

Cercetări marine	I.R.C.M.	Nr.20/21	385 - 392	1987-88
------------------	----------	----------	-----------	---------

LE MODÈLE À DEUX ÉCHELLES DE L'AILE AVEC PETITE ENVERGURE SITUÉE DANS UN COURANT D'EAU

A.A.VASILESCU¹, D.DINU²

¹ Université de Galați

² Institut Roumain de Recherches Marines - Constanța

ABSTRACT:

Short-span hydrofoils represent a particular importance in the hydrodynamics of different types of ships. In the present work is given a new model for the short-span hydrofoil computation, based on two scales similitude theory.

KEY WORDS: aile de petite envergure

Pour effectuer des manoeuvres en immersion, les submersibles sont doués avec des ailes et des gouvernails. Quand la manoeuvre se fait à l'aide des propulseurs, on emploie des ailes stabilisatrices. Ces ailes s'encadrent dans la catégorie des ailes avec petite envergure, parce que leur allongement relatif $\lambda = \frac{l^2}{S}$, a une valeur entre 1 et 2 (l - la longueur de l'aile, c - la corde du profil, $S = l \cdot c$) (Fig.1); leur calcul se fait en employant soit la théorie linéaire, soit la théorie nonlinéaire, mais, en dépit des efforts des chercheurs, la théorie de l'aile avec petite envergure est restée jusqu'à maintenant un problème ouvert.

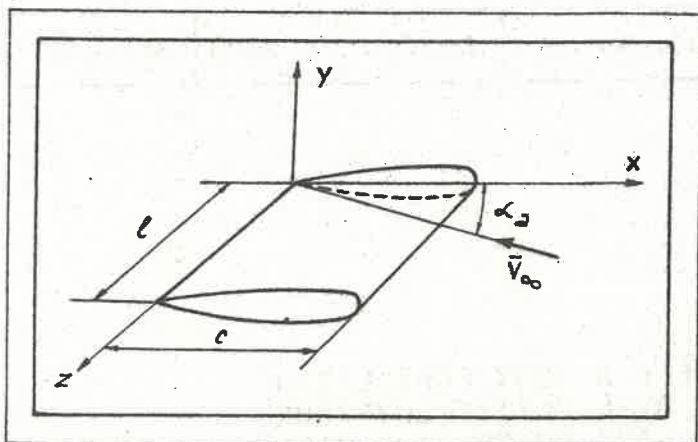


Fig.1 - L'aile avec petite envergure, située dans un courant d'eau

Le modèle à deux échelles de l'aile de petite envergure a comme but la transcription - conformément à la théorie de la similitude - des grandeurs physiques, bien connues, de l'aile avec grande envergure à l'aile avec petite envergure. Autrement dit, les corrélations entre diverses grandeurs physiques, comme la circulation de la vitesse, la vitesse du fluide, la portance, la résistance induite, la période de détachement des tourbillons ou la pression du fluide, connues - expérimentalement ou théoriquement - pour l'aile de grande envergure, avec $\lambda > 5$ (6), peuvent être ressaisies à l'aile de petite envergure avec $\lambda < 5$ (6), par leur transcription, à l'aide des relations entre les échelles, conformément à la similitude distordue. En ce qui concerne l'effet d'échelle, on apprécie qu'il est négligeable quand on passe de l'écoulement du liquide autour de l'aile avec grande envergure à l'écoulement du liquide autour de l'aile avec petite envergure. Pour écrire la loi du modèle à deux échelles dans le cas de l'aile avec petite envergure, il faut préciser d'abord les grandeurs physiques qui interviennent dans le phénomène d'écoulement autour de l'aile: la densité ρ du liquide, la vitesse v d'écoulement, la corde c du profil, la longueur l , la force R qui agit sur l'aile, la circulation de la vitesse Γ , la pression du fluide p , la période ζ de détachement des tourbillons et l'angle d'incidence α .

La fonction implicite qui décrit le phénomène d'écoulement autour de l'aile de petite envergure est:

$$f(\rho, v, c, l, R, \Gamma, z, p, \angle) = 0 \quad (1)$$

Pour appliquer la théorème II à la fonction (1), nous écrivons la matrice dimensionnelle des variables:

	1	2	3	4	5	6	7	8	
	ρ	v	c	l	Γ	p	R	z	
m	-3	1	1	1	2	-1	1	0	(2)
s	0	-1	0	0	-1	-2	-2	1	
kg	1	0	0	0	0	1	1	0	

d'où nous obtenons le système d'équations:

$$\begin{aligned} -3x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + 2x_5 - x_6 + x_7 &= 0 \\ -x_2 - x_5 - 2x_6 - 2x_7 + x_8 &= 0 \\ x_1 + x_6 + x_7 &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Les solutions du système sont:

$$\begin{aligned} x_1 &= -x_6 - x_7 \\ x_2 &= -x_5 - 2x_6 - 2x_7 + x_8 \\ x_3 &= -x_4 - x_5 - 2x_7 - x_8 \end{aligned} \quad (4)$$

et la matrice des solutions est:

	1	2	3	4	5	6	7	8	
	ρ	v	c	l	Γ	p	R	z	
π_1	0	0	-1	1	0	0	0	0	(5)
π_2	0	-1	-1	0	1	0	0	0	
π_3	-1	-2	0	0	0	1	0	0	
π_4	-1	-2	-2	0	0	0	1	0	
π_5	0	1	-1	0	0	0	0	1	

En utilisant la matrice des solutions, nous obtenons les critères de similitude:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \frac{1}{c}; \quad \pi_2 = \frac{\Gamma}{vc}; \quad \pi_3 = \frac{p}{\rho v^2}; \\ \pi_4 &= \frac{R}{\rho v^2 c^2}; \quad \pi_5 = \frac{v z}{c} \end{aligned} \quad (6)$$

L'équation critérielle, dans laquelle nous avons inclus aussi l'angle d'incidence, α , qui doit conserver la même valeur sur le modèle et sur le prototype, est:

$$\varphi\left(\frac{l}{c}, \frac{\Gamma}{v c}, \frac{p}{\rho v^2}, \frac{R}{\rho v^2 c^2}, \frac{v c}{c}, \alpha\right) = 0 \quad (7)$$

Avant d'écrire la loi du modèle conformément à l'équation critérielle (7), nous choisissons arbitrairement l'échelle des longueurs parallèles avec l'envergure, $K_l = K_z$ et l'échelle des longueurs parallèles avec la corde du profil, $K_c = K_x$. L'échelle des longueurs perpendiculaires sur le plan de l'aile K_y , sera prise égale à K_x aussi.

Le rapport:

$$K_l = \frac{K_z}{K_x} \quad (8)$$

s'appelle le rapport de distorsion.

L'échelle des pressions doit satisfaire la relation:

$$K_p = K_\gamma K_h = K_\gamma K_y = K_\gamma K_x = K_x \quad (9)$$

parce que l'aile est située dans le plan horizontal xOy , et Oy a la direction verticale (Fig.1).

Nous tiendrons compte aussi que l'échelle des forces doit satisfaire la relation de la résistance induite de l'aile d'envergure finie:

$$R_i = \frac{2}{\pi} \rho \Gamma^2 \quad (10)$$

et la relation de la force portante, donnée par la théorie de Kutta-Jukovski:

$$R_y = \rho v_\infty \Gamma \cdot l \quad (11)$$

qui sont bien connues dans la mécanique des fluides.

En tenant compte de ces relations et du fait que:

$$K_\gamma = K_\rho = K_g = 1, \quad (12)$$

l'échelle des forces s'obtient en écrivant:

$$K_{R_i} = K_{R_y}; \quad K_\Gamma^2 = K_v K_\Gamma K_z; \quad (13)$$

l'échelle de la circulation étant:

$$K_{\Gamma} = K_v K_z, \quad (14)$$

l'échelle des forces, indépendamment de leur nature, est:

$$K_{R_1} = K_{R_y} = K_v^2 K_z^2 \quad (15)$$

Parce que dans le cas des modèles distordus les critères de similitude ne prennent pas les mêmes valeurs numériques sur le modèle et sur le prototype (VASILESCU, 1969), la loi du modèle ne s'obtient plus par l'égalisation avec l'unité des relations entre les échelles, correspondantes aux critères de similitude; elle s'obtient par l'égalisation de ces relations avec certaines constantes, qui sont en fonction du rapport de distorsion K_1 (VASILESCU, 1979).

En tenant compte de ces affirmations, la loi du modèle distordu, conformément à l'équation critérielle (7), prend la forme:

$$K_1 = \frac{K_z}{K_x}; \quad \frac{K_{\Gamma}}{K_v K_c} = f_1(K_1); \quad \frac{K_p}{K_v^2 K_z^2} = f_2(K_1) \quad (16)$$

$$\frac{K_R}{K_v^2 K_z^2} = f_3(K_1); \quad \frac{K_v K_c}{K_c} = f_4(K_1); \quad \alpha = \text{ct}$$

L'échelle des pressions sur l'aile est égale avec le rapport entre l'échelle des forces et l'échelle de la surface, $K_x K_z$. C'est pourquoi nous avons:

$$K_p = \frac{K_R}{K_x K_z} = \frac{K_v^2 K_z^2}{K_x K_z} = \frac{K_v^2 K_z}{K_x} \quad (17)$$

En introduisant (14), (15) et (17) dans (16), nous déterminons les fonctions inconnues $f_1(K_1)$, $f_2(K_1)$, $f_3(K_1)$ et $f_4(K_1)$:

$$\frac{K}{K_v K_c} = \frac{K_v K_z}{K_v K_x} = K_1 = f_1(K_1) \quad (18)$$

$$\frac{K_p}{K_v^2} = \frac{K_v^2 K_z}{K_x K_v^2} = K_1 = f_2(K_1) \quad (19)$$

$$\frac{K_R}{K_V^2 K_X^2} = \frac{K_V^2 K_Z^2}{K_V^2 K_X^2} = K_1^2 = r_3(K_1) \quad (20)$$

D'après (19), conformément à (9), nous obtenons:

$$\frac{K_X}{K_V^2} = \frac{K_Z}{K_X} \quad (21)$$

$$K_V = \frac{K_X}{\sqrt{K_Z}} \quad (22)$$

Par la suite, nous pouvons écrire:

$$K_t = K_c = \frac{K_X}{K_V} = \frac{K_X}{K_X} \sqrt{K_Z} \quad (23)$$

$$K_c = \sqrt{K_Z} \quad (24)$$

$$\frac{K_V K_c}{K_c} = \frac{K_X}{\sqrt{K_Z}} \frac{\sqrt{K_Z}}{K_X} = 1 = r_4(K_1) \quad (25)$$

Par conséquent, la loi du modèle, donnée par les relations (16), peut être réécrite:

$$K_1 = \frac{K_Z}{K_X}; \frac{r_n}{v_n c_n} = \frac{K_Z}{K_X} \frac{r_n}{v_n c_n} \frac{p_n}{\rho_n v_n^2} = \frac{K_Z}{K_X} \frac{p_n}{\rho_n v_n^2};$$

$$\frac{R_n}{\rho_n v_n^2 c_n^2} = \frac{K_Z}{K_X} \frac{R_n}{\rho_n v_n^2 c_n^2}; \frac{v_n \delta_n}{c_n} = \frac{v_n \delta_n}{c_n} \quad (26)$$

d'où résulte:

$$K_r = \frac{r_n}{r_m} = K_V K_c \frac{K_Z}{K_X} = \frac{K_X}{\sqrt{K_Z}} K_X \frac{K_Z}{K_X} = K_X \sqrt{K_Z} = K_V K_Z$$

$$K_p = \frac{p_n}{p_m} = K_\rho K_V^2 K_X^2 = \frac{K_X^2}{K_Z} \frac{K_Z}{K_X} = K_X$$

$$K_R = \frac{R_n}{R_m} = K_\rho K_V^2 K_X^2 \left(\frac{K_Z}{K_X} \right)^2 = K_V^2 K_Z^2 = \frac{K_X^2}{K_Z} K_Z^2 = K_X^2 K_Z$$

$$K_v = \frac{v_n}{v_m} = \frac{K_X}{\sqrt{K_Z}} \quad (27)$$

$$K_z = \frac{C_n}{C_m} = \sqrt{K_z}$$

En partant de l'aile de grande envergure, avec les valeurs de la circulation, de la pression, de la force, de la vitesse ou de la période, déterminées théoriquement ou expérimentalement, nous pouvons calculer, avec les relations (27), les grandeurs homologues correspondantes pour l'aile de petite envergure.

Par conséquent, quand l'allongement de l'aile est plus petit que 6, le modèle de l'aile avec petite envergure, réalisé à deux échelles, nous permet de faire le calcul hydrodynamique de l'aile à l'aide de la théorie de similitude distordue, en prenant comme base la théorie et les données expérimentales de l'aile de grande envergure sans recourir à la théorie de l'aile avec petite envergure, qui - comme on sait - nécessite encore beaucoup d'investigations et donc les données qu'elle fournit n'ont pas une valeur numérique assez exacte. En ce qui concerne les effets qui interviennent seulement dans l'évolution du phénomène sur modèle, à cause de l'échelle du modèle, connus sous le nom des "effets d'échelle", ceci ne soulève aucun problème dans le cas examiné, parce que l'évolution du phénomène sur l'aile de petite envergure ne diffère pas structuralement de l'évolution du phénomène sur l'aile de grande envergure, la turbulence, la genèse et le détachement des tourbillons, la vitesse induite et la variation de la circulation au long de l'envergure, caractérisant, en égale mesure, l'écoulement sur le modèle et l'écoulement sur le prototype. Le modèle diffère du prototype seulement par l'échelle de ces grandeurs; sur le modèle n'apparaissent pas des phénomènes dus à l'effet d'échelle, qui ne soient pas présents sur le prototype en état incipient, et la théorie de la similitude, à une ou deux échelles, est indépendante de l'échelle des grandeurs physiques qui interviennent dans l'évolution d'un phénomène.

La théorie de l'aile avec grande envergure et les données expérimentales des différents profils hydrodynamiques étant connues avec grande précision, leur transcription dans le cas de l'aile avec petite envergure représente donc un problème bien mis au point par la théorie de la similitude à deux échelles.

BIBLIOGRAPHIE:

1. VASILESCU Al. A., 1969 - Analiza dimensională și teoria similitudinii. Editura Academiei, București.
2. VASILESCU Al. A., 1979.- Mecanica fluidelor. Galați.