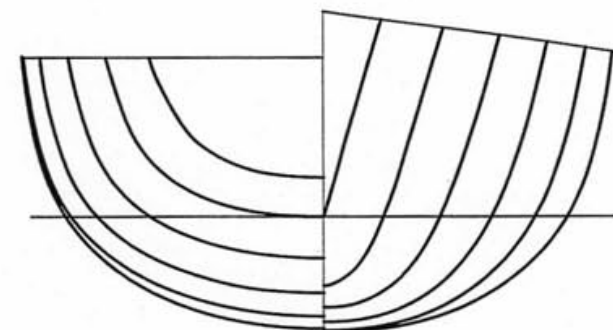
L_{WL}/B_{WL}	2.73	-	5.00
B_{WL}/T_c	2.46	-	19.38
$L_{WL}/\nabla_c^{1/3}$	4.34	-	8.50
LCB	0.0	-	-8.2
LCF	-1.8	-	-9.5
C_p	0.52	-	0.60
C_m	0.65	-	0.78
$A_w/\nabla_c^{2/3}$	3.78	-	12.67



Parent model, medium to heavy displacement (No 1)



Parent model, light displacement (No 25)



Parent model, IMS series (No 44)

Συστηματική Σειρά DELFT

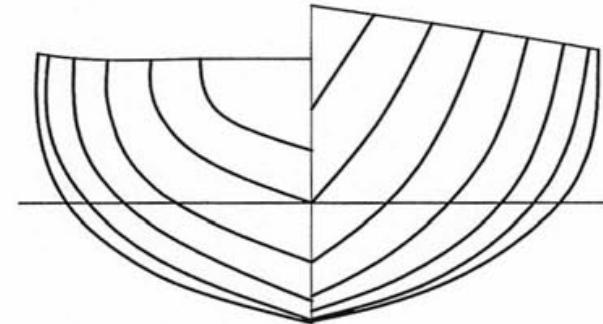
- Από τη σειρά του Delft προέκυψε μια σειρά εμπειρικών συντελεστών

Η βρεχόμενη επιφάνεια στην όρθια κατάσταση:

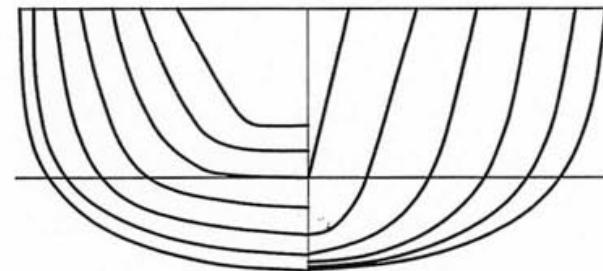
$$S_w = \left[1.97 + 0.171 \frac{B_{WL}}{T_c} \right] \sqrt{\nabla_c \times L_{WL}} \cdot \sqrt[3]{\frac{0.65}{C_M}}$$

Ο συντελεστής μέσης τομής:

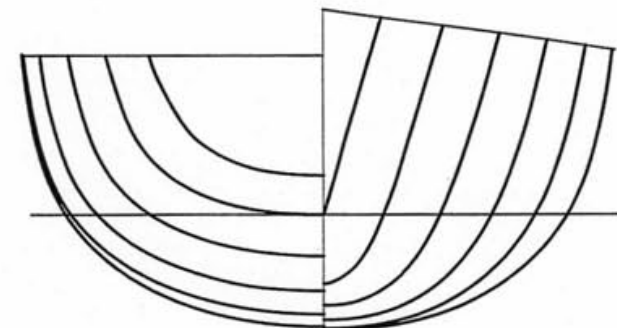
$$C_M = \frac{\nabla_c}{L_{WL} \cdot B_{WL} \cdot T_c \cdot C_p}$$



Parent model, medium to heavy displacement (No 1)



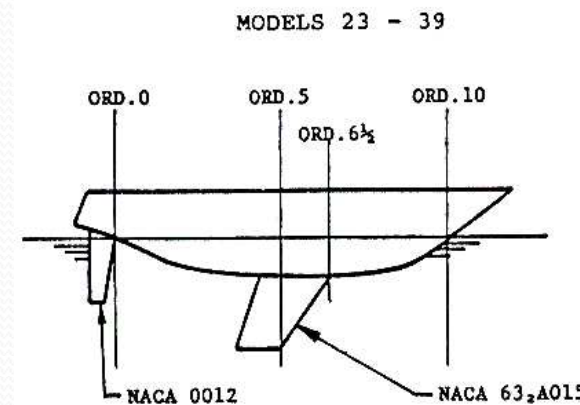
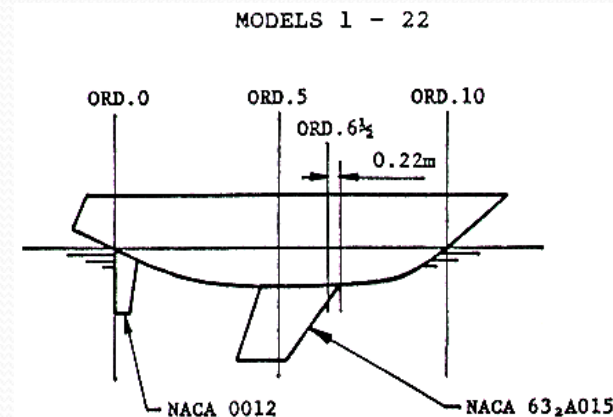
Parent model, light displacement (No 25)



Parent model, IMS series (No 44)

Συστηματική Σειρά DELFT

- Πρέπει να σημειωθεί ότι η πειραματική διερεύνηση σε όλα τα πρότυπα έγινε με τα ίδια παρελκόμενα (πηδάλιο και καρίνα) που φαίνονται στο Σχήμα
- Έτσι, μελετήθηκαν οι επιδράσεις των χαρακτηριστικών παραμέτρων σχεδίασης της γάστρας πάνω στη συμπεριφορά των σκαφών, με σταθερές τις επιδράσεις της καρίνας και του πηδαλίου.
- Επιπλέον, για την πρώτη πατρική μορφή εξετάστηκαν τρία διαφορετικά μήκη της καρίνας (keel span).
- Η παραπέρα διερεύνηση των επιδράσεων των παρελκομένων μπορεί να γίνει πάνω σε μια συγκεκριμένη γυμνή γάστρα.



	volume m ³	wetted area m ²	rootchord m	tipchord m	span m	sweep back angle degrees
Keel	0.00262	0.1539	0.414	0.262	0.219	45
Rudder	0.00023	0.0550	0.124	0.096	0.266	5.4

Συστηματική Σειρά DELFT

- Η περιοχή ταχυτήτων που διερευνήθηκε για τη σειρά I του T.U. Delft έφθανε τον αριθμό $Fn = 0.45$, ενώ στις σειρές II επεκτάθηκε μέχρι 0.75.
- Τα αποτελέσματα της σειράς δίνονται υπό μορφή συντελεστών υπολογισμού της υπόλοιπης αντίστασης R_R συναρτήσει της ταχύτητας εκφρασμένης σε αριθμό Fn , για τις δύο περιοχές ταχυτήτων ($Fn=0.125-0.450$ και $Fn=0.450-0.750$)
- Συνοψίζοντας, τονίζεται εδώ, ότι οι συστηματικές σειρές και οι ημι-εμπειρικές μέθοδοι (προγράμματα VPP) βοηθούν το σχεδιαστή στο αρχικό στάδιο της σχεδίασης για την επιλογή των παραμέτρων της μορφής του σκάφους.
- Η τελική διαμόρφωση των παραμέτρων αυτών πρέπει να συνοδεύεται από εκτεταμένες δοκιμές σε πειραματική δεξαμενή.
- Επίσης, με τα βοηθήματα αυτά, ο σχεδιαστής είναι σε θέση, σε κάθε φάση της σχεδίασης, να ελέγξει την ανταγωνιστικότητα του σχεδιαζόμενου σκάφους συγκρίνοντάς το με τυπικές σχεδιάσεις.

Υπολογισμός της R_T

- Η συνολική αντίσταση υπολογίζεται με βάση τη μέθοδο Froude, δηλαδή από το άθροισμα της αντίστασης τριβής R_F κατά ITTC 57 και της υπόλοιπης αντίστασης R_R :

$$R_T = R_R + R_F$$

- Η αντίσταση τριβής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_F = \frac{1}{2} \rho V^2 C_f S_w$$

- Όπου ο συντελεστής τριβής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C_f = \frac{0.075}{(\text{Log}(Rn) - 2)^2}$$

- Για τον αριθμό Rn (Reynolds) στα ιστιοπλοϊκά χρησιμοποιούμε ως μήκος το 70% του μήκους της ισάλου, δηλ.

$$Rn_c = \frac{V \cdot 0,7L_{WL}}{\nu}$$

Υπόλοιπη αντίσταση της συστηματικής σειράς DELFT

Χρησιμοποιώντας μια πολυωνυμική εξίσωση, υπολογίζεται η υπόλοιπη αντίσταση της γάστρας από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της.

$$\frac{R_R}{g \cdot m_c} \cdot 10^3 = a_0 + a_1 \cdot C_p + a_2 \cdot LCB + a_3 \cdot B_{WL} / T_c +$$

$$+ a_4 \cdot L_{WL} / \nabla_c^{1/3} + a_5 \cdot C_p^2 +$$

$$+ a_6 \cdot C_p \cdot L_{WL} / \nabla_c^{1/3} + a_7 \cdot (LCB)^2 +$$

$$+ a_8 \cdot (L_{WL} / \nabla_c^{1/3})^2 + a_9 \cdot (L_{WL} / \nabla_c^{1/3})^3$$

[$\frac{R_R}{g \cdot m_c} \cdot 10^3 = 7.971$ at $F_n = 0.35$]

$$g \cdot m_c = \Delta_c$$

LCB in % of L_{WL} from midship, positive forward.

F_n	a_0 a_5	a_1 a_6	a_2 a_7	a_3 a_8	a_4 a_9
0.125	-6.735654 -38.86081	+38.36831 +0.956591	-0.008195 -0.002171	+0.055234 +0.272895	-1.997242 -0.017518
0.150	-0.382870 -39.55032	+38.17290 +1.219563	+0.007243 +0.000052	+0.028644 +0.824568	-5.295332 -0.047842
0.175	-1.503526 -31.91370	+24.40803 +2.216098	+0.012200 +0.000074	+0.067221 +0.244345	-2.448582 -0.015887
0.200	+11.29218 -11.41819	-14.51947 +5.654065	+0.047182 +0.007021	+0.985176 +0.094934	-2.673016 +0.008325
0.225	+22.17867 +7.167049	-49.16764 +8.600272	+0.085998 +0.012951	+0.150725 -0.327083	-2.878684 +0.018271
0.250	+25.90867 +24.12137	-74.75668 +10.48516	10.163521 +0.025348	+0.188568 -0.854940	-0.889467 +0.048449
0.275	+40.97559 +53.01570	-114.2855 +13.02177	+0.207226 +0.035934	+0.250827 -0.715457	-3.072662 +0.039874
0.300	+45.83759 +132.2568	-184.7646 +10.86054	+0.357031 +0.066809	+0.338343 -1.719215	+3.871658 +0.095977
0.325	+89.20382 +331.1197	-393.0127 +8.598135	+0.617466 +0.104073	+0.460472 -2.815203	+11.54327 +0.155960
0.350	+212.6768 +667.6445	-601.7808 +12.39815	+1.087307 +0.166473	+0.538938 -3.026131	+10.80273 +0.165055
0.375	+336.2354 +831.1445	-1085.134 +26.18321	+1.644191 +0.238795	+0.532702 -2.450470	-1.224173 +0.139154
0.400	+566.5476 +1154.091	-1609.632 +51.46175	+2.016090 +0.288046	+0.265722 -0.178354	-29.24412 +0.018446
0.425	+743.4107 +937.4014	-1708.263 +115.6008	+2.435809 +0.365071	+0.013553 +1.838967	-81.16189 -0.062023
0.450	+1200.620 +1489.289	-2751.715 +196.3406	+3.208577 +0.528225	+0.254920 +1.379102	-132.0424 +0.013577

Υπόλοιπη αντίσταση της συστηματικής σειράς DELFT

$$F_n = [0.475 - 0.750]$$

$$\frac{R_R}{g \cdot m_c} \cdot 10^3 = c_0 + c_1 \cdot L_{WL}/B_{WL} + c_2 \cdot A_W/\nabla_c^{2/3} + c_3 \cdot LCB +$$

$$+ c_4 \cdot (L_{WL}/B_{WL})^2 + c_5 \cdot (L_{WL}/B_{WL}) \cdot (A_W/\nabla_c^{2/3})^3$$

(A_W = waterplane area)

F_n	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
0.475	+180.1004	-31.50257	-7.451141	+2.195042	+2.689623	+0.006480
0.500	+243.9994	-44.52551	-11.15456	+2.179046	+3.857403	+0.009676
0.525	+282.9873	-51.51953	-12.97310	+2.274505	+4.343662	+0.011066
0.550	+313.4109	-56.58257	-14.41978	+2.326117	+4.690432	+0.012147
0.575	+337.0038	-59.19029	-16.06975	+2.419156	+4.766793	+0.014147
0.600	+356.4572	-62.85395	-16.85112	+2.437056	+5.078768	+0.014980
0.625	+324.7357	-51.31252	-15.34595	+2.334146	+3.855368	+0.013695
0.650	+301.1268	-39.79631	-15.02299	+2.059657	+2.545676	+0.013588
0.675	+292.0571	-31.85303	-15.58548	+1.847926	+1.569917	+0.014014
0.700	+284.4641	-25.14558	-16.15423	+1.703981	+0.817912	+0.014575
0.725	+256.6367	-19.31922	-13.08450	+2.152824	+0.348305	+0.011343
0.750	+304.1803	-30.11512	-15.85429	+2.863173	+1.524379	+0.014031

Αντίσταση λόγω εγκάρσιας κλίσης

- Η αντίσταση λόγω εγκάρσιας κλίσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_{\text{Heel}} = \frac{1}{2} \rho V^2 S_w C_H F n^2 \cdot \phi$$

- όπου:

- ρ η πυκνότητα του νερού [1025 kg/m³]
- V η ταχύτητα του σκάφους
- S_w η βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας στην κατακόρυφη θέση
- ϕ η γωνία εγκάρσιας κλίσης σε [rad]
- C_H συντελεστής που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C_H = [6.747 \cdot (T_C / T) + 2.517 \cdot (B_{WL} / T_C) + 3.71(B_{WL} / T_C) \cdot (T_C / T)] \cdot 10^{-3}$$

Αντίσταση λόγω εγκάρσιας κλίσης

- Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού της αντίστασης λόγω εγκάρσιας κλίσης είναι ο υπολογισμός της διαφοράς της υπόλοιπης αντίστασης λόγω κλίσης ΔRrh_{ϕ} .
- Οι Keuning & Sonnenberg υπολογίζουν την αντίσταση για κλίση 20° και μετά την κλίση σε οποιαδήποτε άλλη γωνία

$$\frac{\Delta Rrh_{\phi=20^{\circ}}}{\nabla c \cdot \rho \cdot g} = u_0 + u_1 \cdot \frac{Lwl}{Bwl} + u_2 \cdot \frac{Bwl}{Tc} + u_3 \cdot \left(\frac{Bwl}{Tc} \right)^2 + u_4 \cdot LCB + u_5 \cdot LCB^2$$

Coefficients are multiplied by 1000							
F _n	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55
u ₀	-0.0268	0.6628	1.6433	-0.8659	-3.2715	-0.1976	1.5873
u ₁	-0.0014	-0.0632	-0.2144	-0.0354	0.1372	-0.1480	-0.3749
u ₂	-0.0057	-0.0699	-0.1640	0.2226	0.5547	-0.6593	-0.7105
u ₃	0.0016	0.0069	0.0199	0.0188	0.0268	0.1862	0.2146
u ₄	-0.0070	0.0459	-0.0540	-0.5800	-1.0064	-0.7489	-0.4818
u ₅	-0.0017	-0.0004	-0.0268	-0.1133	-0.2026	-0.1648	-0.1174

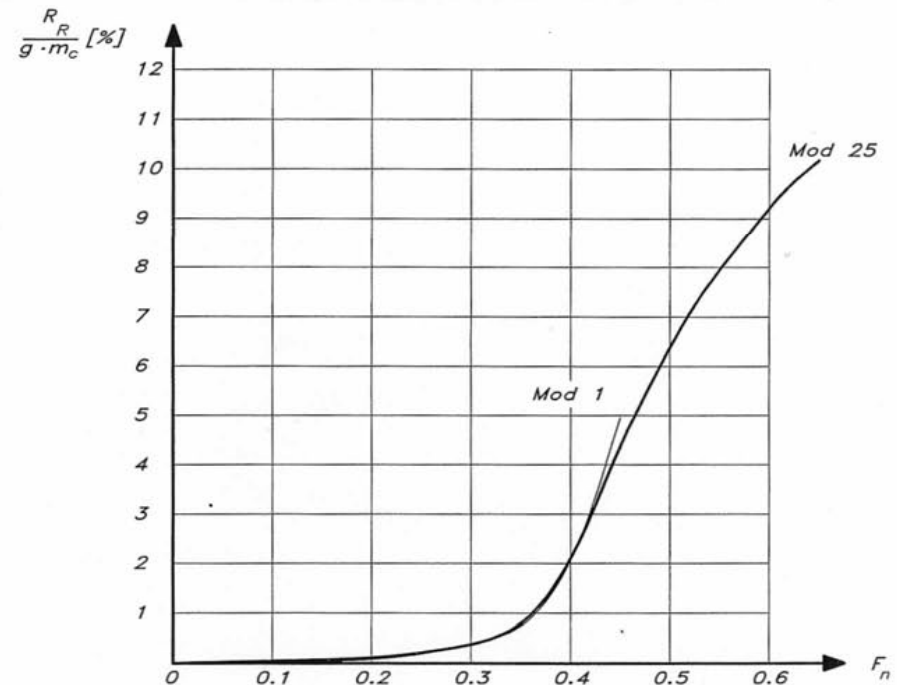
$$\Delta Rrh_{\phi} = \Delta Rrh_{\phi=20^{\circ}} \cdot 6.0 \cdot \phi^{1.7}$$

Επίδραση της γεωμετρίας της γάστρας στην υδροδυναμική συμπεριφορά

- Όπως προκύπτει και από το προηγούμενο εδάφιο, οι παράμετροι της γεωμετρίας της γάστρας που χρησιμοποιούνται στη συστηματική σειρά του T.U. Delft είναι:
 - οι λόγοι L_{WL}/B_{WL} , B_{WL}/T_C , $L_{WL}/\nabla_C^{1/3}$, LCB και C_p , όπου ο δείκτης C υποδηλώνει τη γάστρα χωρίς παρελκόμενα (canoe body).
- Πράγματι έχει διαπιστωθεί ότι οι λόγοι αυτοί ή τα αντίστοιχα μεγέθη που περιέχουν επηρεάζουν κατά κύριο λόγο την απόδοση των ιστιοπλοϊκών σκαφών.

Επίδραση του Εκτόπισματος

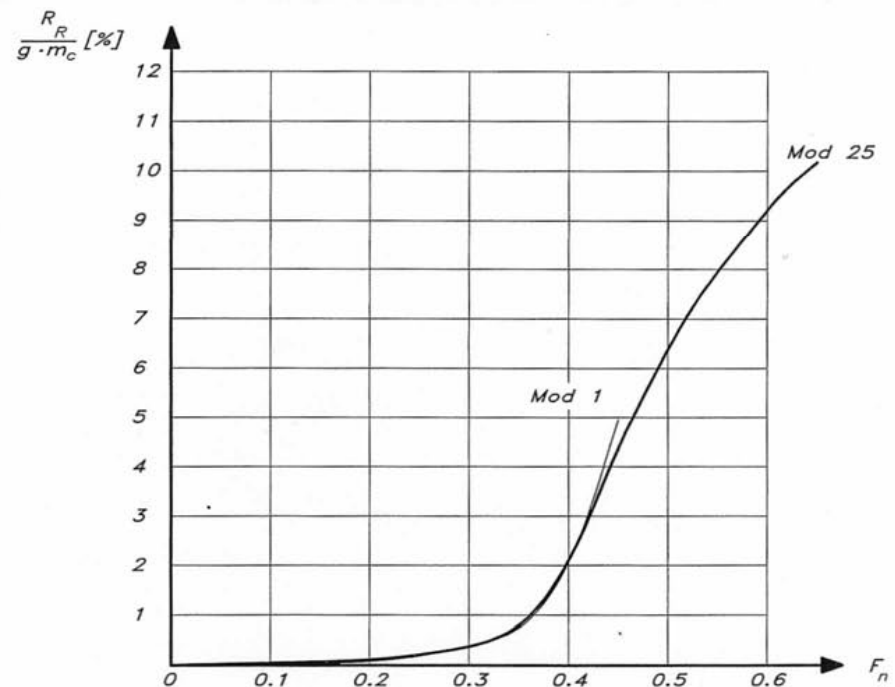
- Το εκτόπισμα είναι γενικά ένας πολύ σημαντικός παράγοντας όσον αφορά την αντίσταση του σκάφους.
- Είναι αξιοσημείωτο ότι το εκτόπισμα της πατρικής γάστρας της σειράς I είναι διπλάσιο της αντίστοιχης της σειράς II.
- Αντίστοιχη είναι και η διαφορά στην πρόσθετη αντίσταση.
- Επιπλέον, τα σκάφη της σειράς I δοκιμάστηκαν μέχρι ταχύτητες που αντιστοιχούν σε αριθμό $F_n = 0.45$, ενώ τα σκάφη των επομένων σειρών δοκιμάστηκαν μέχρι $F_n = 0.75$.
- Στο Σχήμα έχει σχεδιαστεί ο λόγος R_R/Δ_C για τα δύο πατρικά σκάφη.



Επίδραση του Εκτοπίσματος

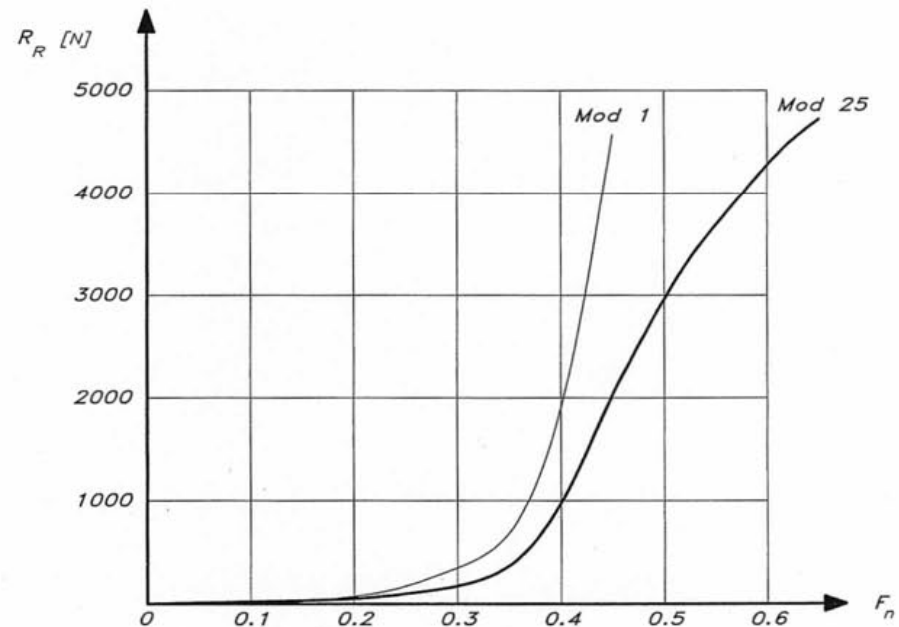
Τα σκάφη της πατρικής γάστρας της σειράς I και της σειράς II:

- Για $F_n < 0.45$ η πρόσθετη αντίσταση είναι ανάλογη του εκτοπίσματος
- Για $F_n < 0.45$ η πρόσθετη αντίσταση δεν εξαρτάται από την μορφή του σκάφους
- Για παράδειγμα σε $F_n=0.3$ η πρόσθετη αντίσταση είναι το 0.3-0.4% του βάρους του σκάφους, ενώ για 0.4 θα είναι περίπου 2%



Αντίσταση με βάση το μήκος

- Η υπόλοιπη αντίσταση για ιστιοπλοϊκό μήκους 10 μέτρων
- Το Mod 1 έχει εκτόπισμα 9.18 tons ενώ το Mod 25 έχει εκτόπισμα 4.62 tons
- Το πρώτο δε θα καταφέρει ποτέ να φτάσει σε $F_n=0.6$

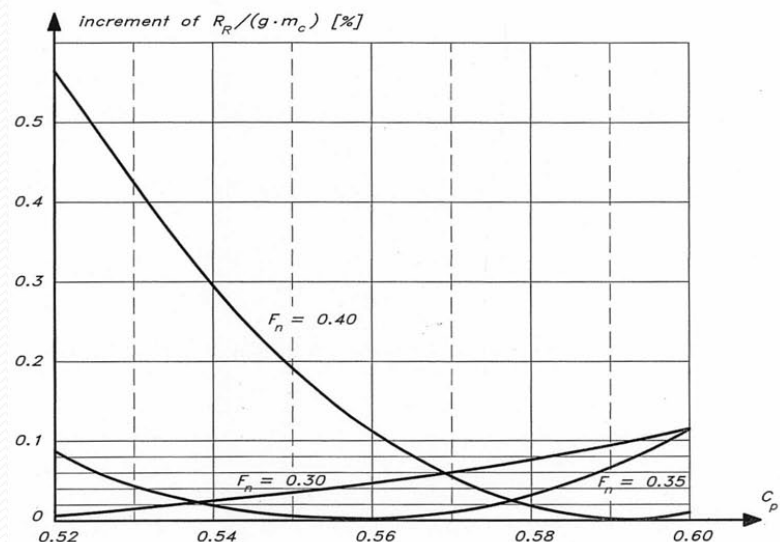
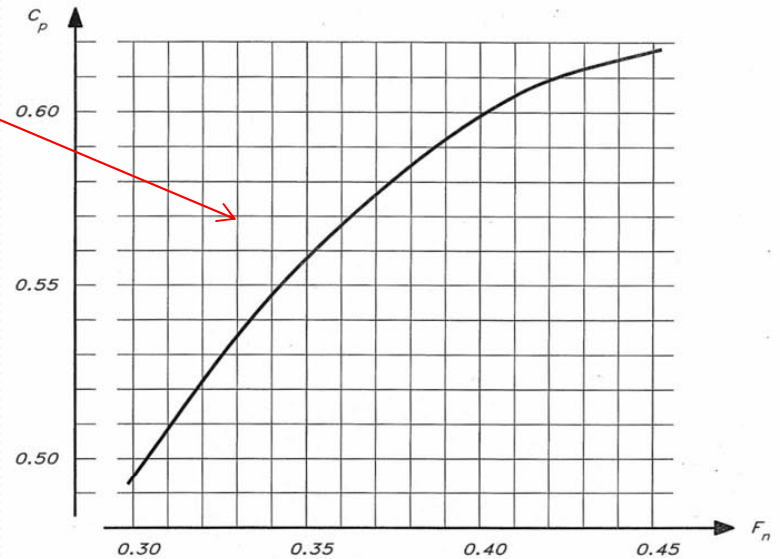


$$L_{WL}/\nabla_C^{1/3} \text{ και } \Delta_C/(L_{WL}/100)^3$$

- Οι λόγοι $L_{WL}/\nabla_C^{1/3}$ και $\Delta_C/(L_{WL}/100)^3$ χρησιμοποιούνται επίσης σαν κριτήριο ολίσθησης και επίτευξης υψηλών ταχυτήτων από το ιστιοπλοϊκό σκάφος.
- Προς τούτο πρέπει:
 - Ο λόγος $L_{WL}/\nabla_C^{1/3}$ να υπερβαίνει το 5.7,
 - ο λόγος $\Delta_C/(L_{WL}/100)^3$ πρέπει να είναι το πολύ 150-200, όταν το εκτόπισμα είναι εκφρασμένο σε τόνους και το μήκος σε πόδια.

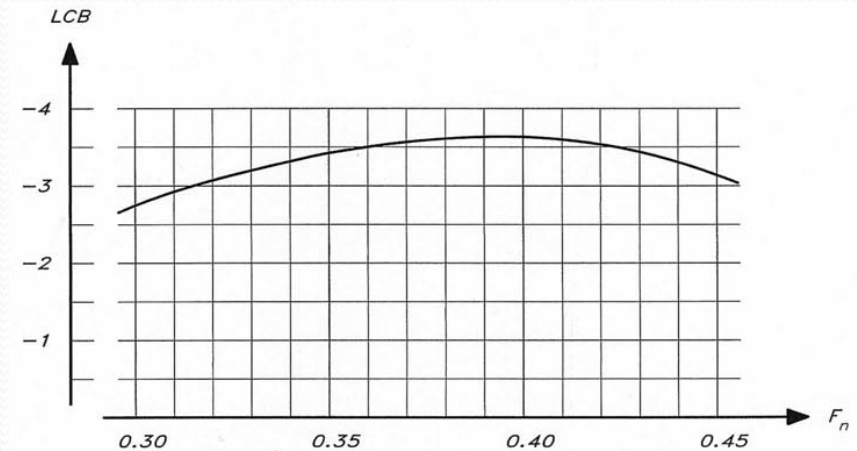
Πρισματικός Συντελεστής

- Στο Σχήμα βλέπουμε τον βέλτιστο πρισματικό συντελεστή για διάφορες ταχύτητες μέχρι $F_n = 0.45$ όπως υπολογίστηκε από στις σχέσεις υπολογισμού R_R/Δ_C
- Γενικά οι γάστρες σχεδιάζονται για αριθμούς F_n , περί το 0.35.
- Εφόσον ο πρισματικός συντελεστής της γάστρας δεν είναι ο βέλτιστος ο λόγος R_R/Δ_C αυξάνεται μέχρι 0.1% σε ταχύτητες μέχρι $F_n = 0.35$.
- Για ταχύπλοες γάστρες που μπορούν να πλεύσουν σε αριθμούς F_n πάνω από 0.45 απαιτείται επίπεδος και σχετικά οριζόντιος πυθμένας στην πρύμνη που οδηγεί σε βυθισμένο καθρέπτη και μεγάλο πρισματικό συντελεστή.
- Η συμπεριφορά, όμως, αυτών των γαστρών σε μικρές ταχύτητες δεν είναι ικανοποιητική.
- Επιπλέον, και στις σχέσεις υπολογισμού R_R/Δ_C για $F_n > 0.45$ ο πρισματικός συντελεστής έχει παραληφθεί.

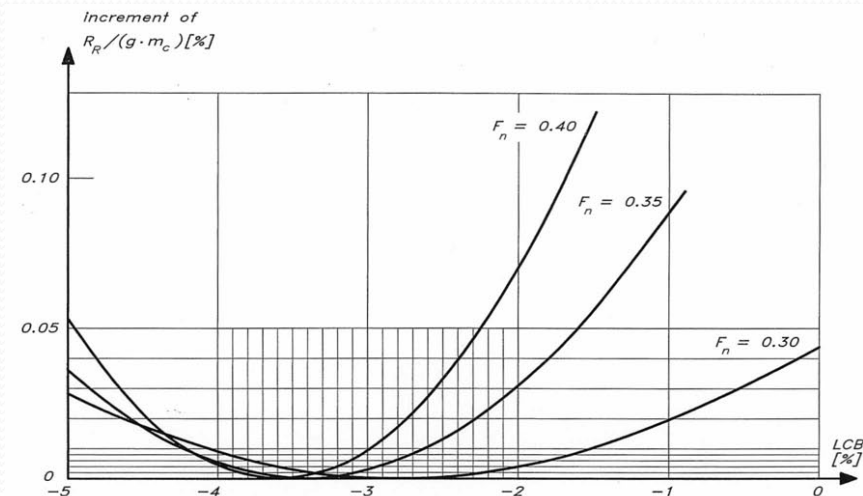


LCB

- Στο Σχήμα παρουσιάζεται η βέλτιστη θέση του κέντρου άντωσης για ταχύτητες μέχρι $F_n = 0.45$.
- Οι αρνητικές τιμές υποδηλώνουν LCB πρύμνηθεν του μέσου νομέα και δίνονται σε ποσοστό [%] του μήκους της ισάλου L_{WL} .
- Η βέλτιστη θέση του LCB δεν μεταβάλλεται σημαντικά με την ταχύτητα.
- Εφόσον η θέση του LCB αποκλίνει από τη βέλτιστη ο λόγος R_R/Δ_C αυξάνεται κατά ποσοστό μέχρι 0.1%.
- Επιβλαβέστερη είναι η μετακίνηση προς πλώρα.
- Η μετακίνηση του LCB προς πρύμνη οδηγεί σε πιο γεμάτη πρύμνη και σε αύξηση της συνεκτικής συνιστώσας της αντίστασης λόγω πιέσεων στην περιοχή, ενώ ταυτόχρονα, μειώνεται η αντίσταση κυματισμού στην πλώρα η οποία γίνεται πιο λεπτόγραμμη.



LCB given in % of L_{WL} , measured from midship.
Negative sign means aft.



Λόγο L_{WL}/B_{WL} - B_{WL}/T_C & L_{WL}/T_C

- Η επίδραση των λόγων L_{WL}/B_{WL} & B_{WL}/T_C στη σχεδίαση είναι πολύ μικρή. Γενικά φαίνεται ότι η αύξηση του πλάτους είναι ευνοϊκή στις υψηλότερες ταχύτητες σε αντίθεση με τις χαμηλές ταχύτητες.
- Δεν πρέπει να αμελείται η επίδραση του πλάτους στην εγκάρσια ευστάθεια. Δεδομένου ότι η εγκάρσια ευστάθεια αυξάνεται με τον κύβο του πλάτους, ο λόγος L_{WL}/B_{WL} αυξάνει με την αύξηση του μεγέθους του σκάφους.
- Τυπικές τιμές του λόγου L_{WL}/B_{WL} είναι 2.8 για $L_{WL} = 5$ m και 3.9 για $L_{WL} = 15$ m.
- Κατ' αντιστοιχία, ο λόγος του μήκους ισάλου προς το ολικό βύθισμα L_{WL}/T_C παίρνει τιμές περί το 4.4 για $L_{WL} = 5$ m και περί το 6.0 για $L_{WL} = 15$ m.
- Ο λόγος του μήκους ισάλου προς το βύθισμα της γάστρας L_{WL}/T_C παίρνει τιμές από 12 για τα βαρύτερα των σκαφών μέχρι 26 για τα ελαφρότερα.

Άλλοι παράγοντες

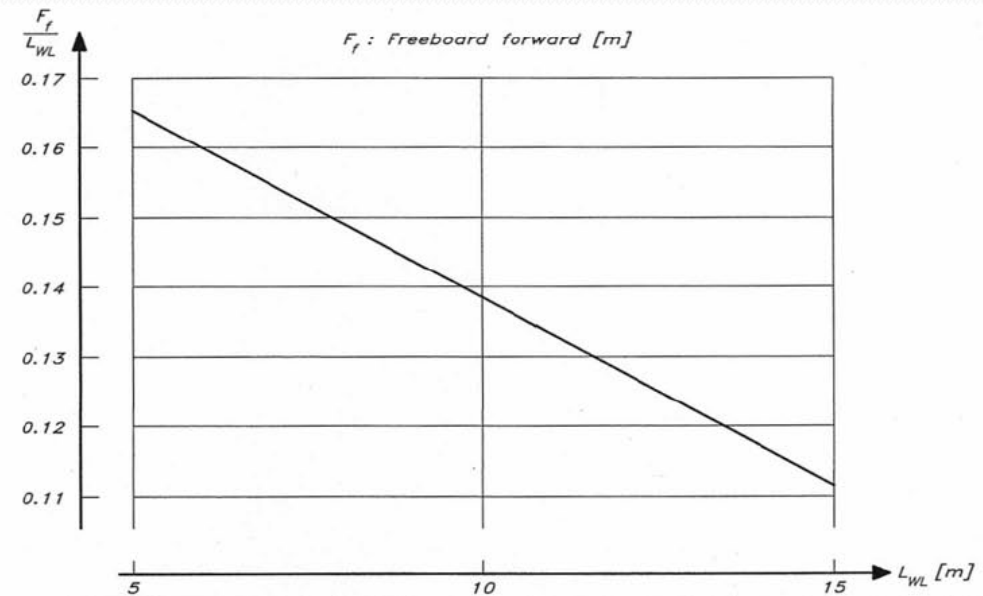
- Η επίδραση της μεταβολής της βρεχόμενης επιφάνειας, και, συνεπώς, της αντίστασης τριβής, μπορεί να είναι σημαντικότερη από τη μεταβολή της υπόλοιπης αντίστασης.
- Τέλος, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η πρόσθετη αντίσταση σε κυματισμούς, η οποία εξαρτάται από τις κινήσεις του πλοίου (κατακόρυφη ταλάντωση και προνευτασμό).
- Η πρόσθετη αντίσταση σε κυματισμούς περιορίζεται με μείωση των κινήσεων αυτών
- Πιο σημαντική από τις κινήσεις όσον αφορά την πρόσθετη αντίσταση είναι ο προνευτασμός, ο οποίος, μεταξύ των άλλων, εξαρτάται από ροπή αδράνειας της γάστρας περί εγκάρσιο άξονα δια του κέντρου βάρους του, ή, ισοδύναμα, από την ακτίνα αδρανείας της.

Υπόλοιποι Λόγοι

- Ο λόγος $L_{WL}/\Delta^{1/3}$ αυξάνεται με την αύξηση του μήκους από 4.9 σε 5.5 για μεταβολή του μήκους από τα 5 m στα 15 m.
- Μια τυπική τιμή του λόγου L_{OA}/L_{WL} σε μοντέρνα σκάφη είναι 1.23 ± 0.15 .
- Το έρμα στην καρίνα κυμαίνεται από το 35 έως το 55% του συνολικού βάρους του σκάφους. Η μέση τιμή του λόγου αυτού (45%) ισχύει στις περισσότερες των περιπτώσεων.

Υπόλοιποι Λόγοι

- Ο λόγος του ύψους εξάλων στην πλώρα προς αυτό της πρύμνης είναι περίπου 1.3.
- Στην πλώρα το ύψος εξάλων είναι περί το 14% του L_{WL}



Σχεδίαση Ιστιοπλοϊκού Σκάφους

Σχεδίαση της Γάστρας

- Η σχεδίαση των ιστιοπλοϊκών σκαφών, σχετίζεται άμεσα με τη συμπεριφορά τους στη θάλασσα.
- Η έννοια της "συμπεριφοράς ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους", που συνδέεται με την επιτευχθείσα από αυτό ταχύτητα, προσδιορίζεται από πολλούς παράγοντες και/ή συνθήκες που μπορούν να ενταχθούν σε μία από τις παρακάτω ομάδες :
 - Σχεδιαστικοί παράγοντες
 - Η ικανότητα του πληρώματος
 - Φυσικοί παράγοντες

Σχεδιαστικοί παράγοντες

- Είναι ενσωματωμένοι στη σχεδίαση:
 - της γάστρας και
 - της ιστιοφορίας.
- Για τη γάστρα ρόλο παίζουν:
 - το μέγεθος της γάστρας,
 - η μορφή της,
 - ο τύπος της καρίνας και του πηδαλίου,
 - το εκτόπισμα και η βρεχόμενη επιφάνεια της,
 - ο λόγος έρματος προς εκτόπισμα,
 - ο πρισματικός συντελεστής και
 - η διαμήκης θέση του κέντρου άνωσης.

Οι δύο τελευταίοι συντελεστές αποτελούν μέτρα της διαμήκους κατανομής του εκτοπίσματος.

- Στην **ιστιοφορία** σημαντικό ρόλο παίζουν:
 - η επιφάνεια και η μορφή ιστιοφορίας, δηλαδή η κατανομή της επιφάνειας ανάμεσα στα πανιά καθώς και ένα μέτρο του λόγου επιμήκους, της επικάλυψης κλπ.
 - η ευστάθεια ή ικανότητα να φέρει την ιστιοφορία αποτελεσματικά,
 - ο λόγος επιφάνειας ιστιοφορίας προς εκτόπισμα SA/Δ,
 - ο λόγος επιφάνειας ιστιοφορίας προς βρεχόμενη επιφάνεια SA/WS και
 - ο λόγος εκτοπίσματος προς μήκος $\Delta/(L/100)^3$.

Η ικανότητα του πληρώματος

- Η ικανότητα του πληρώματος να ρυθμίζει την ιστιοφορία και να κινεί το σκάφος αποτελεσματικά σε κάθε μεταβολή του αέρα και της κατάστασης της θάλασσας, η αντοχή του πληρώματος κλπ.

Φυσικοί παράγοντες

- η ένταση του ανέμου,
- η αστάθειά του και η συχνότητα μεταβολής του,
- η κατακόρυφη μεταβολή του,
- η κατάσταση της επιφάνειας της θάλασσας,
- τα θαλάσσια ρεύματα και η μεταβολή τους στο χρόνο και τη θέση,
- η μορφή των κυματισμών που συναντώνται (σημαντικό ύψος κύματος και συχνότητα) κλπ.

Αγωνιστικά Ιστιοπλοϊκά

- Σήμερα, τα αγωνιστικά ιστιοπλοϊκά σκάφη σχεδιάζονται σύμφωνα με ένα διεθνή κανόνα, όπως:
 - ο IOR (International Offshore Rule) και
 - το IMS (International Measurement System).
- Τους κανόνες αυτούς έχουν θεσπίσει διεθνείς οργανισμοί όπως
 - η ISAF (International Federation of Sailing Associations), πρώην IYRU (International Yacht Racing Union) και
 - το ORC (Offshore Racing Council),με στόχο να περιορίσουν την επίδραση του μεγέθους των σκαφών (μήκος γάστρας, μέγεθος ιστιοφορίας κλπ.) στη συμπεριφορά τους και να επιτρέψουν σε διαφορετικές σχεδιάσεις σκαφών να συναγωνισθούν υπό ίσους όρους
- Δεδομένου ότι είναι αδύνατον με τη βοήθεια μια απλής σχέσης να επιβληθεί μια απόλυτα αντικειμενική διαδικασία αξιολόγησης, είναι έργο του σχεδιαστή να διερευνήσει και να εκμεταλλευθεί κάθε λεπτομέρεια αυτών των κανονισμών.

VPP

- Κατά την ανάλυση των κανονισμών, είναι πολύ σημαντική η χρήση των προγραμμάτων πρόβλεψης της ταχύτητας (Velocity Prediction Programs, VPPs).
- Με τη βοήθεια αυτών των προγραμμάτων είναι δυνατή η ανάλυση της ευαισθησίας μιας σχεδίασης αναφορικά με ένα σχεδιαστικό μέγεθος, για διάφορες ταχύτητες και διευθύνσεις πλεύσης.
- Τα προγράμματα αυτά αποτελούνται από ένα μαθηματικό μοντέλο με βάση το οποίο υπολογίζονται:
 - η αντίσταση και η πλευρική δύναμη για:
 - κάθε συνδυασμό ταχύτητας, γωνίας εγκάρσιας κλίσης, πλευρική απόκλιση, γωνία πτερυγίων διαγωγής, γωνία πηδαλίου και
 - κάθε μορφή γυμνής γάστρας (canoe body), τρόπιδα και πηδάλιο.
 - Επίσης υπολογίζονται:
 - οι δυνάμεις στην ιστιοφορία για διάφορες ταχύτητες και κατευθύνσεις ανέμου και
 - οι αντίστοιχες πλευρικές αποκλίσεις και γωνίες εγκάρσιας κλίσης.