



Αξιολόγηση Μεθόδου CAI για την Αντίσταση Ταχυπλόων Σκαφών

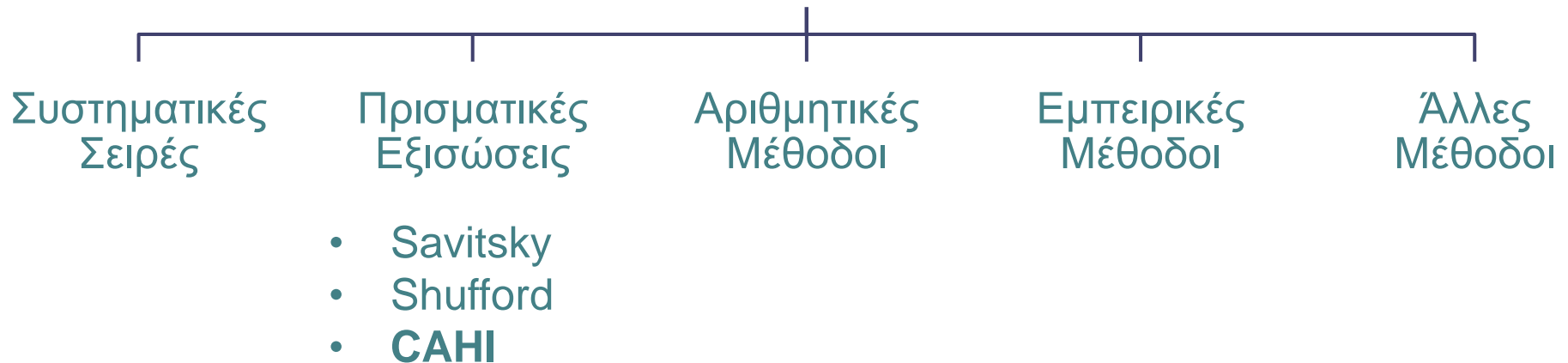
Σταυρίδης Γεώργιος-Βασίλειος 08114907



Η μέθοδος CAHI - Εισαγωγικά

- Central Aero-Hydrodynamic Institute of Moscow (1978)

Μέθοδοι Πρόβλεψης Αντίστασης





Η μέθοδος CAHI - Εξισώσεις

- Δεδομένα:
 - Εκτόπισμα (Δ)
 - Πλάτος στην Ακμή (B_C)
 - Γωνία Ανύψωσης Πυθμένα (β)
 - Διαμήκης Θέση του Κέντρου Βάρους (LCG)
 - Ταχύτητα (V)



Η μέθοδος CAHI - Εξισώσεις

- Δεδομένα: (Δ , B_C , β , LCG , V)
- Βήμα 1^ο: Υπολογισμός m_Δ , C_V , C_B

▫ Υδροδυναμικός Συντελεστής Ροπής (m_Δ):
$$m_\Delta = \frac{LCG}{B_C}$$

▫ Συντελεστής Ταχύτητας (C_V):
$$C_V = \frac{V}{\sqrt{gB_C}}$$

▫ Συντελεστής Ανύψωσης (C_B):
$$C_B = \frac{\Delta}{0.5\rho V^2 B_C^2}$$



Η μέθοδος CAHI - Εξισώσεις

- Δεδομένα: (Δ , B_C , β , LCG , V)
- Βήμα 1^ο: Υπολογισμός m_Δ , C_V , C_B
- Βήμα 2^ο: Υπολογισμός λ
 - **Λόγος Βρεχόμενου Μήκους προς Πλάτος (λ):**

Επαναληπτική Διαδικασία:

Αρχική τιμή: $\lambda = \frac{4}{3} LCG$

Διόρθωση με βάση την απόκλιση m_Δ και m_Δ^* όπου:

$$m_\Delta^* = \frac{\frac{0.7\pi\lambda}{1 + 1.4\lambda} \left(0.75 + 0.08 \frac{\lambda^{0.865}}{\sqrt{C_V}} \right) + \frac{\lambda - 0.8}{3\lambda + 1.2} * \frac{\lambda^2}{C_V^2}}{\frac{0.7\pi\lambda}{1 + 1.4\lambda} + \frac{\lambda - 0.4}{\lambda + 0.4} * \frac{\lambda}{C_V^2}}$$



Η μέθοδος CAHI - Εξισώσεις

- Δεδομένα: (Δ , B_C , β , LCG , V)
- Βήμα 1^ο: Υπολογισμός m_Δ , C_V , C_B
- Βήμα 2^ο: Υπολογισμός λ
- Βήμα 3^ο: Υπολογισμός trim (τ)

▫ Διαμήκης Διαγωγή (τ):

$$\tau = \frac{C_B}{\frac{0.7\pi\lambda}{1+1.4\lambda} + \frac{\lambda-0.4}{\lambda+0.4} * \frac{\lambda}{C_V^2}}$$



Η μέθοδος CAHI - Εξισώσεις

- Δεδομένα: (Δ , B_C , β , LCG, V)
- Βήμα 1^ο: Υπολογισμός m_Δ , C_V , C_B
- Βήμα 2^ο: Υπολογισμός λ
- Βήμα 3^ο: Υπολογισμός trim (τ)
- Βήμα 4^ο: Διόρθωση λ , τ λόγω β

▫ **Διορθωμένο λ_β :**

$$\lambda_\beta = \frac{\lambda^{0.8}}{\cos \beta} \left[1 - 0.29(\sin \beta)^{0.28} \right] \left[1 + 1.35(\sin \beta)^{0.44} \frac{m_\Delta}{\sqrt{C_V}} \right]$$

▫ **Διορθωμένο τ_β :**

$$\tau_\beta = \tau + \frac{0.15(\sin \beta)^{0.8}}{C_V^{0.3}} * \frac{1 - 0.17\sqrt{\lambda_\beta \cos \beta}}{\sqrt{\lambda_\beta \cos \beta}}$$



Η μέθοδος CAHI - Εξισώσεις

- Δεδομένα: (Δ , B_C , β , LCG , V)
- Βήμα 1^ο: Υπολογισμός m_Δ , C_V , C_B
- Βήμα 2^ο: Υπολογισμός λ
- Βήμα 3^ο: Υπολογισμός trim (τ)
- Βήμα 4^ο: Διόρθωση λ , τ λόγω β
- Βήμα 5^ο: Υπολογισμός V_m , S , L_m

▫ **Μέση Ταχύτητα V_m :**

$$V_m = V \left(1 - \frac{\tau}{1+\lambda} \right)$$

▫ **Βρεχόμενη Επιφάνεια S :**

$$S = \frac{B_C^2 \lambda \beta}{\cos \beta}$$

▫ **Μέσο Βρεχόμενο Μήκος L_m :**

$$L_m = \frac{\lambda \beta}{B_C}$$



Η μέθοδος CAHI - Εξισώσεις

- Δεδομένα: (Δ , B_C , β , LCG , V)
- Βήμα 1^ο: Υπολογισμός m_Δ , C_V , C_B
- Βήμα 2^ο: Υπολογισμός λ
- Βήμα 3^ο: Υπολογισμός trim (τ)
- Βήμα 4^ο: Διόρθωση λ , τ λόγω β
- Βήμα 5^ο: Υπολογισμός V_m , S , L_m
- Βήμα 6^ο: Υπολογισμός D_f

▫ **Αντίσταση Τριβής D_f :**
$$D_f = \frac{1}{2} C_f \rho S V_m^2$$

$$C_f = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2} \quad Rn = \frac{V_m L_m}{\nu}$$



Η μέθοδος CAHI - Εξισώσεις

- Δεδομένα: (Δ , B_C , β , LCG, V)
- Βήμα 1^ο: Υπολογισμός m_Δ , C_V , C_B
- Βήμα 2^ο: Υπολογισμός λ
- Βήμα 3^ο: Υπολογισμός trim (τ)
- Βήμα 4^ο: Διόρθωση λ , τ λόγω β
- Βήμα 5^ο: Υπολογισμός V_m , S , L_m
- Βήμα 6^ο: Υπολογισμός D_f
- Βήμα 7^ο: Υπολογισμός R

▫ **Ολική Αντίσταση R :**
$$R = \Delta \tan \tau_\beta + \frac{D_f}{\cos \tau_\beta}$$



Κώδικας - Προδιαγραφές

- Υλοποίηση μεθόδων CAHI και Savitsky
- Ταυτόχρονος υπολογισμός για πολλαπλές τιμές των:
 Δ , B_C , β , LCG, V
- Επιλογή θερμοκρασίας και τύπου νερού (γλυκό ή θαλασσινό)
- Επιλογή συστήματος μονάδων (m/s, kr, m) ή (kn, lbs, in)
- Εναλλακτικοί τρόποι εισαγωγής εισόδων (manually, .txt) με έλεγχο τιμών
- Εκτύπωση αποτελεσμάτων στην οθόνη και αποθήκευση με καταγραφή σε αρχείου



Κώδικας - Έλεγχος

Σενάριο Προσομοίωσης	V [knots]	B _C [in]	Δ [lbs]	β [°]	LCG [in]
a	18.01	16.0	80	20	18.5
b	20.92	16.0	80	20	18.3

Μέγεθος	Σενάριο (a)				Σενάριο (b)			
	Μελέτη κ. Αλούρδα		Κώδικας		Μελέτη κ. Αλούρδα		Κώδικας	
	CAHI	Savitsky	CAHI	Savitsky	CAHI	Savitsky	CAHI	Savitsky
Λόγος λ [-]	1.68	1.59	1.68	1.62	1.61	1.56	1.61	1.56
Διαγωγή τ [°]	3.95	4.21	3.93	4.18	3.32	3.46	3.3	3.43
Λόγος R/Δ [-]	0.19	0.19	0.19	0.19	0.21	0.21	0.21	0.21
R [lbs]	15.17	15.12	15.02	15.13	16.89	16.76	16.80	16.68



Κώδικας - Έλεγχος

Μοντέλο Fridsma

$L/B=5$

$\beta=20^\circ$

$C_{\Delta}=0.912$

$LCG\%=65$

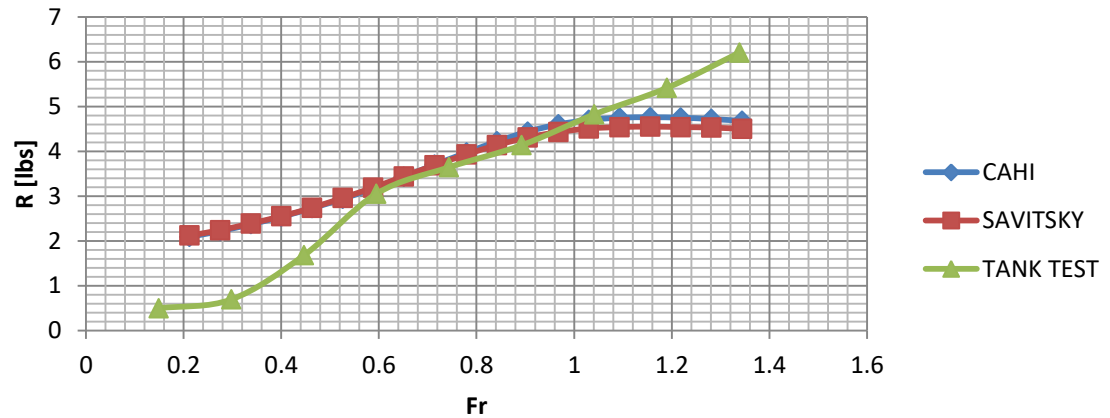
$B_C=0.2286$ m

$\Delta=10.89$ kg

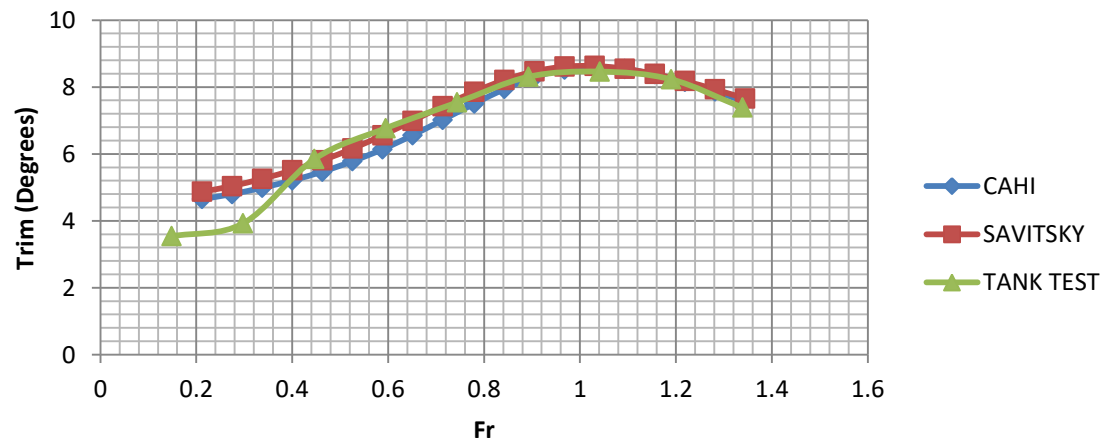
$\beta=20^\circ$

$LCG=0.4$ m

Resistance



Trim



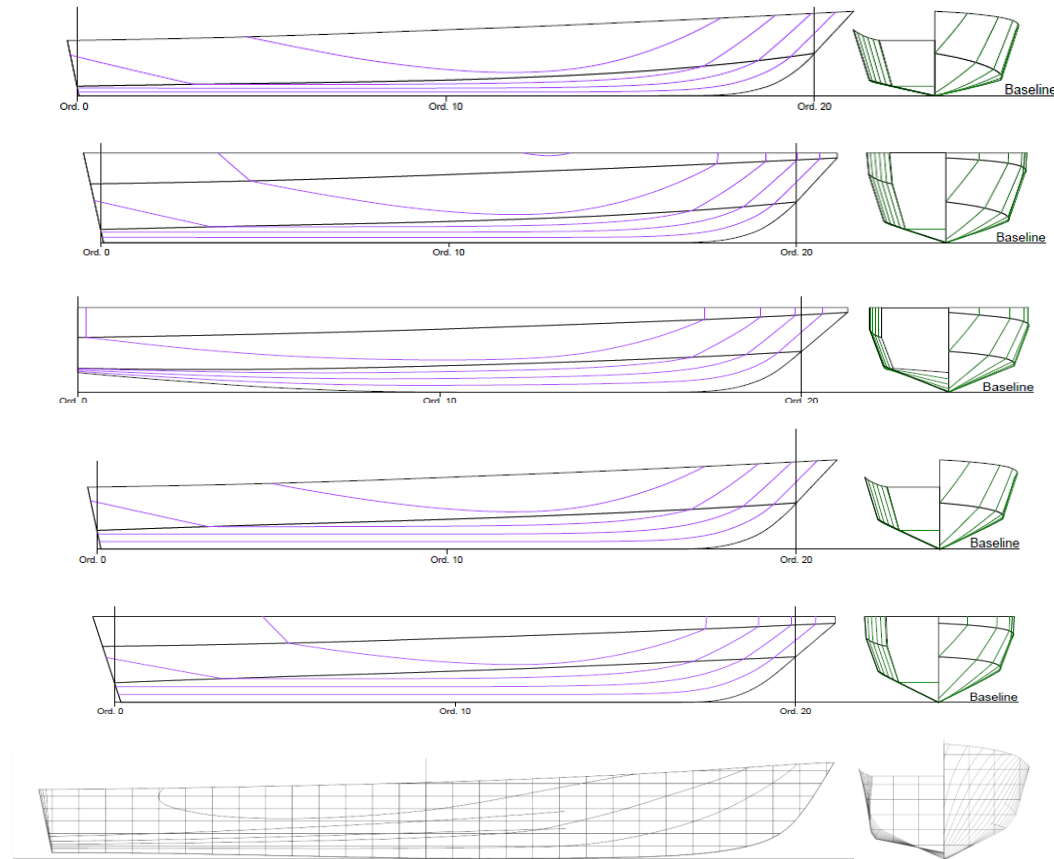


Μελέτη Αξιολόγησης - Σκοπός

- Προσδιορισμός ακρίβειας υπολογισμών μεθόδου CAHI
- Σύγκριση με τη μέθοδο Savitsky
- Ανάδειξη των περιπτώσεων (αν υπάρχουν) που η μέθοδος CAHI είναι πιο αξιόπιστη από την μέθοδο Savitsky

Μελέτη Αξιολόγησης - Δεδομένα

- Delft Series Models:
4667-4668-4669 ($\beta=12.5^\circ$)
- Delft Series Models:
522-524-525 ($\beta=25^\circ$)
- Delft Series Models:
362-363-364 ($\beta=19^\circ$)
- Delft Series Models:
188-189-190 ($\beta=25^\circ$)
- Delft Series Models:
251-252-260 ($\beta=30^\circ$)
- NTUA Small Series
L/B=4-5.5-7 ($\beta=20^\circ$)





Μελέτη Αξιολόγησης - Μέθοδος

- Εκτέλεση προσομοιώσεων για κάθε μια από τις περιπτώσεις:

$$\{\beta\}_5 \times \left\{\frac{L}{B}\right\}_3 \times \{\Delta\}_3 \times \{LCG\}_3 = 144 \text{ προσομοιώσεις σε } 20 \text{ Fn}$$

- Υπολογισμός για κάθε Fn και κάθε μέγεθος (R,τ):

- **Ποσοστιαίο Σφάλμα:** $\text{Error} = \frac{|\text{Calculated Value} - \text{Tank Test Value}|}{\text{Calculated Value}} 100\%$

- **Απόκλιση Μεθόδων:** $\Delta(\text{Value}) = |\text{CAHI Value} - \text{Savitsly Value}|$

- **Εύρος Αξιοπιστίας**



Μελέτη Αξιολόγησης - Ανάλυση Αποτελεσμάτων

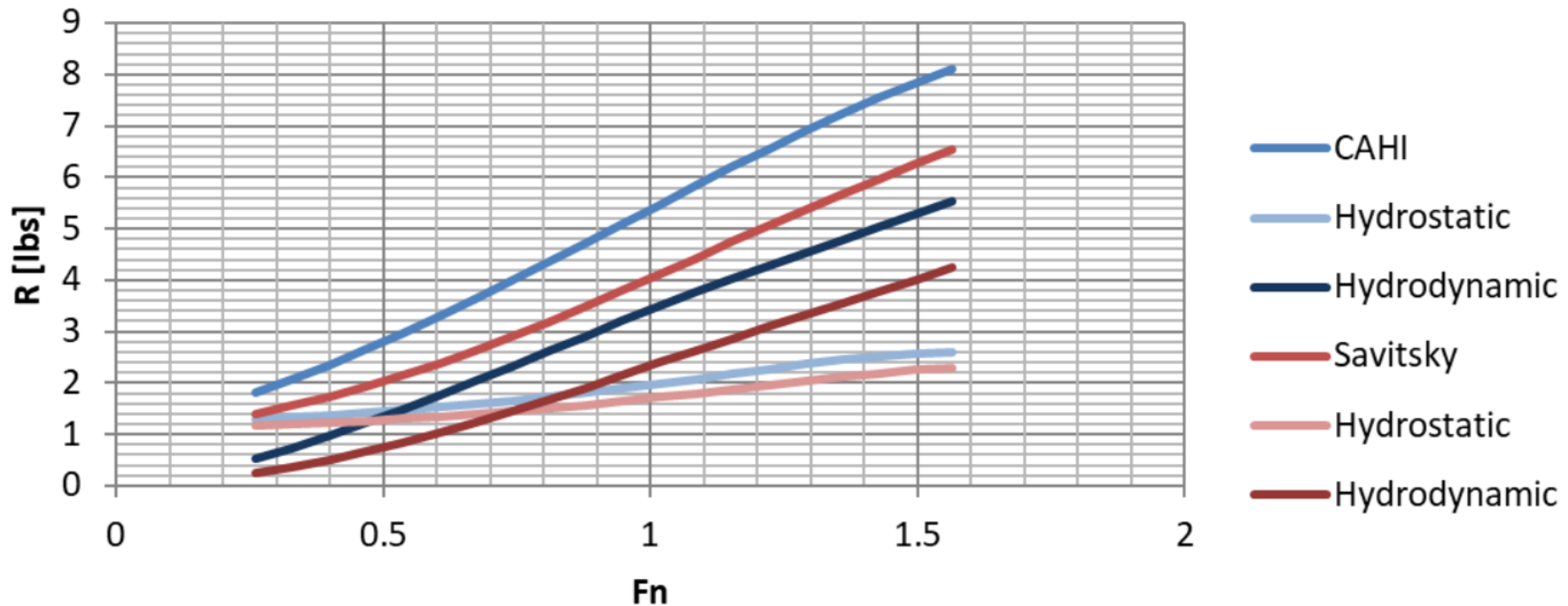
- Απόκλιση Μεθόδων CAHI - Savitsky

	Αντίσταση R			Διαγωγή τ		
	L/B			L/B		
	4	5.5	7	4	5.5	7
LCG	αύξηση					
Δ	μείωση		αύξηση	αύξηση	μείωση	αύξηση
B_C	αύξηση	μείωση	αύξηση	αύξηση	μείωση	αύξηση
β	αύξηση για ακραίες τιμές β			-		



Μελέτη Αξιολόγησης - Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Ανάλυση Αντίστασης R



Model Delft 190 L/B=7 CDL=5 LCG=0%



Μελέτη Αξιολόγησης - Ανάλυση Αποτελεσμάτων

- Σύγκριση Αξιοπιστίας Μεθόδων CAHI – Savitsky
 - Πότε η μέθοδος CAHI παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια;

Αντίσταση R

- Αυξανομένου του LCG
- Αυξανομένου του Δ
- Σε ακραίους λόγους L/B
- Σε μικρές γωνίες β

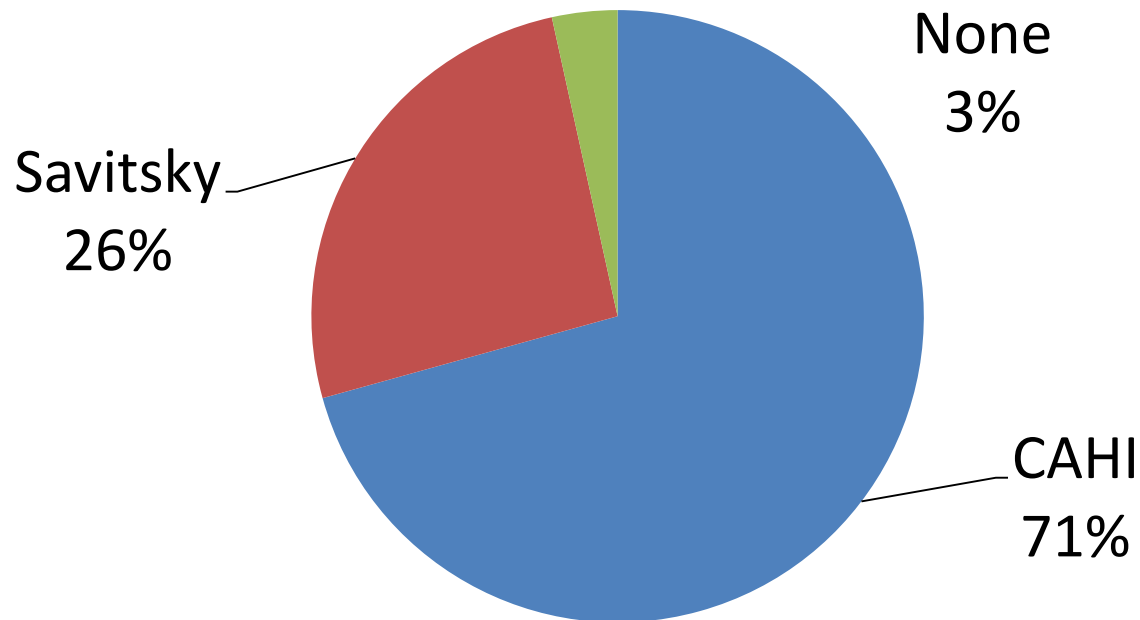
Διαγωγή τ

- Αυξανομένου του LCG
- Μειούμενου του Δ
- Σε μικρούς L/B
- Σε μικρές γωνίες β



Μελέτη Αξιολόγησης - Ανάλυση Αποτελεσμάτων

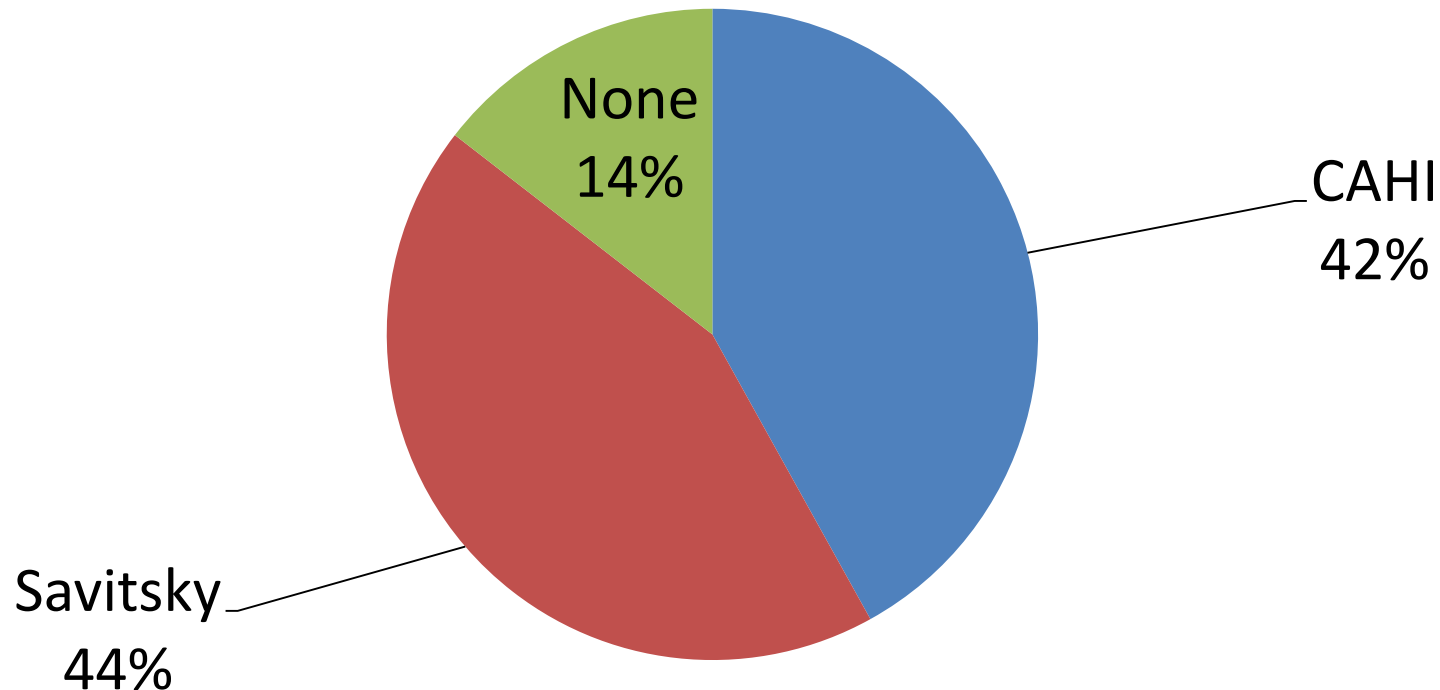
Περιπτώσεις που οι μέθοδοι αποκλίνουν στον υπολογισμό της αντίστασης R – Ποια μέθοδος είναι πιο ακριβής





Μελέτη Αξιολόγησης - Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Περιπτώσεις που οι μέθοδοι αποκλίνουν στον υπολογισμό της
διαγωγής τ – Ποια μέθοδος είναι πιο ακριβής





Μελέτη Αξιολόγησης - Σύνοψη

- Μέθοδος CAHI προσφέρει ως συμπλήρωμα στην μέθοδο Savitsky ειδικά στον υπολογισμό της αντίστασης
- Χρήση της κάθε μεθόδου στις περιοχές που αναδείχθηκαν
- Πρόταση για πιο διευρυμένη μελέτη



Βιβλιογραφία

1. D. Savitsky, *Hydrodynamic Design of Planing Hulls*, Marine Technology, Vol. 1, No. 1, October 1964
2. D. Savitsky, *The Effect of Bottom Warp on the Performance of Planing Hulls*, Chesapeake Power Boat Symposium, 2012
3. Θ. Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, *Υδροδυναμική Σχεδίαση Μικρών Σκαφών*, ΕΜΠ, Αθήνα, Οκτώβριος 1996|
4. I.T. Yegorov, M.M. Nun 'Kov, Yw. M. Sadonikov, *Propulsive Performance and Seaworthiness of Planning Vessels*, Russia 1978
5. Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, Θ. Α. Λουκάκης, *Συστηματική Σειρά ΕΜΠ Περιγραφή και Αποτελέσματα*, ΕΜΠ, Αθήνα, Δεκέμβριος 2013
6. Γ.Κ. Πολίτης, *Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου 3^η Έκδοση*, ΕΜΠ, Αθήνα, Ιούλιος 2016
7. Gerald Fridsma, *A Systematic Study of the Rough-Water Performance of Planing Hulls*, Davidson Laboratory, November 1969
8. P.G. Alourdas, *Planing Hull Resistance Calculation The CAHI Method*, SNAME Greek Section Presentation, 13th October 2016
9. Delf University, *Delft Systematic Deadrise Series*, <http://dsds.tudelft.nl/dsds.php>
10. J. N. Newman, *Marine Hydrodynamics 40th Anniversary Edition*, The MIT Press, 2017
11. S. Pennino, S. Mancini, A. Scamardella, *Dynamic Equilibrium and Resistance Evaluation for Warped Planing Hulls*, Fast 2017 Conference, Nantes France
12. J.A. Keuning, L. Hillege, *The Results of the Delft Systematic Deadrise Series* Fast 2017 Conference, Nantes France
13. A. Kukner, A. Mertcan Yasa, *High Speed Planing Hulls Resistance Prediction Methods and Comparison*
14. T.C. Fu, T.T. O'Shea, C.Q. Judge, D. Dommermuth, K. Brucker, D.C. Wyatt, *A Detailed Assessment of Numerical Flow Analysis (NFA) to Predict the Hydrodynamics of a Deep-V Planing Hull*, 29th Symposium on Naval Hydrodynamics Gothenburg, Sweden, 26-31 August 2012