Αιολική Ενέργεια & Ενέργεια του Νερού

Ενότητα 6: Σχεδίαση Πτερυγίων 2

Γεώργιος Λευθεριώτης, Επίκουρος Καθηγητής
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Φυσικής

Σκοποί ενότητας

- Ιδανικό ρευστό - εξίσωση Laplace
- Στοιχειώδεις λύσεις της εξίσωσης Laplace (2-D)
- 2D Κύλινδρος
- Περιστρεφόμενος κύλινδρος
- Μετασχηματισμοί: Περιστροφή
- Μετασχηματισμός αεροτομής σε κύλινδρο
- Κυκλοφορία Γ
- Συντελεστής άντωσης
- Συμμετρικές αεροτομές Joukovski
- Μη συμμετρικές αεροτομές Joukovski
- Αεροτομές Joukovski

Περιεχόμενα ενότητας

- Ιδανικό ρευστό - εξίσωση Laplace
- Στοιχειώδεις λύσεις της εξίσωσης Laplace (2-D)
- 2D Κύλινδρος
- Περιστρεφόμενος κύλινδρος
- Μετασχηματισμοί: Περιστροφή
- Μετασχηματισμός αεροτομής σε κύλινδρο
- Κυκλοφορία Γ
- Συντελεστής άντωσης
- Συμμετρικές αεροτομές Joukovski
- Μη συμμετρικές αεροτομές Joukovski
- Αεροτομές Joukovski

Ιδανικό ρευστό - εξίσωση Laplace

Ιδανικό ρευστό είναι εκείνο που έχει σταθερή πυκνότητα (άρα είναι ασυμπίεστο και σωληνοειδές) και έχει μηδενικό ιξώδες, επομένως είναι αστρόβιλο. Για ένα τέτοιο ρευστό ισχύει:

ΕΞΙΣΩΣΗ LAPLACE

$$\vec{\nabla}\, x\, \vec{q} = 0 \Rightarrow \vec{q} = \vec{\nabla}\Phi, \quad \vec{\nabla} \bullet \vec{q} = 0 \Rightarrow \vec{\nabla}\left(\vec{\nabla}\Phi\right) = 0 \Rightarrow \vec{\nabla}^{2}\Phi$$

Στοιχειώδεις λύσεις της εξίσωσης Laplace (2-D)

Δυναμικό Φ, ρευματική συνάρτηση Ψ, ταχύτητες σε κυλινδρικές συντεταγμένες

- **Πηγή – Καταβόθρα**

$$\Phi = \frac{\sigma}{2\pi}\ell n r + C, \Psi = \frac{\sigma}{2\pi}\theta + C \qquad q_r = \frac{\sigma}{2\pi r}, \; q_\theta = 0$$

- **Στρόβιλος**

$$\Phi = -\frac{\Gamma}{2\pi}\theta + C, \Psi = \frac{\Gamma}{2\pi}\ell n r + C \qquad q_r = 0, \; q_\theta = -\frac{\Gamma}{2\pi r}$$

- **Διπολική Ροπή**

$$\Phi = \pm\frac{\mu}{2\pi}\frac{\cos\theta}{r}, \quad \Psi = \mp\frac{\mu\sin\theta}{2\pi r} \qquad q_r = \mp\frac{\mu\cos\theta}{2\pi r^2}, \quad q_\theta = \mp\frac{\mu\sin\theta}{2\pi r^2}$$

Αρχή της υπέρθεσης

$$\boxed{\alpha\nu \;\; \Phi_{o\lambda\iota\kappa\acute{o}} = \sum_{k=1}^{N} C_k \Phi_k, \;\; \tau\acute{o}\tau\varepsilon: \;\; \nabla^2\Phi_{o\lambda\iota\kappa\acute{o}} = 0 \Rightarrow \sum_{k=1}^{N} C_k \nabla^2\Phi_k = 0}$$

2D Κύλινδρος (1)

Διπολική πηγή στη θέση (0,0) και ομογενές πεδίο με ταχύτητα με ταχύτητα V_∞
Στη x κατεύθυνση:

$$\Phi = V_\infty r\cos\theta + \frac{\mu}{2\pi}\frac{\cos\theta}{r}, \quad q_r = \frac{\partial\Phi}{\partial r} = \left(V_\infty - \frac{\mu}{2\pi r^2}\right)\cos\theta, \; q_\theta = \frac{1}{r}\frac{\partial\Phi}{\partial\theta} = -\left(V_\infty + \frac{\mu}{2\pi r^2}\right)\sin\theta$$

Θέτουμε $\mu = 2\pi R^2 V_\infty$ και παίρνουμε:

$$q_r = V_\infty \cos\theta\left(1 - \frac{R^2}{r^2}\right), \quad q_\theta = -V_\infty \sin\theta\left(1 + \frac{R^2}{r^2}\right)$$

<u>Υπολογισμός **δυνάμεων L,D**</u>

Κατανομή ταχυτήτων για r=R:

$$q_r = 0, \; q_\theta = -2V_\infty \sin\theta$$

2D Κύλινδρος (2)

Απο νόμο Bernoulli:

$$P_\infty + \frac{1}{2}\rho V_\infty{}^2 = P + \frac{1}{2}\rho q_\theta^2 \Rightarrow \Delta P = P - P_\infty = \frac{1}{2}\rho(V_\infty{}^2 - q_\theta^2) = \frac{1}{2}\rho V_\infty{}^2\left(1 - 4\sin^2\theta\right)$$

$$C_p = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2}\rho V_\infty{}^2} = 1 - 4\sin^2\theta$$

$$L = \int_0^{2\pi} -\Delta P R d\theta \sin\theta = -\frac{1}{2}\rho V_\infty{}^2 R \int_0^{2\pi} \left(1 - 4\sin^2\theta\right)\sin\theta d\theta = 0$$

$$D = \int_0^{2\pi} -\Delta P R d\theta \cos\theta = -\frac{1}{2}\rho V_\infty R \int_0^{2\pi} \left(1 - 4\sin^2\theta\right)\cos\theta d\theta = 0$$

Παράδοξο του Allembert: Οι δυνάμεις είναι μηδενικές !!!

Περιστρεφόμενος κύλινδρος

Προστίθεται κυκλοφορία Γ

$$\Phi = V_\infty \cos\theta \left(r + \frac{R^2}{r} \right) - \frac{\Gamma}{2\pi}\theta$$

$$q_r = V_\infty \cos\theta \left(1 - \frac{R^2}{r^2} \right), \quad q_\theta = -V_\infty \sin\theta \left(1 + \frac{R^2}{r^2} \right) - \frac{\Gamma}{2\pi}\theta$$

Σημείο τερματισμού:

$$q_\theta = 0 \Rightarrow \sin\theta_s = -\frac{\Gamma}{4\pi R V_\infty} \Rightarrow \Gamma \leq 4\pi R V_\infty \left(\sin\theta_s \leq 1 \right)$$

Έτσι προκύπτει μη μηδενική Άντωση:

$$L = \int_0^{2\pi} -\Delta P R d\theta \sin\theta = ... = \frac{\rho V_\infty \Gamma}{\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2\theta d\theta \Rightarrow L = \rho V_\infty \Gamma$$

$$\acute{\eta} \;\; \delta\iota\alpha\nu\upsilon\sigma\mu\alpha\tau\iota\kappa\acute{\alpha}: \;\; \vec{L} = \rho \left(\vec{V} x \vec{\Gamma} \right)$$

Περιστρεφόμενος κύλινδρος

Από θεώρημα **kutta-Joukovski**. Απόδειξη:

$$q_\theta = -V_\infty\left(1+\frac{R^2}{r^2}\right)\sin\theta - \frac{\Gamma}{2\pi r} \Rightarrow q_\theta\left(R\right) = -2V_\infty \sin\theta - \frac{\Gamma}{2\pi R}$$

$$q_\theta^2(R) = \left(2V_\infty \sin\theta + \frac{\Gamma}{2\pi R}\right)^2 = \left(4V_\infty{}^2 \sin^2\theta + \frac{\Gamma^2}{4\pi^2 R^2} + \frac{2\Gamma V_\infty \sin\theta}{\pi R}\right)$$

Από νόμο **Bernoulli**:

$$\Delta P = P - P_\infty = \frac{1}{2}\rho(V_\infty{}^2 - q_\theta^2) = \frac{1}{2}\rho V_\infty{}^2\left(1 - 4\sin^2\theta - \frac{\Gamma^2}{4\pi^2 R^2 V_\infty{}^2} - \frac{2\Gamma\sin\theta}{\pi R V_\infty}\right)$$

Έτσι:

$$L = -\frac{1}{2}\rho V_\infty{}^2 R\left[\int_0^{2\pi} \cancel{\left(1-4\sin^2\theta\right)}^{0} \sin\theta d\theta - \frac{\Gamma^2}{4\pi^2 R^2 V_\infty{}^2}\int_0^{2\pi} \cancel{\sin\theta}^{0} d\theta - \frac{2\Gamma}{\pi R V_\infty}\int_0^{2\pi} \sin^2\theta d\theta\right]$$

$$\Rightarrow L = \left(-\frac{1}{2}\rho V_\infty{}^2 R\right)\left(-\frac{2\Gamma}{\pi R V_\infty}\frac{2\pi}{2}\right) \Rightarrow L = \rho V_\infty \Gamma \qquad \left\{\int_0^{2\pi} \sin^2\theta d\theta = \left(\frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4}\right)\Bigg|_0^{2\pi}\right\}$$

Ιδιότητες μιγαδικών αριθμών

$$Z = x + iy = re^{+i\theta} \left(Z = x - iy = re^{-i\theta} \right)$$

$$|r| = \sqrt{x^2 + y^2}, e^{i\theta} = \cos\theta + i\sin\theta$$

Συνθήκη Cauchy – Riemann

$$Z = a + i\beta$$

$$\frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{\partial a}{\partial x} + i\frac{\partial \beta}{\partial x}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial iy} = \frac{1}{i}\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial \beta}{\partial y} = \frac{\partial \beta}{\partial y} - i\frac{\partial a}{\partial y}$$

Για να είναι συνεχώς διαφορίσιμη μια μιγαδική συνάρτηση Z(x,y) πρέπει η παραγωγός της να είναι ίδια τόσο στον πραγματικό όσο και στο μιγαδικό άξονα δηλαδή:

$$\frac{\partial a}{\partial x} = \frac{\partial \beta}{\partial y}, \frac{\partial a}{\partial y} = \frac{\partial \beta}{\partial x}$$

Αυτή η συνθήκη ικανοποιείται από το δυναμικό Φ και την ρευματική συνάρτηση Ψ:

$$u = \frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{\partial \Psi}{\partial y}, v = \frac{\partial \Phi}{\partial y} = -\frac{\partial \Psi}{\partial x}$$

Μιγαδικό δυναμικό

$$\boxed{F = \Phi + i\Psi}$$

Α) Ομογενές πεδίο:

$$\Phi = V_\infty x$$

$$\Psi = V_\infty y$$

$$F = \Phi + i\Psi = V_\infty x + iV_\infty y = V_\infty \left(x + iy\right) = V_\infty Z$$

Β) Πηγή - Καταβόθρα

$$F = \Phi + i\Psi = \frac{\sigma}{2\pi}\ell nr + i\frac{\sigma}{2\pi}\theta = \frac{\sigma}{2\pi}\left(\ell nr + i\theta\right) = \frac{\sigma}{2\pi}\ell n\left(\mathrm{Z}\right)$$

Γ) Στρόβιλος

$$F = \Phi + i\Psi = -\frac{\Gamma}{2\pi}\theta + i\frac{\Gamma}{2\pi}\ell nr = ii\frac{\Gamma}{2\pi}\theta + i\frac{\Gamma}{2\pi}\ell nr = i\frac{\Gamma}{2\pi}\left(i\theta + \ell nr\right) = i\frac{\Gamma}{2\pi}\ell n\left(\mathrm{Z}\right)$$

Δ) Διπολική ροπή

$$F = \Phi + i\Psi = \pm\frac{\mu}{2\pi}\frac{\cos\theta}{r} \mp i\frac{\mu}{2\pi}\frac{\sin\theta}{r} = \pm\frac{\mu}{2\pi r}\left(\cos\theta - i\sin\theta\right)$$

$$F = \pm\frac{\mu}{2\pi r e^{-i\theta}} = \pm\frac{\mu}{2\pi Z}$$

Ταχύτητες

$$\boxed{Q = \frac{dF}{dZ}}$$

Α) Ομογενές πεδίο: $Q = V_\infty$

Β) Πηγή - Καταβόθρα $Q = \frac{\sigma}{2\pi Z}$

Γ) Στρόβιλος $Q = \frac{i\Gamma}{2\pi Z}$

Δ) Διπολική ροπή $Q = \frac{\mu}{2\pi Z^2}$

Μετασχηματισμοί: Περιστροφή

$$f\left(Z\right)=Ze^{-i\alpha}=xe^{-i\alpha}+iye^{-i\alpha}=x\cos\alpha-ix\sin\alpha+iy\cos\alpha+y\sin\alpha$$

Επομένως:

$$f\left(Z\right)=Ze^{-i\alpha}=xe^{-i\alpha}+iye^{-i\alpha}=x\cos\alpha-ix\sin\alpha+iy\cos\alpha+y\sin\alpha$$

$$f(Z)=Z\,\mathrm{e}^{-i\alpha}$$

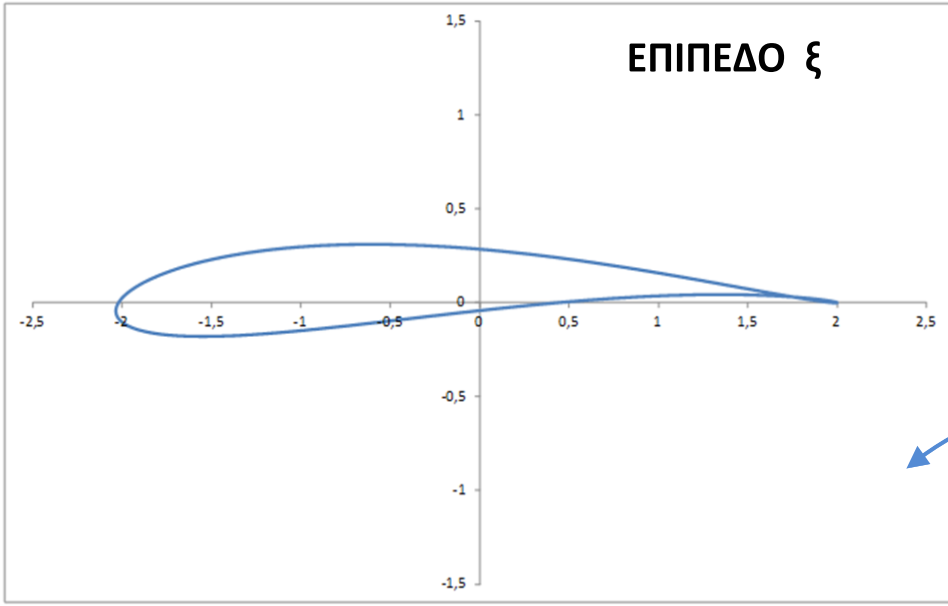
Γεωμετρική ερμηνεία: Ο μετασχηματισμός είναι η περιστροφή των αξόνων ή του πεδίου: Η $e^{-i\alpha}$ προκαλεί δεξιόστροφη περιστροφή ενώ η $e^{+i\alpha}$ προκαλεί αριστερόστροφη περιστροφή.

Ο μετασχηματισμός $\boxed{f(Z)=Z-Z_0=x-x_0+i\left(y-y_0\right)}$ αντιπροσωπεύει παράλληλη μετατόπιση των αξόνων ή του πεδίου.

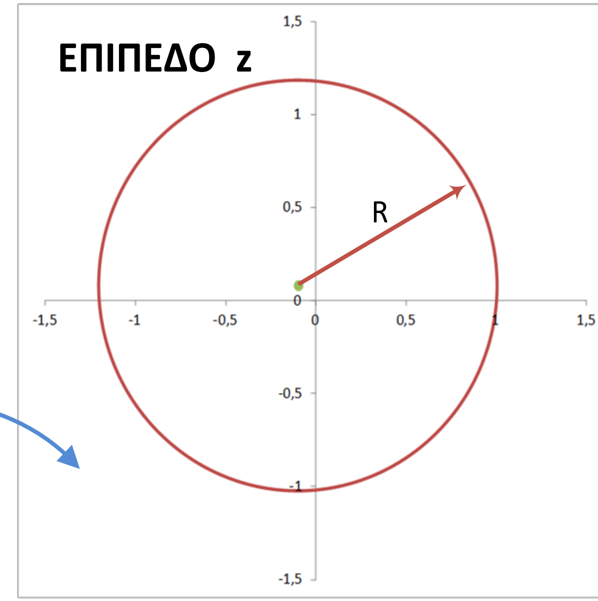
π.χ. για διπολική πηγή στη θέση Z_0 που έχει περιστραφεί κατά γωνία +α:

$$F=\frac{\mu\, e^{-i\alpha}}{2\pi(Z-Z_0)} \qquad Q=\frac{dF}{dZ}=\frac{\mu\; e^{-i\alpha}}{2\pi(Z-Z_0)^2}$$

Μετασχηματισμός αεροτομής σε κύλινδρο με σύμμορφη απεικόνιση (1)



$$\xi = z + \frac{R^2}{z}$$



Μετασχηματισμός Joukovski: $\xi = z + \frac{R^2}{z}$ **Για τον κύλινδρο ισχύει :** $F = F_1 + F_2 + F_3$

F_1 : Ομογενές πεδίο στο εξωτερικό του κυλίνδρου με περιστροφή κατά μια γωνία α (γωνία προσβολής) $\rightarrow \; V_\infty z e^{-ia}$

F_2 : Στρόβιλος με αρχή στο z_o $\rightarrow \frac{i\Gamma}{2\pi}\ln\left(z - z_0\right)$

F_3 : Διπολική πηγή με περιστροφή και μετατοπιση $\rightarrow \frac{\mu e^{ia}}{2\pi\left(z - z_0\right)}$

Μετασχηματισμός αεροτομής σε κύλινδρο με σύμμορφη απεικόνιση (2)

Τελικά

$$F = \sum_{i=1}^{3} F_i$$

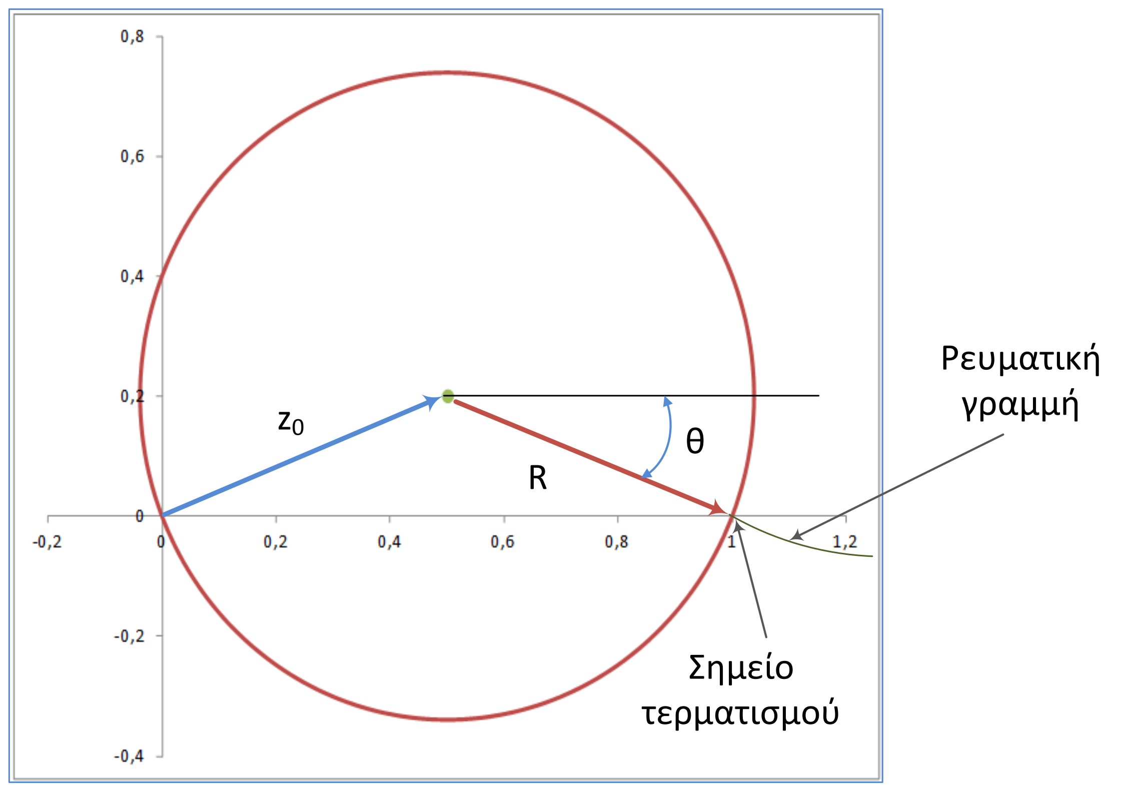
$$Q = \frac{dF}{dz}$$

$$\mu = 2\pi R^2 V_\infty$$

$$Q = V_\infty e^{-ia} + \frac{i\Gamma}{2\pi\left(z - z_0\right)} - \frac{V_\infty R^2 e^{ia}}{\left(z - z_0\right)^2} \quad (1)$$

Η ταχύτητα στο επίπεδο ξ δηλαδή της αεροτομής:

$$Q = \frac{dF}{d\xi} = \frac{dF}{dz} \bullet \frac{dz}{d\xi} \Rightarrow Q = Q\frac{1}{\frac{d\xi}{dz}}$$



Κυκλοφορία Γ

$$\boxed{Q = V_\infty e^{-ia} + \frac{i\Gamma}{2\pi\left(z - z_0\right)} - \frac{V_\infty R^2 e^{ia}}{\left(z - z_0\right)^2}} \xrightarrow[\textbf{Jukovski}]{\textbf{Kutta}} \boxed{Q_{\Sigma.T.} = 0} \Rightarrow V_\infty e^{-ia} + \frac{i\Gamma}{2\pi\left(z - z_0\right)} - \frac{V_\infty R^2 e^{ia}}{\left(z - z_0\right)^2} = 0$$

Όμως: $z_{\Sigma.T.} = z_0 + \mathrm{Re}^{-i\beta} \Rightarrow z_{\Sigma.T.} - z_0 = \mathrm{Re}^{-i\beta}$

$$V_\infty e^{-ia} + \frac{i\Gamma}{2\pi R e^{-i\beta}} - \frac{V_\infty \cancel{R^2} e^{ia}}{\cancel{R^2} e^{-2i\beta}} = 0 \Rightarrow$$

$$2\pi R e^{-i\beta} V_\infty e^{-ia} + i\Gamma - 2\pi R V_\infty e^{-i\beta} \bullet e^{ia} \bullet e^{2i\beta} = 0 \Rightarrow$$

$$2\pi R V_\infty e^{-i(\alpha+\beta)} + i\Gamma - 2\pi R V_\infty e^{i(\alpha+\beta)} = 0 \Rightarrow$$

$$i\Gamma = 2\pi R V_\infty e^{i(\alpha+\beta)} - 2\pi R V_\infty e^{-i(\alpha+\beta)} \Rightarrow$$

$$\Gamma = 2\pi R V_\infty \frac{\left[e^{i(\alpha+\beta)} - e^{-i(\alpha+\beta)}\right]}{i} \Rightarrow \Gamma = 4\pi R V_\infty \frac{\left[e^{i(\alpha+\beta)} - e^{-i(\alpha+\beta)}\right]}{2i} \Rightarrow$$

$$\boxed{\Gamma = 4\pi R V_\infty \sin\left(a + \beta\right)}$$

κυκλοφορία ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη Kutta

Συντελεστής άντωσης

Άντωση: $L = \rho V_\infty \Gamma = \rho V_\infty 4\pi R V_\infty \sin\left(a+\beta\right) \Rightarrow L = 4\pi\rho V_\infty^2 R \sin\left(a+\beta\right)$

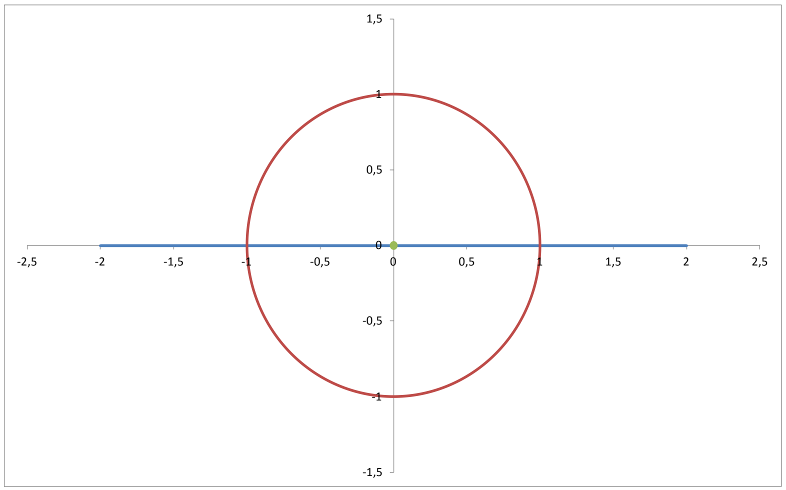
Συντελεστής άντωσης: $C_L = \dfrac{L}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2 c} = \dfrac{4\pi\, \cancel{\rho V_\infty^2} R \sin\left(a+\beta\right)}{\frac{1}{2}\cancel{\rho V_\infty^2}\, c} =$

$$\Rightarrow \boxed{C_L = \frac{8\pi R \sin\left(a+\beta\right)}{c}}$$

Σχετίζεται με γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Εφαρμογή

Θεωρήστε μοναδιαίο κύκλο που βρίσκεται στην αρχή των αξόνων. Προκύπτει επίπεδη πλάκα.



Στην περίπτωση αυτή ισχύουν :

$$z_0 = 0,\ \beta = 0,\ R = 1$$

Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων του κύκλου :

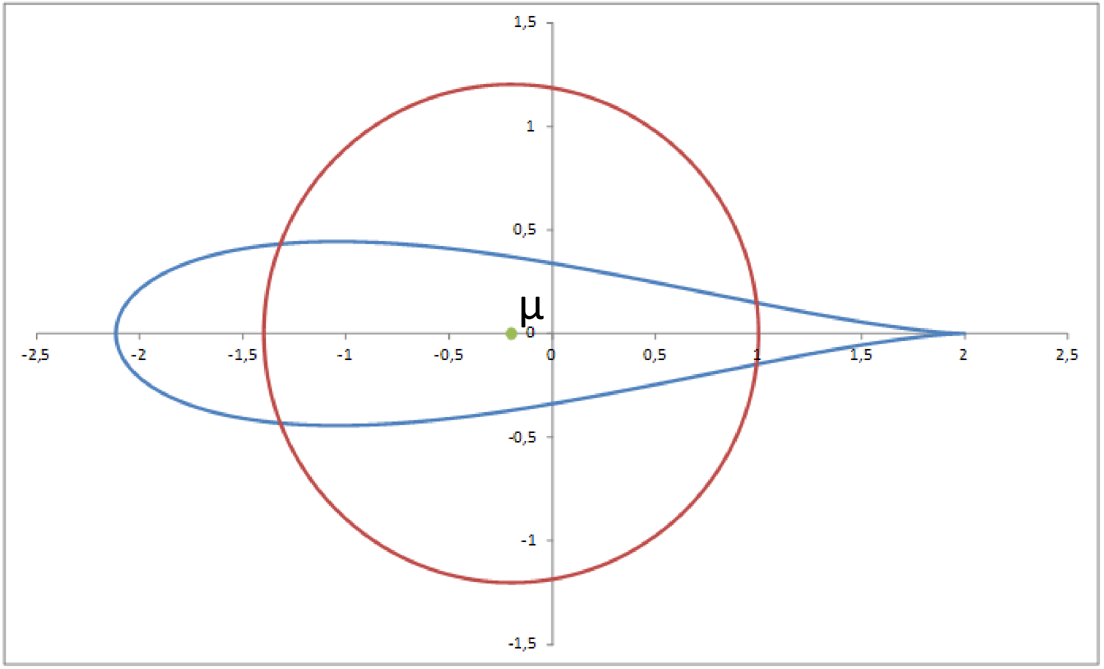
$$z = \mathrm{Re}^{i\theta} = 1e^{i\theta}$$

$\xi = 2\cos\theta \rightarrow$ Πραγματικός αριθμός που σημαίνει ότι η αεροτομή θα συμπιεστεί σε ένα ευθύγραμμο τμήμα.

$$\xi = 2\cos\theta \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \gamma\iota\alpha \cos\theta = 1 : \xi = 2 \\ \gamma\iota\alpha \cos\theta = -1 : \xi = -2 \end{array} \right\} \Rightarrow E\pi o\mu\varepsilon\nu\omega\varsigma \quad = 4$$

$$C_L = \frac{8\pi R}{c}\sin\left(a + \cancel{\beta}\right) \Rightarrow \boxed{C_L = 2\pi \sin a}$$

Συμμετρικές αεροτομές Joukovski (1)



Θεωρώ μετατόπιση του κύκλου κατά μ στον πραγματικό άξονα.

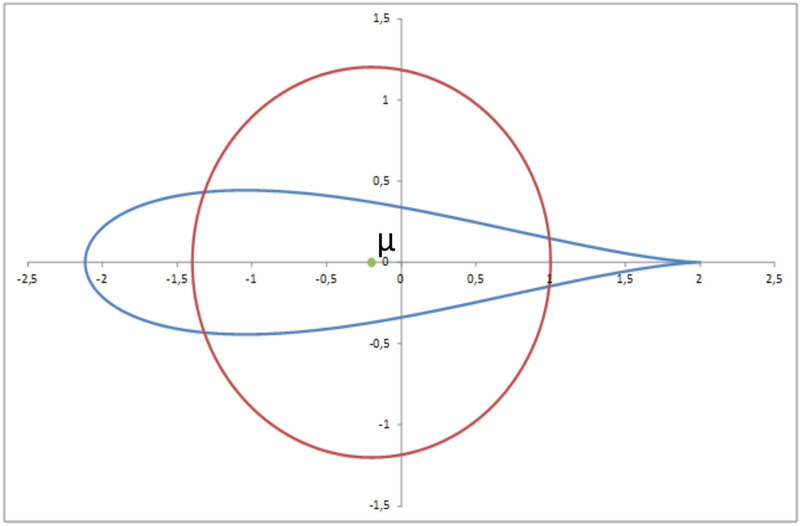
Δεν έχουμε μοναδιαία ακτίνα (αφού το σημείο αναφοράς είναι το 0)

$$\Rightarrow \quad \xi = z + \frac{1}{z}$$

$$\xi = (r\cos\theta - \mu) + ir\sin\theta + \frac{1}{(r\cos\theta - \mu) + ir\sin\theta} \Rightarrow \ldots$$

$$\boxed{\Rightarrow \xi = (r\cos\theta - \mu)\left(1 + \frac{1}{\mathrm{A}}\right) + ir\sin\theta\left(\frac{1}{\mathrm{A}} - 1\right)} \quad (1)$$

Συμμετρικές αεροτομές Joukovski (2)



Υπολογισμός της χορδής *c*:

<u>Για cosθ=1 και sinθ=0:</u>

$$(1) \Rightarrow \xi = (r-\mu)\left(1+\frac{1}{r^2+\mu^2-2r\mu}\right) \Rightarrow$$

$$\xi = (r-\mu)\left(1+\frac{1}{(r-\mu)^2}\right) \xrightarrow{r-\mu=1} \xi = 1(1+1) \Rightarrow \boxed{\xi = 2}$$

<u>Για cosθ=-1 και sinθ=0:</u>

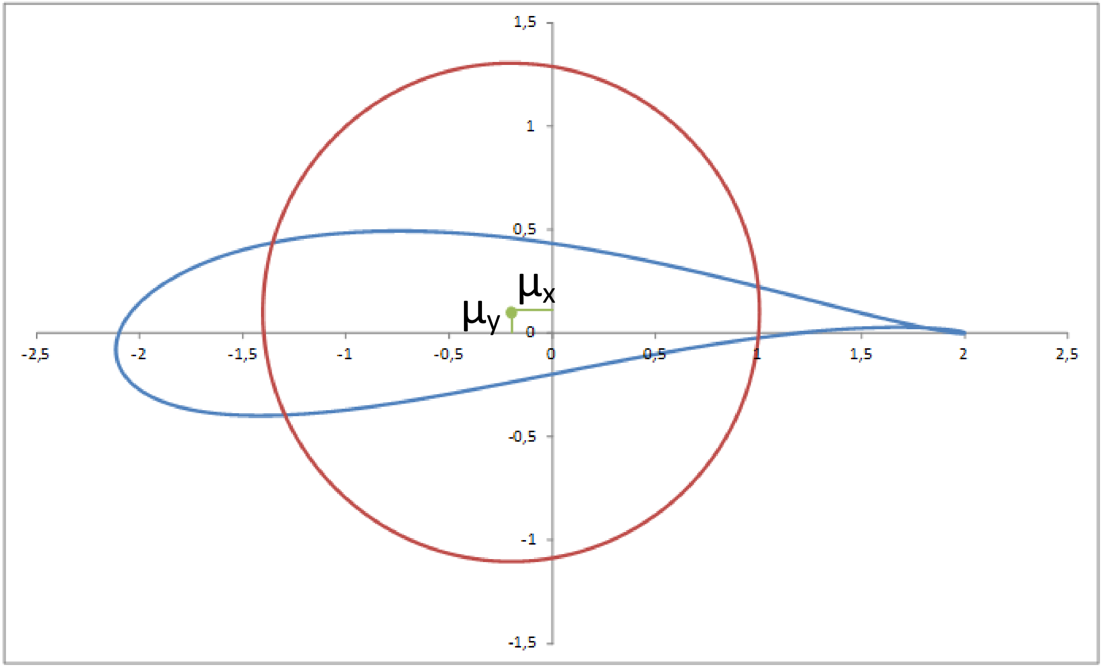
$$(1) \Rightarrow \xi = -(r+\mu)\left(1+\frac{1}{(r+\mu)^2}\right) \Rightarrow \xi = -\left[\frac{(1+2\mu)^2+1}{1+2\mu}\right]$$

$$c = 2+\frac{(1+2\mu)^2+1}{1+2\mu} \Rightarrow c = 4\frac{(1+\mu)}{1+2\mu}(1+\mu) \xrightarrow[\mu=r-1]{r=\mu+1} c = 4\frac{(1+\mu)}{1+2\mu}(1+r-1) \Rightarrow \boxed{\frac{c}{r} = 4\frac{(1+\mu)}{1+2\mu}}$$

Συντελεστής άντωσης:

$$C_L = \frac{8\pi}{c} r\sin(a+\beta) \xrightarrow[(2)]{\beta=0} C_L = 2\pi\left(1+\frac{\mu}{r}\right)\sin a\left(a<5^o\right) \approx \boxed{C_L = 2\pi\left(1+\frac{\mu}{r}\right)a}$$

Μη συμμετρικές αεροτομές Joukovski (1)



Μετατόπιση κύκλου κατά μ_x από τον άξονα x και κατά μ_y από τον άξονα y

$$r = \sqrt{\left(\mu_x + 1\right)^2 + \mu_y{}^2},$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{\mu_y}{r}\right)$$

Μη συμμετρικές αεροτομές Joukovski (2)

$$z = \left(r\cos\theta - \mu_x\right) + i\left(r\sin\theta + \mu_y\right)$$

$$\xi = z + \frac{1}{z} \Rightarrow \xi = \left(r\cos\theta - \mu_x\right) + i\left(r\sin\theta + \mu_y\right) + \frac{1}{\left(r\cos\theta - \mu_x\right) + i\left(r\sin\theta + \mu_y\right)} \Rightarrow$$

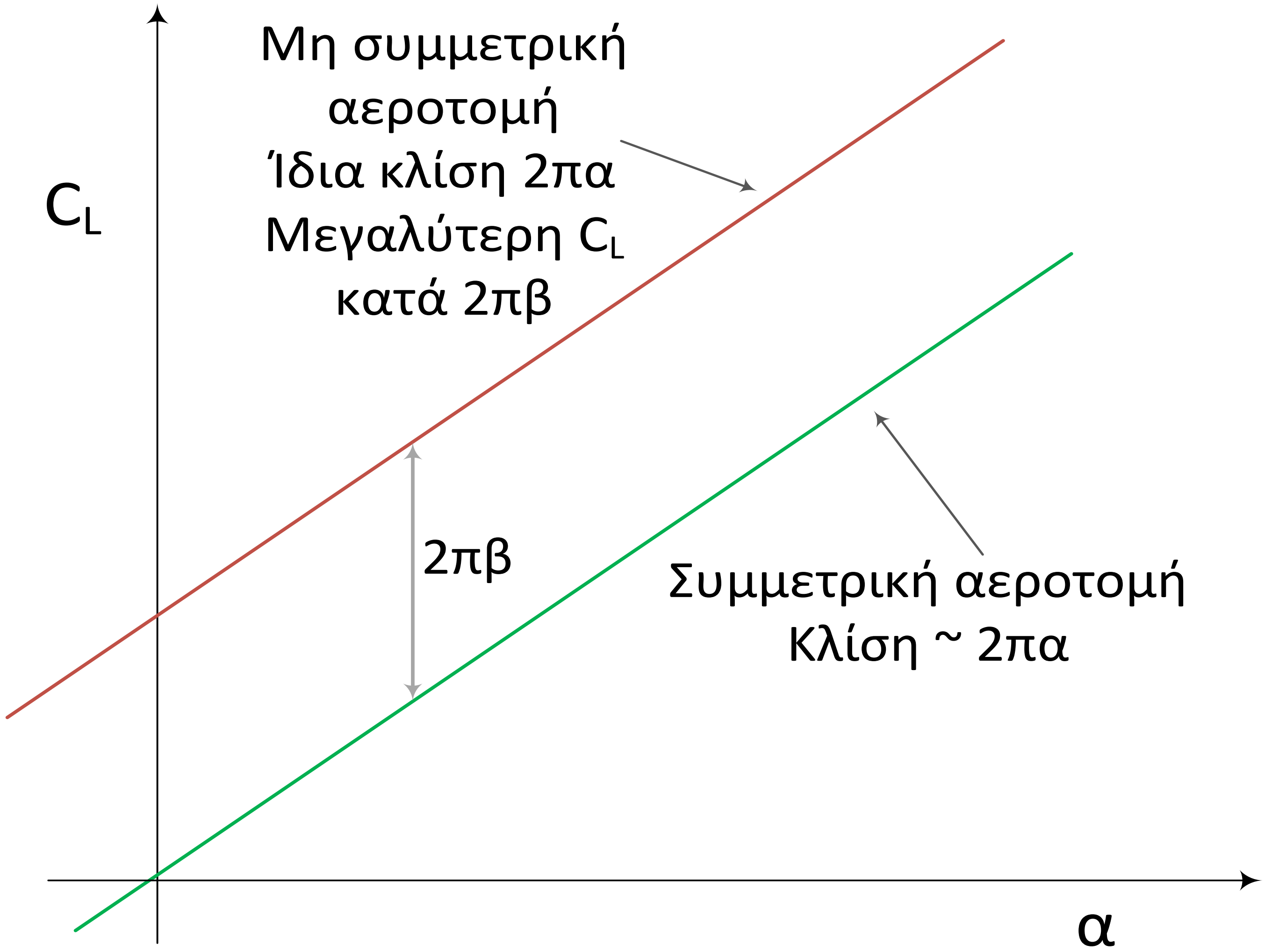
$$\xi = \left(r\cos\theta - \mu_x\right) + i\left(r\sin\theta + \mu_y\right) + \frac{\left(r\cos\theta - \mu_x\right) - i\left(r\sin\theta + \mu_y\right)}{r^2 + \mu_x^2 + \mu_y^2 + 2r\left(\mu_y\sin\theta - \mu_x\cos\theta\right)} \xrightarrow{\mathrm{A}=r^2+\mu_x^2+\mu_y^2+2r\left(\mu_y\sin\theta-\mu_x\cos\theta\right)}$$

$$\xi = \left(r\cos\theta - \mu_x\right)\left(1 + \frac{1}{\mathrm{A}}\right) + i\left(r\sin\theta + \mu_y\right)\left(\frac{1}{\mathrm{A}} - 1\right)$$

Για λεπτές αεροτομές : $\boxed{C_L\left(a < 5^o\right) \approx 2\pi\left(\alpha + \beta\right)}$ Γραμμική μεταβολή της C_L(α).

<u>Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία β (δηλαδή η κυρτότητα της αεροτομής) τόσο μεγαλύτερη είναι και η άντωση.</u>

Αεροτομές Joukovski



Τέλος Ενότητας

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
ΕΣΠΑ 2007-2013
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Λευθεριώτης Γεώργιος, 2015. «Αιολική Ενέργεια & Ενέργεια του Νερού, Ενότητα: Σχεδίαση Πτερυγίων 2» Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

https://eclass.upatras.gr/modules/units/?course=PHY1954&id=4293

Σημείωμα Αδειοδότησης

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων