Στοιχεία μελέτης για τη μηκοτομή
Κατά μήκος τομή, ή μηκοτομή τον άξονα της οδού είναι το ανάπτυγμα της τομής της οδού με την κατακόρυφη κυλινδροειδή επιφάνεια που έχει ως οδηγό τον άξονα της.

Η μηκοτομή είναι μια επίπεδη γραμμή σε ορθογώνιο σύστημα αξόνων όπου οι τετμημένες x είναι οι χιλιομετρικές θέσεις (χ.θ.) των σημείων του άξονα, όπως προκύπτουν από την οριζοντιογραφία και οι τεταγμένες y τα υψόμετρα τους. Η κλίμακα μηκών της μηκοτομής είναι συνήθως η ίδια με την κλίμακα μηκών της οριζοντιογραφίας, ενώ η κλίμακα υψών είναι, συνήθως, 10 φορές μεγαλύτερη από την κλίμακα μηκών (π.χ. κλίμακα μηκών 1:1.000, κλίμακα υψών 1:100). Και η μηκοτομή απαρτίζεται από ευθυγραμμίες και καμπύλες (συναρμογής), πιο πολύ όμως τώρα έχουν σχεδιαστικό χαρακτήρα και όχι οδηγικό. Η με δεκαπλάσια λεπτομέρεια απεικόνιση των υψών έχει επιλεγεί, διότι αλλιώς ακόμα και σχετικά μεγάλες κλίσης της τάξης του 7-8%, λίγο θα διαφοροποιούσαν την οπτική εικόνα της ερυθράς από οριζόντια γραμμή.

Ερυθρά γραμμή είναι η απεικόνιση του άξονα της οδού, στη φάση που έχει κατασκευασθεί η τελική επιφάνεια κύλισης στη μηκοτομή. Αν υποθέσουμε 10cm ασφαλτοτάπητα και 40cm οδόστρωμα, η τελική επιφάνεια των χωματουργικών εργασιών, είτε σε όρυγμα (σκάφη), είτε σε επίχωμα (στέψη) θα βρίσκεται 50cm χαμηλότερα της ερυθράς.

Σύμφωνα με τους Ελληνικούς κανονισμούς (ΟΜΟΕ-Χ), για κάθε ταχύτητα μελέτης Ve υπάρχει και μια ελάχιστη ακτίνα min R, για κοίλη ή κυρτή καμπύλη. Υπάρχει, επίσης και μια μέγιστη μηκοτομική κλίση.

Ποια είναι τα στοιχεία που προσδιορίζουν αυτές τις τιμές για κάθε συγκεκριμένη ταχύτητα μελέτης;

Για τις ανηφόρες είναι η άνεση κίνησης, κυρίως αναφερόμενη στη δυσκολία με την οποία τα φορτηγά ανεβαίνουν ανηφόρες και επηρεάζουν τη λοιπή κυκλοφορίας σε δίιχνες οδούς. Οι κατά μήκος κλίσεις πρέπει για λόγους κυκλοφοριακής ασφάλειας (ΔV), λειτουργικού κόστους, εξοικονόμησης ενέργειας, μειωμένης ρύπανσης και κυκλοφοριακής ποιότητας να διατηρούνται κατά το δυνατόν μικρές. Επιπρόσθετα, οι κλίσεις της οδού πρέπει κατά το δυνατό να προσαρμόζονται στο ανάγλυφο του εδάφους, προκειμένου να προστατευθούν το περιβάλλον και οι οικιστικές περιοχές και οι να μειωθεί το κόστος κατασκευής.

Σε ότι αφορά την οδική ασφάλεια, η κυκλοφορία σε έναν δρόμο είναι τόσο ασφαλέστερη, όσο μικρότερη είναι η διαφορά ταχύτητας μεταξύ των τυπικά γρηγορότερων και των τυπικά βραδύτερων οχημάτων της ροής. Η διαφορά αυτή απεικονίζεται ως ΔV. Μεγάλες ΔV αποτελούν αίτιο προσπεράσεων και οι προσπεράσεις είναι αίτιο των πλέον σοβαρών τροχαίων ατυχημάτων που συναντώνται σε δίιχνες οδούς. Οι ανηφόρες επηρεάζουν έντονα (μειώνουν) τις ταχύτητες των φορτηγών (όπως μελετήθηκε στην ενότητα των κυκλοφοριακών ικανοτήτων οδικών τμημάτων) και πολύ λιγότερο τις ταχύτητες λεωφορείων και ΙΧ..

Πέραν του συγκεντρωτικού Πίνακα του συνόλου των στοιχείων χάραξης των ΟΜΟΕ-Χ, ισχύει και ο λεπτομερέστερος παρακάτω Πίνακας

Πίνακας Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις

V_e [km/h]	**s_{max} [%] για τις οδούς της ομάδας**			
	A			**B**
	Πεδινά εδάφη	**Λοφώδη εδάφη**	**Ορεινά Εδάφη**	**Όλες οι κατηγορίες εδαφών**
50	**7 (8)**	**8 (9)**	**10 (11)**	**8 (12)**
60	**6 (8)**	**7 (9)**	**9 (10)**	**7 (10)**
70	**5 (7)**	**6 (8)**	**8 (9)**	**6 (9)**
80	**4 (6)**	**5 (7)**	**7 (9)**	**5 (7)**
90	**4 (5)**	**5 (6)**	**7 (8)**	**-**
100	**3 (5)**	**4 (6)**	**6 (8)**	**-**
110	**3 (5)**	**4 (6)**	**5 (6)**	**-**
120	**3 (5)**	**4 (6)**	**-**	**-**
130	**3 (4)**	**-**	**-**	**-**

Οι τιμές σε παρένθεση εφαρμόζονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις και για περιορισμένου μήκους οδικά τμήματα.

Οι μικρότερες τιμές, που ισχύουν για τις οδούς της ομάδας Β (αστική οδοποιία), αποβλέπουν στην ικανοποίηση των ειδικών απαιτήσεων και περιορισμών στις δομημένες περιοχές (υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητης κυκλοφορίας, στάση και στάθμευση). Αντίθετα οι μεγαλύτερες τιμές σε παρένθεση, λαμβάνουν υπόψη κάποιες ανυπέρβλητες τοπογραφικές δεσμεύσεις που πιθανώς να υπάρχουν σε πολεοδομημένες περιοχές και εφόσον η αλλαγή των στοιχείων μελέτης της διατομής ή της χάραξης της οδού είναι αδύνατη ή το εναπομένον ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ κοίλης και κυρτής κατακόρυφης καμπύλης είναι ιδιαίτερα μικρό (δηλαδή η μηκοτομική ευθυγραμμία της ανηφόρας είναι μικρή).

Στις περιοχές ισόπεδων κόμβων πρέπει να αποφεύγονται κατά μήκος κλίσεις μεγαλύτερες από 4% (6) για λόγους σωστής μελέτης των διασταυρώσεων και της κυκλοφοριακής τεχνικής (περιορισμός μήκους ορατότητας για στάση). Στις διασταυρώσεις, το ρεύμα που παραχωρεί προτεραιότητα, αλλά και στις απλούστερες διασταυρώσεις μορφής Τ, οι στρέφοντες αριστερά παραχωρούν προτεραιότητα και, αν το ερχόμενο ρεύμα είναι πυκνό, θα χρειαστεί να σταματήσουν. Αν πρόκειται να σταματήσουν σε μεγάλη κατηφόρα, το μήκος ακινητοποίησης θα είναι μεγαλύτερο, οπότε αναδύονται κίνδυνοι οδικής ασφάλειας. Για αυτό θα πρέπει στις διασταυρώσεις να έχουμε μικρές μηκοτομικές κλίσεις.

Εντός σηράγγων σε οδούς της ομάδας Α οι κατά μήκος κλίσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν την τιμή 4%. Ιδιαίτερα σε σήραγγες μεγάλου μήκους, πρέπει να επιδιώκεται η τιμή της μέγιστης κατά μήκος κλίσης να είναι s_{max} = 2,5%. Εντονότερες κατά μήκος κλίσεις έχουν τα εξής μειονεκτήματα:

- υψηλότερη ρύπανση
- μεγαλύτερη πιθανότητα ατυχημάτων
- διασπορά εύφλεκτων υλικών με μεγάλη ταχύτητα και
- μείωση της ταχύτητας των βαρέων οχημάτων.

Αν δεν είναι δυνατόν να αναπτυχθούν οι αναμενόμενες λειτουργικές ταχύτητες σε ορισμένα ανωφερικά τμήματα στις οδούς της ομάδας Α, πρέπει να διερευνάται η πιθανότητα διάταξης μίας επιπλέον λωρίδας για τα βαρέα οχήματα (πρόσθετη λωρίδα) ή αλλαγής της χάραξης της οδού. Η πρόσθετη αυτή λωρίδα ονομάζεται λωρίδα βραδυπορείας (crawling ή climbing lane) προκύπτει (όπως όλα) από οικονομική αξιολόγηση (δηλαδή το πρόσθετο κόστος κατασκευής της και πρόσθετης απαλλοτρίωσης θα πρέπει να υπολείπεται εντός πχ μιας 20ετίας του λειτουργικού οφέλους κίνησης των οχημάτων συν την αξία του χρόνου που εξοικονομείται, συν τυχόν περιβαλλοντικό όφελος συν την αύξηση της οδικής ασφάλειας) και πρακτικά προκύπτει σκόπιμη μόνο σε μεγάλες ανηφόρες, όταν το ποσοστό των φορτηγών στη σύνθεση του κυκλοφοριακού φόρτου είναι σημαντικό.

Πέραν των <u>μέγιστων</u>, σε ορισμένες περιπτώσεις τίθενται ζητήματα κι <u>ελάχιστων</u> μηκοτομικών κλίσεων. Οι ελάχιστες κλίσεις συνδέονται με την απομάκρυνση του νερού. Σε έναν ομαλό πυθμένα το νερό ρέει και απομακρύνεται ικανοποιητικά όταν η κλίση του είναι τουλάχιστον 0,2%. Η ελάχιστη αυτή κλίση αποτελεί πρωταρχικό δεδομένο στην οδοποιία (άλλα πρωταρχικά δεδομένα που έχουμε δει, που διέπουν τις χαράξεις οδών, είναι η g και το ανεκτό ποσοστό της, η φυγόκεντρος, η ταχύτητα μεταβολή της γ (τίναγμα), ο χρόνος αντίδρασης, ο συντελεστής τριβής, ο ελάχιστος χρόνος των 2sec της 'στοιχειώδους οδηγικής ενέργειας').

Γενικά το νερό αποτελεί μέγιστο εχθρό. Αποτελεί εχθρό και από σκοπιάς μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους, στο οποίο εδράζεται ο δρόμος, αλλά και ασφάλειας της κυκλοφορίας.
Το νερό υποβαθμίζει τη μηχανική συμπεριφορά ευπαθώς (λεπτόκοκκων) εδαφών, ιδίως όταν μεταβάλλεται η περιεκτικότητά του σε αυτά. Συνεπώς, στο πέριξ της οδού έδαφος, καλό είναι να μην μεταβάλλεται η περιεκτικότητα υγρασίας του εξαιτίας της ύπαρξης του οδοστρώματος, δηλαδή της απορροής ποσοτήτων νερού από την υδατοστεγανή ασφάλτινη επιφάνεια προς αυτό. Συνεπώς το νερό του οδοστρώματος καλό είναι να συλλέγεται σε παράπλευρες τάφρους και να οδηγείται κατάντι σε φυσικούς αποδέκτες (ρεματιές). Το νερό των παράπλευρων τάφρων, για να ρέει και

να διοχετευτεί σε φυσικό αποδέκτη θα πρέπει η τάφρος να έχει, αν είναι επενδυμένη (συνήθως σκυρόδεμα), ελάχιστη κλίση 0,2% ενώ αν είναι χωμάτινη 0,5-1%. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να υπάρχει η αντίστοιχη ελάχιστη κλίση της μηκοτομής, αλλιώς, εναλλακτικά, θα πρέπει να μεταβάλλεται το βάθος του πυθμένα της παράπλευρης τάφρου.

Ακόμα σημαντικότερο, η φυσική ροή του νερού στη διάρκεια καταιγίδων στις κοίτες ακόμα και ελάχιστων ρεματιών δεν πρέπει να παρεμποδίζεται. Αν παρεμποδιστεί, είναι 100% βέβαιο ότι η δύναμη του νερού θα παρασύρει και θα καταστρέψει τον δρόμο. Συνεπώς, ακόμα και σε ανεπαίσθητες ρεματιές, ο δρόμος θα πρέπει να βρίσκεται υψηλότερα από το έδαφος (επίχωμα) και στον άξονα της ρεματιάς να τοποθετείται υπερ-διαστασιολογημένος οχετός συλλογής-απορροής των όμβριων.

Από τη σκοπιά της οδικής ασφάλειας, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα, το νερό θα πρέπει να απομακρύνεται από την επιφάνεια κίνησης, διότι το φιλμ νερού παρεμβάλλεται μεταξύ επιφάνειας του οδοστρώματος και ελαστικού, δρα ως λιπαντικό και μειώνει την πρόσφυση (τριβή). Όσο παχύτερο το φιλμ νερού, τόσο μειώνεται η τριβή. Συνεπώς το νερό θα πρέπει να απομακρύνεται ταχέως από την επιφάνεια και αυτό επιτυγχάνεται με την εγκάρσια κλίση του οδοστρώματος, η οποία είναι στα ευθύγραμμα τμήματα, συνήθως, αμφικλινής 2,5%. Στις στροφές, είναι γνωστό ότι η επίκλιση μετατρέπεται, κατά μήκος της κλωθοειδής, σε μονοκλινή, οι δε τιμές της είναι υψηλότερες, της τάξης του 6-7%. Δύο είναι οι λόγοι για αυτό, η εξισορρόπηση ποσοστού της φυγοκέντρου, όπως έχει αναλυθεί, αλλά και η ταχύτερη απομάκρυνση του νερού. Στις στροφές επιδιώκουμε το φιλμ απορροής νερού στις καταιγίδες να είναι λεπτότερο, ώστε να μη μειώνεται πολύ ο συντελεστής τριβής. Το λεπτότερο φιλμ λιπαντικού επιτυγχάνεται με μεγαλύτερη κλίση, δηλαδή ταχύτερη απομάκρυνση, με βάση τον βασικό νόμο της παροχής ροής υγρού: παροχή = εμβαδόν διατομής ροής Χ ταχύτητα ροής. Η ταχύτητες ροής είναι ανάλογες της κλίσεις (αίτιο ροής η συνιστώσα της βαρύτητας), οπότε εύκολα προκύπτει μικρότερο εμβαδόν ροής, συνεπώς μικρότερο πάχος φιλμ νερού.

Κατά τη μετάβαση από την αμφικλινή διατομή στην μονοκλινή (περίπου στη σύνδεση ευθυγραμμίας με τις κλωθοειδείς), υπάρχει αναπόφευκτα ένα μικρό οδικό τμήμα, στο οποίο η επίκλιση κινείται πέριξ του μηδενός (Σχήμα). Εάν υπάρχει μηκοτομική κλίση εκεί (εκτός του i, inclination, η μηκοτομική κλίση συμβολίζεται και με s, slope), τότε υπάρχει απορροή, τοπικά κατά μήκος του οδοστρώματος και σε λίγα μέτρα λόγω της επίκλισης απομάκρυνση προς τις οριογραμμές. Η οπτική εικόνα της καλυμμένης με νερό επιφάνειας είναι λοξή πάχους λίγων μέτρων. Αν δεν υπάρχει μηκοτομική κλίση, τότε δημιουργούνται σχετικά εκτεταμένες (πχ μήκους 10m) περιοχές στο οδόστρωμα λίμνασης του νερού με αρνητική επιρροή στην οδική ασφάλεια.

Στις περιοχές συναρμογής των αντίρροπων επικλίσεων, πρέπει να επιλέγεται ελάχιστη κατά μήκος κλίση $s_{min} \geq 0,7\%$ ή καλύτερα $s_{min} \geq 1,0\%$, ώστε να αποφεύγονται ζώνες κακής απορροής των ομβρίων. Σε κάθε περίπτωση η κατά μήκος κλίση της οδού δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την πρόσθετη κλίση των οριογραμμών (διαφορά κατά μήκος κλίσεων οριογραμμών και άξονα περιστροφής- βλ. παρ. 9.4.2). Για την πλήρη εξασφάλιση της απορροής των ομβρίων της οδού η διαφορά μεταξύ της κατά μήκος κλίσης και της πρόσθετης κλίσης των οριογραμμών πρέπει να είναι 0,2% (καλύτερα 0,5%)

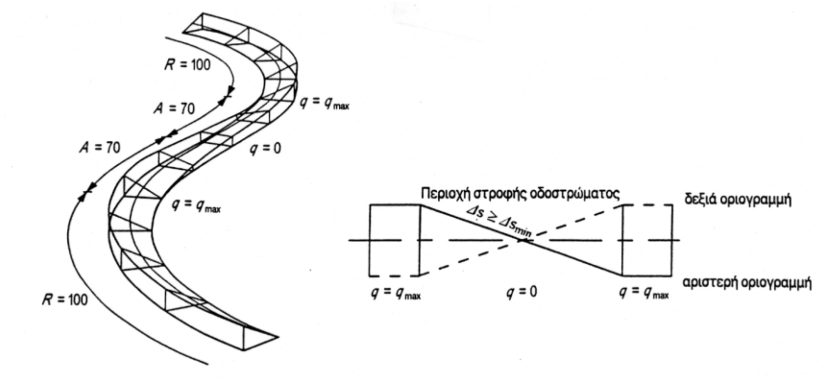
$s\text{-}\Delta s \geq 0{,}0 \ldots 0{,}2\%$ (καλύτερα 0,5%)

όπου:

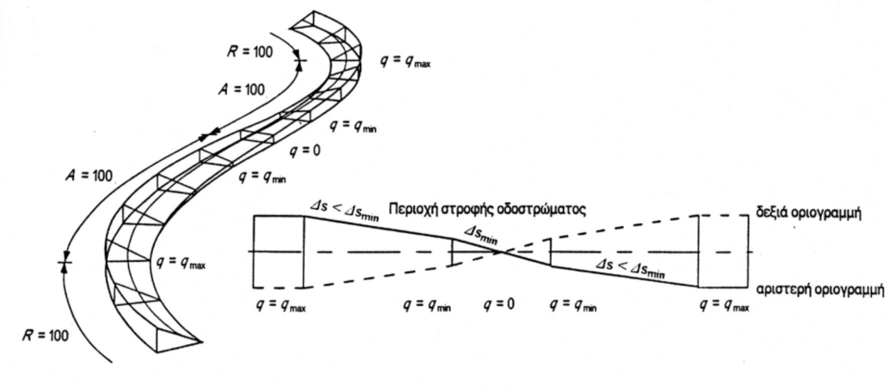
s [%] = κατά μήκος κλίση της οδού

Δs [%] = πρόσθετη κλίση των οριογραμμών

Το αντικείμενο αυτό θα αναλυθεί διεξοδικότερα στην ενότητα διατομών και επικλίσεων, εδώ γίνεται μόνο μια εισαγωγή, διότι αποτελεί αιτιολόγηση της αναγκαιότητας ύπαρξης (πέραν των μέγιστων) και ελάχιστων μηκοτομικών κλίσεων.

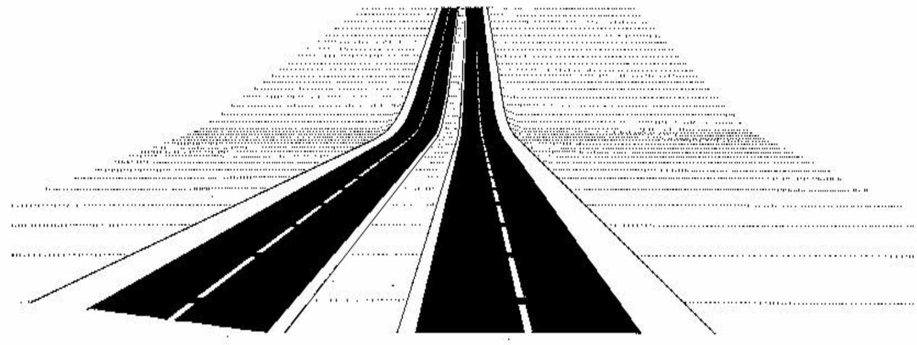


α. Μικρό μήκος προσαρμογής ($\Delta s \geq \Delta s_{min}$)

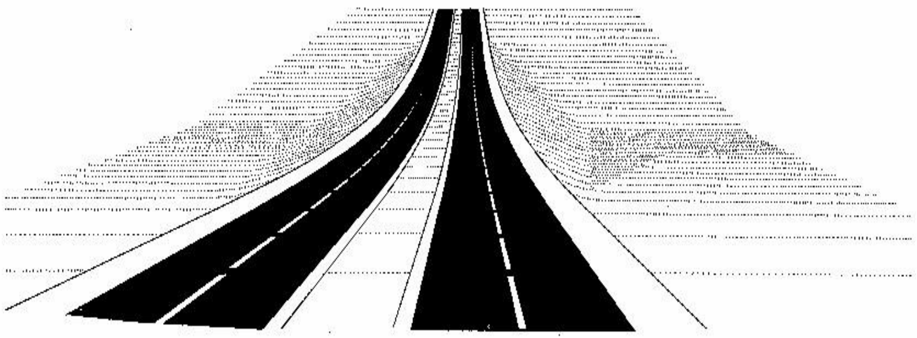


β. Μεγάλο μήκος προσαρμογής ($\Delta s < \Delta s_{min}$)

Στις μηκοτομές οδών, πέραν των κατά μήκος κλίσεων θα πρέπει να αναλυθεί και το αντικείμενο των καμπυλών συναρμογής. Δεν είναι δυνατόν, για παράδειγμα μια κατηφόρα να συναρμόζει με γωνία με μια ανηφόρα, διότι, πέραν των επιταχύνσεων της ξαφνικής αλλαγής κατεύθυνσης κίνησης θα διαλυθεί και το όχημα από πιθανή κρούση των προβόλων του στο οδόστρωμα. Αντίστοιχα, στης μετάβαση από ανηφόρα σε κατηφόρα υπό γωνία, χωρίς παρεμβολή καμπύλης συναρμογής, το όχημα θα βρεθεί στον αέρα.

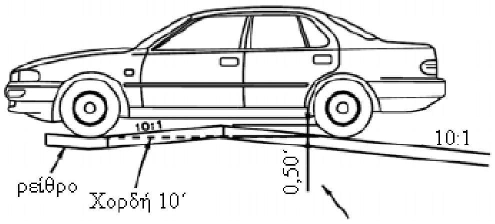


Transition of a 2% downgrade to a 3% upgrade effected by the minimum curve for 70 mph. The curve is 700 feet long, vertical radius about 14,000 feet.

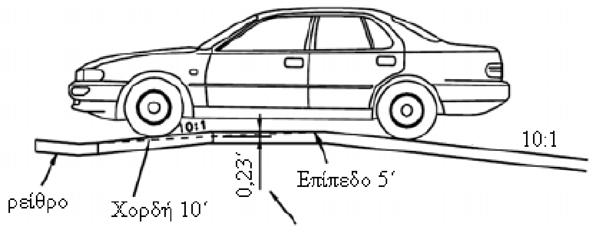


Transition of a 2% downgrade to a 3% upgrade effected by a liberal curve 3,000 feet long, vertical radius about 60,000 feet.

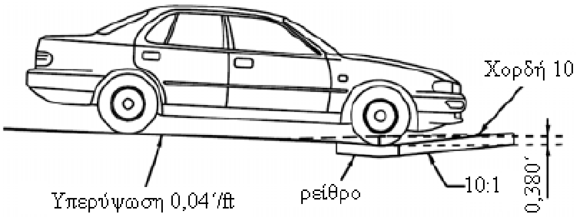
Για τις καμπύλες συναρμογής έχουμε δύο βασικές παραμέτρους που κυβερνάν τον σχεδιασμό τους, την ορατότητα και τη μεταβολή της φυγοκέντρου.



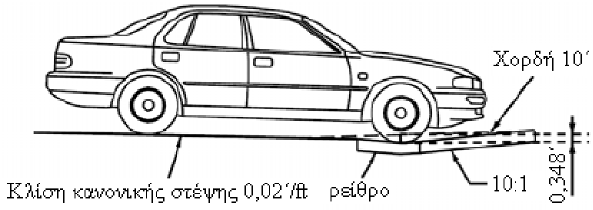
Υπερβαίνει το κριτήριο των 3 1/4΄΄ για κυρτές καμπύλες



Συμμορφώνεται με το κριτήριο των 3 1/4΄΄ για κυρτές καμπύλες



Υπερβαίνει το κριτήριο των 4 1/4΄΄ για κοίλες καμπύλες



Συμμορφώνεται με το κριτήριο των 4 1/4΄΄ για κοίλες καμπύλες

Οι κατακόρυφες καμπύλες συναρμογής διακρίνονται σε κυρτές και κοίλες. Θα πρέπει να μην υπάρχει καμιά σκιά στην αναγνώρισή τους: είναι όπως αισθάνεται ο οδηγός στην καθομιλουμένη αυτούς τους όρους, ενώ οδηγεί.
Οι καμπύλες συναρμογής είναι κυκλικά τόξα. Είναι εμφανώς μεγαλύτερες των οριζόντιων καμπυλών συναρμογής στις στροφές, η τάξη μεγέθους τους αντί των 100m είναι 1000m. Συνεπώς και λόγω μεγέθους, αλλά κυρίως λόγω έλλειψης προσομοίωσης κάποιας φυσιολογίας οδήγησης, δεν χρειάζονται μεταβατικές καμπύλες μεταξύ της ευθυγραμμίας των ανηφοριών για παράδειγμα και του κυκλικού τόξου παρεμβολής για τη μετάβαση σε κατηφόρα. Προφανώς καμπύλες συναρμογής απαιτούνται και όταν μεταβαίνουμε από ανηφόρα σε ανηφόρα διαφορετικής κλίσης και αντίστοιχα από κατηφόρα σε κατηφόρα διαφορετικής κλίσης.
Αντιμετωπίζοντας μαθηματικά το ζήτημα συναντάμε ένα, εκ πρώτης όψης παράδοξο. Ενώ οι καμπύλες συναρμογής είναι κυκλικά τόξα, τα μαθηματικά της παραβολής (έκφραση συντεταγμένων της σε x και y) είναι ευκολότερα με συνέπεια να θεωρούμε παραβολές δευτέρου βαθμού ως προσέγγιση κυκλικών τόξων, δεδομένου ότι για τις εφαρμοζόμενες μεγάλες ακτίνες, τις μικρές μηκοτομικές κλίσεις και την επιδιωκόμενη ακρίβεια, το κυκλικό τόξο και η τετραγωνική παραβολή ουσιαστικά συμπίπτουν.
Καθοριστικό γεωμετρικό μέγεθος της κατακόρυφης καμπύλης είναι η ακτίνα καμπυλότητας H στη θέση αλλαγής της κατά μήκος κλίσης. Οι κατακόρυφες καμπύλες συναρμογής μπορούν να έχουν ως σύμβολο και το R. Οι βασικές σχέσεις υπολογισμού μίας κατακόρυφης καμπύλης δίδονται στο Σχήμα 8-1 (ΟΜΟΕ-Χ).
Το βασικό τυπολόγιο που χρησιμοποιείται είναι πολύ απλούστερο του αντίστοιχου των οριζοντιογραφικών καμπυλών και είναι το:
$T=R\Delta s/(200)$,
$f=T^2/2R$, $y=x^2/2R$
Ο όρος T (tangent) είναι η το μήκος της ‘εφαπτομένης’ των κατακορύφων καμπυλών. Το Δs είναι η αλγεβρική διαφορά των κλίσεων. Η απόσταση y του παραπάνω τύπου είναι η απόσταση από τη ευθυγραμμία της ανηφόρας (ή της κατηφόρας).
Προσοχής χρήζει το ότι το μέγεθος f (βέλος) δεν ευρίσκεται επί της διχοτόμου. Δεν υπάρχει διχοτόμος στις κατακόρυφες καμπύλες συναρμογής (όπως υπήρχε στις οριζόντιες). Το f είναι η κατακόρυφη απόσταση της πολυγωνικής κορυφής από την ερυθρά. Οι πολυγωνικές κορυφές ονομάζονται (και συμβολίζονται με) σημαίες. Σε αντίθεση με τις καμπύλες οριζοντιογραφίας, όπου έχουμε στο 99% των περιπτώσεων συμμετρικές καμπύλες, στις μηκοτομικές έχουμε στο 99% μη συμμετρικές (ως προς κατακόρυφο άξονα) καμπύλες, ακριβώς διότι η κλίση της μιας πλευρά διαφέρει από την κλίση της πλευράς μετά τη σημαία. Τέλος, λόγω των μικρών γωνιών (που στη μηκοτομή δεν έχουν καμιά αξία ως γωνίες) οι εφαπτομένες και τα ημίτονα έχουν σχεδόν παρόμοιες τιμές, ενώ τα μήκη στον οριζόντιο άξονα είναι λίγο μικρότερα των κεκλιμένων μηκών και μπορούν, κατά περίπτωση αν θεωρηθούν ως ίσα.
Μία παράμετρος που έχει σημασία στις μηκοτομικές καμπύλες συναρμογής είναι το ψηλότερο και το χαμηλότερο σημείο της μηκοτομικής καμπύλης. Το ψηλότερο, διότι θα μπορούσε να καθορίζει το ελεύθερο ύψος κάτω από ένα τεχνικό έργο και το

χαμηλότερο, σε περιπτώσεις κοίλων καμπυλών, διότι αυτό αποτελεί σημείο συγκέντρωσης των νερών της βροχής, άρα η θέση αποτελεί το σημείο τοποθέτησης κάποιας αποχέτευσης, όπου θα συγκεντρώνονται τα νερά και θα οδηγούνται κατάντι στον εγγύτερο φυσικό αποδέκτη.
Τα ψηλότερο είτε χαμηλότερο σημεία δεν είναι κατά κανόνα τα σημεία του f. Είναι εκεί όπου η μεταβατική καμπύλη οριζοντιώνεται, εκεί δηλαδή όπου η κλίση της εφαπτομένης της είναι μηδενική (οριζόντια εφαπτομένη). Άρα, για να προσδιοριστούν, θα πρέπει να έχουμε τον τύπο που μας δίνει την κλίση της εφαπτομένης σε κάθε σημείο των καμπυλών συναρμογής της μηκοτομής.
Η κλίση της εφαπτομένης σε τυχαίο σημείο Μ μιας καμπύλης είναι ίση με

$$q_M = q_1 \pm 100 \cdot \frac{x_M}{R}$$

όπου:

q_M = κλίση της εφαπτομένης στο σημείο (Μ) (%)
q_1 = κλίση της εφαπτομένης στην αρχή της καμπύλης (%)
X_M = οριζόντια απόσταση του σημείου (Μ) από την αρχή της καμπύλης (m)
R =ακτίνα καμπύλης κατακόρυφης προσαρμογής (μ)

Για να είναι q_M=0%, πρέπει $0 = q_1 - 100 \cdot \frac{x_M}{R}$ ή $x_M = \frac{q_1 \cdot R}{100}$, ώστε να προκύψει η χθ του χααμηλότερου ή του υψηλότερου σημείου.

Τέλος, προκειμένου να αποφευχθεί το φαινόμενο δημιουργίας θλάσεων στη χάραξη στις περιπτώσεις ύπαρξης πολύ μικρών κατά μήκος κλίσεων σε περιοχές κυρτών και κοίλων καμπύλων, πρέπει το μήκος της εφαπτομένης Τ να λαμβάνει τιμές τουλάχιστον ίσες προς:

- minT=Ve στις οδούς κατηγορίας Α

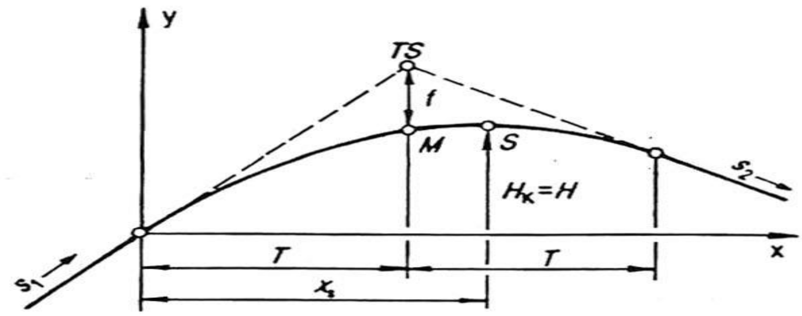
Η επιλογή των ακτίνων των κυρτών και των κοίλων κατακόρυφων καμπυλών πρέπει να γίνεται έτσι, ώστε σε συνδυασμό με τα στοιχεία μελέτης της οριζοντιογραφίας:

- να προκύπτει μία αρμονική χάραξη στο χώρο,
- να εξασφαλίζεται το ελάχιστο επίπεδο ασφαλείας με τα απαραίτητα μήκη ορατότητας σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μήκος της οδού
- να προστατεύεται το περιβάλλον (δηλαδή να μειώνονται τυχόν ορύγματα ή επιχώματα) και
- να προσαρμόζεται η οδός όσο το δυνατόν καλύτερα στο ανάγλυφο του εδάφους, ώστε το κόστος κατασκευής της οδού να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα.

Η αρμονική χάραξη έχει να κάνει με θέματα συντονισμού οριζοντίων και κατακορύφων καμπυλών χάραξης και αποφυγής κάποιων ήπιων οπτικών απατών.
Οι απαιτήσεις αυτές έχουν μεγαλύτερη σημασία στις οδούς της ομάδας Α και μικρότερη σημασία στις οδούς της ομάδας Β, όπου προέχει η διατήρηση του οικιστικού ιστού.

Αν σε βελτιώσεις και ανακατασκευές υφισταμένων οδών της ομάδας Β, οι ακτίνες των κυρτών κατακόρυφων καμπυλών είναι μικρότερες από την ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή και δεν υπάρχει δυνατότητα αλλαγής τους λόγω πολεοδομικών περιορισμών, τότε πρέπει να εξετάζεται για λόγους ασφαλείας, η επιβολή κατάλληλου ορίου ταχύτητας (με ισχύ ενδεχομένως μόνο σε υγρό οδόστρωμα) με ή χωρίς πρόσθετη προειδοποιητική σήμανση.

Αναλυτικό τυπολόγιο (Σχήμα 8-1 ΟΜΟΕ-Χ):



$$x_S = -\frac{s_1}{100} \cdot H \tag{8-3}$$

$$s(x) = s_1 + \frac{x}{H} \cdot 100 \tag{8-4}$$

$$y(x) = \frac{s_1}{100} \cdot x + \frac{x^2}{2 \cdot H} \tag{8-5}$$

$$T = \frac{H}{2} \cdot \frac{s_2 - s_1}{100} \tag{8-6}$$

$$f = \frac{T^2}{2 \cdot H} = \frac{T}{4} \cdot \frac{s_2 - s_1}{100} = \frac{H}{8} \cdot \left(\frac{s_2 - s_1}{100}\right)^2 \tag{8-7}$$

Κανόνες προσήμων :

Ανωφέρεια	: θετική ($+s_1$, $+s_2$)
Κατωφέρεια	: αρνητική ($-s_1$, $-s_2$)
Ακτίνα κοίλης κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής (H_w)	: θετική ($+H$)
Ακτίνα κυρτής κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής (H_K)	: αρνητική ($-H$)

H	[m]	=	παράμετρος της τετραγωνικής παραβολής (ακτίνα καμπυλότητας στη θέση αλλαγής προσήμου της κατά μήκος κλίσης)
T	[m]	=	μήκος εφαπτομένης
s_1, s_2	[%]	=	κατά μήκος κλίσεις εφαπτομένων
$s(x)$	[%]	=	κατά μήκος κλίση σε οποιοδήποτε σημείο της κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής
$y(x)$	[m]	=	τεταγμένη σε τυχαίο σημείο
x_S	[m]	=	τετμημένη θέση αλλαγής προσήμου της κατά μήκος κλίσης ($s = 0\%$)
f	[m]	=	βέλος καμπύλης
M		=	μέσον κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής
S		=	θέση αλλαγής προσήμου της κατά μήκος κλίσης
TS		=	σημείο τομής εφαπτομένων

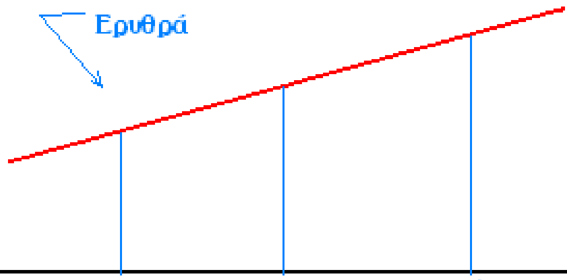
Η θεωρία της ορατότητας

Σε κάθε σημείο της μια οδός θα πρέπει να προσφέρει επαρκή ορατότητα στάσης.

Παραδείγματα υπολογισμού ερυθράς

1°

Δίνεται το παρακάτω απόσπασμα από χάραξη ερυθράς. Να ευρεθεί το υψόμετρο της οδού στη διατομή Μ.



ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΟΔΟΥ	100,8				110,2
ΔΙΑΤΟΜΕΣ	Α		Μ		Β
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ		100		132	

Λύση:

ΔH_{AB} =110,2-100,8=9,4 m

S_{AB} =100+132=232 m

Άρα κλίση της (ΑΒ): $q = \dfrac{\Delta H_{AB}}{S_{AB}} = \dfrac{9,4}{232} = 0,04 = 4\%$

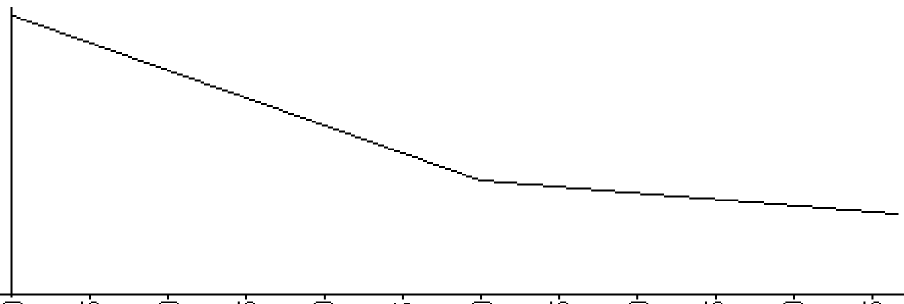
Υψομετρική διαφορά των Μ και Α:

$(\Delta H_{AM}) = q \cdot S_{AM} = 0,04 \cdot 100 = 4$ m

Άρα, το υψόμετρο στη διατομή Μ:

$(H_M) = H_A + \Delta H_{AM} = 100,8 + 4,0 = 104,8$ m

2º



Υψόμετρο οδού	800,00	798,65	797,30	795,55	794,60	793,25	791,90	791,45	791,00	790,55	790,10	789,65
Απόσταση μεταξύ	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
Αρίθμηση διατομών	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Δίδεται ταχύτητα μελέτης Ve=100 km/h. Ζητείται να υπολογισθεί η καμπύλη κατακόρυφης συναρμογής και να βρεθούν τα υψόμετρα ερυθράς.

Λύση

Πρόκειται προφανώς περί κοίλης καμπύλης συναρμογής. Η ερυθρά είναι τα υψόμετρα του άξονα, προφανώς συμπεριλαμβανομένων των καμπυλών συναρμογής.

Βάσει ΟΜΟΕ-Χ η ελάχιστη τιμή είναι η 5200m.

Θα πρέπει από τα στοιχεία της μηκοτομής να υπολογίσουμε τις μηκοτομικές κλίσεις.

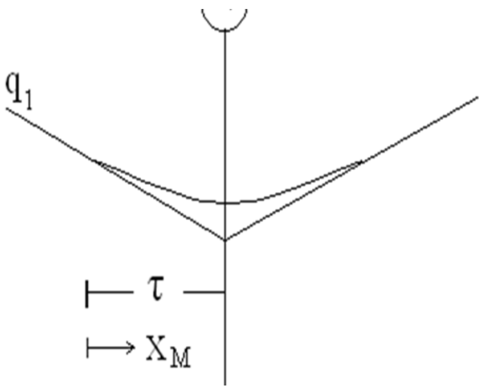
$R_{κοίλης}$=5200 m. Θα πρέπει να βρω τις δύο μηκοτομικές κλίσεις της πολυγωνικής της μηκοτομής.

Τυπολόγιο: T=RΔs(200), $f=T^2/2R$, $y=x^2/2R$
S_1=(800-791,9)/6X30=4,5%, S_2=(791,9-789,65)/5X30=1,5%, Δs=4,5-1,5=3%.

Προσοχή στον υπολογισμό του Δs!

T=RΔs/(200) = 5200X3/200=78m, (προσοχή στην έκφραση των κλίσεων!)
Έχει η εφαπτομένη (Τα) τιμή ικανή για αρμονική χάραξη; Όχι, υπολείπεται, διότι θα έπρεπε να έχει την τιμή της Ve = 100. Γενικά, όταν χρησιμοποιούμε ελάχιστες τιμές κατά ένα κριτήριο είναι πολύ πιθανό να μην επιτυγχάνουμε τις ελάχιστες τιμές και στα άλλα κριτήρια τα αναφερόμενο στο ίδιο μέγεθος. Η απαίτηση T>Ve δεν είναι τόσο ισχυρή (διότι αναφέρεται σε άνεση και αισθητική και όχι ασφάλεια, άρα δεν είναι αναγκαίο να ικανοποιηθεί).
$f=T^2/2R = 78^2/2X5200=0,585m$
Το μέγεθος f, η κατακόρυφη απόσταση της κορυφής της πολυγωνικής μηκοτομής από την καμπύλη συναρμογής είναι βασικό μέγεθος σε κάθε μηκοτομική καμπύλη.

Υψόμετρα: Με βάση το Τ, ποιες διατομές επηρεάζονται και έχουν υψόμετρο διαφορετικό της πολυγωνικής; Το Τ είναι 78m, άρα με κέντρο την 7, επηρεάζονται οι 6, 8 και οι 5, 9. Οι 4, 10 απέχουν 3X30-90m>78m, δεν επηρεάζονται.



Γενικά το πλαίσιο συντεταγμένων εφαρμογής του τύπου: $y=x^2/2R$ είναι ως το άνω Σχήμα (γενικό σχήμα, δεν αναφέρεται στην άσκηση). Συνεπώς, για T=78m, η αρχή των συντεταγμένων βρίσκεται μεταξύ των σημείων 4 και 5, σε απόσταση 3X30-78=12m, από το 4 και 18m από το 5. Και πάλι συνεπώς η διατομή 5 θάχει τετμημένη 18. Το υψόμετρο της καμπύλης θα προστεθεί ή θα αφαιρεθεί από το υψόμετρο της πολυγωνικής;

Διατομή 5: $(794,6+18^2/10400)=794,63$ m

Διατομή 6: $(793,25+48^2/10400)=793,47$ m

Διατομή 7: (791,9+0,585)=792,485 m (περίπτωση f)

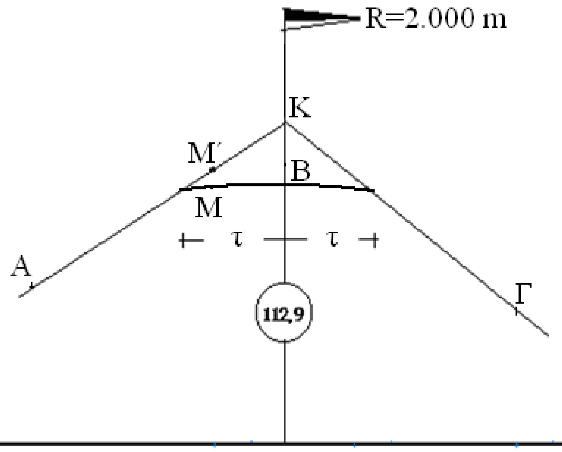
Για τις διατομές πέραν του άξονα θα δουλέψουμε θεωρώντας κατοπτρικό σύστημα, δηλαδή:

Διατομή 8: $(791,45+48^2/10400)=791,67$ m

Διατομή 9: $(791,00+18^2/10400)=791,31$ m, αντίστοιχα.

3º

Να ευρεθεί το υψόμετρο της οδού στις διατομές M και B.



ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΟΔΟΥ	110,4						108,2
ΔΙΑΤΟΜΕΣ	Α		Μ		Β		Γ
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ		72		20		110	

<u>Λύση</u>:

Η ευθεία (ΑΚ) έχει κλίση (q ή s): $q_1 = \dfrac{\Delta H_{AB}}{S_{AB}} = \dfrac{112,9-110,4}{72+20} = 0,027 = 2,7\%$

Η ευθεία (ΚΓ) έχει κλίση $q_2 = \dfrac{\Delta H_{B\Gamma}}{S_{B\Gamma}} = \dfrac{112,9-108,2}{110} = 0,043 = 4,3\%$

Η κατακόρυφη καμπύλη συναρμογής έχει μήκος εφαπτομένης:
T=RΔs/(200) = 2000X(4,3+2,7)/200=70m
Προσοχή στον υπολογισμό του Δs!

Άρα, η διατομή (Μ) περιέχεται μέσα στην κατακόρυφη καμπύλη συναρμογής, διότι απέχει από το σημείο Β απόσταση S_{MB}=20 m.
Η διατομή (Μ) έχει στην προέκταση της εφαπτομένης, αντίστοιχο σημείο (Μ′) που έχει υψόμετρο ($H_{M'}$)=112,344 m διότι $\left(\Delta H_{AM'}\right) = q_1 \cdot S_{AM'} = 0,027 \cdot 72 = 1,944$ m και

$H_{M'} = H_A + \Delta H_{AM'} = 110,4 + 1,944 = 112,334$ m

Η απόσταση της διατομής (Μ) από την αρχή της εφαπτομένης είναι:

$x_M = \tau - 20 = 70 - 20 = 50$ m. Άρα, $y_M = \dfrac{x_M^2}{2 \cdot R} = \dfrac{2.500}{4.000} = 0,62$ m

Οπότε το υψόμετρο της διατομής Μ είναι:

$H_M = \left(H_{M'}\right) - (y_M) = 112,334 - 0,62 = 111,714$ m

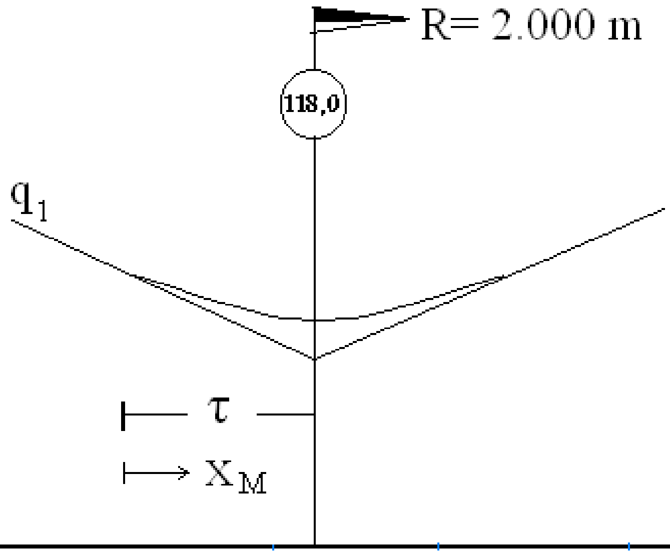
Το σημείο θλάσης των ευθυγραμμιών έχει υψόμετρο: (Η)=112,90 μ.

Η κατακόρυφη καμπύλη συναρμογής έχει: $f = \dfrac{\tau^2}{2 \cdot R} = \dfrac{4.900}{4.000} = 1,225$ m

Οπότε, το ζητούμενο υψόμετρο της διατομής Β είναι:

$H_B = H - f = 112,90 - 1,225 = 111,675 \text{ m}$

4º



ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΟΔΟΥ	116,0	
ΔΙΑΤΟΜΕΣ	A	B
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ	100	

Να ευρεθεί η απόσταση από την αρχή της κοίλης καμπύλης σημείου (Μ), όπου πρέπει να κατασκευαστεί φρεάτιο, ώστε να αποφεύγονται λιμνάζοντα ύδατα. ΠΡΟΣΟΧΗ: τα υψόμετρα έχουν γραφτεί ανάποδα: στο Α είναι 118 και στη σημαία 116m.

<u>Λύση</u>

Δεν δίνονται στοιχεία της κλίσης μετά τη σημαία. Χρειάζονται; Προφανώς, το σημείο όπου πρέπει να κατασκευαστεί φρεάτιο θα έχει το χαμηλότερο υψόμετρο, δηλαδή η εφαπτομένη στο σημείο αυτό θα έχει κλίση ίση με 0%. Αυτό ΔΕΝ ταυτίζεται με το f. Μόνο αν είχαμε συμμετρία (2% πάλι ανηφόρα θα ταυτίζονταν).
Η κλίση της εφαπτομένης σε τυχαίο σημείο Μ μιας καμπύλης είναι ίση με

$$q_M = q_1 \pm 100 \cdot \frac{x_M}{R}$$

όπου:

q_M = κλίση της εφαπτομένης στο σημείο (Μ) (%)
q_1 = κλίση της εφαπτομένης στην αρχή της καμπύλης (%)
X_M = οριζόντια απόσταση του σημείου (Μ) από την αρχή της καμπύλης (m)
R =ακτίνα καμπύλης κατακόρυφης προσαρμογής (μ)

Για να είναι q_M=0%, πρέπει $0 = q_1 - 100 \cdot \frac{x_M}{R}$ ή $x_M = \frac{q_1 \cdot R}{100}$

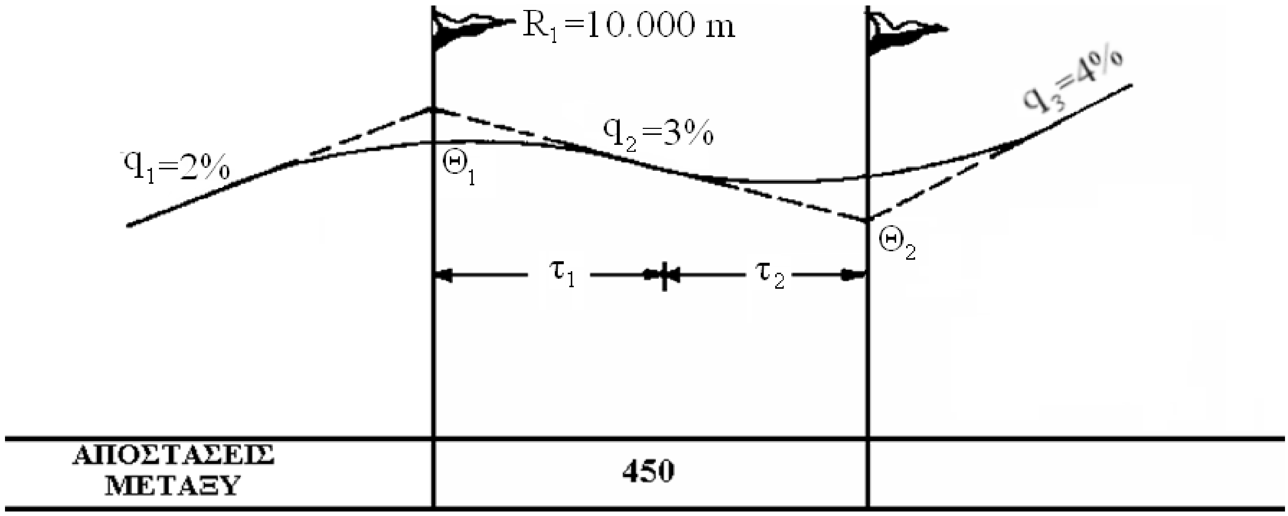
Αντικαθιστώντας τις τιμές

$$q_1 = \frac{H_B - H_A}{S_{AB}} = \frac{118,0 - 116,0}{100} = 0,02 = 2\% \text{ και } R = 2.000 \text{ m}$$

λαμβάνεται: $x_M = \frac{2 \cdot 2.000}{100} = 40 \text{ m}$

Δηλαδή το σημείο (M) απέχει από την αρχή της καμπύλης απόσταση X_M =40 m. Εκεί είναι το χαμηλότερο σημείο και θα πρέπει να χωροθετηθεί η αποχέτευση.

5ο



Ζητείται να διαμορφωθεί η κατακόρυφη καμπύλη συναρμογής στη δεύτερη θλάση Θ_2, ώστε να μην υπάρχει ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ των δύο κατακόρυφων συναρμογών.

<u>Λύση</u>

Για τη θλάση (Θ_1) ισχύει: R_1=10.000 m και

$\tau_1 = \frac{R_1}{2} \cdot (q_1 + q_2) = 5.000 \cdot (0,02 + 0,03) = 250 \text{ m}$ (εδώ στον τύπο, παίρνονται οι κλίσεις ως εκατοστά, οπότε στον παρανομαστή υπάρχει το 2 αντί του 200).

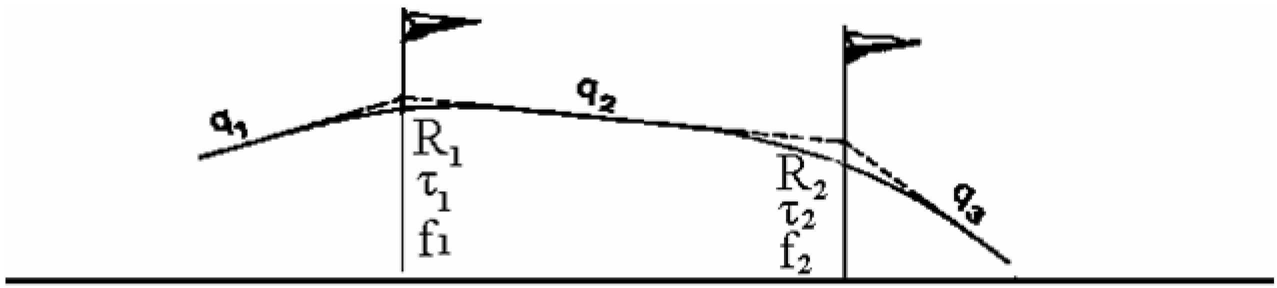
Άρα θα πρέπει τ_2=450-250=200 m. Οπότε, $\tau_2 = \frac{R_2}{2} \cdot (q_2 + q_3)$

ή $R_2 = \frac{2 \cdot \tau_2}{(q_2 + q_3)} = \frac{400}{(0,03 + 0,04)} = 5.714,29 \text{ m}$ και

$$f_2 = \frac{\tau_2^2}{2 \cdot R_2} = \frac{40.000}{2 \cdot 5.714,29} = 3,5 \text{ m}$$

6° (θεωρητικό)

Ζητείται να βελτιωθεί η χάραξη με διαμόρφωση των δύο συναρμογών σε μία.



Λύση

Όπως και στην οριζοντιογραφία έτσι και στη μηκοτομή (αλλά όχι τόσο έντονα) η ενοποίηση διαδοχικών ‘ομόρροπων’ καμπυλών θεωρείται γνώρισμα καλής χάραξης.

Για τη βελτίωση της χάραξης επεκτείνεται η ανηφόρα κλίσης q_1 και αυτή κλίσης q_3, ώσπου να τμηθούν. Εκεί θα προσαρμοσθεί μια ενιαία καμπύλη.

Προφανώς, η νέα χάραξη δεν μπορεί να απέχει πολύ (σε υψόμετρα) από την υφιστάμενη των δύο καμπυλών.

Το πρόβλημα δεν μπορεί να διερευνηθεί περαιτέρω, διότι παρουσιάζει αοριστίες. Ούτε η μέθοδος των διαδοχικών προσεγγίσεων βοηθάει. Ουσιαστικά θα πρέπει το ΣΔy μεταξύ της υφιστάμενης μηκοτομής και της υπό διερεύνηση νέας να δίνει ελάχιστο. Και για να δοθεί έμφαση στη βαρύτητα τυχόν μεγάλων διαφοροποιήσεων θα πρέπει το $\Sigma\Delta y^2$ να ελαχιστοποιηθεί. Ακόμα και αν δίνονταν αναλυτικά στοιχεία μηκοτομής σε κάθε σημείο και αναλυτικά στοιχεία καμπυλών πρόκειται για πρόβλημα που χρειάζεται τη βοήθεια της υπολογιστικής ισχύος προγραμμάτων για να επιλυθεί. Ακόμα πολυπλοκότερη για αναλυτική επίλυση χωρίς τη βοήθεια προγράμματος η/υ είναι το ανάλογο πρόβλημα ενοποίησης ομόρροπων καμπυλών οριζοντιογραφίας.

6° (εφαρμογή)

Στο πάνω σχήμα οι κλίσεις είναι διαδοχικά 3% ανηφόρα, 2% κατηφόρα και 8% κατηφόρα. Η απόσταση των 2 σημαιών είναι 300 μέτρα. Μια ενιαία μηκοτομική καμπύλη θα θέλαμε 100 μέτρα προ της 2ης σημαίας να έχει την ερυθρά ακριβώς επί της παλιάς πολυγωνικής. Ποια η νέα R;

Λύση

Θα θεωρήσουμε νοερά την επέκταση των ακραίων στοιχείων της πολυγωνικής, οι οποίες συναντώνται ώστε το συγκεκριμένο σημείο που μας δίνονται υψομετρικά δεδομένα να ανήκει στο αριστερό σκέλος της. Αυτό έχει σημασία για να προκύψει η αντίστοιχη απόσταση X σε σχέση με την κατάλληλη εφαπτομένη T.

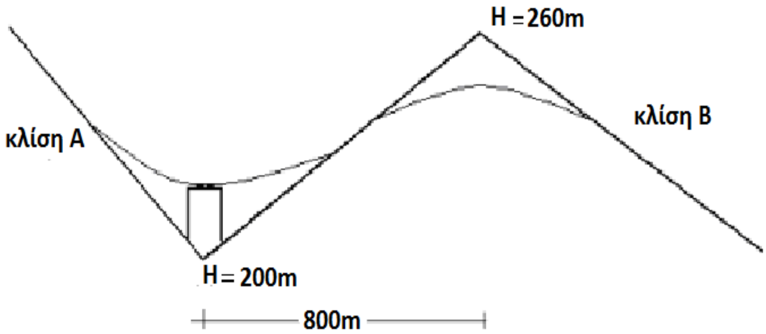
$\Delta q=3+8=11\%$, $T=\Delta qR/200=0{,}055R$.

Ποιο είναι τα υψόμετρο βάσης (της πολυγωνικής) στη συγκριμένη θέση; Με 8% άνοδο θα βρίσκεται 100Χ0,08=8m υψηλότερα της σημαίας. Ποιο είναι το υψόμετρο από το οποίο θα πρέπει να διέρχεται η ερυθρά Με 2% άνοδο είναι 2m υψηλότερα, άρα το y στη συγκεκριμένη θέση της νέας ενιαίας καμπύλης συναρμογής θα είναι 8-2=6m. Ποιος είναι ο τύπος του Y; $Y=X^2/2R$. Το δυσκολότερο ερώτημα είναι ο προσδιορισμός του X. Το X αρχίζει να μετράει από εκεί που τελειώνει το T, το οποίο με τη σειρά του για προσδιορισθεί χρειάζεται η τετμημένη της νέας σημαίας. Εδώ χρειαζόμαστε γνώσεις των εξισώσεων τομής ευθειών. Θεωρώντας ως σημείο (0,0) την πρώτη κορυφή, η αριστερά ανηφόρα έχει εξίσωση Y=0,03X. Η δεύτερη ευθεία (η δεξιά) ξέρουμε ότι περνάει από το σημείο με τετμημένη 300 και με τεταγμένη -6 και ότι έχει κλίση -8%. Συνεπώς η εξίσωση αυτής της 2ης ευθείας είναι: Y=aX+b=-0,08X+b και για το σημείο (300, -6) έχουμε -6=-0,08Χ300+b → b=18, άρα η εξίσωση είναι Y=-0,08X+18. Για να βρούμε το σημείο τομής τους έχουμε (εξισώνουμε τα Y): 0,03X=-0,08X+18 → X=18/0,11=163,6m.

Συνεπώς, η νέα μοναδική σημαία βρίσκεται 163,6m δεξιά της 1ης σημαίας. Από εκεί αρχίζει το T που υπολογίσαμε, άρα τέμνει την πολυγωνική σε απόσταση 163,6+0,055R (τετμημένη) δεξιά της 1ης σημαίας. Το σημείο που έχουμε υψόμετρο και πρέπει υποχρεωτικά να διέλθει η νέα καμπύλη συναρμογής βρίσκεται 200m δεξιά της πρώτης σημαίας (300-100=200). Συνεπώς θα έχει τετμημένη X ως προς το νέο σύστημα συντεταγμένων με έναρξη το σημείο τομής της καμπύλης συναρμογής με την πολυγωνική δεξιά, το: 163,6+0,055R-200=0,055R-36,4.

Ποια είναι η Y που έχει αυτό το σημείο; Προκύπτει από τον τύπο $Y=X^2/2R$ και γνωρίζουμε από την εκφώνηση ότι βρίσκεται επί της αρχικής πολυγωνικής. Τι αριθμητική τιμή Y έχει; Η παλιά πολυγωνική εκεί έχει κατηφόρα 2% και η νέα 8% με απόσταση 100m, άρα 6m χαμηλότερα: $6=(0{,}055R-36{,}4)^2/2R$ → $0{,}003R^2-16R+1325=0$, με επίλυση δευτεροβάθμιας εξίσωσης προκύπτουν δύο θετικές λύσεις οι 83m και 5267m. Γνωρίζουμε ότι μόνο η δεύτερη τιμή ανταποκρίνεται στα μεγέθη των μηκοτομικών καμπυλών συναρμογής, η οποία και είναι η απάντηση.

7ο



Να βρεθεί το μέγεθος f στην κυρτή καμπύλη. Το εμπόδιο (f) στην κοίλη καμπύλη είναι ύψους 7m. Η κοίλη και η κυρτή καμπύλη θα συναρμόζουν επακριβώς (χωρίς ενδιάμεσο μη-καμπύλο μηκοτομικό τμήμα).

Δεδομένα:
κλίση Α 6%, κλίση Β 7%

Λύση

Το πρώτο βήμα είναι να υπολογίσουμε την κλίση στο ενδιάμεσο τμήμα των 800m. Η κλίση της πολυγωνικής εκεί είναι: (260-200)/800 = 7,5%.

Υπολογίζουμε τα στοιχεία της πρώτης (κοίλης) καμπύλης. Τι γνωριζουμε για αυτήν την καμπύλη; Το f, $f=T^2/2R \rightarrow 7= T^2/2R \rightarrow T^2=14R$

Ποια άλλη βασική σχέση έχουμε στη μηκοτομή, η οποία μας δίνει το T, αλλά και μας βοηθάει να χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα των μηκοτομικών κλίσεων;

$T=R\Delta s/200 = R(6+7,5)/200 \rightarrow T=13,5R/200$

Αντικαθιστώντας το T έχουμε μοναδικό άγνωστο το R: $13,5^2R^2/200^2=14R \rightarrow 13,5^2R/200^2=14$ (απαλείφω το R, ως μη μηδενικό) $\rightarrow$R=3072m.

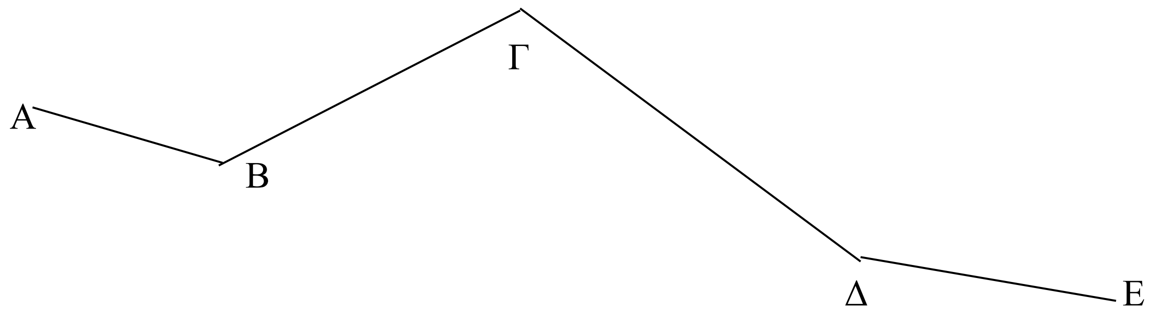
Οπότε T=13,5X3072/200=207,36m

Αφού οι καμπύλες εφαρμόζουν επακριβώς έχουμε εφαπτομένη κυρτής καμπύλης: 800-207,36=592,64m

Σημειώνεται ότι η απόσταση των 800m νοείται και κατά την κλίση της ενδιάμεσης ανηφόρας.

$592,64=R(7,5+7)/200 \rightarrow R=8174m$, οπότε $f=592,64^2/2X8174=21,48m$

8η



Έχουμε τη πολυγωνική μηκοτομή του σχήματος: ΑΒ=320μ, ΒΓΔ συνολικά Lμέτρα ΔΕ=100μ. Επίσης, μηκοτομικές κλίσεις ΑΒ 3%, ΒΓ5%, ΓΔ 5% και ΔΕ 3%.

Με βάση τα δεδομένα: συνωθούμενες όλες οι καμπύλες, έναρξη-πέρας ενιαίας καμπύλης τα άκρα της πολυγωνικής και 150μ αριστερά του Γ η ερυθρά βρίσκεται 1μ κάτω της πολυγωνικής. Να υπολογισθούν το L.

Λύση

Αρχίζω, όπως πάντα, από τα γνωστότερα…

$T_B=R_B X8/200$, έναρξη καμπύλης το Α → $T_B=320m$, → $R_B=320X200/8=8000m$,

$T_\Delta=R_\Delta X2/200$, πέρας καμπύλης το Ε→ $T_\Delta=100m$, → $R_\Delta=100X200/2=10000m$.

Τώρα θα χρησιμοποιήσω το δεδομένο της συντεταγμένης:

$Y=X^2/2R_\Gamma$, Υπάρχει πάλι η δυσκολία του Χ. Είναι T_Γ-150, οπότε $Y=(T_\Gamma-150)^2/2R_\Gamma=1$ → $(T_\Gamma-150)^2=2R_\Gamma$

$T_\Gamma=R_\Gamma X10/200$ → $20T_\Gamma=R_\Gamma$

Επιλύω το σύστημα με αντικατάσταση (όπως πάντα): $(T_\Gamma-150)^2=2X20T_\Gamma$

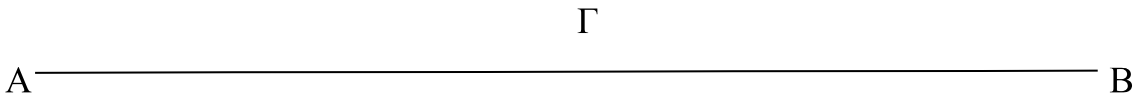
$T_\Gamma^2-340T_\Gamma+22500=0$, οπότε η δευτεροβάθμια δίνει 2 ρίζες η μία 90m και η άλλη 250m Η πρώτη ρίζα καταλήγει σε άτοπο δεδομένου ότι 90<150 και εμείς βάσει εκφώνησης θεωρούμε ότι T>150m. (Γιατί; Διότι βάσει εκφώνησης η ερυθρά βρίσκεται κάτω από την πολυγωνική, άρα είμαστε στη γειτονία της κυρτής του Γ κι όχι της κοίλης του Β).

Άρα $T_\Gamma=250m$.

$L=B\Gamma+\Gamma\Delta=T_B+2T_\Gamma+T_\Delta=320+2X250+100=920m$, επειδή οι καμπύλες είναι συνωθούμενες.

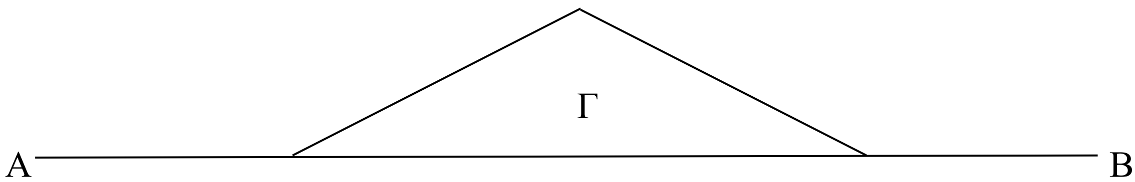
9$^{\eta}$

Για Ve=60km/h να βρεθεί το ελάχιστο μήκος επέμβασης στον ορεινό δρόμο ΑΒ, ώστε να ανισοπεδοποιηθεί η διασταύρωση στο Γ του δρόμου ΑΒ, όταν το μέγιστο ύψος οχημάτων κατά ΚΟΚ είναι 4,20m και το πάχος του φορέα 1m. Πλάτος εγκάρσιας οδού 5,5m, αλλά, ας επιλυθεί προσεγγιστικά θεωρώντας σημειακό πλάτος.



Λύση

Από το σχήμα της εκφώνησης θα πάμε στο σχήμα:



Στο Γ, όπου υπάρχει σήμερα ισόπεδη διασταύρωση, ζητείται να ανισοπεδοποιηθεί. Δηλαδή ο δρόμος ΑΒ να ξανακατασκευασθεί και να περάσει πάνω από τον κάθετο δρόμο Γ. Πόσο πάνω; Θα πρέπει να μην πάρουμε μόνο το μέγιστο ύψος οχημάτων κατά ΚΟΚ, αλλά να συνυπολογίσουμε και τυχόν κραδασμούς που θα προκαλέσουν ταλαντώσεις στην ανάρτηση του φορτηγού, αλλά και μελλοντική διάστρωση νέου ασφαλτοτάπητα 5-10cm. Ένα αθροιστικό περιθώριο 23cm θεωρείται λογικό, άρα θα έχουμε ότι ο δρόμος θα περάσει 4,2+0,3+1=5,5m ψηλότερα.

Η λογική της άσκησης είναι το ελάχιστο μήκος γιαυτό όλα τα μεγέθη που θα θεωρήσουμε θα πρέπει να είναι τα ελάχιστα αποδεκτά. Αυτό που πρέπει να σκεφτούμε κατόπιν είναι γιατί δίνεται το πλάτος της εγκάρσιας οδού. Μα διότι το ελεύθερο ύψος των 5,5m δεν θα είναι στον άξονα, αλλά 10/2=5m εκατέρωθεν. Ζητώντας η εκφώνηση την προσεγγιστική επίλυση και με βάση το περιθώριο των 30cm που δώσαμε μπορούμε, όντως, να παραμείνουμε στα 5,5m. Σε δεύτερο χρόνο, σε ακριβέστερη επίλυση θα πρέπει να υπολογίσουμε και το ακριβές ελεύθερο ύψος στην οριογραμμή.

Για την ελαχιστοποίηση του μήκους επέμβασης έχουμε χρήση μέγιστης μηκοτομικής κλίσης και ελάχιστων καμπύλων συναρμογής, διότι με βάσει τους τύπους έτσι μόνο προκύπτει το ελάχιστο μήκος παρέμβασης στον υφιστάμενο δρόμο. Εάν πάρουμε όλα τα ακραία μεγέθη θα έχουμε αοριστία. Επιλύω παίρνοντας τα ελάχιστα μεγέθη μηκοτομικών καμπυλών.

Για Ve=60km/h έχουμε ελάχιστη κυρτή ακτίνα συναρμογής 3000m και κοίλη 1900m. Συνεπώς θα πάρουμε την ελάχιστη κοίλη καμπύλη συναρμογής τη μέγιστη μηκοτομική κλίση και την ελάχιστη κυρτή καμπύλη συναρμογής και μετά συμμετρικά. Προφανώς οι καμπύλες θα είναι συνωθούμενες.

Μήκος επιρροής: 2Τλ+2Τρ+2Τλ=4Τλ+2Τρ, (maxs=9%), τύπος: T=RΔs/200

[Τλ=1900Χ9/200=85,5m, Tρ=3000Χ18/200=270m (οπότε 4Χ85,5+2Χ270=882m).

Όμως, θα πρέπει να τσεκάρουμε αν έχουμε ανέβη όσο χρειάζεται για το απαιτούμενο ελεύθερο ύψος στην οριογραμμή του δρόμου Γ. Ποιο είναι το υψόμετρο της κορυφής Γ; Ανεβαίνουμε για μήκος Τλ+Τρ=85,5+270=355,5 με κλίση 9%, άρα είμαστε 32m ψηλότερα. Ας υπολογίσουμε και το f για να δούμε πόσο χαμηλότερα βρίσκεται η κορυφή: $f=Tρ^2/2R = 270^2/2X3000=12,15m$, άρα 32-12,15=19,85m.

Ακόμα και αν συνυπολογίσουμε το κάπως χαμηλότερα της καμπύλης στην οριογραμμή, πάλι προκύπτει πολύ μα πολύ μεγαλύτερο ελεύθερο ύψος των απαιτούμενων 5,5m. Συνεπώς, έχοντας ανέβει πολύ ψηλότερα σίγουρα δεν έχουμε υπολογίσει το ελάχιστο μήκος επέμβασης στον δρόμο ΑΒ (τα 882m).

Το βασικό αίτιο που έχουμε ανέβη τόσο ψηλά είναι η μεγάλη τιμή της μηκοτομικής κλίσης, που θεωρήσαμε ως αφετηρία. Ο συλλογισμός ήταν σωστός (για αν μειωθεί το μήκος επιρροής, θα χρησιμοποιήσουμε τις πιο ‘σφιχτές’ τιμές), αλλά προέκυψε υπερδιαστασιολόγηση. Θα κρατήσουμε τις ελάχιστες ακτίνες συναρμογής και θα επιλύσουμε με άγνωστο το i.]

Τλ=1900i/200=9,5i, Τρ=3000Χ2i/200=30i.

Μήκος επιρροής: 4Τλ+2Τρ = 4Χ9,5i+2Χ30i=98i (το i εκφράζεται εδώ σε μονάδες, πχ 5%:5)

Επίσης πλέον (Τλ+Τρ)Χi/100-f=5,5m

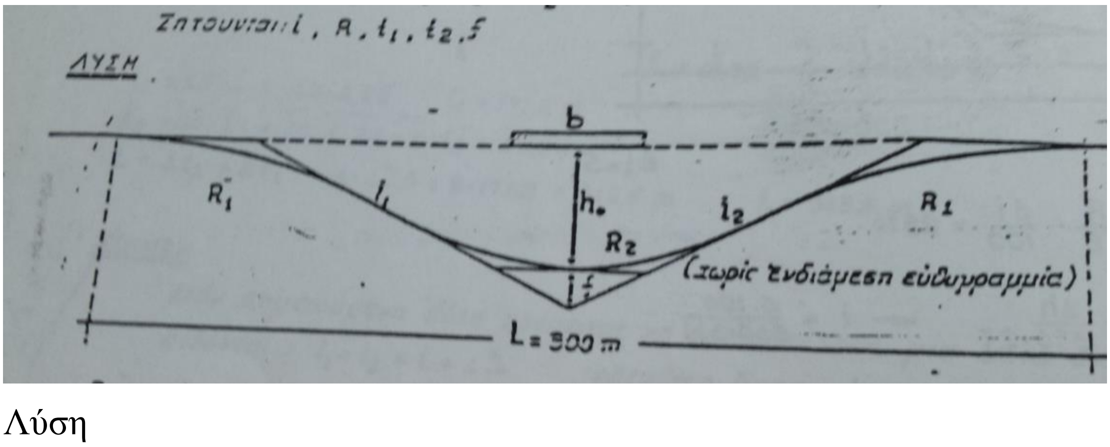
$f=Tρ^2/2R=(30i)^2/2X3000=0,15i^2$

Αντικαθιστώντας: $(9,5i+30i)i/100-0,15i^2=5,5m$, → i=4,74%

Και μήκος επιρροής: 98i=98Χ4,74=464,3m, δηλαδή δεν προλαβαίνει, λόγω του μικρού ύψους του εμποδίου υπέρβασης, η ανηφόρα να πάρει μεγάλες τιμές.

10η

Οδός διασταυρώνεται με σιδηροδρομική γραμμή. Η σιδηροδρομική γραμμή, ως ‘βαρύτερο’ έργο παραμένει ανέγγιχτη. Η οδός επιλέγεται να περάσει ανισόπεδα υπό τη σιδηροδρομική γραμμή. Ζητείται η κατασκευή, δεδομένου ότι έχουμε συμμετρία και διαθέσιμο μηκος στο οποίο μπορούμε να έχουμε εκσκαφές 300m. R1=R2. Θεωρείται ότι ο φορέας έχει μηδενικό πάχος.



Λύση

$T_1=iR_1/200$, $T_2=2iR_2/200$ → $T_2=2T_1$

$2T_1+2T_2+2T_1=300$ → $8T_1=300$ → $T_1=37,5m$, $T_2=75m$

$f+h$=(το κλασικό ελεύθερο ύψος των 4,5m)→$f+4,5=i(T_1+T_2)=i(T_1+2T_1)=iX3X37,5$ $=112,5i$ (προσοχή εδώ το i εκφράζεται ως πχ 0,05)

$f=T_2^2/2R_2$, έκφραση συναρτήσει i: $R_2=200T_2/2i=7500/i$, → $f=75^2/(2X7500/i)=3i/8$ (προσοχή εδώ το i εκφράζεται ως πχ 5) Συνεπώς, για παρόμοια έκφραση: $f=300i/8$

οπότε: $300i/8 + 4,5=112,5i$ → $i=6\%$.

Υφίσταται μια δυσκολία αναγνώρισης της έκφρασης της μηκοτομικής κλίσης.

Αντικαθιστώντας προκύπτει ότι $R_1=200T_1/i=200X37,5/6=1250m$,

$R_2 =200T_2/2i=200X75/2X6=1250m$.