Βελτιστοποίηση διατομής σε πυλώνες ανεμογεννητριών σύμμικτης διατομής τύπου «σάντουιτς»

Αθ. Τριανταφύλλου, Α. Τσαντίλης και Γ. Λιβιτσάνος

Πανεπ. Πατρών – Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μηχανικής & Τεχνολογίας Υλικών
www.sml.civil.upatras.gr

Co-financed by Greece and the European Union

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος

Πρωτότυπες έννοιες σχεδιασμού μεταλλικών κατασκευών για τον ενεργειακό τομέα με χρήση σύγχρονων υλικών (Novel design concepts for ENergy related Steel STRuctures using Advanced Materials - ENSSTRAM

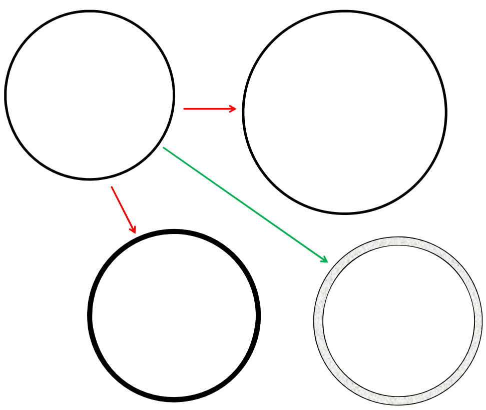
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Καλύτερη αξιοποίηση αιολικού δυναμικού → υψηλότεροι πυλώνες

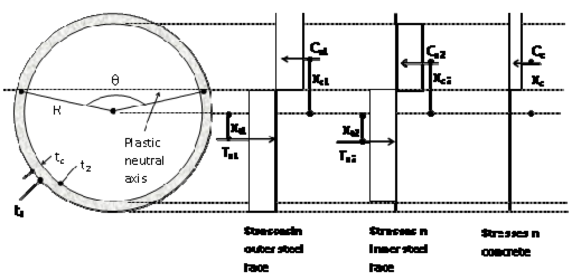
Σχεδιασμός πυλώνων: Κατακόρυφο κολουκωνικό κέλυφος με κρίσιμο φορτίο τον άνεμο → κυρίαρχη καμπτική ένταση

Αύξηση αντοχής και δυσκαμψίας → αύξηση διαμέτρου (όχι πάχους!), η οποία όμως περιορίζεται από τα διαθέσιμα μεταφοράς → ανάγκη άλλης στατικής μορφής

Μελετάται η αντικατάσταση του παραδοσιακού χαλύβδινου κελύφους από κέλυφος τύπου «σάντουιτς» (υψηλή αντοχή, δυσκαμψία και απόσβεση με χαμηλό βάρος και κόστος)



Ανάλυση Διατομής στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας



$C_{s1} \approx R\theta t_1 f_y$ $\quad C_{s2} \approx R\theta t_2 f_y$ $\quad C_c \approx R\theta t_c f_c$

$T_{s1} \approx R(2\pi - \theta) t_1 f_y$ $\quad T_{s2} \approx R(2\pi - \theta) t_2 f_y$

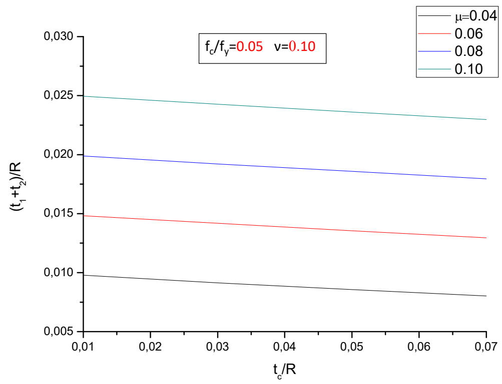
$$(C_{s1}+C_{s2}+C_c)-(T_{s1}+T_{s2})=N$$

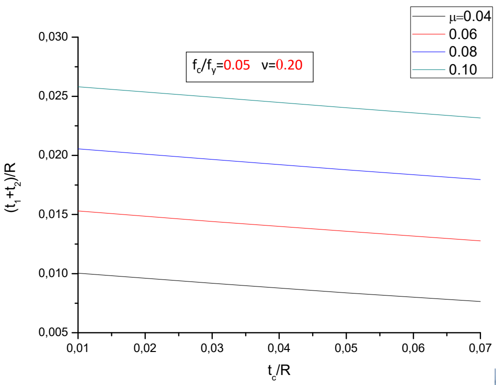
$$M_R = C_{s1}x_{c1}+C_{s2}x_{c2}+C_cx_c+T_{s1}x_{t1}+T_{s2}x_{t2}$$

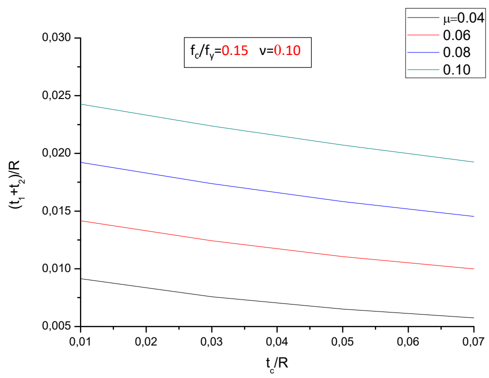
Λεπτότοιχη διατομή: $x_{c1}=x_{c2}=x_c$ $\quad x_{t1}=x_{t2}=x_t$

$$\mu_R = \frac{4\pi}{\theta}\sin\frac{\theta}{2}\left[(\nu+1)\frac{(t_1+t_2)}{R}+\nu\frac{t_c}{R}\frac{f_c}{f_y}\right] \qquad \theta = \frac{2\pi(\nu+1)\frac{(t_1+t_2)}{R}+\nu\frac{t_c f_c}{R f_y}}{2\frac{(t_1+t_2)}{R}+\frac{t_c f_c}{R f_y}}$$

$$\mu_R = \frac{M_R}{R^3 f_y} \qquad \nu = \frac{N}{N_R}$$







Συμπεράσματα

Για δεδομένη ροπή αντοχής, η χρήση υλικού στον πυρήνα (σκυροδέματος) οδηγεί σε μείωση του πάχους φλοιών. Η μείωση αυτή είναι περίπου γραμμική με την αύξηση του πάχους του πυρήνα και γίνεται εντονότερη όσο αυξάνεται η αξονική δύναμη και/ή η αντοχή του υλικού του πυρήνα.

Τα πάχη φλοιών και πυρήνα αυξάνονται περίπου γραμμικά με τη ροπή αντοχής (οι καμπύλες σε κάθε σχήμα είναι περίπου παράλληλες και ισαπέχουσες).

Υπολογισμός Κόστους

Κόστος/μονάδα όγκου: $K = 2\pi R(t_1+t_2)K_s + 2\pi R t_c K_c$

K_s = κόστος χάλυβα (υλικά, εργασίες, μεταφορικά κλπ)
K_c = κόστος πυρήνα (υλικά, εργασίες, μεταφορικά κλπ)

$$\frac{K}{2\pi R^2} = \frac{(t_1+t_2)}{R}K_s + \frac{t_c}{R}K_c = K_s\left[\frac{(t_1+t_2)}{R}+\frac{t_c}{R}\frac{K_c}{K_s}\right]$$

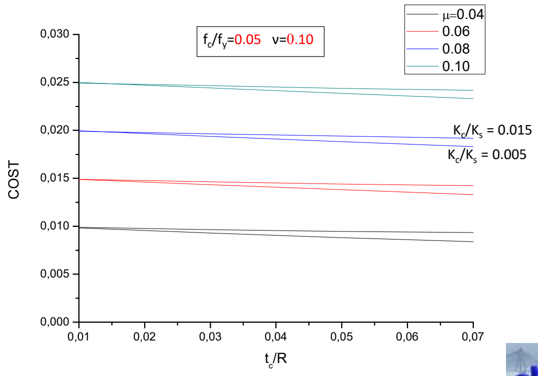
$$\text{ΚΟΣΤΟΣ} \propto \frac{(t_1+t_2)}{R}+\frac{t_c}{R}\frac{K_c}{K_s}$$

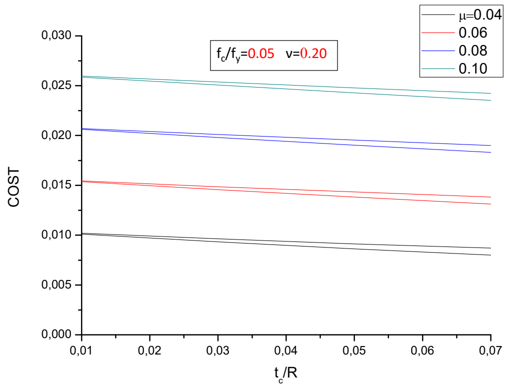
Βελτιστοποίηση Διατομής για Δεδομένη Ροπή Αντοχής

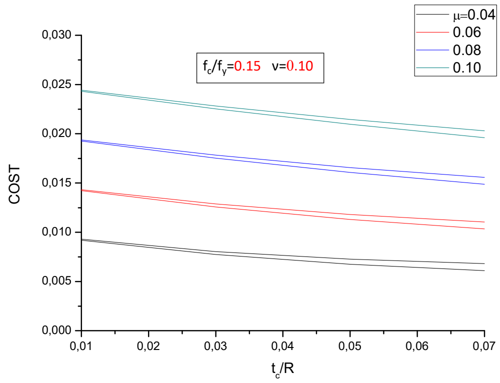
Για δεδομένα υλικά (γνωστό K_c/K_s και f_c/f_y), η ροπή αντοχής και το κόστος εξαρτώνται μόνο από τα $(t_1+t_2)/R$ και t_c/R !

Ποιος συνδυασμός των $(t_1+t_2)/R$ και t_c/R οδηγεί σε συγκεκριμένη ροπή αντοχής με το ελάχιστο κόστος ?

Εκτεταμένες παραμετρικές αναλύσεις με $v = 0.05 - 0.40$, $f_c/f_y = 0.05 - 0.15$, $K_c/K_s = 0.005 - 0.015$: ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΙΩΝΕΤΑΙ ΑΥΞΑΝΟΝΤΑΣ ΤΟ ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΑ ΚΑΙ ΜΕΙΩΝΟΝΤΑΣ ΤΟ ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ







Συμπεράσματα

Για δεδομένη ροπή αντοχής, το κόστος μειώνεται περίπου γραμμικά με την αύξηση πάχους του πυρήνα. Η μείωση αυτή είναι εντονότερη όσο αυξάνεται η αξονική δύναμη και/ή η αντοχή του υλικού του πυρήνα.

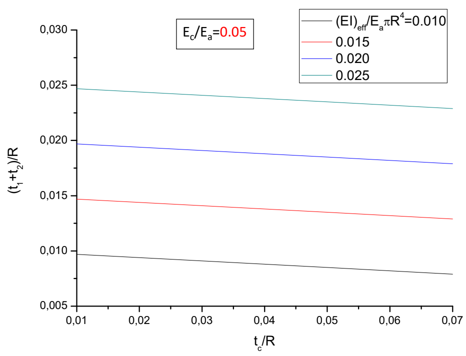
Το συνολικό κόστος δεν είναι ιδιαιτέρως ευαίσθητο σε μεταβολές του κόστους πυρήνα, ακόμα και αν αυτές είναι σημαντικές.

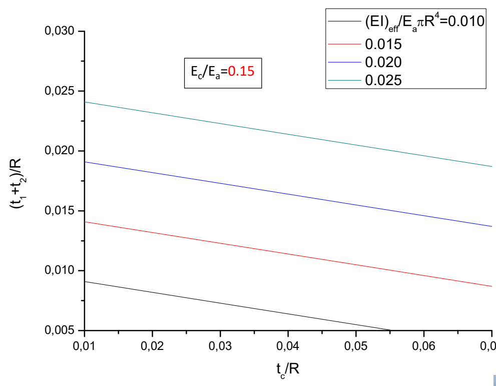
Μελέτη Διατομής για Δεδομένη Δυσκαμψία

$$(\mathbf{EI})_{\mathbf{eff}} = \mathbf{E_a I_a} + \mathbf{k_e E_c I_c}$$

$$I_a \approx \pi R^3 t_1 + \pi R^3 t_2 = \pi R^3 (t_1 + t_2) \qquad I_c = \pi R^3 t_c$$

$$\frac{(\mathbf{EI})_{\mathbf{eff}}}{\mathbf{E_a \pi R^4}} = \frac{(\mathbf{t_1} + \mathbf{t_2})}{\mathbf{R}} + \mathbf{k_e} \frac{\mathbf{E_c}}{\mathbf{E_a}} \frac{\mathbf{t_c}}{\mathbf{R}}$$





Συμπεράσματα

Για δεδομένη δυσκαμψία, η χρήση υλικού στον πυρήνα (σκυροδέματος) οδηγεί σε μείωση του πάχους φλοιών. Η μείωση αυτή είναι γραμμική με την αύξηση του πάχους του πυρήνα και γίνεται εντονότερη όσο αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας του πυρήνα.

Τα πάχη φλοιών και πυρήνα αυξάνονται γραμμικά με τη δυσκαμψία.

Βελτιστοποίηση Διατομής για Δεδομένη Δυσκαμψία

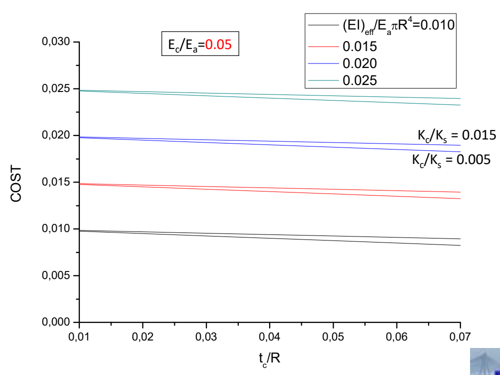
Για δεδομένα υλικά (γνωστό K_c/K_s και E_c/E_a), η δυσκαμψία και το κόστος εξαρτώνται μόνο από τα $(t_1+t_2)/R$ και t_c/R !

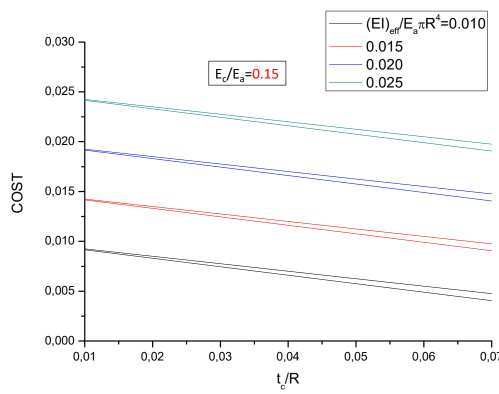
Ποιος συνδυασμός των $(t_1+t_2)/R$ και t_c/Rοδηγεί σε συγκεκριμένη δυσκαμψία με το ελάχιστο κόστος ?

$$\text{ΚΟΣΤΟΣ} \propto \frac{(t_1+t_2)}{R} + \frac{t_c\,K_c}{R\,K_s} \qquad \frac{(EI)_{eff}}{E_a \pi R^4} = \frac{(t_1+t_2)}{R} + k_e \frac{E_c\,t_c}{E_a\,R}$$

$$\text{ΚΟΣΤΟΣ} \propto \frac{(EI)_{eff}}{E_a \pi R^4} - \left(k_e \frac{E_{cm}}{E_a} - \frac{K_c}{K_s}\right)\frac{t_c}{R}$$

ΑΝ Ο ΟΡΟΣ ΣΕ ( ) ΕΊΝΑΙ ΘΕΤΙΚΟΣ: ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΙΩΝΕΤΑΙ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΑΥΞΑΝΟΝΤΑΣ ΤΟ ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΑ.





Συμπεράσματα

Για δεδομένη δυσκαμψία, το κόστος μειώνεται γραμμικά με την αύξηση πάχους του πυρήνα. Η μείωση αυτή είναι εντονότερη όσο αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας του πυρήνα.

Το συνολικό κόστος δεν είναι ιδιαιτέρως ευαίσθητο σε μεταβολές του κόστους πυρήνα, ακόμα και αν αυτές είναι σημαντικές.

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για δεδομένη ροπή αντοχής ή δυσκαμψία, η χρήση υλικού στον πυρήνα (σκυροδέματος) οδηγεί σε μείωση του πάχους φλοιών. Η μείωση αυτή είναι (περίπου) γραμμική με την αύξηση του πάχους του πυρήνα και γίνεται εντονότερη όσο αυξάνεται η σχετική μηχανική ιδιότητα του πυρήνα (αντοχή ή μέτρο ελαστικότητας).

Τα πάχη φλοιών και πυρήνα αυξάνονται (περίπου) γραμμικά με τη ροπή αντοχής ή τη δυσκαμψία.

Το κόστος μειώνεται (περίπου) γραμμικά με την αύξηση πάχους του πυρήνα. Η μείωση αυτή είναι εντονότερη όσο αυξάνεται η σχετική μηχανική ιδιότητα του πυρήνα (αντοχή ή μέτρο ελαστικότητας).

Το συνολικό κόστος δεν είναι ιδιαιτέρως ευαίσθητο σε μεταβολές του κόστους πυρήνα, ακόμα και αν αυτές είναι σημαντικές.