

Ε.Μ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΝ. – ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

ΧΑΡΑΞΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Β. Ψαριανός

Αν. Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ 1999



ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

ΧΑΡΑΞΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Σελίδα
1. Γενικά	
1.1. Χαρακτηριστικά Χάραξης Σιδηροδρομικής Γραμμής	5
2. Μελέτη οριζοντιογραφίας	
2.1. Η ευθυγραμμία	8
2.2. Το κυκλικό τόξο	8
3. Βασικές έννοιες δυναμικής	
3.1. Εκτροχιασμός	13
3.2. Αντιστάσεις	14
3.3. Κίνηση στο κυκλικό τόξο	16
3.4. Αλληλουχίες τόξων	17
3.4.1. Αλληλουχία Ευθείας - Κυκλικού τόξου	17
3.4.2. Αλληλουχία Κυκλικών Τόξων	19
3.5. Υπερύψωση Γραμμής	20
3.5.1. Υπολογισμός Υπερύψωσης	23
3.5.1.1. Υπολειπόμενη Υπερύψωση	23
3.5.1.2. Περίσσεια Υπερύψωσης	24
3.5.1.3. Υπερύψωση σε μικτή κυκλοφορία	25
3.5.2. Ράμπα Υπερύψωσης	32
Βιβλιογραφία	34

1. ΓΕΝΙΚΑ

Τα μεταφορικά συστήματα σταθεράς τροχιάς χαρακτηρίζονται γενικά για την αποδοτικότητά τους και την καλή περιβαλλοντική αποδοχή τους, γεγονός, που τα κάνει ανταγωνιστικά στα υπόλοιπα μέσα μεταφοράς.

Το αντικείμενο της σιδηροδρομικής περιλαμβάνει την μελέτη, κατασκευή και συντήρηση των σιδηροδρομικών γραμμών του υπεραστικού δικτύου, του αστικού δικτύου οποιασδήποτε μορφής (μετρό, τραμ), των βιομηχανικών μονάδων και όλων των συναφών εγκαταστάσεων, που συνοδεύουν τα δίκτυα των σιδηροδρομικών γραμμών (σταθμοί, κόμβοι κ.λπ.).

Παρακάτω γίνεται συνοπτική αναφορά στους βασικούς κανόνες, που διέπουν την χάραξη μιας σιδηροδρομικής γραμμής.

1.1. Χαρακτηριστικά χάραξης ΣΓ

Η χάραξη μιας σιδηροδρομικής γραμμής εξαρτάται από την μορφολογία του εδάφους, τις επιθυμητές ή δυνατές ταχύτητες, τις ιδιότητες των οχημάτων, τον σκοπό της γραμμής, το κόστος κ.λπ.

Οι γενικοί κανόνες, που χαρακτηρίζουν την χάραξη μιας σιδηροδρομικής γραμμής (ΣΓ) προκύπτουν από

- * το λειτουργικό σύστημα του φορέα (ΟΣΕ, ΗΣΑΠ κ.λπ.),
- * τον προβλεπόμενο τεχνικό εξοπλισμό,
- * την καλή περιβαλλοντική αποδοχή της γραμμής,
- * την σχέση κόστους και ωφέλειας.

Το λειτουργικό σύστημα του φορέα αναφέρεται στον τύπο και την συχνότητα των μεταφορικών δραστηριοτήτων του δικτύου της ΣΓ, που έχει επεξεργαστεί και προωθεί ο φορέας.

Τα δίκτυα των ΣΓ κατατάσσονται εν γένει σε τρεις ομάδες, το **Γενικό Δίκτυο**, το **Δίκτυο των Νέων Χαράξεων** (δίκτυο υψηλών ταχυτήτων) και το **Αστικό Δίκτυο** (μετρό, τραμ).

Στο Γενικό Δίκτυο μετακινούνται επιβατηγές και εμπορευματικές αμαξοστοιχίες. Το μέγιστο μήκος των επιβατηγών αμαξοστοιχιών ανέρχεται σε 400 m (= 15 οχήματα) ή 80 άξονες. Οι εμπορευματικές αμαξοστοιχίες μπορούν να έχουν μέχρι 250 άξονες αλλά το μήκος τους δεν πρέπει να ξεπερνά τα 700 m. Άλλοι περιοριστικοί παράγοντες του μήκους των αμαξοστοιχιών, που υπεισέρχονται εν προκειμένω είναι οι συνθήκες πέδησης, ο τύπος της αμαξοστοιχίας και η επιτρεπόμενη μέγιστη ταχύτητα.

Η μέγιστη ταχύτητα είναι 160 km/h, που μπορεί να ανέλθει με ειδική μελέτη στα 200 km/h όσον αφορά τις επιβατηγές αμαξοστοιχίες. Για τις εμπορευματικές αμαξοστοιχίες η μέγιστη ταχύτητα ανέρχεται σε 100 km/h και σε ειδικές περιπτώσεις μέχρι 120 km/h.

Στο Δίκτυο των Νέων Χαράξεων η μέγιστη ταχύτητα των επιβατηγών μπορεί να ανέλθει στα 250 km/h και ακόμη υψηλότερα ανάλογα με τον τύπο και την λειτουργία του οχήματος, ενώ για τις εμπορευματικές αμαξοστοιχίες ο κανόνας είναι τα 120 km/h.

Στα Αστικά Δίκτυα με ομοιόμορφη λειτουργία (κυκλοφορία ενός τύπος συρμού) η μέγιστη ταχύτητα περιορίζεται στα 120 km/h και το μέγιστο μήκος του συρμού στα 120 m:

Αναφορικά τέλος με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία των αμαξοστοιχιών η χάραξη μιας ΣΓ επηρεάζεται άμεσα από

- * τον τρόπο επιτάχυνσης και πέδησης των αμαξοστοιχιών
- * τις ιδιότητες των σιδηροτροχιών (επιδομή)
- * το επιλεγέν σύστημα ασφάλισης

Γνώρισμα του τρόπου μελέτης της χάραξης μιας ΣΓ είναι ότι η παράμετρος της ταχύτητας παραμένει ένα μεταβλητό μέγεθος. Οι επιτρεπόμενες ή απαιτούμενες κάθε φορά **ταχύτητες** καθορίζουν τα απαιτούμενα (επιτρεπόμενα) γεωμετρικά στοιχεία των γραμμών.

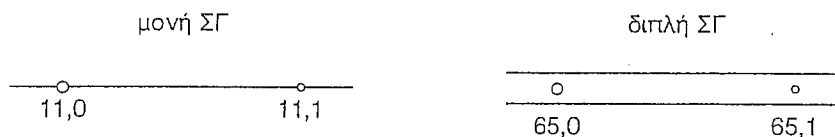
2. ΜΕΛΕΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η οριζοντιογραφία μιας ΣΓ καθορίζει την μορφή και θέση της γραμμής ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Σχεδιαστικά μια ΣΓ εμφανίζεται ως μια γραμμή, που αντιπροσωπεύει τον «άξονα» της γραμμής, την ιδεατή δηλαδή γραμμή, που διέρχεται από το μέσο

των δύο σιδηροτροχιών (μεσοπαράλληλος), οι οποίες ορίζουν την ΣΓ. Η κλίμακα σχεδίασης είναι κατά κανόνα 1:1000 ή 1:500 μερικές φορές. Η εμφάνιση επομένως στα σχέδια οριζοντιογραφίας δύο παραλλήλων ΣΓ, σημαίνει δύο ζεύγη σιδηροτροχιών με άξονες τις εμφανιζόμενες γραμμές, η απόσταση των οποίων (αξόνων) είναι η αναγραφόμενη στα σχέδια.

Οι άξονες αυτοί προκύπτουν ως αλληλουχία γεωμετρικών στοιχείων στα οποία αντιστοιχεί κάθε φορά μια **συγκεκριμένη ταχύτητα μελέτης**. Η ταχύτητα αυτή μελέτης σε αντίθεση με την οδοποιΐα π.χ. αντιπροσωπεύει την μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα διέλευσης από το συγκεκριμένο τμήμα της ΣΓ. Η μεταβολή της ταχύτητας μελέτης από μια τιμή σε μια άλλη υπακούει στον κανόνα των **30 δευτερολέπτων**. Ο κανόνας αυτός επιβάλλει ότι μια τιμή (βαθμίδα) της ταχύτητας μελέτης πρέπει να ισχύει σε μήκος γραμμής, που αντιστοιχεί σε 30 sec κίνησης του συρμού. Αν αυτό δεν είναι δυνατό, τότε ως ταχύτητα μελέτης για το εν λόγω τμήμα της γραμμής η μικρότερη από τις δύο ταχύτητες μελέτης, που ισχύουν στα εκατέρωθεν του συγκεκριμένου τμήματος τμήματα της ΣΓ.

Τα γεωμετρικά στοιχεία, που ορίζουν μια ΣΓ, είναι: η ευθυγραμμία, το κυκλικό τόξο και το τόξο συναρμογής.



Γράμματα:

Αρίθμηση γραμμών, ακτίνες, αποστάσεις γραμμών	1.8 mm
Ονομασία γραμμών, ενδείξεις κατευθύνσεων	2.5 mm
Χιλιόμετρηση	3.5 mm

Πάχη γραμμών:

Κύριες ΣΓ (κύριοι άξονες)	0.35 mm
Βοηθητικές ΣΓ (δευτερεύοντες άξονες)	0.18 mm
Εκατομετρικές ενδείξεις	0.18 mm

Οι εγγραφές πρέπει να είναι αναγνώσιμες από κάτω ή από δεξιά.

Σχ. 2.1. Κανόνες σχεδίασης οριζοντιογραφιών σιδηροδρομικών γραμμών σε κλίμακα 1:1000.

2.1. Η ευθυγραμμία

Η ευθυγραμμία ως γεωμετρική μορφή ανταποκρίνεται απόλυτα στην μορφή ενός συρμού. Το γεγονός αυτό καθώς επίσης και λόγοι άνεσης της κινήσεως και οικονομικοί επιβάλλουν την όσο το δυνατό σε μεγαλύτερη έκταση εφαρμογή του στοιχείου αυτού στην μελέτη μιας ΣΓ (σε αντίθεση με την οδοποιΐα, όπου θεωρείται μειονεκτικό στοιχείο).

Στις ευθυγραμμίες δεν τίθενται εγκάρσιες κλίσεις (υπερυψώσεις). Και οι δύο σιδηροτροχιές ευρίσκονται στην περίπτωση αυτή στο οριζόντιο επίπεδο.

Η ευθυγραμμία στην σιδηροδρομική εμφανίζεται με την παράμετρο της ακτίνας $r = \infty$ ή την καμπυλότητα $kg = 1/r = 0$.

Το ελάχιστο μήκος της l_g ισούται με το μήκος, που αντιστοιχεί σε κίνηση με την ταχύτητα μελέτης για 2 sec.

Κατά την κίνηση των αμαξοστοιχιών πάνω στις ευθυγραμμίες εμφανίζονται δυνάμεις επιβραδυντικές ή επιταχυντικές κατά μήκος της ευθυγραμμίας. Εγκάρσιες δυνάμεις μικρού μεγέθους προέρχονται από ανομοιομορφίες της κίνησης λόγω π.χ. παραμόρφωσης ή κατασκευαστικών ατελειών και από την ημιτονοειδή κίνηση του οχήματος.

2.2. Το κυκλικό τόξο

Ένα κυκλικό τόξο μπορεί να συνδεθεί άμεσα με ένα ευθύγραμμο τμήμα ή με ένα άλλο ομόρροπο ή αντίρροπο κυκλικό τόξο.

Σε ένα κατάλληλο τοπικό σύστημα συντεταγμένων στον άξονα x του οποίου βρίσκεται το κέντρο M , δημιουργούνται οι εξής βασικές εξισώσεις του κυκλικού τόξου:

α) εξίσωση κύκλου

$$x^2 + y^2 = 2rx \quad (2.1)$$

β) εξίσωση εφαπτομένης σε σημείο P

$$(x - x_M)(x_P - x_M) + (y - y_M)(y_P - y_M) = r^2 \quad (2.2)$$

γ) εξίσωση γωνίας διεύθυνσης (κλίσης) της εφαπτομένης

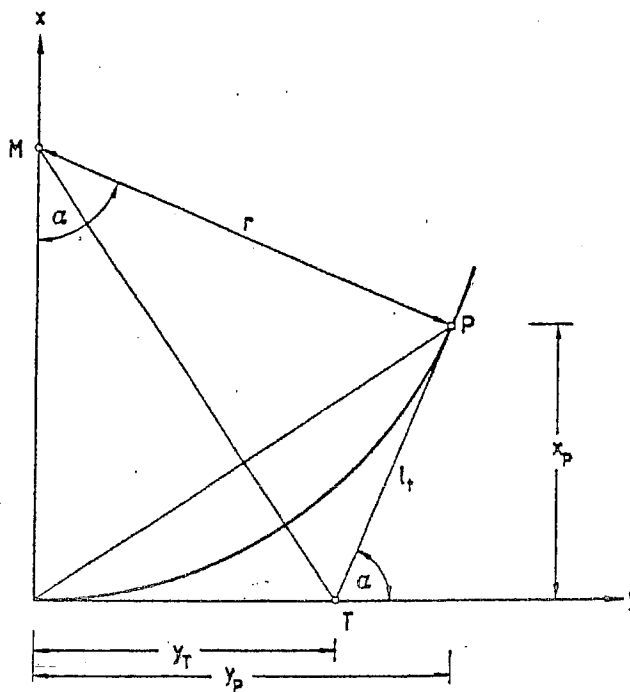
$$\tan \alpha = 1:m = (x_P - x_M) / (y_P - y_M) \quad (2.3)$$

δ) εξισώσεις πολικών συντεταγμένων

$$x_P = r (1 - \cos \alpha) \quad (2.4)$$

$$y_P = r \sin \alpha \quad (2.5)$$

$$y_r = r \tan (\alpha/2) \quad (2.6)$$



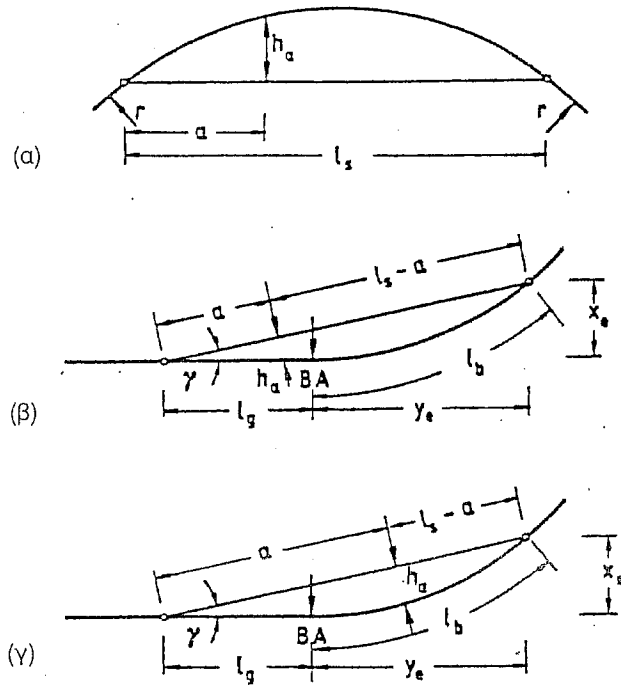
Σχ. 2.2. Γεωμετρικά στοιχεία κυκλικού τόξου.

ε) εξισώσεις βέλους (εργασίες εφαρμογής, παραλαβής και συντήρησης ΣΓ). Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

1. περίπτωση: αρχή και τέλος χορδής μέσα στο κυκλικό τόξο (σχ. 2.3α)

$$h_a = r \left(\sqrt{\left(1 - \frac{l_s - 2a}{2 \cdot r}\right)^2} - \sqrt{1 - \left(\frac{l_s}{2 \cdot r}\right)^2} \right) \quad (2.7)$$

2. περίπτωση: η αρχή της χορδής βρίσκεται την ευθυγραμμία και σε απόσταση l_g από την αρχή BA του κυκλικού τόξου, ενώ στο τέλος της χορδής μέσα στο κυκλικό τόξο σε απόσταση l_b από το BA. Ζητείται το βέλος σε απόσταση a από την αρχή της χορδής που βρίσκεται μέσα στην ευθυγραμμία, (σχ. 2.3β)



Σχ. 2.3. Βέλη κυκλικού τόξου.

$$h_a = a \frac{l_b^2}{2rl_s} \quad (2.8)$$

3. περίπτωση: όμοια όπως και στην προηγούμενη περίπτωση μόνο που το βέλος βρίσκεται μέσα στο κυκλικό τόξο (σχ. 2.3γ).

$$h_a = a \frac{l_b^2}{2rl_s} - \frac{(l_b - l_s + a)^2}{2r} \quad (2.9)$$

3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Κατά την κίνηση ενός συρμού εμφανίζονται τρία δυναμικής φύσεως προβλήματα, που πρέπει να αντιμετωπισθούν κατάλληλα. Τα προβλήματα αυτά είναι

- * η φόρτιση (προωθούμενο φορτίο)
- * η διεύθυνση του συρμού
- * η επιτάχυνση και επιβράδυνση

και δημιουργούνται κατά την επαφή των σιδηροτροχιών με τους τροχούς των οχημάτων. Η μορφή τόσο των τροχών όσο και των σιδηροτροχιών είναι κατά τέτοιο τρόπο διαμορφωμένες ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής κίνηση των οχημάτων.

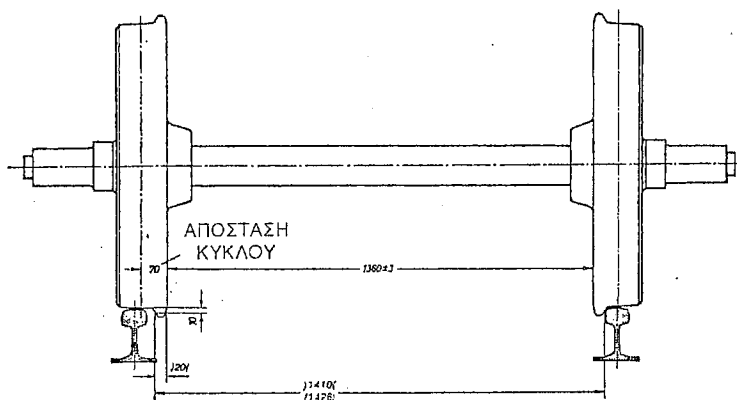
Οι σιδηροτροχιές εφαρμόζονται σε συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους. Η απόσταση αυτή (ελάχιστη απόσταση των εσωτερικών επιφανειών των κεφαλών των σιδηροτροχιών σε θέση 0-14 mm κάτω από την πάνω επιφάνεια των κεφαλών, σχ. 3.1) ανέρχεται σε (τυπικά πλάτη)

1435 mm στις κανονικές γραμμές

1000 mm ή 750 mm στις στενές γραμμές

Κατά κανόνα το πλάτος μιας ΣΓ δεν πρέπει να ξεπερνά τα εξής όρια:

Τυπικό πλάτος mm	Ελάχιστο πλάτος mm	Μέγιστο πλάτος mm
1435	1430	1470
1000	995	1025
750	745	775



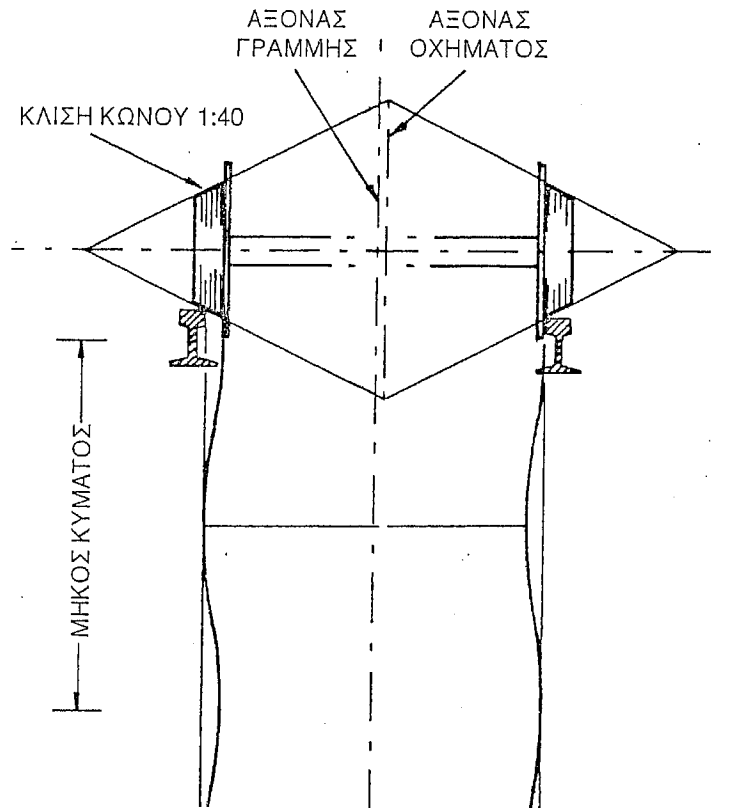
Σχ. 3.1. Άξονας τροχού σιδηροδρομικού οχήματος.

Κατά την κίνηση των συρμών σε κυκλικά τόξα ακτίνας μικρότερης των 175 m επιβάλλονται εν γένει διευρύνσεις των γραμμών. Τα ελάχιστα πλάτη των γραμμών για τις κανονικές γραμμές είναι στην περίπτωση αυτή:

Ακτίνα τόξου m	Πλάτος γραμμής m
150 - 175	1435
125 - 150	1440
100 - 125	1445

Η επιφάνεια επαφής του τροχού με την σιδηροτροχιά έχει μορφή κολούρου πυραμίδας με κλίση 1:40. Την ίδια κλίση παρουσιάζει και ο άξονας των σιδηροτροχιών σε σχέση με τον άξονα της γραμμής. Αυτός ο τρόπος κατασκευής τροχού και γραμμής επιφέ-

ρει την ημιτόνοειδή κίνηση των οχημάτων ενός συρμού στην ευθυγραμμία (σχ. 3.2).



Σχ. 3.2. Τρόπος επαφής τροχού και σιδηροτροχιάς.

3.1. Εκτροχιασμός

Κατά την κίνηση ενός οχήματος σε καμπύλη μεταβιβάζεται στο σημείο επαφής A του τροχού με την σιδηροτροχιά η κατακόρυφη δύναμη F_V (σχ. 3.3), ενώ ταυτόχρονα η στεφάνη του εξωτερικού τροχού σχηματίζει γωνία α με την κεφαλή της σιδηροτροχιάς στο σημείο B, με αποτέλεσμα να εμφανιστεί η οριζόντια δύναμη F_H .

Λόγω τριβής μεταξύ στεφάνης, τροχού και κεφαλής σιδηροτροχιάς εμφανίζεται στο σημείο B η κατακόρυφη δύναμη

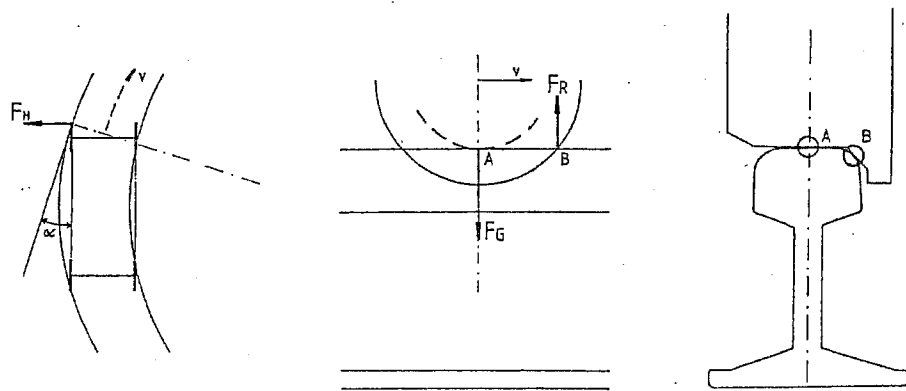
$$F_R = F_H \mu \quad (3.1)$$

μ = συντελεστής τριβής.

Στην περίπτωση που συμβεί

$$F_R > F_V \quad (3.2)$$

επέρχεται περιστροφή του τροχού γύρω από το σημείο B. Η περιστροφή αυτή επιφέρει έξοδο της στεφάνης του τροχού από την σιδηροτροχιά και επομένως εκτροχιασμό. Η σχέση (3.2) μπορεί να επαληθευθεί στην περίπτωση, που εμφανισθεί στένωση του πλάτους της γραμμής λόγω παραμόρφωσής της ή λόγω κίνησης του τροχού στην καμπύλη με την μη επιτρεπόμενη ταχύτητα (υπερβολική ταχύτητα).



Σχ. 3.3. Δυνάμεις στον τροχό οχήματος κατά την κίνηση σε καμπύλη.

3.2. Αντιστάσεις

Για να κινηθεί ένα όχημα πρέπει η προωθητική δύναμη F_z να είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των αντιστεκόμενων στην κίνηση δυνάμεων (αντιστάσεων) W .

Οι εμφανιζόμενες αντιστάσεις σε έναν συρμό διακρίνονται σε αυτές που εξαρτώνται από το βάρος του συρμού και σε αυτές που εξαρτώνται από την ταχύτητά του. Η αντίσταση, που αναφέρεται στο βάρος ονομάζεται ειδική αντίσταση και εκφράζεται ως

$$w = W/G \quad (3.3)$$

W = αντίσταση σε [N], G = βάρος σε [kN].

Η διάσταση της ειδικής αντίστασης w εκφράζεται σε [N/kN = ‰].

Οι αντιστάσεις, που αναφέρονται στο βάρος είναι:

1. Η αντίσταση κλίσεως w_a . Είναι η συνιστώσα του βάρους του συρμού στην διεύθυνση παράλληλα προς τον άξονα της γραμμής. Η συνιστώσα αυτή ισούται με

$$W_a = G \sin \alpha = G \tan \alpha = G_s \quad (3.4)$$

όπου s = η κατά μήκος κλίση της γραμμής [‰].

2. Η αντίσταση καμπυλότητας w_k . Προέρχεται κατά την καμπύλη κίνηση του συρμού και αντιστοιχεί στην καμπύλη τροχιά των οχημάτων. Η αντίσταση αυτή δίνεται από τις σχέσεις:

$$r \geq 300 \text{ m} \quad w_k = \frac{650}{r - 55} \quad (3.5)$$

$$r < 300 \text{ m} \quad w_k = \frac{500}{r - 30} \quad (3.6)$$

3. Η αντίσταση τριβής των τριβέων και η αντίσταση κύλισης w_c . Η αντίσταση αυτή είναι μικρή και ανέρχεται στο 1.5‰ περίπου. Οι αντιστάσεις, που οφείλονται στην ταχύτητα είναι οι παρακάτω τρεις:

(1) η αντίσταση του αέρα $w_{\text{αέρα}}$.

(2) η αντίσταση λόγω κραδασμών w_d , που προέρχεται από τις εγκάρσιες κινήσεις των τροχών.

(3) η αντίσταση επιτάχυνσης w_B , που προέρχεται από τις περιστροφικές κινήσεις των τροχών, των κιβωτίων μετάδοσης της κίνησης κ.λπ.

3.3. Κίνηση στο κυκλικό τόξο

Κατά την κυκλική κίνηση ενός οχήματος εμφανίζεται η φυγόκεντρη δύναμη F , η οποία ισούται με

$$F = \frac{m v^2}{r} = m a_q \quad (3.7)$$

όπου m = μάζα οχήματος/αμαξοστοιχίας [kg]

v = ταχύτητα οχήματος/αμαξοστοιχίας [m/sec]. (Για ταχύτητα εκπεφρασμένη σε km/h χρησιμοποιείται κεφαλαίο V και για την μετατροπή σε m/sec αντικαθίσταται $v = V/3.6$).

r = ακτίνα κυκλικού τόξου [m]

a_q = οριζόντια φυγόκεντρη επιτάχυνση [m/sec²]

Η επιτάχυνση a_q στην σχέση (3.7) είναι θεωρητική. Στην πραγματικότητα η εμφανιζόμενη εγκάρσια επιτάχυνση είναι ένα στοχαστικό μέγεθος. Η μέγιστη τιμή του μεγέθους αυτού δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή

$$\max a_q = 0.85 \text{ m/sec}^2 \quad (3.8)$$

για λόγους άνεσης της κίνησης στους επιβάτες. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις για λόγους οικονομίας μπορεί το όριο της εγκάρσιας επιτάχυνσης να μειωθεί στην τιμή

$$\text{reg } a_q = 0.65 \text{ m/sec}^2 \quad (3.9)$$

Από την σχέση (3.7) προκύπτει επομένως ότι

$$\max v = \sqrt{(r \text{ reg } a_q)} \quad \text{ή} \quad \max V = 2.91 \sqrt{r} \quad (3.10)$$

και
$$\min r = 0.118 V^2 \quad (3.11)$$

Οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν για μη υπερυψωμένες γραμμές. Βρίσκουν επομένως σε περιπτώσεις μελέτης γραμμών, που βρίσκονται κατά κανόνα σε περιοχές σιδηροδρομικών σταθμών.

Παράδειγμα:

Ποια είναι η επιτρεπόμενη ταχύτητα διέλευσης ενός συρμού από μια μη υπερυψωμένη γραμμή σε ακτίνα καμπύλης $r = 190$ m;

Λύση

$$\max V = 2.91 \sqrt{190} = 40.11 \text{ km/h}$$

Στις ευθυγραμμίες ισχύει $r = \infty$, οπότε θεωρητικά τουλάχιστον η φυγόκεντρη δύναμη και η εγκάρσια επιτάχυνση μηδενίζονται.

Στην περίπτωση, που μεταβάλλεται η ακτίνα καμπυλότητας κατά μήκος μιας γραμμής (αλληλουχίες τόξων διαφορετικών ακτίνων) στα σημεία επαφής των τόξων εμφανίζεται ασυνέχεια των ακτίνων r στα σημεία επαφής των τόξων και επομένως και της εγκάρσιας επιτάχυνσης. Η μεταβολή της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην μονάδα του χρόνου ονομάζεται «εγκάρσιο τινάγμα» και δίνεται από την σχέση

$$C = \frac{\Delta a_g}{\Delta t} \text{ [m/sec}^3\text{]} \quad (3.12)$$

Στην σιδηροδρομική η τιμή του εγκάρσιου τινάγματος C για λόγους άνεσης της κινήσεως στους επιβάτες δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή

$$\max C = 0.5 \text{ m/sec}^3 \quad (3.13)$$

Η παραπάνω οριακή τιμή προσδιορίζει τις συνθήκες αλληλουχίας ομόρροπων ή αντίρροπων κυκλικών τόξων ή ευθυγραμμιών και κυκλικών τόξων χωρίς να απαιτείται η παρεμβολή μεταξύ τους τόξων συναρμογής.

3.4. Αλληλουχίες τόξων

3.4.1. Αλληλουχία ευθείας - κυκλικού τόξου

Στην παρακάτω ανάλυση για λόγους διευκόλυνσης η καμπυλότητα $1/r$ θα πολλαπλασιαστεί με τον συντελεστή 1000. Με το δεδομένο αυτό η διαφορά στην τιμή καμπυλότητας στο σημείο επαφής της ευθυγραμμίας με το κυκλικό τόξο ανέρχεται σε

$$\Delta k = k_b - k_g = 1000/r - 0 = 1000/r \quad (3.14)$$

Ισχύει ο γενικός κανόνας: η άμεση αλληλουχία τόξων με διαφορετική τιμή καμπυλότητας στα σημεία επαφής (ασυνέχεια διαγράμ-

ματος καμπυλότητας) επιτρέπεται μόνον όταν η διαφορά Δk βρίσκεται μέσα στα εξής όρια,

$$\Delta k \leq 9000 / V^2 \quad \text{για } V \leq 100 \text{ km/h} \quad (3.15)$$

$$\Delta k \leq 7000 / V^2 \quad \text{για } 100 < V \leq 160 \text{ km/h} \quad (3.16)$$

$$\Delta k \leq 4000 / V^2 \quad \text{για } V > 160 \text{ km/h} \quad (3.17)$$

Στην περίπτωση, που δεν ισχύουν οι παραπάνω περιορισμοί απαιτείται η παρεμβολή μεταξύ των διαδοχικών τόξων ένα **τόξο συναρμογής**.

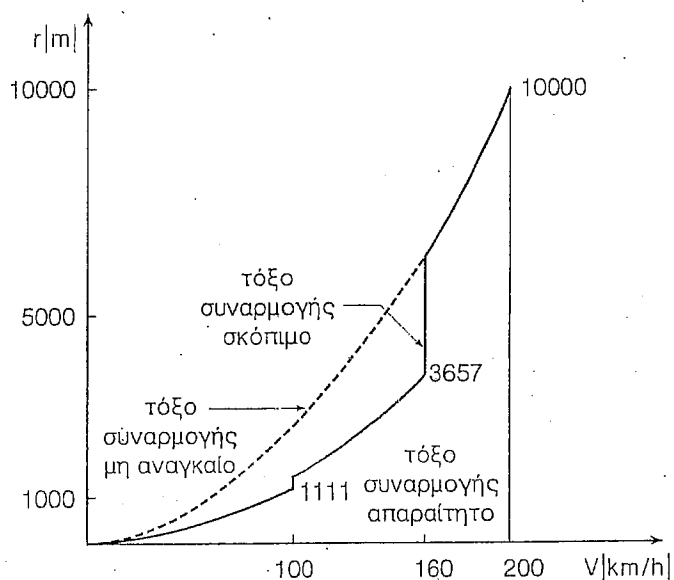
Ο συνδυασμός των σχέσεων (3.14) και (3.15) έως (3.17) δίνει για την επιτρεπόμενη αλληλουχία ευθυγραμμίας και κυκλικού τόξου τις συνθήκες:

$$\min r = V^2 / 9 \quad \text{για } V \leq 100 \text{ km/h} \quad (3.18)$$

$$\min r = V^2 / 7 \quad \text{για } 100 < V \leq 160 \text{ km/h} \quad (3.19)$$

$$\min r = V^2 / 4 \quad \text{για } V > 160 \text{ km/h} \quad (3.20)$$

Η γραφική παράσταση των παραπάνω συνθηκών φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ. 3.4. Συνθήκες αλληλουχίας ευθυγραμμίας-κυκλικού τόξου.

3.4.2. Αλληλουχία κυκλικών τόξων

Στην περίπτωση διαδοχικών κυκλικών τόξων (π.χ. κανιστροειδείς καμπύλες) η εμφανιζόμενη διαφορά καμπυλότητας στο σημείο επαφής των δύο κυκλικών τόξων είναι:

$$\Delta k = \frac{r_1 \pm r_2}{r_1 r_2} 1000 \left[\begin{array}{l} + \text{ σε αντίρροπα} \\ - \text{ σε ομόρροπα} \end{array} \right. \text{ κυκλικά τόξα} \quad (3.21)$$

r_1 και $r_2 = 0$ και $r_1 > r_2$. Ο συνδιασμός των σχέσεων (3.15) έως (3.17) με την σχέση (3.21) δίνει τελικά τα όρια της επιτρεπόμενης ταχύτητας $zul V$ για να ισχύουν τα όρια του εγκάρσιου τινάγματος:

$$zul V = a \sqrt{\frac{r_1 r_2}{r_1 \pm r_2}} \left[\begin{array}{l} + \text{ σε αντίρροπα} \\ - \text{ σε ομόρροπα} \end{array} \right. \text{ κυκλικά τόξα} \quad (3.22)$$

$$\begin{array}{ll} \text{με } a = 3 & \text{για } V \leq 100 \text{ km/h} \\ a = 2.65 & \text{για } 100 < V \leq 160 \text{ km/h} \\ a = 2 & \text{για } V > 160 \text{ km/h} \end{array}$$

Στην περίπτωση αντίρροπων διαδοχικών κυκλικών τόξων κατά την οποία δεν ικανοποιούνται οι παραπάνω συνθήκες και δεν είναι δυνατή η παρεμβολή ενός τόξου συναρμογής (π.χ. περίπτωση αλλαγών γραμμής), τότε το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπισθεί με την παρεμβολή ενός ευθύγραμμου τμήματος ικανού μήκους σύμφωνα με τα δεδομένα της προηγούμενης παραγράφου. Το ελάχιστο μήκος I_z του ευθύγραμμου αυτού τμήματος είναι:

$$\min I_z = 6 \text{ m} \quad (3.23)$$

και

$$I_z \geq 0.10 \text{ zul } V \quad \text{για } \text{zul } V \leq 70 \text{ km/h} \quad (3.24)$$

$$I_z \geq 0.15 \text{ zul } V \quad \text{για } 70 < \text{zul } V \leq 130 \text{ km/h} \quad (3.25)$$

$$I_z \geq 0.20 \text{ zul } V \quad \text{για } \text{zul } V > 130 \text{ km/h} \quad (3.26)$$

Επιπλέον θα πρέπει εκτός των παραπάνω περιορισμών στις περιπτώσεις των αντίρροπων κυκλικών τόξων να ικανοποιείται η συνθήκη:

$$\Delta k \leq 10 \quad (3.27)$$

Παράδειγμα:

Δίνεται κυκλικό τόξο ακτίνας $r = 1800$ m. Πόση είναι η επιτρεπόμενη ταχύτητα στην καμπύλη όταν ακολουθεί ομόρροπο κυκλικό τόξο ακτίνας $r = 600$ m;

Λύση

Ισχύει ότι

$$zul V = 3 \sqrt{\frac{1800 \cdot 600}{1800 - 600}} = 90 \text{ km/h}$$

Αν ακολουθούσε αντίρροπο κυκλικό τόξο πόση έπρεπε να είναι η ακτίνα του, προκειμένου η ταχύτητα ενός διερχόμενου να μπορούσε να λάβει τιμή 100 km/h;

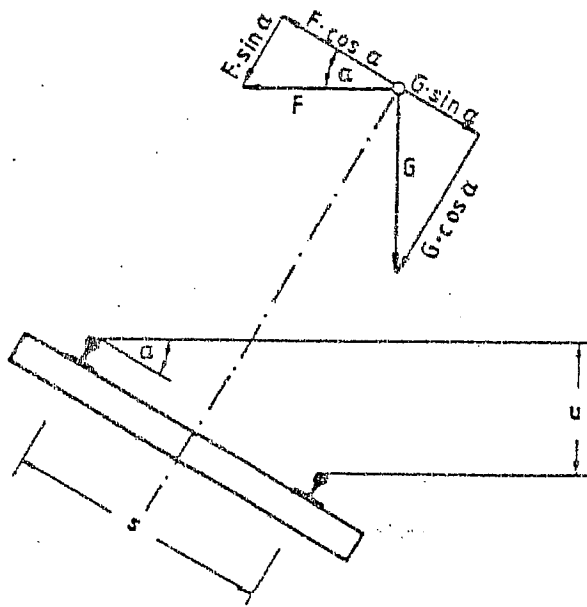
Λύση

Ισχύει

$$r_2 = \frac{100^2 \cdot 1800}{9 \cdot 1800 - 100^2} = 2903.22 \text{ m}$$

3.5. Υπερύψωση γραμμής

Όσα περιγράφηκαν παραπάνω αναφέρονται σε μη υπερυψωμένες ΣΓ. Οι μη υπερυψωμένες ΣΓ εφαρμόζονται σε ειδικές περιπτώσεις. Συνήθως όμως οι ΣΓ παρουσιάζουν μια εγκάρσια κλίση, η οποία δημιουργείται αν περιστραφεί η εξωτερική σιδηροτροχιά κατά γωνία «α» ως προς την εσωτερική σιδηροτροχιά. Με τον τρόπο αυτό η εξωτερική σιδηροτροχιά «υπερυψούται» κατά «υ» ως προς εσωτερική (σχ. 3.5).



Σχ. 3.5. Υπερύψωση σιδηροδρομικής γραμμής.

Η εσωτερική σιδηροτροχιά αντιπροσωπεύει την **γραμμή αναφοράς** για την υψομετρική διαμόρφωση των σιδηροτροχιών, δηλαδή η «ερυθρά» της μηκοτομής της ΣΓ ταυτίζεται με την εσωτερική σιδηροτροχιά και **όχι** με τον άξονά της ΣΓ.

Το μέγεθος της υπερύψωσης u εξαρτάται από την γωνία α και το πλάτος της γραμμής s . Μεταξύ τους ισχύει η σχέση

$$\sin \alpha = u/s \quad (3.28)$$

Η εφαρμογή μιας υπερύψωσης σε μια ΣΓ από δυναμική άποψη επιφέρει αλλαγή στα μεγέθη των δυνάμεων του βάρους και της φυγοκέντρωσης στα επίπεδα, που ορίζονται κάθετα και παράλληλα προς το επίπεδο της γραμμής. Από τις διάφορες τιμές της υπερύψωσης u υπάρχει η τιμή u_0 , η οποία καλείται **εξισορροπημένη υπερύψωση** και η οποία έχει την ιδιότητα να μηδενίζει την οριζόντια συνιστώσα της φυγοκέντρωσης δύναμης. Η τιμή u_0 εμφανίζεται, όταν οι συνιστώσες του βάρους και της φυγόκεντρης στο παράλληλο προς το επίπεδο της γραμμής επίπεδο εξισωθούν.

$$F \cos \alpha = G \sin \alpha \quad (3.29)$$

Από την σχέση αυτή εύκολα προκύπτει μετά τις σχετικές αντικαταστάσεις ότι η εξισορροπημένη υπερύψωση u_0 ισούται με

$$u_0 = \frac{s v^2}{r g} \quad (3.30)$$

Ειδικά για το τυπικό πλάτος $s = 1500$ mm προκύπτει ότι ($g = 9.81$ m/sec²),

$$u_0 = 11.8 \frac{v^2}{r} \quad (3.31)$$

Για τους επιβάτες των αμαξοστοιχιών η κίνηση σε μια καμπύλη, η οποία είναι υπερυψωμένη κατά u_0 έχει ως συνέπεια την εντύπωση ότι η αμαξοστοιχία κινείται σε ευθύγραμμο τμήμα. Η εφαρμογή της τιμής u_0 κρίνεται σκόπιμη παρόλα αυτά μόνο στις περιπτώσεις εκείνες, όπου είναι δυνατό οι διάφοροι τύποι αμαξοστοιχιών (επιβατηγές, εμπορευματικές, μετρό κ.λπ.) να κινούνται με την ίδια ταχύτητα.

Γενικά όσον αφορά τα όρια στις τιμές της υπερύψωσης μιας ΣΓ ισχύουν τα παρακάτω:

α) Η μέγιστη τιμή της είναι 150 mm.

β) Η ελάχιστη μη μηδενική τιμή της είναι 20 mm. Στην περίπτωση, που προκύψει τιμή της υπερύψωσης μικρότερης των 20 mm, τότε αυτή μηδενίζεται.

γ) Κάθε υπολογιζόμενη τιμή της υπερύψωσης στρογγυλεύεται στα 5 mm προς τα επάνω (π.χ. 101 → 105, 124 → 125 κ.λπ.).

δ) Σε περιπτώσεις ακτίνων μικρότερων των 275 m η υπερύψωση της γραμμής δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή

$$u \leq (r - 50) / 1.5 \quad (r[\text{m}], u[\text{mm}]) \quad (3.32)$$

ε) Σε σταθμούς και αλλαγές γραμμών η τιμή της υπερύψωσης u δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 100 mm.

3.5.1. Υπολογισμός υπερύψωσης

Επειδή κατά κανόνα δεν είναι δυνατό οι διάφοροι τύποι αμαξοστοιχιών να κινούνται με την ίδια ταχύτητα σε μια ΣΓ, η τιμή της υπερύψωσης, που πρέπει να υλοποιηθεί είναι διαφορετική από αυτή της εξισορροπημένης. Ο υπολογισμός της κατάλληλης τιμής της υπερύψωσης, που πρέπει να υλοποιηθεί σε μια ΣΓ απαιτεί μια διαδικασία, η οποία ανάγεται στον υπολογισμό των επιτρεπόμενων άνω και κάτω ορίων απόκλισης της υπερύψωσης από την τιμή της εξισορροπημένης υπερύψωσης. Τα άνω και κάτω αυτά όρια της απόκλισης ορίζονται από τις επιτρεπόμενες τιμές της υπολειπόμενης και περίσσειας υπερύψωσης.

3.5.1.1. Υπολειπόμενη υπερύψωση

Όταν μια αμαξοστοιχία κινείται σε μια καμπύλη, στην οποία η υπάρχουσα υπερύψωση είναι $\nu \text{orh } u$, με ταχύτητα μεγαλύτερη από

$$V = \sqrt{\frac{r \cdot \nu \text{orh } h u}{11.5}} \quad (3.33)$$

τότε στο επίπεδο της γραμμής εφαρμόζεται μια δύναμη με κατεύθυνση προς την εξωτερική πλευρά της γραμμής ίσης προς

$$F_f = F \cos \alpha - G \sin \alpha \quad (3.34)$$

Η επιτάχυνση, που προκαλείται από την δύναμη αυτή είναι ίση με

$$a_f = (v^2 \cos \alpha) / r - g \sin \alpha \quad (3.35)$$

Από την σχέση αυτή επειδή $\sin \alpha = \nu \text{orh } u/s$ και $\cos \alpha \approx 1$ προκύπτει ότι

$$a_f = (g/s) (u_0 - \nu \text{orh } u) \quad (3.36)$$

Για την τιμή a_f της σχέσης (3.36) ισχύουν τα όρια των 0.65 (0.85) m/sec^2 . Από την σχέση (3.36) η υπερύψωση, που αντιστοιχεί στην τιμή

$$u_f = a_f (s/g) \quad (3.37)$$

δίνει την τιμή κατά την οποία υπολείπεται η υπάρχουσα τιμή u_0 από την τιμή της εξισορροπημένης υπερύψωσης u_0 . Η τιμή αυτή καλείται **υπολειπόμενη υπερύψωση** και η μέγιστη τιμή της ανέρχεται σε 100 mm (αντιστοιχεί στην $reg a_f$) ή σε εξαιρετικές περιπτώσεις σε 130 mm (0.85 m/sec^2). Χαμηλότερα όρια τίθενται σε ειδικές περιπτώσεις, π.χ. 80 mm σε περιοχές με υποχρεωτικά σημεία κ.λπ.

Το γεγονός ότι έχουν τεθεί όρια στις τιμές u_0 και u_f σημαίνει στην ουσία ότι μια υπερύψωση δεν μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή, αλλά για μια συγκεκριμένη **μέγιστη** ταχύτητα σε ένα τόξο ακτίνας r η υπερύψωση δεν μπορεί να κατέλθει κάτω από την τιμή

$$\min u = u_0 - u_f \quad (3.38)$$

Συνήθως είναι $\min u > 0$. Εν τούτοις είναι δυνατό να εμφανιστεί αρνητική τιμή της $\min u$ όταν $u_0 < u_f$. Η δυνατότητα αυτή εμφανίζεται π.χ. σε υπερυψωμένες αλλαγές γραμμών.

3.5.1.2. Περίσσεια υπερύψωσης

Στην περίπτωση, που μια αμαξοστοιχία διέλθει μια καμπύλη με υπερύψωση u_0 με ταχύτητα μικρότερη από αυτή, που αντιστοιχεί στην ταχύτητα ώστε $u_0 = u_f$, τότε εμφανίζεται η δύναμη

$$F_u = G \sin \alpha - F \cos \alpha \quad (3.39)$$

η οποία έχει κατεύθυνση προς το εσωτερικό της καμπύλης. Η προκύπτουσα επιτάχυνση a_u ισούται με

$$a_u = (g/s) (vorh u - u_0) \quad (3.40)$$

από την οποία τελικά προκύπτει, δεδομένου ότι ισχύουν και εδώ ανώτατα όρια για την επιτάχυνση a_u , ότι η επιτρεπόμενη υπερύψωση $zul u$ δεν μπορεί να υπερβαίνει την τιμή

$$zul u = u_0 + u_u \quad (3.41)$$

Το μέγεθος u_u καλείται **περίσσεια υπερύψωσης** και υποδεικνύει κατά πόσο η υπάρχουσα υπερύψωση υπερβαίνει την εξισορροπημένη υπερύψωση. Δεδομένου ότι η τιμή u_u ευθύνεται για την φθορά της επιδομής της γραμμής, γιατί όσο μεγαλύτερη είναι τόσο και μεγαλύτερη η καταπόνηση των σιδηροτροχιών από δυνάμεις προς το εσωτερικό των γραμμών, τίθενται ανώτατα επιτρεπόμενα όρια στις τιμές της περίσσειας της υπερύψωσης $zul u_u$. Τα όρια αυτά εξαρτώνται από τα ημερήσια συνολικά φορτία των εμπορευματικών αμαξοστοιχιών, που διέρχονται από την γραμμή και δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1. Ανώτατα όρια περίσσειας υπερύψωσης.

Ημερήσιο συνολικό φορτίο εμπορευματικών αμαξοστοιχιών [t]	Ανώτατα όρια περίσσειας υπερύψωσης $zul u_u$ [mm]
< 10000	100
10000 – 30000	90
30000 – 60000	70
> 60000	50

3.5.1.3. Υπερύψωση με μικτή κυκλοφορία

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες δύο παραγράφους η τιμή, που μπορεί να λάβει η υπερύψωση σε μια κα-

μπύλη μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ της $\min u$ και της $\text{zul } u$ (γραμμωσσιασμένο τμήμα σχήματος 3.6). Η ελάχιστη τιμή επιτρέπει την διέλευση στις επιβατηγές, ενώ η μέγιστη τιμή στις εμπορευματικές αμαξοστοιχίες. Το σημείο τομής των καμπυλών, που αντιπροσωπεύουν τις τιμές των $\min u$ και $\text{zul } u$ είναι χαρακτηριστικό δεδομένου ότι η τιμή της ακτίνας r και της υπερύψωσης u , που αντιστοιχούν στο σημείο αυτό ορίζουν τα μονοσήμαντα όρια της ελάχιστης επιτρεπόμενης ακτίνας και της μέγιστης υπερύψωσης για την μικτή κυκλοφορία. Η τιμή της υπερύψωσης, που αντιστοιχεί στην τιμή $\min r$, υπολογίζεται αν τεθεί

$$\min u = \text{zul } u \quad (3.42)$$

απ' όπου τελικά προκύπτει

$$u_{(\min r)} = \frac{\text{zul } V^2 \text{ zul } u_u + V_G Z^2 \text{ zul } u_f}{\text{zul } V^2 - V_G Z^2} \quad (3.43)$$

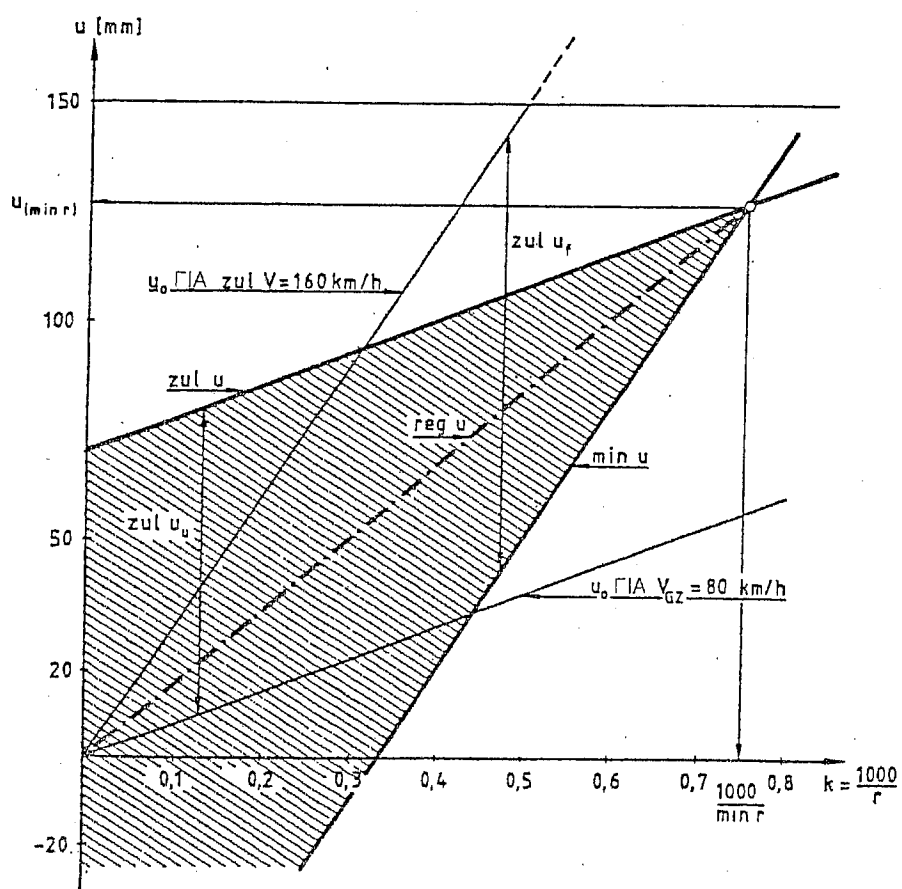
Όμοια μπορεί να υπολογιστεί και η τιμή της $\min r$. Προκύπτει

$$\min r = (11.8 \text{ zul } V^2) / (u_{(\min r)} + \text{zul } u_f) \quad (3.44)$$

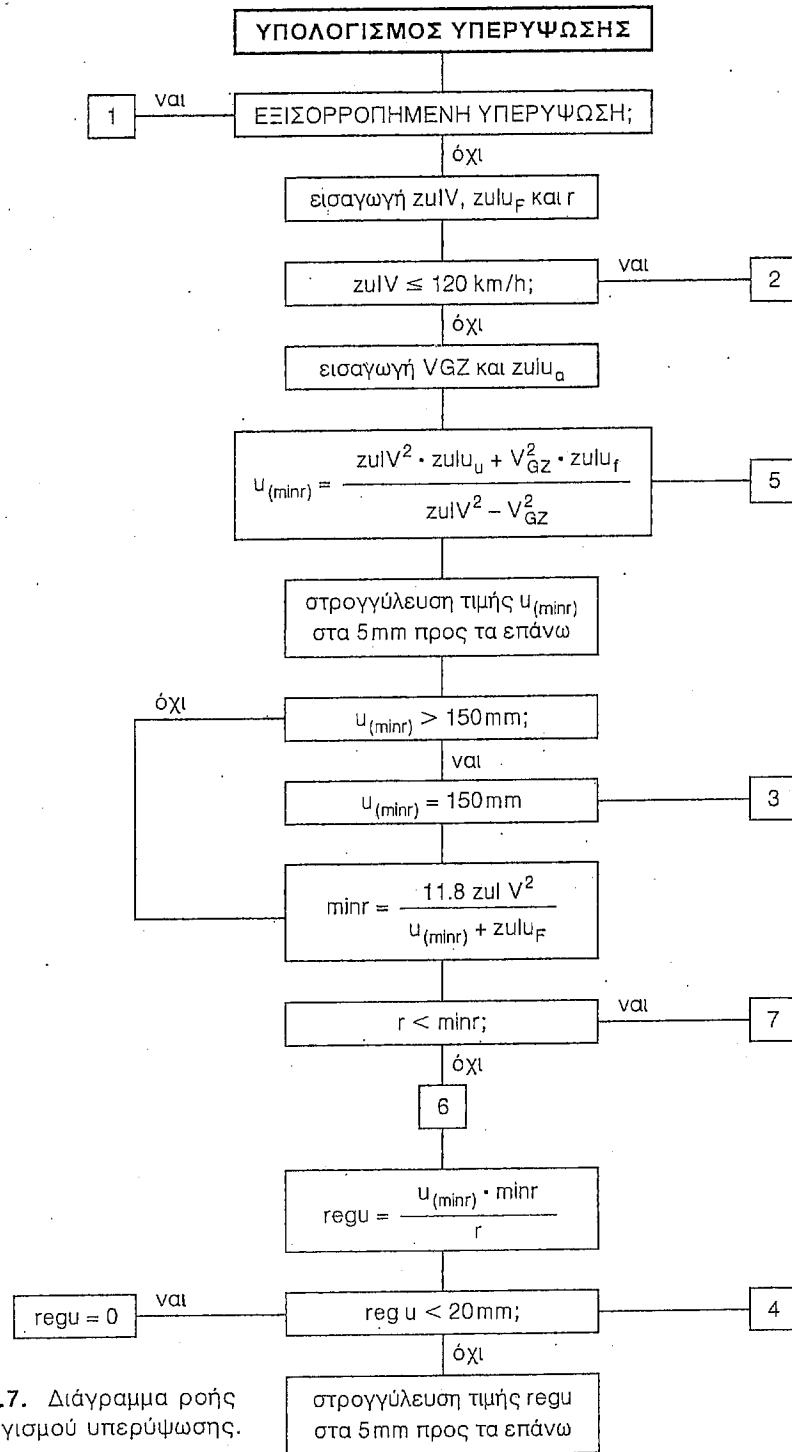
Προκειμένου τελικά να είναι δυνατός ο υπολογισμός μιας υπερύψωσης για τιμές της ακτίνας $r > \min r$, ορίζεται η **τυπική τιμή** $\text{reg } u$ της υπερύψωσης ως η υπερύψωση, που αντιστοιχεί στις τιμές της ευθείας, που ενώνει την μηδενική τιμή «0» με την τιμή $(u_{(\min r)}, \max k)$ του διαγράμματος του σχήματος 3.6. Επομένως για οποιαδήποτε τιμή r η τυπική υπερύψωση $\text{reg } u$ ισούται με

$$\text{reg } u = \frac{u_{(\min r)} \min r}{r} \quad (3.45)$$

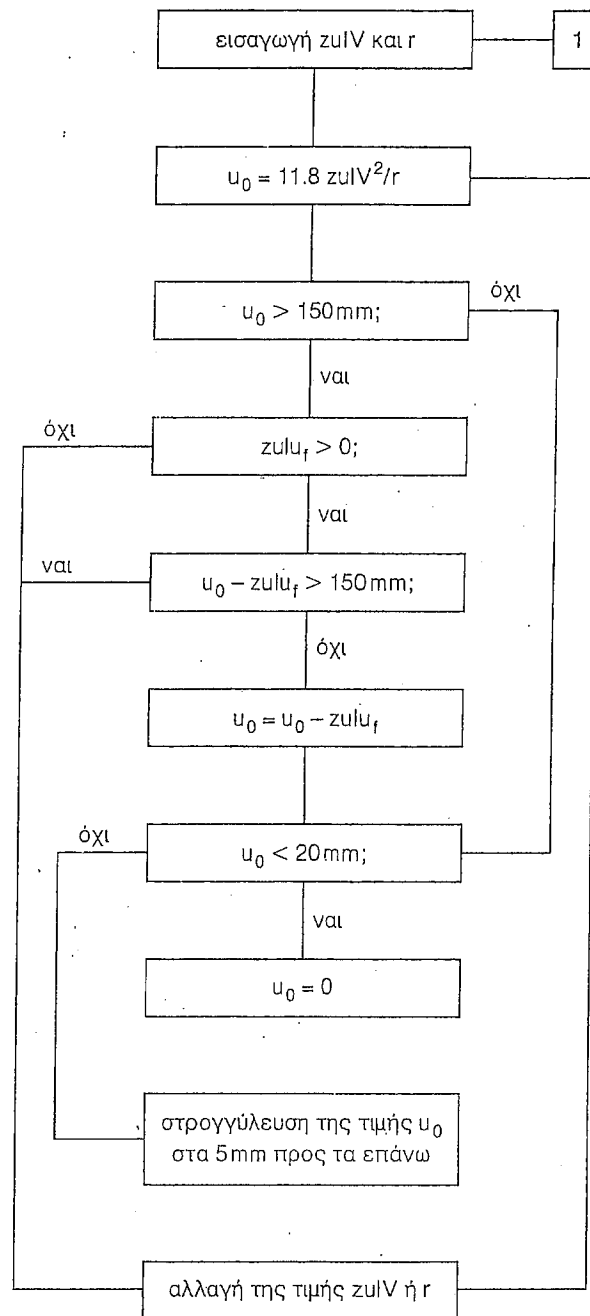
Η ροή των εργασιών για τον προσδιορισμό της υπερύψωσης σε μια καμπύλη φαίνεται στο διάγραμμα ροής του σχήματος 3.7.

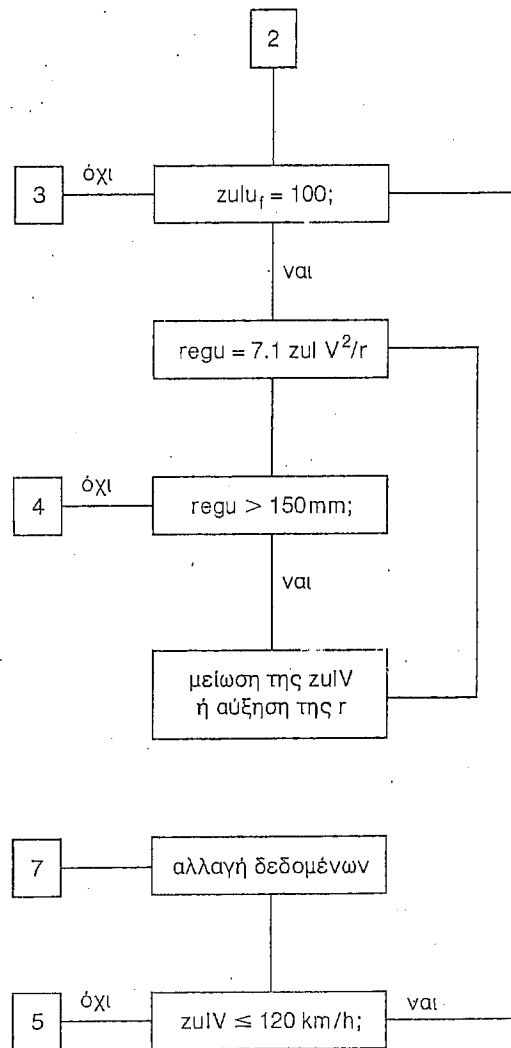


Σχ. 3.6. Υπολογισμός τυπικής υπερύψωσης.



Σχ. 3.7. Διάγραμμα ροής υπολογισμού υπερύψωσης.





3.5.2. Ράμπα υπερύψωσης

Οι ράμπες υπερύψωσης χρησιμεύουν για την μετάβαση από μια τιμή της υπερύψωσης στην άλλη. Είναι τμήματα ΣΓ μήκους l_R , κατά μήκος των οποίων η εξωτερική σιδηροτροχιά μεταβάλλει την υπερύψωσή της, ώστε να υπάρχει μετάβαση από την τιμή u_1 στην τιμή u_2 . Επειδή αυτή η συναρμογή της υπερύψωσης προκαλεί περιστροφή των αμαξοστοιχιών γύρω από τον κατά μήκος άξονά τους, τίθεται ένα αποδεκτό όριο στον ρυθμό περιστροφής του επιπέδου της ΣΓ, που εκφράζεται από την κλίση $\tan \alpha$ της ράμπας. Το όριο αυτό είναι

$$\tan \alpha = 1:m \leq 1:400 \text{ (1:600 σε νέες χαράξεις)} \quad (3.46)$$

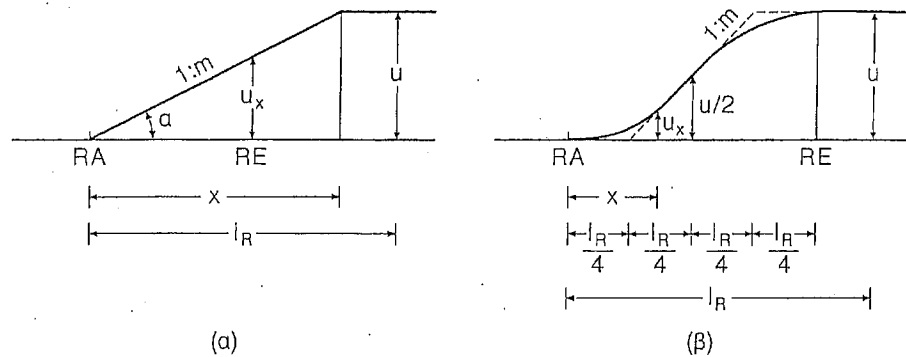
και

$$\tan \alpha = 1:m \leq 1:(10 \text{ zul V}) \quad (3.47)$$

ενώ σε εξαιρετικές περιπτώσεις το όριο αυτό μπορεί να αυξηθεί στην τιμή

$$\tan \alpha = 1:m \leq 1:(8 \text{ zul V}) \quad (3.48)$$

Η ράμπα υπερύψωσης εμφανίζεται στα σχέδια μελέτης ΣΓ ως μηκοτομή των σιδηροτροχιών (σχ. 3.8).

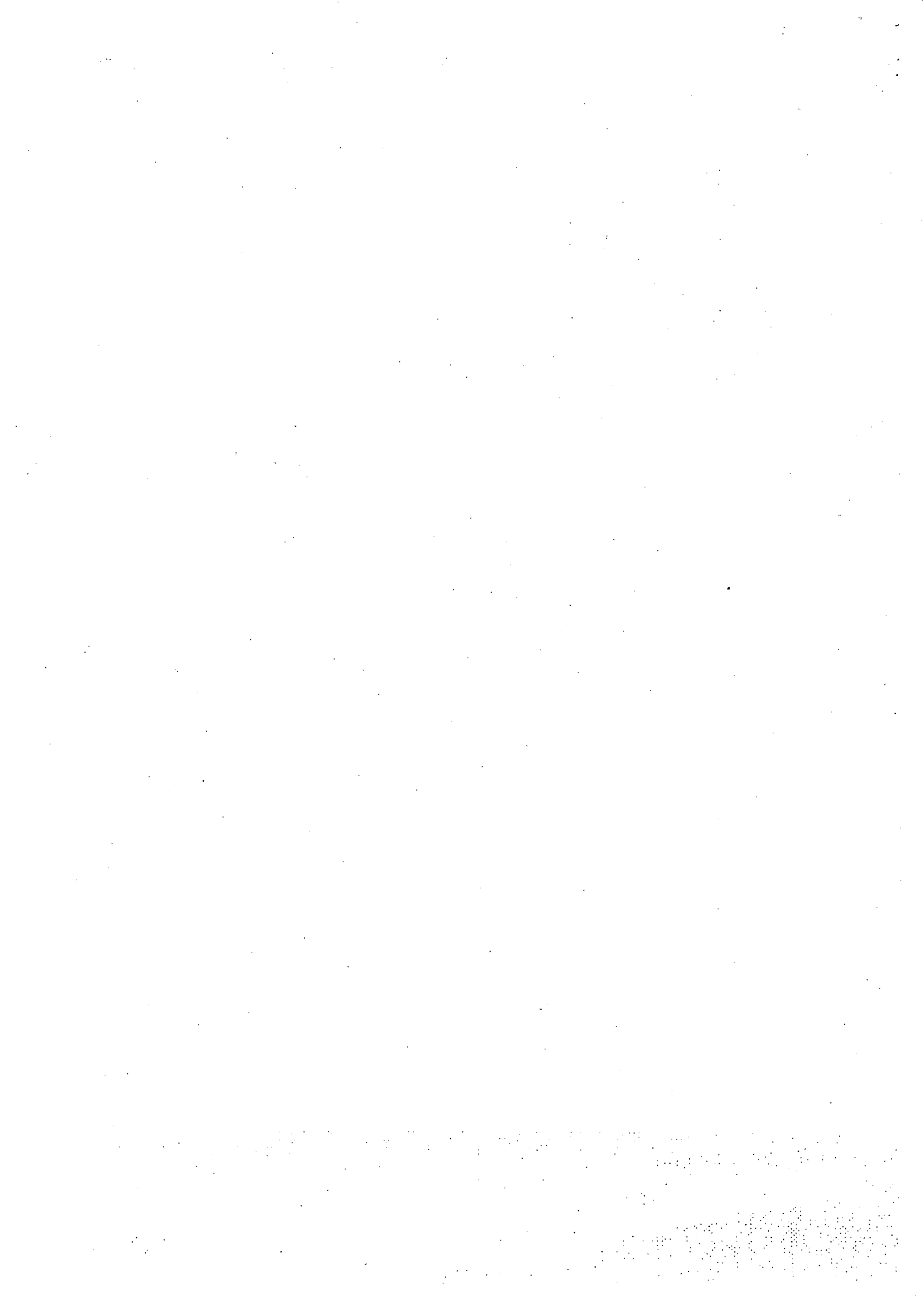


Σχ. 3.8. Ράμπα υπερύψωσης.

Από το σχήμα 3.8 προκύπτει ότι το μήκος l_R ισούται με

$$l_R = m \Delta u \quad (3.49)$$

από την οποία τελικά προκύπτει



$$l_R \geq \left[\frac{400 \Delta u}{10 \text{ zul V } \dot{\eta} \Delta u} \right] \quad (3.50)$$

Προφανώς καθοριστικό μέγεθος είναι η μεγαλύτερη τιμή των δύο παραπάνω ορίων.

Σε μια τυχούσα θέση της ράμπας η τιμή της υπερύψωσης είναι (γραμμική μεταβολή)

$$u_x = \frac{\Delta u}{l_R} x + u_{RA} \quad (3.51)$$

όπου u_{RA} αντιπροσωπεύει την τιμή της υπερύψωσης στην αρχή της ράμπας.

Στο σχήμα 3.8 η γραμμική μεταβολή της υπερύψωσης έχει σαν μειονέκτημα τις κάμψεις στην αρχή και στο τέλος της μηκοτομής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία επαφής δύο διαδοχικών ραμπών. Για τον λόγο αυτό το ελάχιστο μήκος ΣΓ, που πρέπει να διατηρεί σταθερή υπερύψωση είναι 0.1 zul V.

Ο περιορισμός αυτός είναι περιττός στην περίπτωση μη γραμμικής συναρμογής της υπερύψωσης. Η πιο απλή μορφή μη γραμμικής συναρμογής είναι η περίπτωση της παραβολοειδούς μεταβολής της υπερύψωσης (σχ. 3.9β). Ένα δεύτερο πλεονέκτημα στην περίπτωση αυτή είναι και η δυνατότητα διπλασιασμού των ορίων της κατά μήκος κλίσης της ράμπας

$$\tan \alpha = 1:m \leq 1:(5 \text{ zul V}) \dot{\eta} 1:(4 \text{ zul V}) \quad (3.52)$$

Το μήκος l_R επίσης διπλασιάζεται

$$l_R \geq \left[\frac{800 \Delta u}{10 \text{ zul V } \dot{\eta} \Delta u} \right] \quad (3.53)$$

Για την τιμή της υπερύψωσης στην τυχούσα θέση x ισχύει

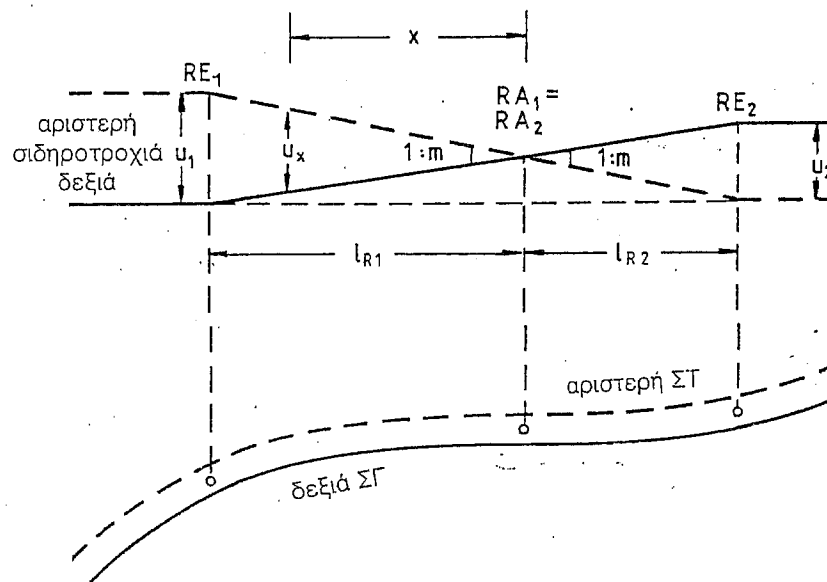
$$u_x = \frac{2 \Delta u x^2}{l_R^2} \quad (3.53)$$

για το πρώτο ήμισυ του μήκους της ράμπας και

$$u_x = \Delta u - \frac{2 \Delta u (l_R - x)^2}{l_R^2} \quad (3.54)$$

για το υπόλοιπο.

Στην περίπτωση ύπαρξης τόξων συναρμογής τα μήκη των ραμπών ταυτίζονται με τα μήκη των τόξων συναρμογής. Όταν δύο αντίρροπα τόξα συναρμογής εφάπτονται μεταξύ τους (περίπτωση σιγμοειδών καμπυλών) τότε κατά απόκλιση προς τον κανόνα περιστροφής των σιδηροτροχιών, περιστρέφονται και οι δύο σιδηροτροχιές κατά τρόπο, ώστε η τιμή ανόδου της μιας σιδηροτροχιάς να ισούται με την τιμή καθόδου της άλλης. Αποτέλεσμα αυτής της περιστροφής των σιδηροτροχιών είναι η ράμπα υπερύψωσης να λάβει την χαρακτηριστική μορφή «X» ή μορφή ψαλιδιού (σχ. 3.9).



Σχ. 3.9. Ψαλιδωτή μορφή ράμπας υπερύψωσης.

Βιβλιογραφία

- R. Fuermetz. Der Gleisplan. Geometrische Grundlagen im Schienenverkehrswesen. Bauverlag, Wiesbaden 1985.
 V. Matthews. Bahnbau. Teubner Studienskripten. B.G. Teubner, Stuttgart 1986.