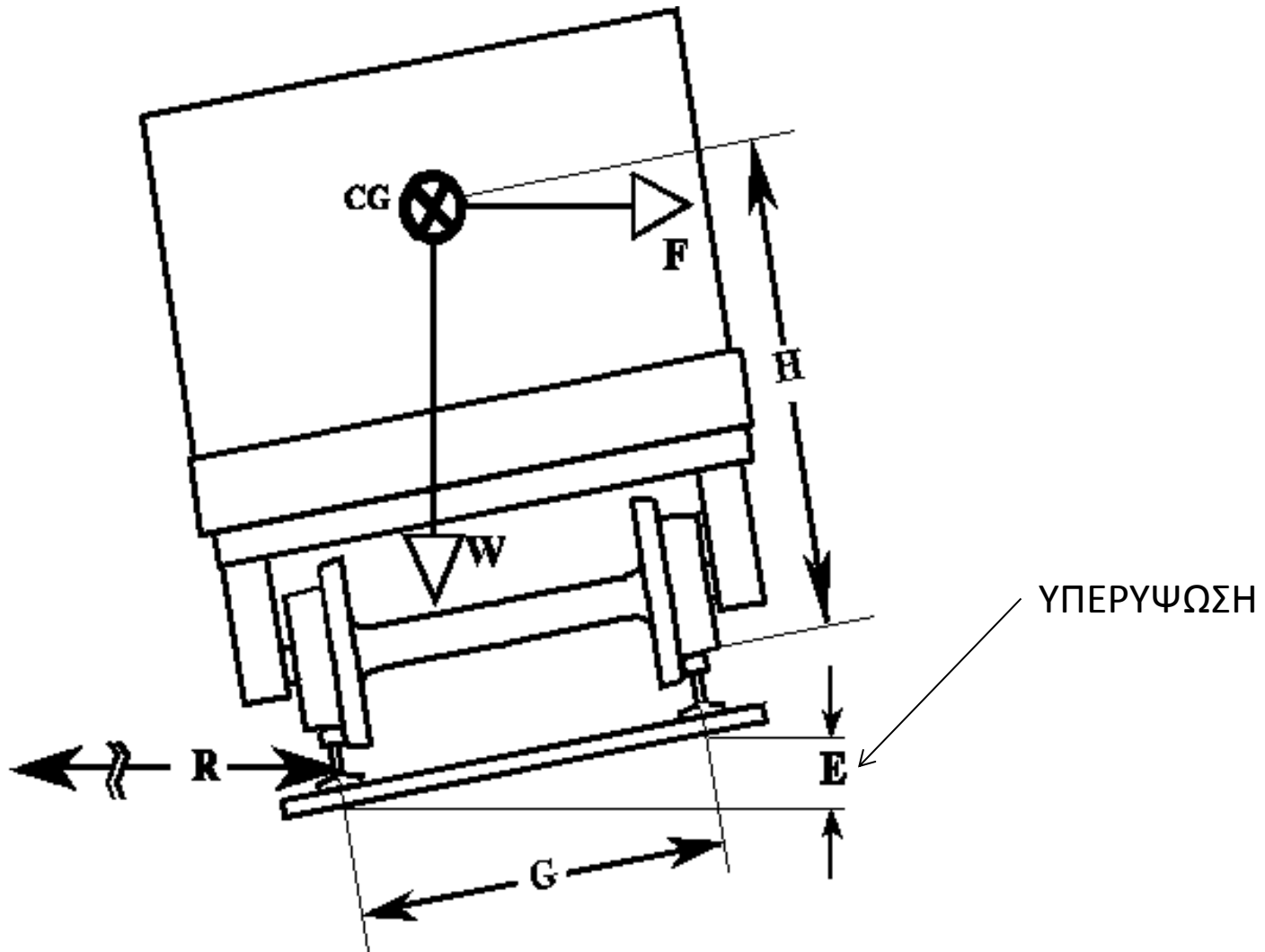


Κίνηση Συρμού σε Κυκλικό Τόξο

Βασικά Στοιχεία Χάραξης



Κίνηση σε Καμπύλη Χωρίς Υπερύψωση

$$F = \frac{mv^2}{r} = ma_q$$

όπου:

m : μάζα οχήματος (kgr)

V : ταχύτητα συρμού (m/sec) [$v_{(km/h)} = v_{(m/sec)} / 3.6$]

r : ακτίνα κυκλικού τόξου (m)

a_q : οριζόντια φυγόκεντρη επιτάχυνση (m/sec²)

$\max a_q = 0.85 \text{ m/sec}^2$ με κριτήριο την άνεση των επιβαινόντων

$\text{reg } a_q = 0.65 \text{ m/sec}^2$ τυπική υπερύψωση για λόγους οικονομίας

Τότε [V (km/h), r (m), $\text{reg } a_q$ (m/sec²)]:

$$\max v = \sqrt{r \times \text{reg } a_q} \quad \text{ή} \quad \max v = 2.91\sqrt{r} \quad \text{ή} \quad \min r = 0.118v^2$$

Εγκάρσιο Τίναγμα

$$C = \frac{\Delta a_q}{\Delta t}$$

όπου:

C : εγκάρσιο τίναγμα (m/sec³)

a_q : οριζόντια φυγόκεντρη επιτάχυνση (m/sec²)

t : χρόνος (sec)

max C = 0.50 m/sec³ με κριτήριο την άνεση των επιβαινόντων

Η τιμή του max C προσδιορίζει τις συνθήκες αλληλουχίας

- **ομόρροπων ή αντίρροπων κυκλικών τόξων**
- **ευθυγραμμιών και κυκλικών τόξων**

χωρίς να απαιτείται η παρεμβολή τόξου συναρμογής μεταξύ τους

Αλληλουχία Ευθείας – Κυκλικού Τόξου

$$\Delta K \leq 9000 / V^2 \quad \text{για } V \leq 100 \text{ km/h}$$

$$\Delta K \leq 7000 / V^2 \quad \text{για } 100 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$$

$$\Delta K \leq 4000 / V^2 \quad \text{για } V > 160 \text{ km/h}$$

όπου:

$$\Delta K = 1000/r_{\text{cir}} - 1000/r_{\text{tan}} = 1/r_{\text{cir}} \quad (\times 1000 \text{ για λόγους ευκολίας})$$

V : ταχύτητα συρμού (km/h)

ή

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

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

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

**σε διαφορετική περίπτωση απαιτείται
η παρεμβολή οριζόντιου τόξου συναρμογής**

Αλληλουχία Κυκλικών Τόξων (1/2)

$$\Delta K = \frac{r_1 \pm r_2}{r_1 r_2} 1000$$

[(-) ομόρροπα, (+) αντίρροπα]

$$r_1 > r_2$$

$$zulV = a \sqrt{\frac{r_1 r_2}{r_1 \pm r_2}}$$

[(-) ομόρροπα, (+) αντίρροπα]

$$r_1 > r_2$$

όπου:

zulV : επιτρεπόμενη ταχύτητα συρμού (km/h)

r_i : ακτίνα καμπύλης (m)

$$a = 3.00 \quad \text{για } V \leq 100 \text{ km/h}$$

$$a = 2.65 \quad \text{για } 100 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$$

$$a = 2.00 \quad \text{για } V > 160 \text{ km/h}$$

Αλληλουχία Κυκλικών Τόξων (2/2)

σε περίπτωση αντίρροπων τόξων όταν δεν ικανοποιούνται οι παραπάνω συνθήκες και δεν είναι δυνατή η παρεμβολή οριζόντιου τόξου συναρμογής (πχ. περίπτωση αλλαγών γραμμής), τότε δύναται να παρεμβληθεί ευθύγραμμο τμήμα μήκους l_z όπου:

$$\min l_z = 6\text{m}, \Delta K \leq 10$$

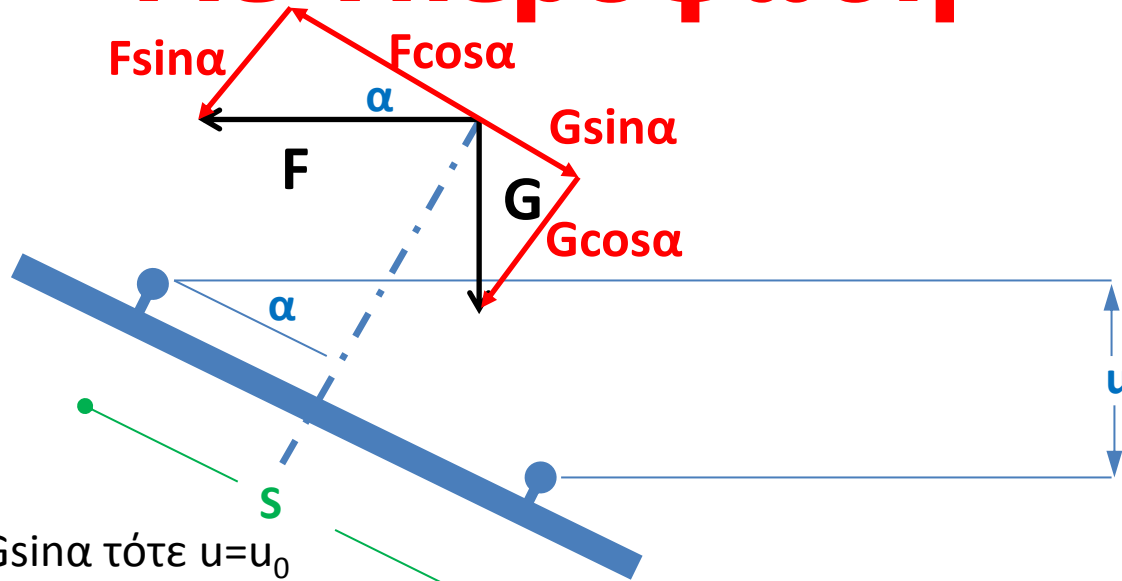
και

$$l_z \geq 0.10 z_{ulV} \quad \text{για } z_{ulV} \leq 70\text{km/h}$$

$$l_z \geq 0.15 z_{ulV} \quad \text{για } 70 \text{ km/h} < z_{ulV} \leq 130\text{km/h}$$

$$l_z \geq 0.20 z_{ulV} \quad \text{για } z_{ulV} > 130\text{km/h}$$

Κίνηση σε Καμπύλη Με Υπερύψωση



όταν $F \cos \alpha = G \sin \alpha$ τότε $u = u_0$

$$\frac{mv^2}{r} \cos \alpha = mg \sin \alpha \rightarrow \frac{v^2}{r} = g \frac{u_0}{s} \rightarrow u_0 = \frac{sv^2}{rg} \rightarrow u_0 = 11.8 \frac{v^2}{r}$$

όπου

u_0 : υπερύψωση ισορροπίας (mm)

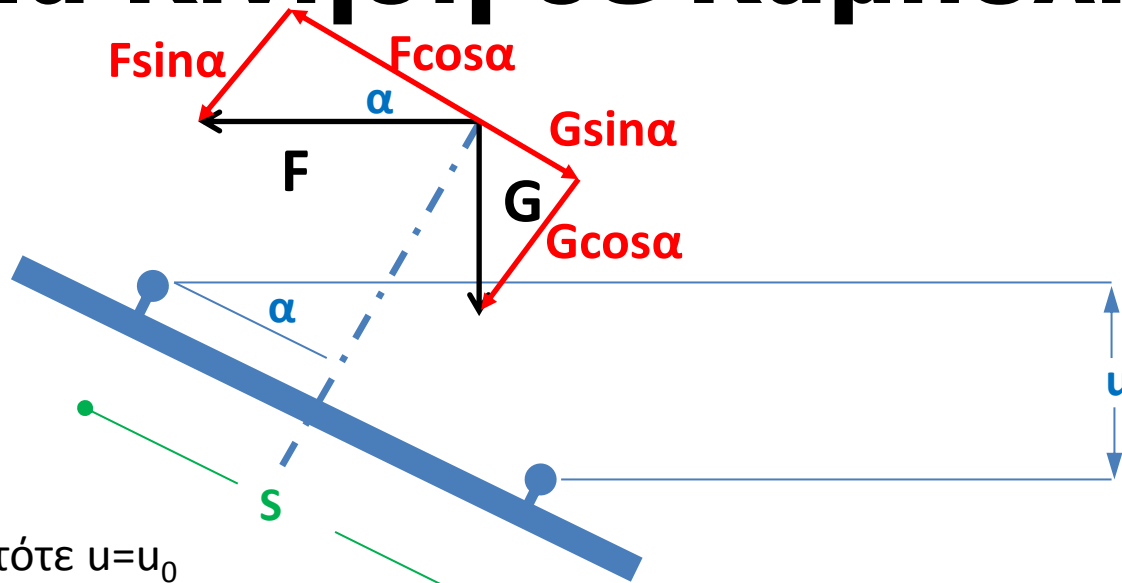
$s = 1500$ mm

$g = 9.81$ (m/sec²)

v : ταχύτητα συρμού (km/h)

r : ακτίνα καμπύλης (m)

Οριακές Τιμές Υπερύψωσης για Κίνηση σε Καμπύλη

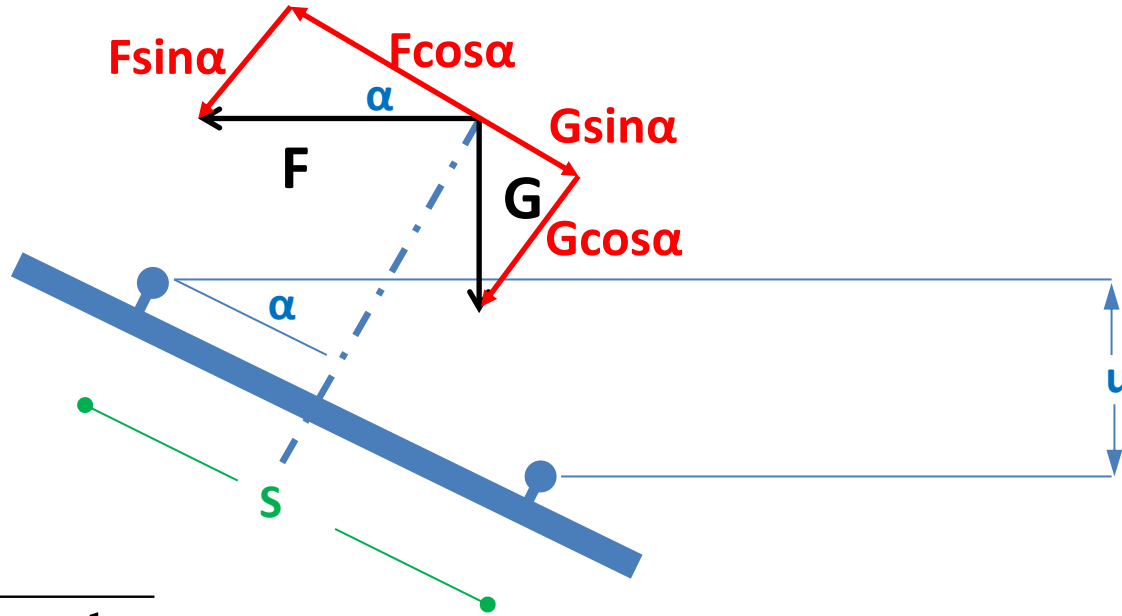


όταν $F \cos \alpha = G \sin \alpha$ τότε $u = u_0$

$$\frac{mv^2}{r} \cos \alpha = mg \sin \alpha \rightarrow \frac{v^2}{r} = g \frac{u_0}{s} \rightarrow u_0 = \frac{sv^2}{rg} \rightarrow u_0 = 11.8 \frac{v^2}{r}$$

- υπερύψωση u_0 έχει ως συνέπεια την εντύπωση ότι ο συρμός κινείται σε ευθυγραμμία
- εφαρμογή της u_0 κρίνεται σκόπιμη σε συρμούς που κινούνται με την ίδια ταχύτητα
- $u_{0\max} = 150 \text{ mm}$, $u_{0\min} = 20 \text{ mm}$ (όταν $u < 20 \text{ mm}$ τότε $u \rightarrow 0$)
- η υπολογιζόμενη υπερύψωση στρογγυλεύεται κατά 5mm προς τα πάνω (πχ. 102 \rightarrow 105mm)
- όταν $r < 275 \text{ m} \rightarrow u \leq (r - 50) / 1.50$
- σε σταθμούς και αλλαγές γραμμών $u_{\max} = 100 \text{ mm}$

Έλλειμμα Υπερύψωσης



όταν

$$v \geq \sqrt{\frac{r \times \text{vorhu}}{11.8}}$$

[vorhu : υφιστάμενη υπερύψωση (mm)]

τότε

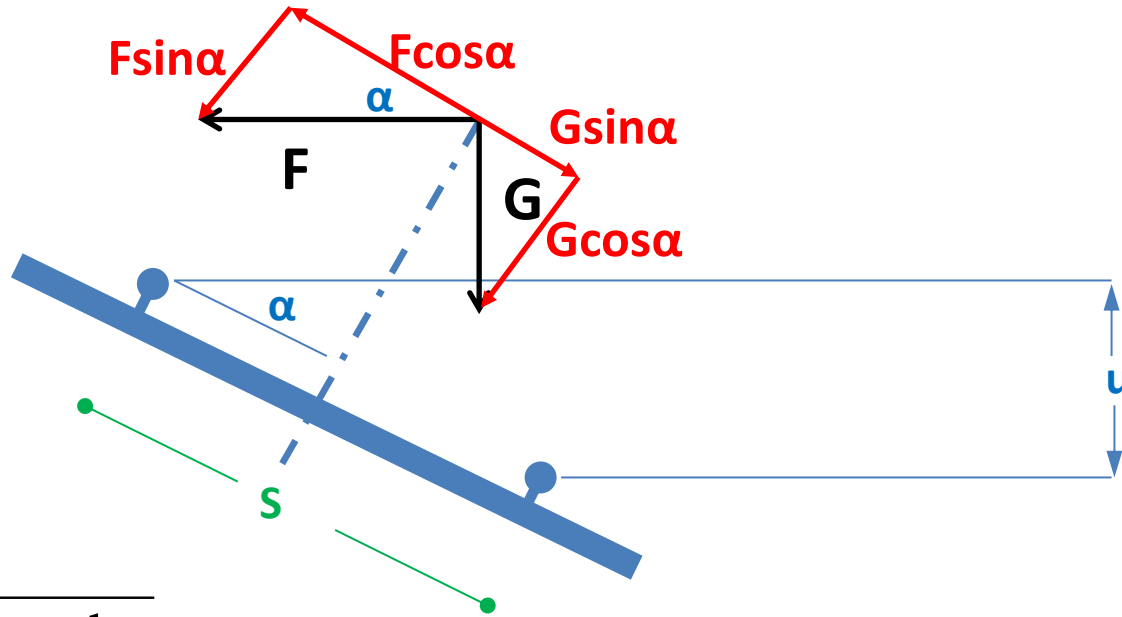
$$F_f = F \cos \alpha - G \sin \alpha \rightarrow a_f = (v^2 \cos \alpha) / r - g \sin \alpha \rightarrow$$

$$a_f = (g/s) \times (u_0 - \text{vorhu}) \leq 0.65 \text{ m/sec}^2, (0.85 \text{ m/sec}^2)$$

$$u_f = a_f (s/g) \leq 100 \text{ mm}, (130 \text{ mm})$$

$\text{minu} = u_0 - u_f$ γιατί υπάρχουν όρια σε u και u_f

Περίσσεια Υπερύψωσης (1/2)



όταν

$$v \leq \sqrt{\frac{r \times \text{vorhu}}{11.8}}$$

[vorhu : υφιστάμενη υπερύψωση (mm)]

τότε

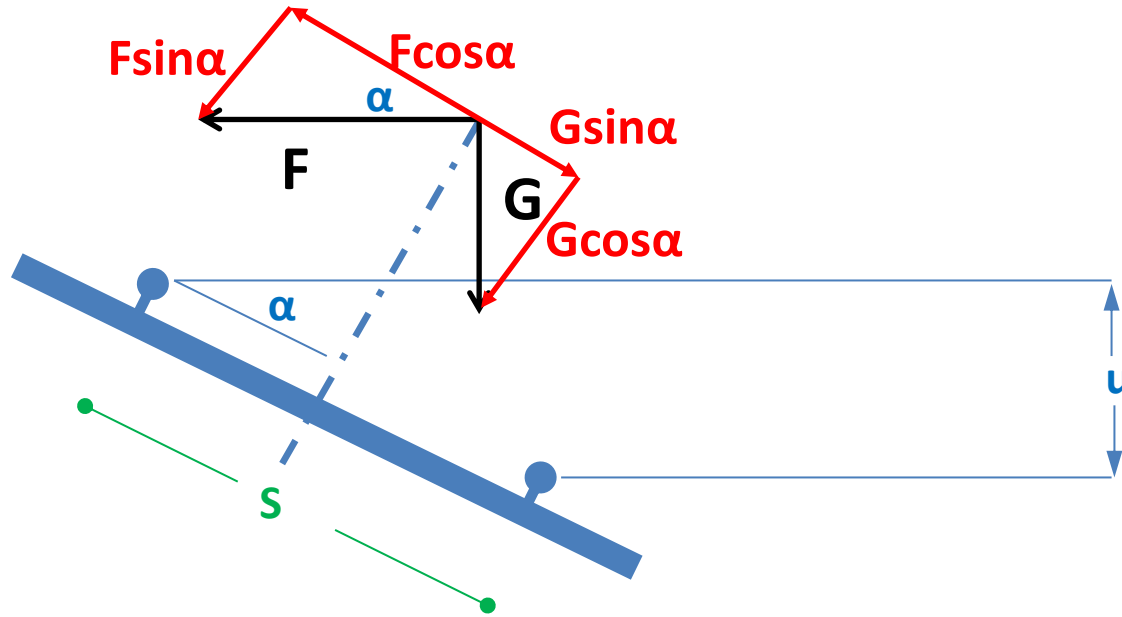
$$F_u = G \sin \alpha - F \cos \alpha \rightarrow a_u = g \sin \alpha - (v^2 \cos \alpha) / r \rightarrow$$

$$a_u = (g/s) \times (\text{vorhu} - u_0)$$

$$u_u = a_u (s/g)$$

zulu = u₀ + u_u γιατί υπάρχουν όρια σε a_u

Περίσσεια Υπερύψωσης (2/2)



Ανώτατα Όρια Περίσσειας Υπερύψωσης

Ημερήσιο Συνολικό φορτίο
Εμπορευματικών Αμαξοστοιχιών (t)

Ανώτατα Όρια
Περίσσειας Υπερύψωσης $z_{ul,u}$ (mm)

< 10000
10000 – 30000
30000 – 60000
> 60000

100
90
70
50

Υπερύψωση με Μικτή Κυκλοφορία

$$u_{(\text{minr})} = \frac{z u V^2 + V_{GZ}^2 z u_f}{z V^2 - V_{GZ}^2}$$

$$\text{minr} = (11.8 z u V^2) / (u_{(\text{minr})} + z u_f)$$

$$\text{regu} = \frac{u_{(\text{minr})} \text{minr}}{r}$$

όπου

$u_{(\text{minr})}$: υπερύψωση που αντιστοιχεί στη minr (mm)

minr : ελάχιστη ακτίνα (m)

zuV : επιτρεπόμενη ταχύτητα επιβατηγού συρμού (km/h)

V_{GZ} : επιτρεπόμενη ταχύτητα εμπορικού συρμού (km/h)

zu u_u : επιτρεπόμενη υπερύψωση εμπορικού συρμού (mm)

zu u_f : επιτρεπόμενη υπερύψωση επιβατηγού συρμού (mm)

r : υπάρχουσα ακτίνα(m)

regu : τυπική υπερύψωση (mm)

Εφαρμογές

(1/5)

Σε σιδηροδρομική γραμμή με επιτρεπόμενη ταχύτητα τα 160km/h ζητείται ο υπολογισμός της ελάχιστης ακτίνας που μπορεί να ακολουθήσει ομόρροπα και αντίρροπα αντίστοιχα καμπύλη με ακτίνα $r=15000\text{m}$, χωρίς την αναγκαιότητα παρεμβολής τόξου συναρμογής και υπερύψωσης.

ισχύει

$$zulV = a \sqrt{\frac{r_1 r_2}{r_1 \pm r_2}} \quad a = 2.65 \quad \text{για } 100 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$$

πρέπει $r_1 > r_2$

για ομόρροπα (-) $r_2 = 2940.28\text{m}$

για αντίρροπα (+) $r_2 = 4836.27\text{m}$

Εφαρμογές

(2/5)

Σε κυκλικό τόξο ακτίνας $r=1700\text{m}$, με υπερύψωση $u=100\text{mm}$ να εξεταστεί αν επιτρέπεται να διέλθει επιβατηγή αμαξοστοιχία με ταχύτητα 160km/h .

όταν συρμός κινείται σε καμπύλη ακτίνας r και υπάρχουσας υπερύψωσης νorhu με ταχύτητα μεγαλύτερη από

$$v = \sqrt{\frac{\mathbf{r} \times \nu\text{orhu}}{11.8}}$$

τότε στο επίπεδο της γραμμής εμφανίζεται δύναμη προς το εξωτερικό τα καμπύλης και μέτρο:

$F_f = F\cos\alpha - G\sin\alpha$ με αντίστοιχη επιτάχυνση

$$a_f = (v^2 \cos\alpha)/r - g \sin\alpha \rightarrow a_f = v^2/r - g \nu\text{orhu}/s \rightarrow a_f = (160/3.6)^2/1700 - 9.81 \times 100/1500$$

$$\rightarrow a_f = 0.51\text{m/sec}^2 < 0.65\text{m/sec}^2$$

η υπολειπόμενη υπερύψωση της νorhu από την υπερύψωση ισορροπίας είναι :

$$u_f = a_f (s/g) = 0.51(1500/9.81) = 78\text{mm}$$

Εφαρμογές

(3/5)

Σε σιδηροδρομική γραμμή μεικτής κυκλοφορίας δίδεται η επιτρεπόμενη ταχύτητα επιβατηγών αμαξοστοιχιών καθώς και η αντίστοιχη ταχύτητα των εμπορικών για ημερήσια συνολική διέλευση φορτίων 40.000t/μέρα ως εξής :

$$zulV = 180\text{km/h}$$

$$V_{GZ} = 80\text{km/h}$$

Κατά πόσο πρέπει να μεταβληθεί η ελάχιστη ακτίνα ($\min r$) των καμπυλών της γραμμής προκειμένου να είναι δυνατή η διέλευση εμπορικών αμαξοστοιχιών με ταχύτητα $V_{GZ}=100\text{km/h}$, χωρίς να τροποποιηθεί η τιμή της επιτρεπόμενης περίσσειας υπερύψωσης;

είναι: $zulu_u = 70\text{mm}$ (40000t/μέρα), $zulu_f = 100\text{mm}$

$$u_{(\min r)} = \frac{zulV^2 zulu_u + V_{GZ}^2 zulu_f}{zulV^2 - V_{GZ}^2} = 111.8\text{mm} \rightarrow 115\text{mm}$$

$$V_{GZ} = 80\text{km/h}$$

$$\min r = (11.8zulV^2)/(u_{(\min r)} + zulu_f) = 1778.23\text{m}$$

άρα

$$\Delta R = 1778.23 - 1529.28$$

$$\rightarrow \Delta R = 248.95\text{m}$$

$$u_{(\min r)} = \frac{zulV^2 zulu_u + V_{GZ}^2 zulu_f}{zulV^2 - V_{GZ}^2} = 145.9\text{mm} \rightarrow 150\text{mm}$$

$$V_{GZ} = 100\text{km/h}$$

$$\min r = (11.8zulV^2)/(u_{(\min r)} + zulu_f) = 1529.28\text{m}$$

Εφαρμογές

(4/5)

Καμπύλο τμήμα σιδηροδρομικής γραμμής περιλαμβάνει κυκλικό τόξο ακτίνας $r=1600\text{m}$ με υπερύψωση $u=100\text{mm}$. Από το καμπύλο τμήμα διέρχονται εμπορευματικές και επιβατηγές αμαξοστοιχίες συνολικού φορτίου 50000t/μέρα .

Να υπολογιστούν μέγιστες ταχύτητες επιβατηγών και εμπορευματικών συρμών.

είναι: $zulu_u = 70\text{mm}$ (50000t/μέρα), $zulu_f = 100\text{mm}$

προκειμένου να βρεθεί η μέγιστη ταχύτητα σε δεδομένη χάραξη, η ακτίνα θεωρείται ελάχιστη

$$r = \text{min}r \rightarrow u = u_{(\text{min}r)}$$

$$\text{min}r = (11.8zuluV^2)/(u_{(\text{min}r)} + zulu_f) \rightarrow zuluV = 164.7\text{km/h} \rightarrow zuluV = 160\text{km/h}$$

$$u_{(\text{min}r)} = \frac{zuluV^2 zulu_u + V_{GZ}^2 zulu_f}{zuluV^2 - V_{GZ}^2} \rightarrow V_{GZ} = 62.0\text{km/h} \rightarrow V_{GZ} = 60\text{km/h}$$

Εφαρμογές

(5/5)

Να υπολογιστεί η τυπική υπερύψωση γραμμής που βρίσκεται σε καμπύλη ακτίνας $r=1000\text{m}$, προκειμένου η γραμμή να δύναται να φέρει συνολικά ημερήσιο φορτίο έως 60000t/μέρα και η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα να ανέρχεται σε 160km/h ενώ να ληφθεί $V_{GZ}=80\text{km/h}$.

είναι: $zulu_u = 70\text{mm}$ (50000t/μέρα), $zulu_f = 100\text{mm}$

$$u_{(\text{minr})} = \frac{zulV^2 zulu_u + V_{GZ}^2 zulu_f}{zulV^2 - V_{GZ}^2} = 126.7\text{mm} \rightarrow 130\text{mm}$$

$$\text{minr} = (11.8zulV^2)/(u_{(\text{minr})} + zulu_f) = 1313.4\text{m}$$

όμως $\text{minr} > r \rightarrow$ πρέπει να μειωθεί η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα $zulV$ από τις παραπάνω σχέσεις για $\text{minr}=1000$ προκύπτει

$$zulV = \sqrt{\frac{\text{minr}}{11.8} (zulu_u + zulu_f) + V_{GZ}^2} = 144.2\text{km/h} \rightarrow 140\text{km/h}$$

$$u_{(\text{minr})} = \frac{zulV^2 zulu_u + V_{GZ}^2 zulu_f}{zulV^2 - V_{GZ}^2} = \underline{152.4\text{mm} \rightarrow 150\text{mm}}$$

$$\text{minr} = (11.8zulV^2)/(u_{(\text{minr})} + zulu_f) = 925.1\text{m}$$

$$\text{regu} = \frac{u_{(\text{minr})} \text{minr}}{r} = 138.8\text{mm} \rightarrow 140\text{mm}$$