

# Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΩΟΕΙΔΟΥΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΣΤΙΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΧΑΡΑΞΕΙΣ

Ν. Ε. Ηλιού

*Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας*

Γ. Δ. Καλιαμπέτσος

*Επιστημονικός Συνεργάτης Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας*

Σχεδιασμός, Χάραξη

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Η επιλογή των κατάλληλων καμπυλών συναρμογής είναι ένας σημαντικός παράγων για τη διασφάλιση σωστών οδικών και σιδηροδρομικών χαράξεων. Στο νέο κανονισμό επιδομής γραμμής του ΟΣΕ προτείνεται μια καμπύλη για τη συναρμογή διαδοχικών ομόροπων κυκλικών τόξων. Στην παρούσα εργασία αξιολογείται αυτή η καμπύλη και συγκρίνεται με την ωοειδή καμπύλη, η οποία χαρακτηρίζεται από τη γραμμική μεταβολή της καμπυλότητας σε σχέση με τη διανυόμενη απόσταση. Αυτή η γραμμική μεταβολή της καμπυλότητας ισχύει μόνο προσεγγιστικά για την υπό αξιολόγηση καμπύλη. Προσεγγιστική επίσης, σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις, είναι και η συναρμογή της με το κυκλικό τόξο.

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιλογή των κατάλληλων καμπυλών συναρμογής είναι ένας σημαντικός παράγων για τη διασφάλιση σωστών οδικών και σιδηροδρομικών χαράξεων. Μολονότι το είδος των καμπυλών που χρησιμοποιούνται θεωρείται ένα λυμένο από παλιά ζήτημα, η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει αλλάξει τα δεδομένα και τα κριτήρια επιλογής της κατάλληλης καμπύλης. Υπάρχει πλέον η δυνατότητα να χρησιμοποιούνται καμπύλες με μεγαλύτερη δυσκολία υπολογισμών, αλλά με μεγαλύτερη ακρίβεια συναρμογής με το κυκλικό τόξο.

Στο νέο κανονισμό επιδομής γραμμής του ΟΣΕ προτείνεται μια καμπύλη για τη συναρμογή διαδοχικών ομόροπων κυκλικών τόξων. Η ίδια καμπύλη περιγράφεται και στο προσχέδιο «Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές», του Ινστιτούτου Οικονομίας των Κατασκευών, για την «Οριζοντιογραφική συναρμογή δύο ομόροπων, συνεχόμενων κυκλικών καμπυλών».

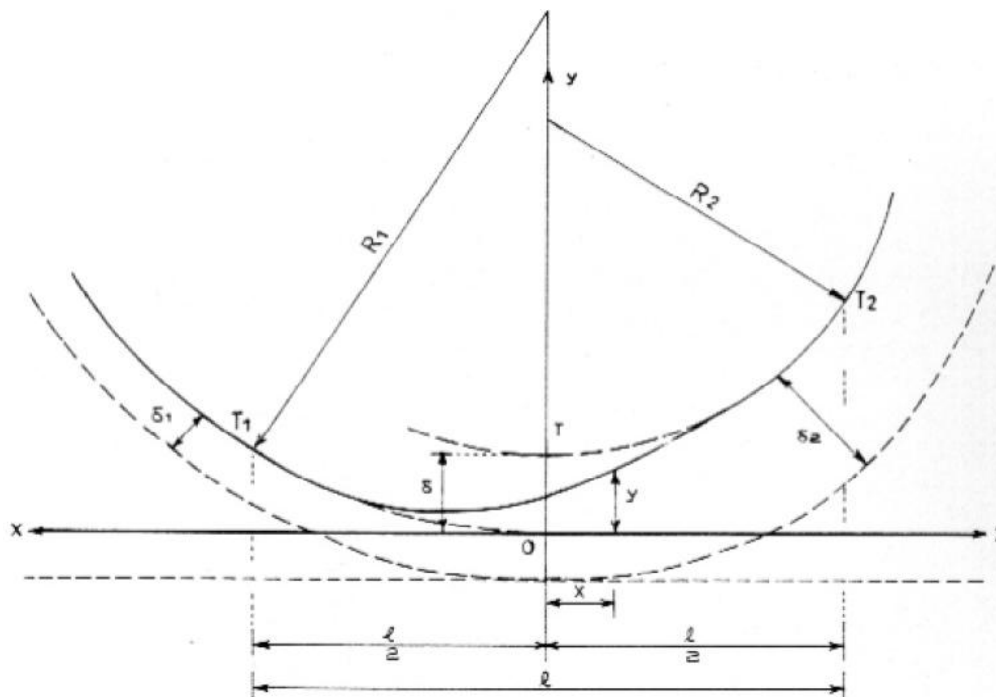
Στην παρούσα εργασία αξιολογείται αυτή η καμπύλη και συγκρίνεται με την ωοειδή καμπύλη. Η ωοειδής καμπύλη, σαν τμήμα κλωθοειδούς, χαρακτηρίζεται από τη γραμμική μεταβολή της καμπυλότητάς της σε σχέση με τη διανυόμενη απόσταση, πράγμα που για την υπό αξιολόγηση καμπύλη ισχύει προσεγγιστικά και μόνο υπό προϋποθέσεις. Επίσης υπό προϋποθέσεις (πολύ μικρό μήκος καμπύλης συναρμογής) επιτυγχάνεται και η ακριβής συναρμογή της με το κυκλικό τόξο.

Περιγράφεται συνοπτικά ο τρόπος υπολογισμού των σχετικών μεγεθών των καμπυλών και παρουσιάζονται σχηματικά οι μεταξύ τους διαφορές ή οι προβληματικές περιοχές χρησιμοποίησής τους. Αναδεικνύεται η υπεροχή της ωοειδούς καμπύλης και προτείνεται η έναρξη επιστημονικού διαλόγου με σκοπό την ενσωμάτωσή της στον κανονισμό επιδομής και στις προδιαγραφές (ΠΕΤΕΠ) του Ινστιτούτου Οικονομίας των Κατασκευών.

## 2 ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ

Για την Οριζοντιογραφική συναρμογή δύο ομόστροφων κυκλικών τόξων προτείνονται, σύμφωνα με το νέο κανονισμό επιδομής γραμμής του ΟΣΕ (Ν.Κ.Ε.Γ. 2000), δύο ειδών παραβολικές συναρμογές. Το κριτήριο επιλογής είναι η ύπαρξη ή όχι ενδιάμεσης ευθυγραμμίας.

Η πρώτη καμπύλη συναρμογής, που φαίνεται στο Σχήμα 1, προτείνεται για την περίπτωση δύο συνεχόμενων κυκλικών καμπυλών χωρίς ενδιάμεση ευθυγραμμία.



Σχήμα 1: Παραβολική συναρμογή μεταξύ δύο συνεχόμενων κυκλικών τόξων

Αποτελείται από δύο επιμέρους παραβολικές καμπύλες συναρμογής, μία προς την πλευρά του κυκλικού τόξου με ακτίνα  $R_1$  και μία προς την πλευρά του τόξου με ακτίνα  $R_2$ . Η πρώτη καμπύλη περιγράφεται από την εξίσωση:

$$y = \frac{x^2}{2R_1} + \frac{\delta}{2} - \frac{1}{6l\rho} \left[ \left( \frac{l}{2} \right)^3 - \left( \frac{l}{2} - x \right)^3 \right] \quad (1)$$

όπου  $x$  είναι η απόσταση από τον άξονα  $y$ , ο οποίος βρίσκεται πάνω στη διάκεντρο των δύο κύκλων,  $R_1$  η ακτίνα του πρώτου κυκλικού τόξου,  $\delta$  η διαφορά των εκτροπών των δύο καμπυλών,  $\rho$  η ισοδύναμη ακτίνα που προκύπτει από τις ακτίνες των δύο κυκλικών τόξων και  $l$  το συνολικό μήκος της προβολής (πάνω στον άξονα  $x$ ) των δύο παραβολικών συναρμογών, το οποίο διχοτομείται από τον άξονα  $y$ .

Ο υπολογισμός της διαφοράς των εκτροπών  $\delta$  προτείνεται να γίνεται από τη παρακάτω σχέση, η οποία βασίζεται στη χρησιμοποιούμενη για τον προσεγγιστικό υπολογισμό της εκτροπής σε κλωθοειδή καμπύλη:

$$\delta = \delta_2 - \delta_1 = \frac{l_2^2}{24R_2} - \frac{l_1^2}{24R_1} \quad (2)$$

όπου  $l_1$  το επιθυμητό (ή απαιτούμενο) μήκος της προβολής της πρώτης παραβολικής συναρμογής,  $l_2$  το αντίστοιχο της δεύτερης παραβολικής συναρμογής και  $R_2$  η ακτίνα του δεύτερου κυκλικού τόξου.

Σημειώνεται ότι τα δύο μήκη  $l_1$  και  $l_2$  χρησιμοποιούνται μόνο για τον υπολογισμό του  $\delta$  από την σχέση (2), προκύπτουν σαν προβολές του ελάχιστου μήκους της κάθε παραβολικής συναρμογής, και πρέπει να είναι τέτοια ώστε το  $\delta_2$  να είναι μεγαλύτερο από το  $\delta_1$ .

Η ισοδύναμη ακτίνα  $\rho$  εκφράζεται συναρτήσει των ακτίνων των κυκλικών τόξων από τη σχέση:

$$\rho = \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2} \quad (3)$$

Συναρτήσει των δύο παραπάνω μεγεθών υπολογίζεται το συνολικό μήκος  $l$  της προβολής των δύο παραβολικών συναρμογών από τη σχέση:

$$l = \sqrt{24\rho\delta} \quad (4)$$

Οι δύο παραπάνω σχέσεις οδηγούν σε τόσο μεγαλύτερη ισοδύναμη ακτίνα, και κατά συνέπεια σε τόσο μεγαλύτερο μήκος καμπύλης συναρμογής, όσο μικρότερη είναι η διαφορά των ακτίνων των κυκλικών τόξων. Χρειάζεται δηλαδή μεγαλύτερο μήκος παραβολικής καμπύλης για τη συναρμογή δύο κυκλικών τόξων με πλησιέστερες μεταξύ τους ακτίνες καμπυλότητας.

Η δεύτερη καμπύλη συναρμογής, προς την πλευρά του κυκλικού τόξου με ακτίνα  $R_2$ , περιγράφεται από την εξίσωση:

$$y = \frac{x^2}{2R_2} + \frac{\delta}{2} + \frac{1}{6l\rho} \left[ \left( \frac{l}{2} \right)^3 - \left( \frac{l}{2} - x \right)^3 \right] \quad (5)$$

Από τις εξισώσεις (1) και (5) για  $x=0$  προκύπτει ότι οι δύο καμπύλες συναντώνται σε απόσταση  $y=\delta/2$  από τον άξονα  $x$ , δηλαδή συναρμόζουν απόλυτα μεταξύ τους.

Αντίθετα εξετάζοντας τη συναρμογή τους με τα κυκλικά τόξα προκύπτουν τα παρακάτω: Η πρώτη καμπύλη για  $x=l/2$  παίρνει την τιμή  $y_1$  που δίνεται από τη σχέση:

$$y_1 = \frac{l^2}{8R_1} + \frac{\delta}{2} - \frac{l^2}{48\rho} \quad (6)$$

η οποία χρησιμοποιώντας την σχέση (4) προκύπτει ότι είναι:

$$y_1 = \frac{l^2}{8R_1} \quad (7)$$

Στη θέση συναρμογής η αντίστοιχη τιμή  $y_{1c}$  που προκύπτει από το κυκλικό τόξο είναι:

$$y_{1c} = R_1 - \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} \quad (8)$$

η οποία γράφεται:

$$y_{1c} = R_1 - R_1 \sqrt{1 - \left(\frac{l}{2R_1}\right)^2} \quad (9)$$

Χρησιμοποιώντας την προσεγγιστική σχέση:

$$\sqrt{1-d} \approx 1 - \frac{d}{2} \quad (10)$$

η οποία ισχύει μόνο για πολύ μικρές τιμές του  $d$ , δηλαδή για τιμές του  $l$  πολύ μικρότερες του  $R_1$ , προκύπτει ότι η τιμή του  $y_{1c}$  είναι:

$$y_{1c} \approx \frac{l^2}{8R_1} = y_1 \quad (11)$$

Με τον ίδιο τρόπο προκύπτει ότι η δεύτερη καμπύλη για  $x=l/2$  παίρνει την τιμή  $y_2$  που δίνεται από τη σχέση:

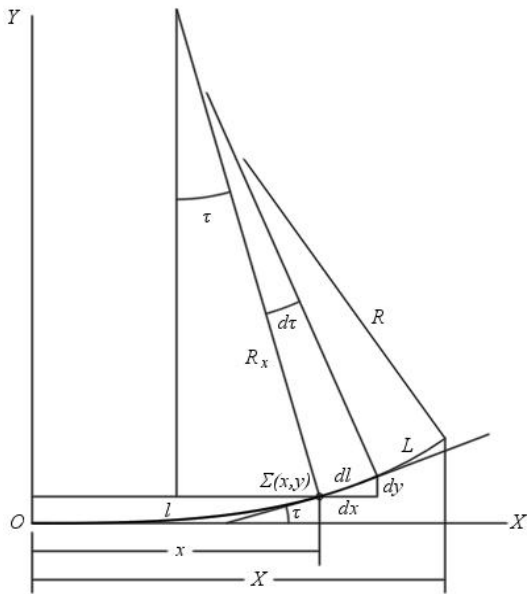
$$y_2 = \frac{l^2}{8R_2} + \delta \quad (12)$$

η οποία για τιμές του  $l$  πολύ μικρότερες του  $R_2$ , συναρμόζει με καλή ακρίβεια με το δεύτερο κυκλικό τόξο.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των καμπυλών συναρμογής πρέπει να είναι η βαθμιαία μεταβολή της καμπυλότητας που οδηγεί και σε βαθμιαία μεταβολή της φυγόκεντρης δύναμης, η αύξηση της οποίας εξισορροπείται μερικά από την υπερύψωση της εξωτερικής σιδηροτροχιάς ή οριογραμμής. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της κλωθοειδούς και της ωσειδούς είναι η απολύτως γραμμική μεταβολή της καμπυλότητας. Στη συνέχεια εξετάζονται οι προτεινόμενες παραβολικές καμπύλες συναρμογής από πλευράς μεταβολής της καμπυλότητας.

Η δεύτερη παράγωγος οποιασδήποτε συνάρτησης της μορφής  $y=f(x)$  με τη βοήθεια και του Σχήματος 2 γράφεται:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{d(\tan \tau)}{dx} = \frac{1}{\cos^2 \tau} \frac{d\tau}{dx} = \frac{1}{\cos^2 \tau} \frac{d\tau}{\cos \tau dl} = \frac{1}{\cos^3 \tau} \frac{1}{R} \quad (13)$$



Σχήμα 2: Καμπύλη συναρμογής

δηλαδή η καμπυλότητα εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{1}{R} = \cos^3 \tau \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (14)$$

Παίρνοντας τη δεύτερη παράγωγο της σχέσης (1) και χρησιμοποιώντας την σχέση (14) προκύπτει για την καμπυλότητα της πρώτης καμπύλης συναρμογής:

$$\frac{1}{R} = \cos^3 \tau \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{l\rho} \left( \frac{l}{2} - x \right) \right) \quad (15)$$

Η τιμή της καμπυλότητας για  $x=l/2$  θα πρέπει να είναι ίση με  $1/R_1$  ώστε να συναρμόζει απόλυτα με το πρώτο κυκλικό τόξο. Αυτό ισχύει μόνο για  $\cos^3 \tau = 1$ , δηλαδή για γωνία εκτροπής  $\tau$  πολύ μικρή, η οποία προϋποθέτει πολύ μικρό μήκος καμπύλης συναρμογής.

Παίρνοντας τη δεύτερη παράγωγο της σχέσης (5) και χρησιμοποιώντας την σχέση (14) προκύπτει για την καμπυλότητα της δεύτερης καμπύλης συναρμογής:

$$\frac{1}{R} = \cos^3 \tau \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{l\rho} \left( \frac{l}{2} - x \right) \right) \quad (16)$$

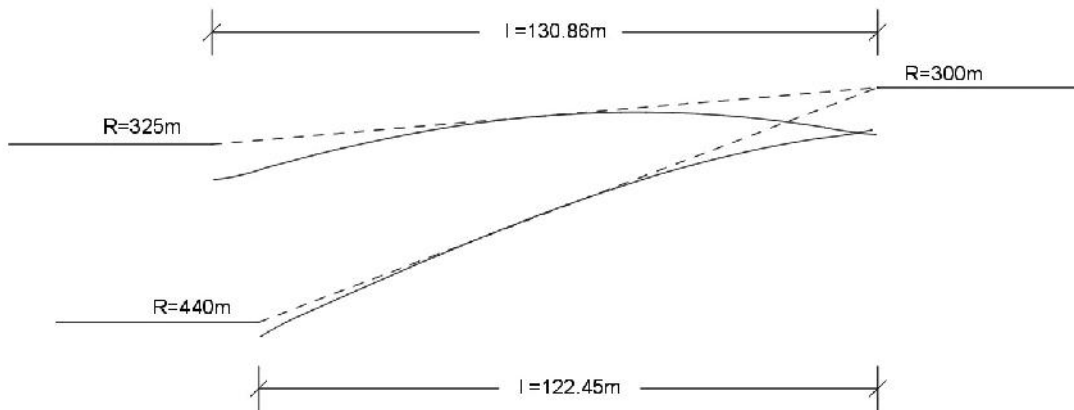
Η τιμή της καμπυλότητας για  $x=l/2$  θα πρέπει να είναι ίση με  $1/R_2$  ώστε να συναρμόζει απόλυτα με το δεύτερο κυκλικό τόξο. Αυτό ισχύει πάλι μόνο για  $\cos^3 \tau = 1$ , δηλαδή για γωνία εκτροπής  $\tau$  πολύ μικρή, η οποία προϋποθέτει πολύ μικρό μήκος καμπύλης συναρμογής.

Αντίθετα για  $x=0$  οι καμπυλότητες που εκφράζονται από τις σχέσεις (15) και (16) είναι απόλυτα συμβατές μεταξύ τους. Αυτό ισχύει επειδή τώρα η γωνία  $\tau=0$ , πρόκειται για την αρχή και των δύο τόξων συναρμογής, και επιπλέον ισχύει:

$$\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} = \frac{1}{\rho} \quad (17)$$

που είναι ένας διαφορετικός τρόπος γραφής της σχέσης (3).

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (15) και (16) υπολογίζεται το διάγραμμα καμπυλότητας, στην περιοχή της παραβολικής καμπύλης συναρμογής, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Έχει υπολογιστεί για δύο διαφορετικές περιπτώσεις: στην πρώτη περίπτωση η ακτίνα του αρχικού κυκλικού τόξου είναι  $R_1=325m$  ενώ στην άλλη είναι  $R_1=440m$ . Και στις δύο περιπτώσεις η ακτίνα του τελικού κυκλικού τόξου είναι  $R_2=300m$ . Τα μήκη  $l$  είναι υπολογισμένα σύμφωνα με τις προτεινόμενες από τον κανονισμό του ΟΣΕ ελάχιστες τιμές των προβολών  $l_1, l_2$  και τις σχέσεις (2) έως (4). Με συνεχή γραμμή παριστάνεται η καμπυλότητα των δύο παραβολικών συναρμογών ενώ με διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η γραμμική μεταβολή από την καμπυλότητα του πρώτου κυκλικού τόξου σε αυτή του δεύτερου, όπως δηλαδή θα προέκυπτε αν είχε χρησιμοποιηθεί για τη συναρμογή η ωοειδής καμπύλη.



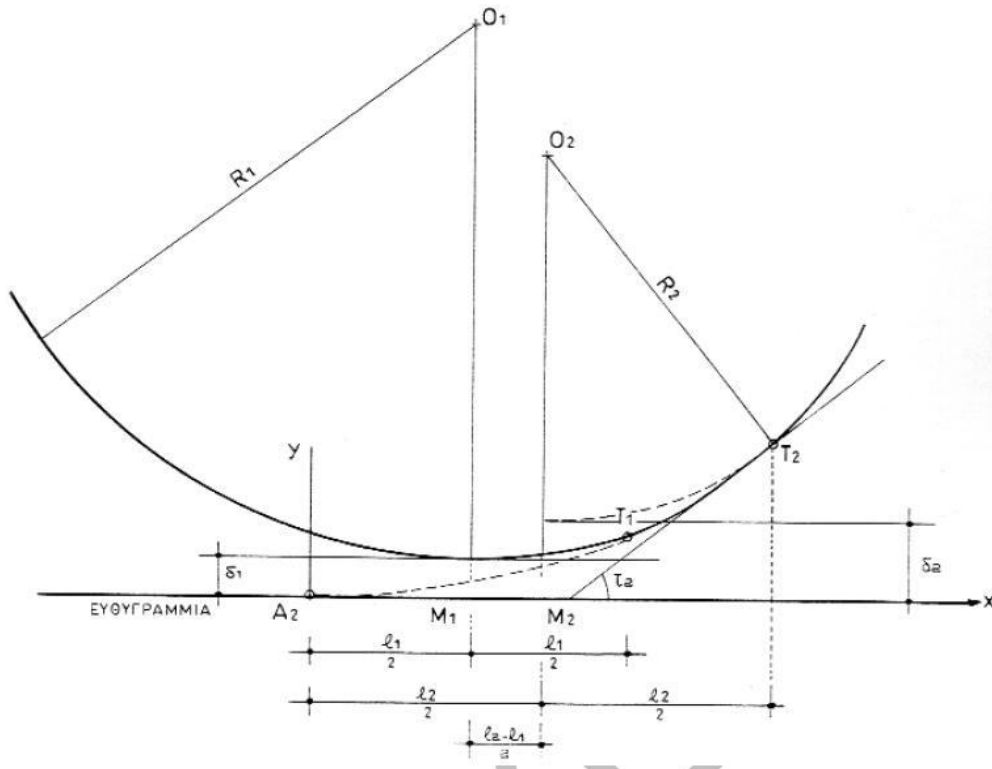
Σχήμα 3: Διάγραμμα καμπυλότητας

Στο διάγραμμα καμπυλότητας φαίνονται οι ασυνέχειες στα σημεία συναρμογής με τα κυκλικά τόξα και η κάθε άλλο παρά γραμμική μεταβολή της καμπυλότητας. Το μεγαλύτερο πρόβλημα παρουσιάζεται στη συναρμογή των κυκλικών τόξων με ακτίνες  $R_1=325m$  και  $R_2=300m$ . Μάλιστα αυτό το μεγαλύτερο πρόβλημα για να παρουσιαστεί χρειάζεται και μεγαλύτερο μήκος συναρμογής. Αυτό το εκ πρώτης όψεως παράδοξο αναιρείται, εξετάζοντας τις σχέσεις (15) και (16), στις οποίες ο όρος  $\cos^3 \tau$  απέχει τόσο περισσότερο από την τιμή 1 όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος συναρμογής.

Όταν μεταξύ δύο ομόστροφων κυκλικών καμπυλών μεσολαβεί μικρή ενδιάμεση ευθυγραμμία, της οποίας το μήκος δεν είναι αρκετό για να τοποθετηθεί, στην κάθε καμπύλη, κανονική παραβολική συναρμογή και να παραμείνει το απαιτούμενο ενδιάμεσο ευθύγραμμο τμήμα τότε για την Οριζοντιογραφική συναρμογή τους προτείνεται, σύμφωνα με το νέο κανονισμό επιδομής γραμμής του ΟΣΕ, μια ενιαία παραβολική συναρμογή χωρίς μεσολάβηση ευθυγράμμου τμήματος. Οι συντεταγμένες της ενιαίας αυτής συναρμογής, όταν το μήκος της  $L_2$  είναι μεγαλύτερο από  $R_2/3.5$ , δίνονται από τη σχέση:

$$y = \frac{x^3}{6l_2 R_2 \cos^3 \tau_2} \quad (18)$$

όπου  $x$  είναι η απόσταση από το σημείο  $A_2$ , σημείο θεωρητικής αρχής της παραβολικής συναρμογής,  $l_2$  το συνολικό μήκος της προβολής της (πάνω στον άξονα  $x$ ),  $R_2$  η ακτίνα του δεύτερου κυκλικού τόξου,  $\tau_2$  η γωνία εκτροπής στο τέλος της συναρμογής. Το σημείο  $A_2$ , είναι και το σημείο αρχής των αξόνων. Όλα αυτά τα μεγέθη απεικονίζονται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Παραβολική συναρμογή μεταξύ δύο ομόστροφων κυκλ. τόξων με ενδιάμεση ευθυγραμμία

Για τα υπόλοιπα μεγέθη που είτε φαίνονται στο Σχήμα είτε επηρεάζουν άλλα μεγέθη ισχύουν τα εξής: με  $L_1, L_2$  συμβολίζονται τα απαιτούμενα μήκη τόξων συναρμογής της ευθυγραμμίας με τις δύο κυκλικές καμπύλες (αντίστοιχων ακτίνων  $R_1, R_2$ ), με  $l_1, l_2$  τα αντίστοιχα μήκη προβολών των δύο αυτών τόξων συναρμογής επί της ευθυγραμμίας, με  $\delta_1, \delta_2$  οι μετατοπίσεις – εκτροπές των δύο κυκλικών καμπυλών που αντιστοιχούν στα μήκη συναρμογής  $L_1, L_2$ .

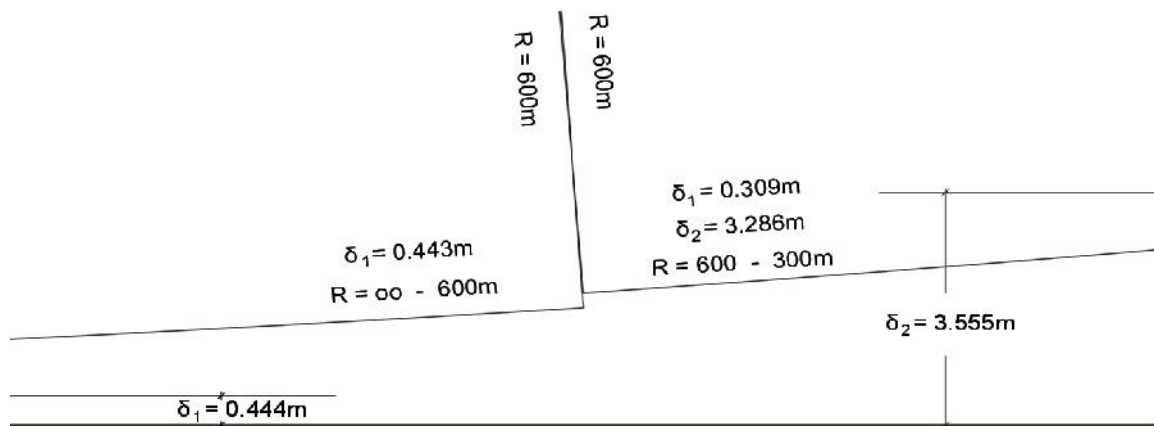
Χρησιμοποιείται μόνο το τελευταίο τμήμα αυτής της καμπύλης συναρμογής, που περιγράφεται από την σχέση (18), από το σημείο  $T_1$  ως το σημείο  $T_2$  του Σχήματος 4. Αξίζει δε να σημειωθεί ότι η εξέλιξη της συνολικής καμπύλης δεν εξαρτάται από την ακτίνα του πρώτου κυκλικού τόξου.

Όταν το μήκος  $L_2$  είναι μικρότερο ή ίσο με  $R_2/3.5$ , τότε προτείνεται η απλούστερη σχέση:

$$y = \frac{x^3}{6l_2R_2} \quad (19)$$

όπου και εδώ  $x$  είναι η απόσταση από το σημείο  $A_2$ , σημείο θεωρητικής αρχής της παραβολικής συναρμογής,  $l_2$  το συνολικό μήκος της προβολής της (πάνω στον άξονα  $x$ ),  $R_2$  η ακτίνα του δεύτερου κυκλικού τόξου.

Όπως σε προηγούμενη εργασία (Ηλιού 2005) έχει εξηγηθεί, μία ενιαία καμπύλη για να χρησιμοποιηθεί για τη συναρμογή δύο ομόρροπων κυκλικών τόξων διαφορετικών ακτίνων πρέπει να χαρακτηρίζεται από μία παράμετρο, όπως η κλωθοειδής. Επεκτείνοντας αυτό τον ορισμό μπορεί η κυβική παραβολή, που δίνεται από τη σχέση (19), να θεωρηθεί ότι χαρακτηρίζεται από μία παράμετρο της μορφής  $A=l_2R_2$ . Όμως η παραβολική συναρμογή, που δίνεται από τη σχέση (18), δεν μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει μιας τέτοιας παραμέτρου. Δηλαδή δύο καμπύλες αυτής της μορφής με ίδια αρχή, ίδιο γινόμενο  $Rl$  και διαφορετικό μήκος δεν θα ταυτίζονται κατά το μήκος της μικρότερης. Εναλλακτικά, δύο διαδοχικά τμήματα παραβολικής καμπύλης της ίδιας μορφής δεν συναρμολογούν μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, που παρουσιάζει μια λεπτομέρεια του σημείου μετάβασης.



Σχήμα 5: Σημείο μετάβασης μεταξύ δύο παραβολικών συναρμογών

Οι τιμές  $\delta_1=0.444m$  και  $\delta_2=3.555m$  είναι αυτές που προκύπτουν προσεγγιστικά χρησιμοποιώντας μια σχέση ανάλογη της (2). Οι άλλες τιμές για τα  $\delta_1$  και  $\delta_2$ , που εμφανίζονται μέσα στο σχήμα, είναι οι πραγματικές τιμές που προκύπτουν από την ακριβή σχέση:

$$\delta = Y - R(1 - \cos \tau) \quad (20)$$

όπου  $Y$  είναι η μετατόπιση στο τέλος της καμπύλης, στο σημείο συναρμογής της με το κυκλικό τόξο ακτίνας  $R$ , και  $\tau$  η αντίστοιχη γωνία εκτροπής.

Πριν το σημείο μετάβασης, στο Σχήμα 5, φαίνεται μια κανονική παραβολική συναρμογή, όπως στον κανονισμό του ΟΣΕ αναφέρεται, με βάση τη σχέση (18), η οποία συναρμολώνει μία ευθυγραμμία με ένα κυκλικό τόξο ακτίνας  $600m$ . Μετά το σημείο μετάβασης φαίνεται μια ενιαία παραβολική συναρμογή  $T_1-T_2$ , όπως στον κανονισμό του ΟΣΕ αναφέρεται, με βάση τη σχέση (18), η οποία συναρμολώνει ένα κυκλικό τόξο ακτίνας  $600m$  με ένα κυκλικό τόξο ακτίνας  $300m$ . Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ενιαία παραβολική καμπύλη με διαφορετικό τρόπο συναρμολώνει με το πρώτο κυκλικό τόξο από ότι με το δεύτερο. Αυτό οδηγεί σε μία ασυνέχεια στη μεταβολή της καμπυλότητας, άρα και της φυγόκεντρης δύναμης, από το πρώτο κυκλικό τόξο στην παραβολική καμπύλη συναρμογής, συμπεριφορά ανάλογη με αυτή που παρουσιάστηκε στο Σχήμα 3.



### 3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι καμπύλες συναρμογής χρησιμοποιούνται τόσο για την ομαλή μετάβαση από την ευθυγραμμία στο κυκλικό τόξο και αντίστροφα όσο και για την ομαλή μετάβαση από ένα κυκλικό τόξο σε ένα άλλο διαφορετικής ακτίνας. Συνδυάζονται με τα πρανή υπερύψωσης, όπου εμφανίζεται γραμμική μεταβολή της υπερύψωσης, και πρέπει να διασφαλίζουν τη γραμμική μεταβολή της καμπυλότητας άρα και της φυγόκεντρης δύναμης.

Η καμπύλη η οποία χαρακτηρίζεται από τη γραμμική μεταβολή της καμπυλότητας είναι η κλωθοειδής. Όταν απαιτείται η συναρμογή διαδοχικών ομόρροπων κυκλικών τόξων τότε η καταλληλότερη καμπύλη είναι η ωοειδής, η οποία είναι τμήμα της κλωθοειδούς. Αντίθετα οι προτεινόμενες από το νέο κανονισμό επιδομής γραμμής του ΟΣΕ, καμπύλες για τη συναρμογή διαδοχικών ομόρροπων κυκλικών τόξων δεν χαρακτηρίζονται από την ακρίβεια και τη γραμμική μεταβολή της καμπυλότητας, που η ωοειδής καμπύλη εξασφαλίζει.

Η προτίμηση, σε σιδηροδρομικές κυρίως χαράξεις, της χρήσης της απλής κυβικής παραβολής, αντί της κλωθοειδούς, για λόγους απλότητας στην αρχή και για ιστορικούς λόγους στη συνέχεια είναι κατανοητή και υπό προϋποθέσεις αποδεκτή. Η επέκταση της όμως σε μορφές συναρμογών που στηρίζονται σε διορθώσεις της κυβικής παραβολής μόνο προβλήματα δημιουργεί. Επιπλέον οι παραβολικές αυτές συναρμογές δεν διαθέτουν το μοναδικό πλεονέκτημα της απλής κυβικής παραβολής, την απλότητα.

Από τα παραπάνω προκύπτει η σαφής υπεροχή της ωοειδούς καμπύλης. Είναι αναγκαία η έναρξη επιστημονικού διαλόγου για την ενσωμάτωσή της στον κανονισμό επιδομής και στις προδιαγραφές (ΠΕΤΕΠ) του Ινστιτούτου Οικονομίας των Κατασκευών. Άλλωστε είναι μια καθιερωμένη καμπύλη στη διεθνή βιβλιογραφία και υπάρχει μεγάλη εμπειρία στο ελληνικό επιστημονικό δυναμικό από τη χρήση της ωοειδούς στην Οδοποιία.

### 4 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ηλιού, Ν. Ε., Καλιαμπέτσος, Γ. Δ., (2005). *Αξιολόγηση καμπυλών συναρμογής για χρήση στην Οδοποιία και στη Σιδηροδρομική*, 2<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος

Κανελλαΐδης, Γ., Μαλέρδος, Γ. Γλάρος, Γ. (2002). *Σημειώσεις για τον Γεωμετρικό Σχεδιασμό των Οδών*. Αθήνα.

Ν.Κ.Ε.Γ. (2000). *Νέος Κανονισμός Επιδομής Γραμμής*. ΦΕΚ. Β' 1156/19-9-2000.

ΟΜΟΕ-Χ (2001). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων. Τεύχος 3: Χαράξεις*. ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα.

Π.Ε.ΤΕ.Π. (2005). *Χάραξη Σιδηροδρομικής Γραμμής*. Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές, Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών, <http://www.iok.gr/petep/07-01-01-10.pdf>.