

Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδού

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Μηκοτομή

Χ. Μηλιώτη

Μηκοτομή

Εισαγωγή και σχεδίαση

Η Χάραξη σε Μηκοτομή

Η Μηκοτομή αφορά την καθ' ύψος τοποθέτηση της οδού, δηλαδή στον κατακόρυφο άξονα Z, και είναι μια τομή κατά μήκος του άξονα της οδού.

Δηλαδή δημιουργούμε το επίπεδο (X,Z) όπου στον άξονα X έχουμε τις οριζοντιογραφικές αποστάσεις (τη χιλιομέτρηση του δρόμου) και στον άξονα Z τα υψόμετρα του κάθε σημείου.

Η χάραξη λοιπόν σε μηκοτομή είναι η καθ' ύψος μελέτη στον άξονα της οδού. Λόγω των σχετικά μικρών υψομετρικών διαφορών, σε σχέση με το μήκος της οδού, η μηκοτομή σχεδιάζεται σε **στρεβλή** κλίμακα: Η κλίμακα μηκών (άξονας X) είναι κατά κανόνα ίδια με αυτή της οριζοντιογραφίας ενώ η κλίμακα υψών (άξονας Z) είναι δεκαπλάσια:

π.χ. 1:1000/1:100 (Κλίμακα Μηκών 1:1000, Κλίμακα Υψών 1:100)
1:2000/1:200 (Κλίμακα Μηκών 1:2000, Κλίμακα Υψών 1:200) κ.ο.κ.

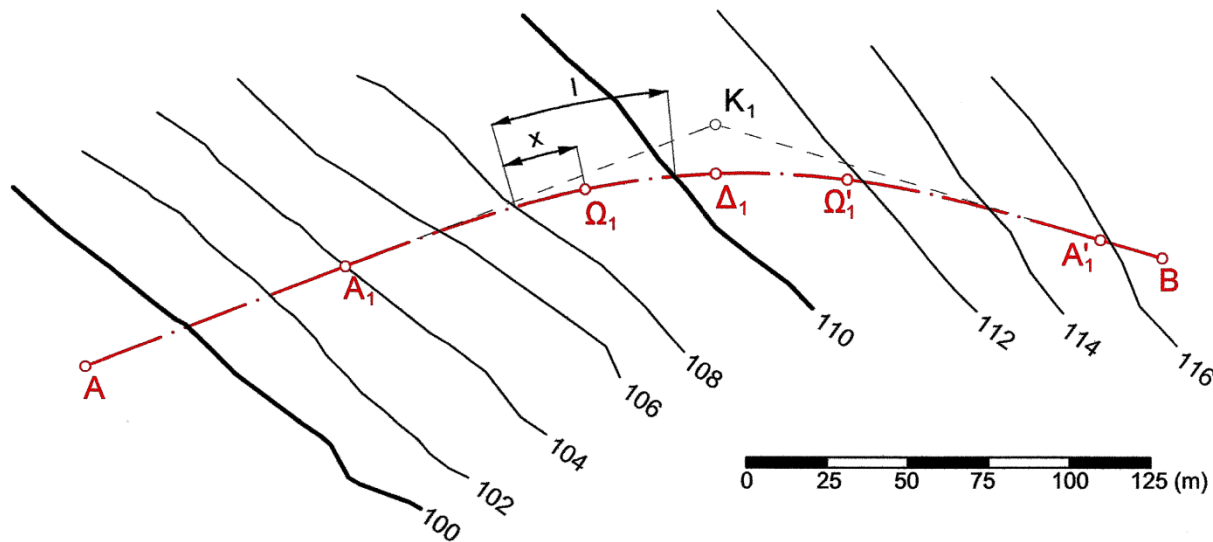
Η Χάραξη σε Μηκοτομή

Όσο πιο κοντά στην ισοκλινή είναι η πολυγωνική, τόσο πιο ομαλή θα είναι αυτή η γραμμή.
Όσο περισσότερο έχουμε ξεφύγει από την ισοκλινή, τόσο πιο μεγάλα θα είναι τα ανεβοκατεβάσματα του εδάφους.

Στον πίνακα λοιπόν της οριστικής χιλιομέτρησης δημιουργούμε μία πρόσθετη στήλη με την ένδειξη «υψόμετρο εδάφους» και προσπαθούμε να εκτιμήσουμε το υψόμετρο του κάθε σημείου (χαρακτηριστικών και ενδιάμεσων), ώστε να απεικονίσουμε το έδαφος όσο το δυνατόν πιο πιστά. Στα επόμενα εδάφια παρουσιάζεται αναλυτικά πως γίνεται η εκτίμηση αυτή.

Υψόμετρα Χαρακτηριστικών Διατομών

Η πρώτη εκτίμηση γίνεται για τα σημεία των χαρακτηριστικών διατομών. Εάν το σημείο πέσει πάνω ή πολύ κοντά σε ισοϋψή, τότε το υψόμετρο του είναι αυτό της ισοϋψούς. Εάν πέσει ενδιάμεσα τότε θα πρέπει να εκτιμηθεί.



Η διατομή A_1 πέφτει πάνω στην ισοϋψή 104 και επομένως το υψόμετρο εδάφους είναι 104,0 μ. Η διατομή Ω_1 βρίσκεται μεταξύ των ισοϋψών 108 και 110. Θα έλεγε κανείς με απλή ανάγνωση ("με το μάτι") ότι έχει υψόμετρο 109.

Υψόμετρα Χαρακτηριστικών Διατομών

Εάν όμως θέλουμε εκτίμηση με μεγαλύτερη ακρίβεια τότε θα πρέπει να κάνουμε **γραμμική παρεμβολή**. Αυτό σημαίνει ότι θεωρούμε ότι το έδαφος μεταβάλλεται γραμμικά μεταξύ των δύο ισοϋψών 108 και 110, δηλαδή σε μία τοπική μηκοτομή:

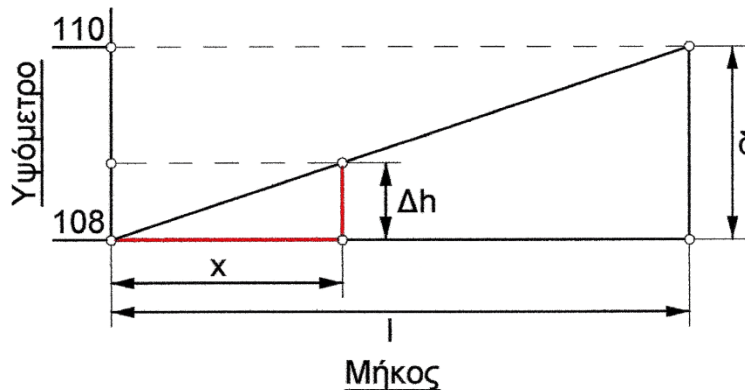
Εάν λοιπόν l είναι η απόσταση μεταξύ των δύο ισοϋψών και x η απόσταση του υπόψη σημείου (Ω_1) από την μικρότερη ισοϋψή, τότε με βάση τον κανόνα των ομοίων τριγώνων θα είναι:

$$\Delta h = x/l * \delta$$

Αν μετρήσω (γραφικά) : $l = 50 \mu$.

$$x = 20 \mu.$$

η ισοδιάσταση δ είναι 2μ . τότε :



$$\Delta h = \frac{x}{l} * \delta = \frac{20}{50} * 2 = 0,8 \mu.$$

Και το υψόμετρο του (Ω_1) θα είναι :

$$H_{\Omega_1} = 108,0 + \Delta h = 108,0 + 0,8 = 108,8 \mu.$$

Υψόμετρα Χαρακτηριστικών Διατομών (Εκτίμηση Υψομέτρων)

Αναγνωρίζοντας αυτήν την προσέγγιση στην Οδοποιΐα δεν επιδιώκουμε να εκτιμήσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια τα υψόμετρα εδάφους. Για γραφική λήψη από τοπογραφικό διάγραμμα **ένα δεκαδικό** είναι αρκετό.

Το δεύτερο δεκαδικό όχι μόνο δεν είναι απαραίτητο αλλά είναι και παρακινδυνευμένο, με μεγάλη πιθανότητα να μην είναι το πραγματικό.

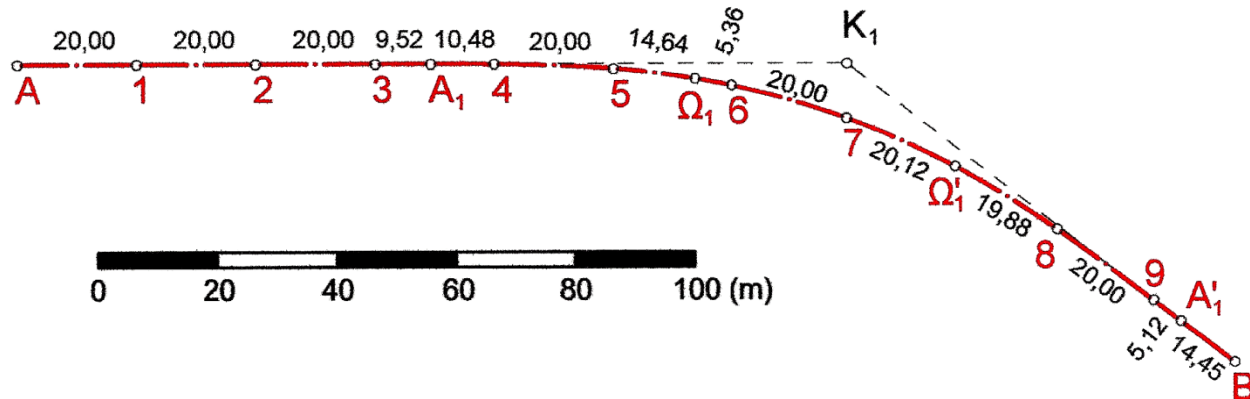
Πρέπει λοιπόν να αναγράφεται με ένα δεκαδικό π.χ. ως 108,9 και όχι 108,90, διότι βάζοντας 0 σαν δεύτερο δεκαδικό είναι σαν να δηλώνουμε ότι το υψόμετρο είναι ακριβώς 108,90, ενώ αναγράφοντας 108,9 είναι σαν να δηλώνουμε ότι το υψόμετρο μπορεί να κυμαίνεται από 108,86 έως 108,95.

Πύκνωση Υψομέτρων Εδάφους

Πύκνωση λόγω ελάχιστης απόστασης

Οι Προδιαγραφές που αφορούν τη σύνταξη μελετών Οδοποιΐας απαιτούν μία ελάχιστη απόσταση μεταξύ των διατομών. Στη Χώρα μας για το επίπεδο της Οριστικής Μελέτης ορίζεται μέγιστη απόσταση μεταξύ διατομών τα 20 μ. (τουλάχιστον 50 διατομές ανά χιλιόμετρο μελετούμενης οδού).

Για το λόγο αυτό πρέπει να πυκνώσουμε τις διατομές ώστε να μην υπερβαίνουμε την προδιαγραμμένη απόσταση. Συνήθως τα προγράμματα Η/Υ για λόγους απλοποίησης τοποθετούν διατομές ανά 20 μ. ανεξάρτητα από τις χαρακτηριστικές διατομές των καμπυλών, οπότε στις περιοχές αυτές οι αποστάσεις θα είναι μικρότερες των 20 μ. Όταν η εργασία γίνεται χειρονακτικά τοποθετούμε σημεία τυχαία, προτιμώντας φυσικά τη θέση των ισοϋψών, αρκεί να μην υπερβαίνουμε την απαίτηση των 20 μ.



Πύκνωση Υψομέτρων Εδάφους

Πύκνωση λόγω ελάχιστης απόστασης

Για το επίπεδο της προμελέτης δεν καθορίζεται μέγιστη απόσταση μεταξύ διατομών και επομένως αυτές λαμβάνονται σε χαρακτηριστικές θέσεις ανά 100 ή ακόμα και 200 μ. Οπότε, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, συμπληρώνεται ο πίνακας χιλιομέτρησης με εμβόλιμες όλες τις ενδιάμεσες διατομές και προκύπτει ο Πίνακας Οριστικής Χιλιομέτρησης. Τελικά προσθέτουμε τη στήλη των υψομέτρων εδάφους, καταλήγουμε στον διπλανό πίνακα και είμαστε έτοιμοι για τη σχεδίαση της Μηκοτομής.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΙΣΤΙΚΗΣ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΕΔΑΦΟΥΣ			
Διατομή	Αποστάσεις Μεταξύ	Χιλιομετρική Θέση (Χ.Θ.)	Υψόμετρο εδάφους
A		0+000,00	266,0
	55,24		
1		0+055,24	263,5
	55,24		
A ₁		0+110,48	263,0
	66,67		
Ω ₁		0+177,15	261,5
	56,88		
Δ ₁		0+234,03	258,0
	56,88		
Ω' ₁		0+290,91	255,5
	66,67		
A' ₁		0+357,58	255,5
	93,94		
2		0+451,52	253,5
	93,94		
3		0+545,46	250,0
	93,93		
A ₂		0+639,39	245,5
	66,67		
Ω ₂		0+706,06	243,0
	79,35		
Δ ₂		0+785,41	243,0
	79,35		
Ω' ₂		0+864,76	240,5
	66,67		
A' ₂		0+931,43	235,0
	94,65		
4		1+026,08	232,5
	94,65		
B		1+120,73	232,0

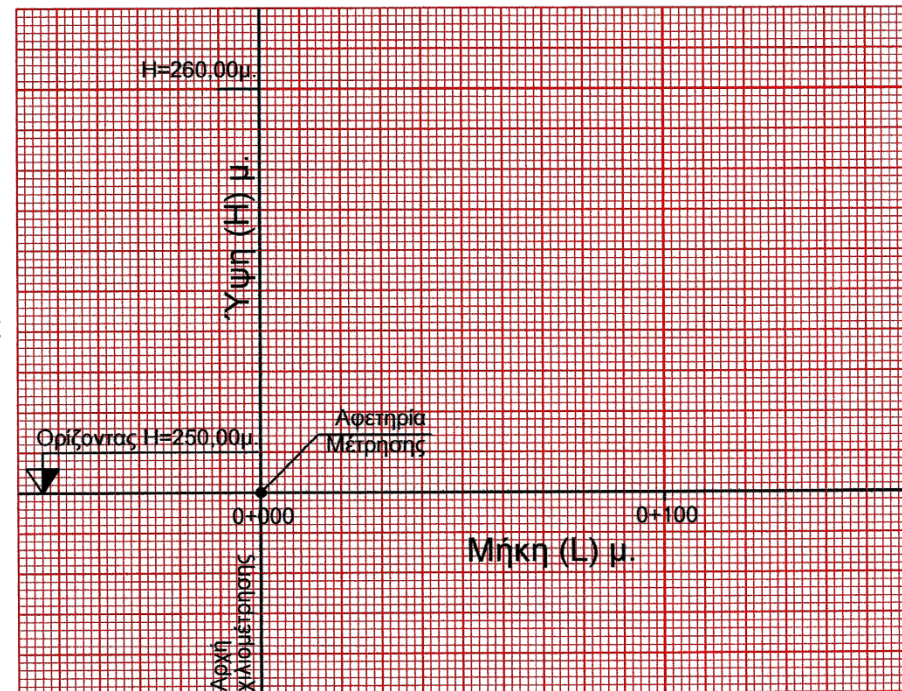
Σχεδίαση Μηκοτομής Εδάφους

Η μηκοτομή σχεδιάζεται σε στρεβλή κλίμακα δηλαδή η κλίμακα υψών είναι διαφορετική από την κλίμακα μηκών. Έτσι η κλίμακα μηκών είναι **ίδια** με αυτήν της οριζοντιογραφίας και η κλίμακα υψών **δεκαπλάσια**.

Προσοχή: Εφιστάται η προσοχή στην δεκαπλάσια κλίμακα καθότι οποιαδήποτε άλλη κλίμακα π.χ. πενταπλάσια ή εικοσαπλάσια έχει σαν αποτέλεσμα

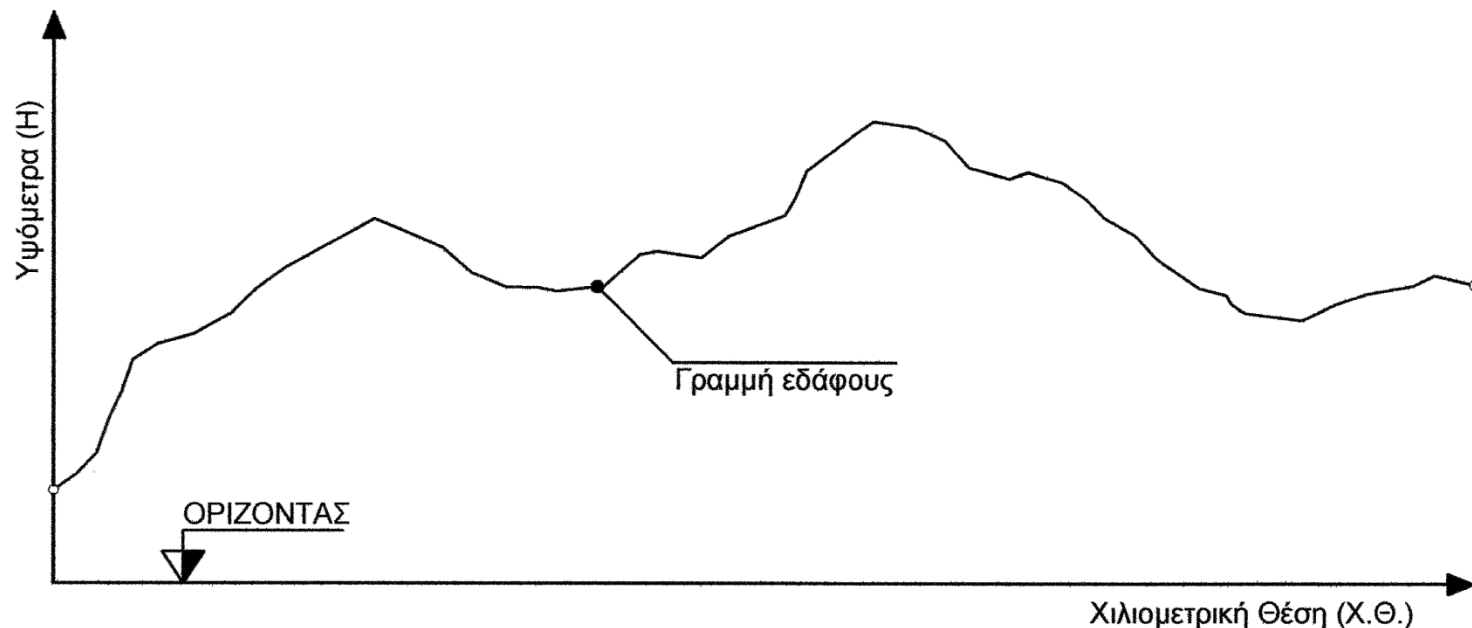
να χάνεται η σχετική εποπτεία και δεν είναι επιθυμητή. Γι' αυτό λοιπόν πάντα κλίμακα υψών δεκαπλάσια της κλίμακας μηκών δηλ. 1:2000/1:200, 1:1000/1:100, 1:500/1:50.

Η σχεδίαση γίνεται σε χαρτί **μιλλιμετρέ**. Το χαρτί αυτό έχει χρωματιστό αχνό υπόβαθρο (συνήθως πορτοκαλί ή γαλάζιο) και έχει χαραγμένο κάνναβο σε χιλιοστά. Ξεκινά από την μονάδα μέτρησης 1x1 χιλιοστά (με λεπτή γραμμή), μετά 10x10 χιλιοστά (1x1 εκατοστό χονδρότερη γραμμή) και φθάνει σε 50x50 χιλιοστά (5x5 εκατοστά χονδρή γραμμή) η οποία και εξέχει από το περιθώριο.



Σχεδίαση Μηκοτομής Εδάφους

Έχουμε σχεδιάσει την τομή του εδάφους κατά μήκος του άξονα της οδού. Η γραμμή αυτή παρουσιάζει αρκετά ανεβο-κατεβάσματα και φυσικές ανωμαλίες και σίγουρα δε μπορεί να κινηθεί όχημα πάνω σ' αυτήν. Θα πρέπει λοιπόν κατά κάποιο τρόπο να την «ευθυγραμμίσουμε», δηλαδή να δημιουργήσουμε μια νέα πιο τεταμένη γραμμή, μια πολυγωνική, κατακόρυφη αυτή τη φορά, όπου εφαρμόζοντας κατάλληλες κατακόρυφες καμπύλες να μπορεί να αποτελέσει την τελική επιφάνεια κύλισης της οδού.

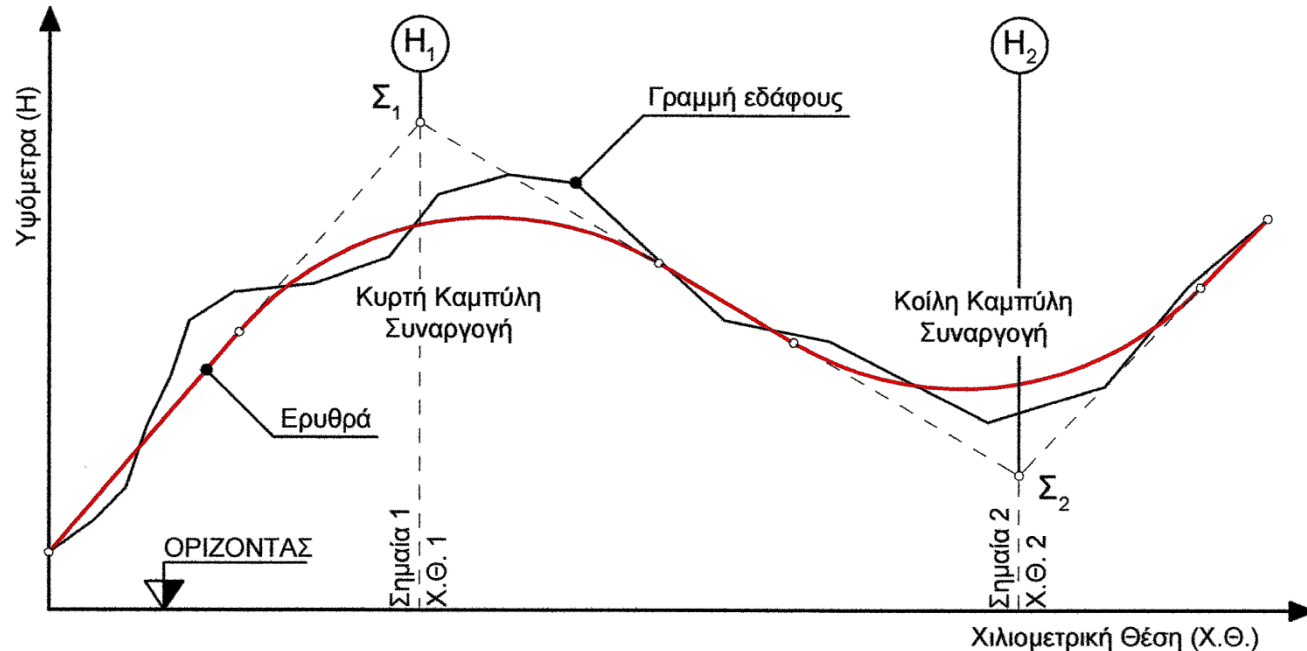


Ερυθρά της οδού

Η νέα αυτή γραμμή λέγεται **ερυθρά της οδού** και είναι μια από τις σημαντικότερες εργασίες κατά την εκπόνηση της μελέτης μιας οδού.

Η ερυθρά πήρε το όνομα της από το γεγονός ότι παλαιότερα ήταν υποχρεωτικό να σχεδιάζεται με κόκκινη μελάνη και μας δίνει τα υψόμετρα της τελικής στάθμης της οδού. Τα υψόμετρα αυτά αφορούν σε τελειωμένα υψόμετρα (οδοστρώματος) στον άξονα της οδού.

Σε ελάχιστες περιπτώσεις όπως για παράδειγμα σε κλάδους κόμβων η ερυθρά δίνεται κατά μήκος κάποιας οριογραμμής και όχι στον άξονα της οδού.



Ερυθρά της οδού

Η ερυθρά λοιπόν είναι μια πολυγωνική σε κατακόρυφο επίπεδο η οποία δημιουργεί πλευρές και κορυφές. Οι πλευρές έχουν μια κλίση σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο και οι κορυφές ένα υψόμετρο.

Επομένως η ερυθρά γραμμή ορίζεται από τις κορυφές της, που έχουν συντεταγμένες την χιλιομετρική θέση (οριζόντιες αποστάσεις) και το υψόμετρο (κατακόρυφες αποστάσεις). Τις θέσεις αυτές των κορυφών, δηλαδή εκεί όπου η ερυθρά έχει θλάση, τις ονομάζουμε **σημαίες**.

Προφανώς στις κορυφές αυτές πρέπει να εγγράψουμε τόξα στρογγύλευσης ώστε να δημιουργήσουμε μια ομαλή επιφάνεια κύλισης της οδού. Τις καμπύλες αυτές τις ονομάζουμε **κατακόρυφα τόξα συναρμογής** και διακρίνονται σε δύο είδη :

Όταν η καμπύλη στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω (καμπούρα) ονομάζεται **κυρτή καμπύλη συναρμογής**.

Όταν η καμπύλη στρέφει τα κοίλα προς τα άνω (γούπατο - βαθούλωμα) ονομάζεται **κοίλη καμπύλη συναρμογής**.

Ερυθρά της οδού

Η χάραξη της ερυθράς είναι πολύ σημαντική εργασία καθότι καθορίζει ποιοτικά αλλά και οικονομικά χαρακτηριστικά της οδού και απαιτεί μεγάλη εμπειρία.

Υπάρχουν ορισμένοι βασικοί κανόνες που πρέπει να τηρηθούν. Το πρώτο μας μέλημα είναι να εξασφαλίσουμε την λειτουργικότητα και την ασφάλεια του δρόμου και το δεύτερο να ελαχιστοποιήσουμε το κόστος.

Κριτήρια για τη χάραξη της ερυθράς είναι:

1. Μέγιστη κατά μήκος κλίση ($\max S$)
2. Ελάχιστη κατά μήκος κλίση ($\min S$)
3. Ελάχιστη ακτίνα κυρτής κατακόρυφης συναρμογής ($\min H_k$)
4. Ελάχιστη ακτίνα κοίλης κατακόρυφης συναρμογής ($\min H_w$)
5. Ελαχιστοποίηση των χωματουργικών
6. Εξισορρόπηση των χωματουργικών

Στοιχεία Μηκοτομής

Όλα τα στοιχεία της μηκοτομής παρουσιάζονται υπό μορφή ενός πινακιδίου το οποίο τοποθετείται στο κάτω μέρος του χαρτιού. Το πινακίδιο αυτό είναι τυποποιημένο για τον Ελληνικό Χώρο, χρησιμοποιείται από όλους τους Έλληνες Μελετητές Οδοποιίας, έχει ύψος 7-10 εκ. και περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

Οριζοντας $H=470,00\mu$.

①	ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΕΡΥΘΡΑΣ	475.87	475.70	475.72	475.96	476.36	476.82	477.76	478.91	479.75	480.48	481.28	
②	ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	475.87	475.61	475.33	475.11	474.91	474.77	474.49	474.52	474.38	474.26	473.99	
③	ΔΙΑΤΟΜΕΣ	KA	1	2	A2	3	02	Δ2	0'2	4	A'2	5	
④	ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΤΟΜΩΝ	15.23	18.04	16.80	15.20	12.73	19.49	19.49	13.96	13.97	20.00		
⑤	ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΑΡΧΗ	0.00	15.23	33.27	50.07	65.27	78.00	97.49	116.99	130.95	144.91	164.91	
⑥	ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΗΣΗ	0 + 000						0 + 100					
⑦	ΚΛΙΣΕΙΣ ΠΟΛΥΓΩΝΙΚΗΣ	$\frac{-0.015355}{52.75}$						$\frac{0.060026}{112.16}$					
⑧	ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΕΣ - ΚΑΜΠΥΛΕΣ	αριστερόστροφη		50.07		78.00		116.98		144.91			
		$R=\infty$ $L=50.07$	$A=60.26$ $L=27.93$		$R=130$ $Lb=38.99$		$A=60.26$ $L=27.93$		$R=\infty$ $L=20.00$				
		αριστερόστροφη											

Στοιχεία Μηκοτομής

1^η Σειρά (ύψος 1-1,5 εκ.) Υψόμετρα Ερυθράς : είναι τα υψόμετρα της τελικής στάθμης της οδού για τα οποία θα μιλήσουμε αναλυτικά στο επόμενο εδάφιο.

2^η Σειρά (ύψος 1-1,5 εκ.) Υψόμετρα Εδάφους : είναι τα υψόμετρα που έχουμε βρει από το τοπογραφικό διάγραμμα και παρουσιάζονται στη στήλη 4 του Οριστικού Πίνακα Χιλιομέτρησης (στήλη 4 του Πίνακα 5.1.).

3^η Σειρά (ύψος 0,5 εκ.) Αριθμός Διατομής : είναι η αρίθμηση που έχουμε δώσει στη διατομή είτε αυτή είναι κάποια χαρακτηριστική διατομή καμπύλης είτε κάποιος αύξων αριθμός (στήλη 1 του Πίνακα 5.1.).

4^η Σειρά (ύψος 0,5 εκ.) Αποστάσεις Μεταξύ : είναι οι αποστάσεις μεταξύ των διατομών όπως υπολογίσθηκαν αναλυτικά από τη διαδικασία της χιλιομέτρησης (στήλη 2 του Πίνακα 5.1.).

5^η Σειρά (ύψος 1-1,5 εκ.) Αποστάσεις Απ' αρχής : που είναι η χιλιομέτρηση της κάθε διατομής (στήλη 3 του Πίνακα 5.1.).

6^η Σειρά (ύψος 0,5-1 εκ.) Χιλιομέτρηση : όπου τοποθετείται οριζόντια η ακέραιη χιλιομέτρηση και τα εκατόμετρα της οδού, δηλαδή 0+000, 0+100, 0+200, , 1+000, 1+100, 1+200, κ.ο.κ. Και πάλι εφιστάται η προσοχή η ακέραιη χιλιομέτρηση να τοποθετείται σε χονδρό κάρναβο (αυτόν που είναι ανά 5 εκ.) του μιλλιμετρέ χαρτιού.

Στοιχεία Μηκοτομής

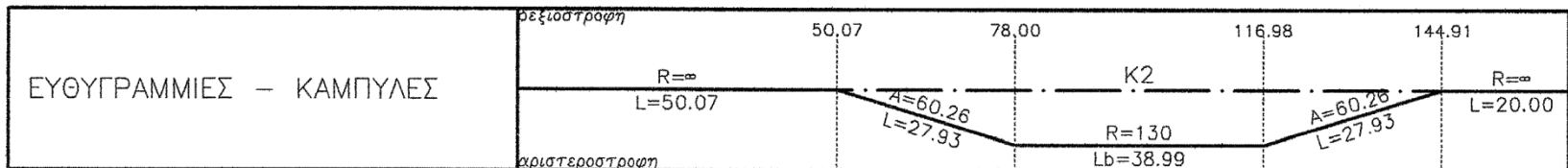
7^η Σειρά (ύψος 0,5-1 εκ.) Κλίσεις : όπου καταγράφονται οι κατά μήκος κλίσεις της τελικής στάθμης της οδού. Η αναγραφή γίνεται συνήθως υπό μορφή κλάσματος όπου στον αριθμητή αναγράφεται η κλίση, με ακρίβεια τουλάχιστον τεσσάρων σημαντικών ψηφίων, και στον παρονομαστή αναγράφεται η απόσταση από κορυφή (θλάση) σε κορυφή της κατακόρυφης πολυγωνικής της οδού, όπως αναπτύσσεται στα επόμενα εδάφια.

8^η Σειρά (ύψος 1,5-2 εκ.) Ευθυγραμμίες – Καμπύλες : δηλαδή τα οριζοντιογραφικά στοιχεία της οδού. Τα στοιχεία αυτά δίνονται γραφικά υπό την μορφή του διαγράμματος καμπυλότητας.

Υπενθυμίζεται ότι:

- Η ευθυγραμμία έχει ακτίνα $R = \infty$ άρα καμπυλότητα $1/R = 0$
- Το κυκλικό τόξο έχει ακτίνα R άρα καμπυλότητα $1/R =$ σταθερή
- Η κλωθοειδής έχει καμπυλότητα που μεταβάλλεται ανάλογα με το μήκος δηλαδή $1/R = (1/A^2) * L$, και μεταβάλλεται γραμμικά από $0 \rightarrow 1/R$.

Έχει δηλαδή την μορφή που παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.

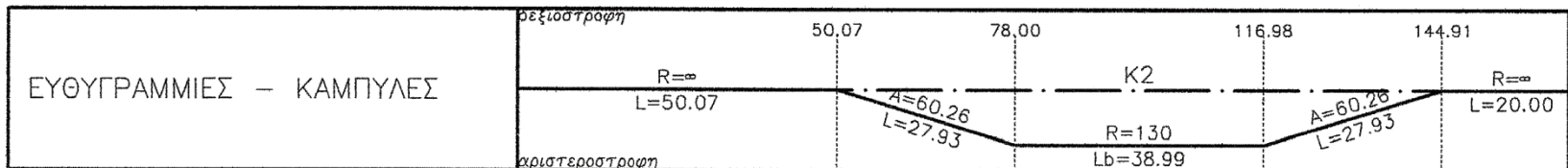


Στοιχεία Μηκοτομής

Το σχηματάκι αυτό σχεδιάζεται για την κάθε καμπύλη και είναι πλατυσμένο ώστε να χωράει στο ύψος του 1,5-2 εκ. που μας διατίθεται στο πινακάκι της μηκοτομής. Συνήθως η ευθυγραμμία τοποθετείται στο μέσον του διαστήματος ενώ οι καμπύλες τοποθετούνται είτε προς τα πάνω, αν πρόκειται για δεξιόστροφες καμπύλες, είτε προς τα κάτω αν πρόκειται για αριστερόστροφες καμπύλες. Δίπλα ή κάτω από το κάθε στοιχείο της καμπύλης αναγράφονται τα αριθμητικά δεδομένα του, δηλαδή:

- Για την ευθυγραμμία το μήκος της L_e
- Για την κλωθοειδή, η παράμετρος (A), το μήκος (L), και προαιρετικά η εκτροπή (ΔR)
- Για το κυκλικό τόξο, η ακτίνα (R), το μήκος του (L_c), και προαιρετικά η γωνία θλάσης (γ).

Προσοχή : Τα στοιχεία της οριζοντιογραφίας είναι πολύ βασικά για την περαιτέρω επεξεργασία της μηκοτομής της οδού και πρέπει να μεταφέρονται και να απεικονίζονται σωστά μαζί με τα στοιχεία εδάφους.

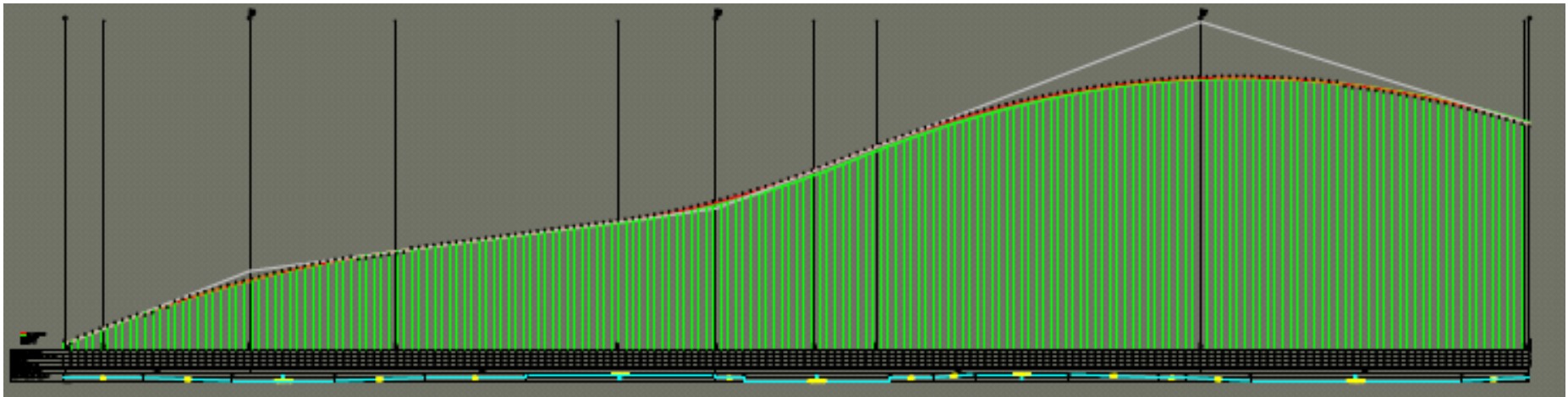


Μηκοτομή

Τμήματα σταθερής και μεταβαλλόμενης κλίσης

Ερυθρά

- Συνίσταται από τμήματα
 - σταθερής κλίσης
 - μεταβαλλόμενης κλίσης
- Ισχύουν κανόνες ως προς τη σύνδεση των επί μέρους στοιχείων



Ερυθρά

- Τμήματα σταθερής κλίσης

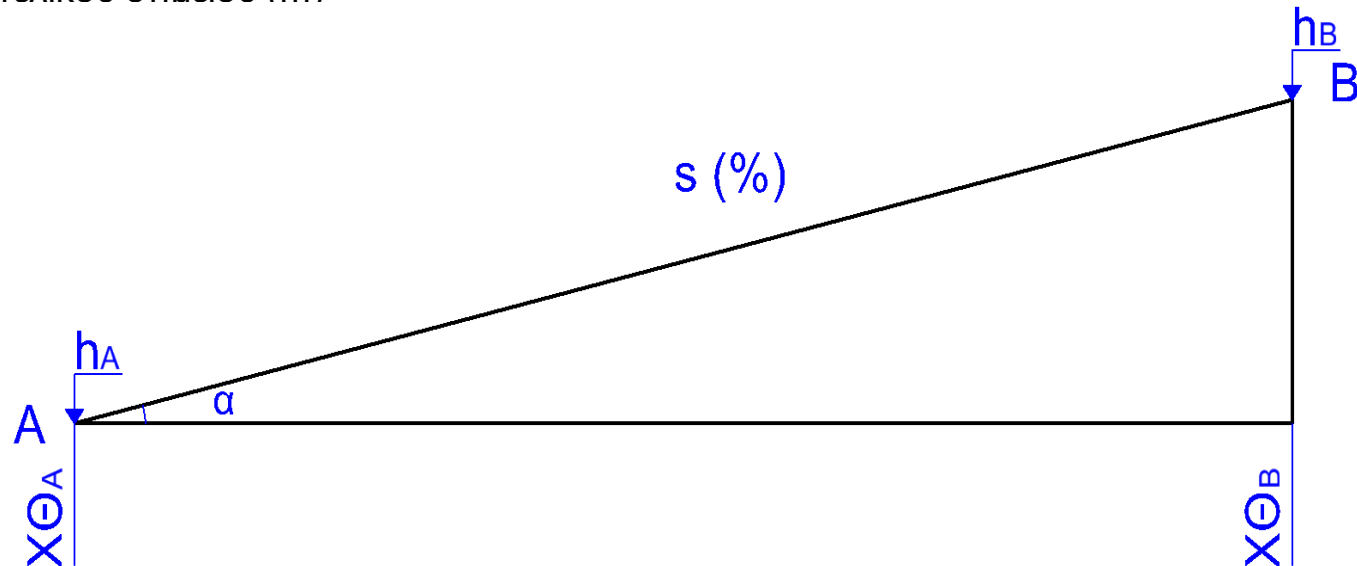
$$s^{(\%)} = 100 \tan \alpha = \frac{h_B - h_A}{X\Theta_B - X\Theta_A} 100$$

h_A : υψόμετρο αρχικού σημείου (m)

h_B : υψόμετρο τελικού σημείου (m)

$X\Theta_A$: χιλιομετρική θέση αρχικού σημείου (m)

$X\Theta_B$: χιλιομετρική θέση τελικού σημείου (m)



Κλίσεις

- Διατήρηση κλίσης οδού (ερυθράς) σε χαμηλές τιμές
 - κυκλοφοριακή ασφάλεια
 - λειτουργικό κόστος
 - εξοικονόμηση ενέργειας
 - μειωμένη ρύπανση
 - ποιότητα ροής

ΚΥ



Οριακές Τιμές Κλίσεων

V (km/h)	AASHTO, 2011			RAA, 2008		RAL, 2012	
	S _{max} (%) [υπεραστικές αρτηρίες]			κλάση οδού	S _{max} (%)	κλάση οδού	S _{max} (%)
	πεδινά εδάφη	λοφώδη εδάφη	ορεινά εδάφη				
60	5	6	8				
70	5	6	7			EKL 4	8.0
80	4	5	7	EKA 3	6.0		
90	4	5	6			EKL 3	6.5
100	3	4	6	EKA 2	4.5	EKL 2	5.5
110	3	4	5			EKL 1	4.5
120	3	4	5	EKA 1B	4.5		
130	3	4	5	EKA 1A	4.0		

ΠΗΓΗ: AASHTO (2011), RAA (2008), RAL (2012)

Οριακές Τιμές Κλίσεων

V _e (km/h)	S _{max} (%) κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001					
	ομάδα Α			ομάδα Β (εκτός ΒΙ)	ΒΙ	
	πεδινά εδάφη	λοφώδη εδάφη	ορεινά εδάφη	όλες οι κατηγορίες εδαφών	όλες οι κατηγορίες εδαφών	max μήκος εφαρμογής (m)
50	7 (8)	8 (9)	10 (11)	8 (12)	8 (12)	100
60	6 (8)	7 (9)	9 (10)	7 (10)	7	200
70	5 (7)	6 (8)	8 (9)	6 (9)	6	300
80	4 (6)	5 (7)	7 (9)	5 (7)	5	600
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)	-	-	-	-	

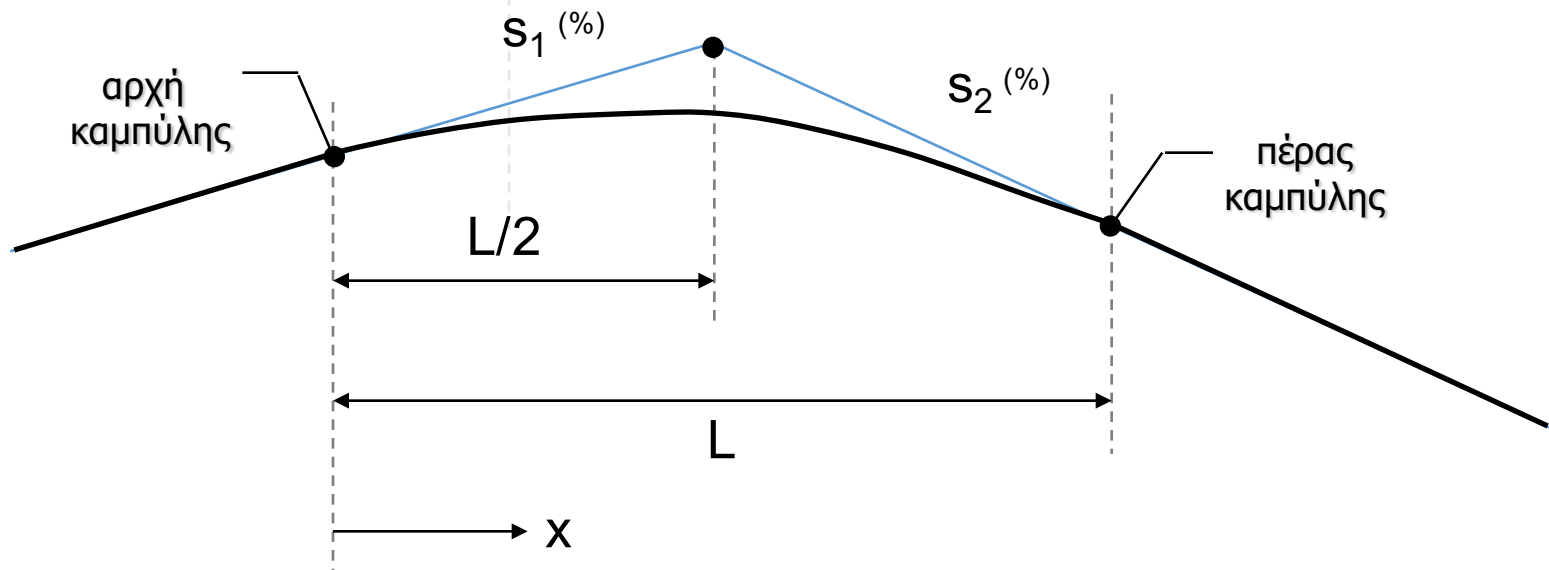
Ειδικές Περιπτώσεις

- Ισόπεδοι κόμβοι, $s_{\max}=4.0\%$
 - ορατότητα
 - διαχείριση βαρέων οχημάτων
- Σήραγγες, $s_{\max}=4.0\%$
 - σε μεγάλα μήκη σηράγγων $\max s=2.5\%$
 - μεγαλύτερες τιμές κλίσεων
 - υψηλότερη ρύπανση
 - μεγαλύτερη πιθανότητα ατυχημάτων
 - διασπορά εύφλεκτων υλικών με μεγαλύτερη ταχύτητα
 - μείωση ταχύτητας βαρέων οχημάτων
- Γενικά s_{\max} εξαρτάται από L_{\max}



Ερυθρά

- Τμήματα μεταβαλλόμενης κλίσης
 - χρήση της τετραγωνικής παραβολής
 - προσέγγιση του εγγύτατου κύκλου της καμπύλης, του οποίου η ακτίνα (H) ισούται με την ακτίνα καμπυλότητας στην κορυφή της παραβολής



$$y = ax^2 + bx + c$$

Ερυθρά

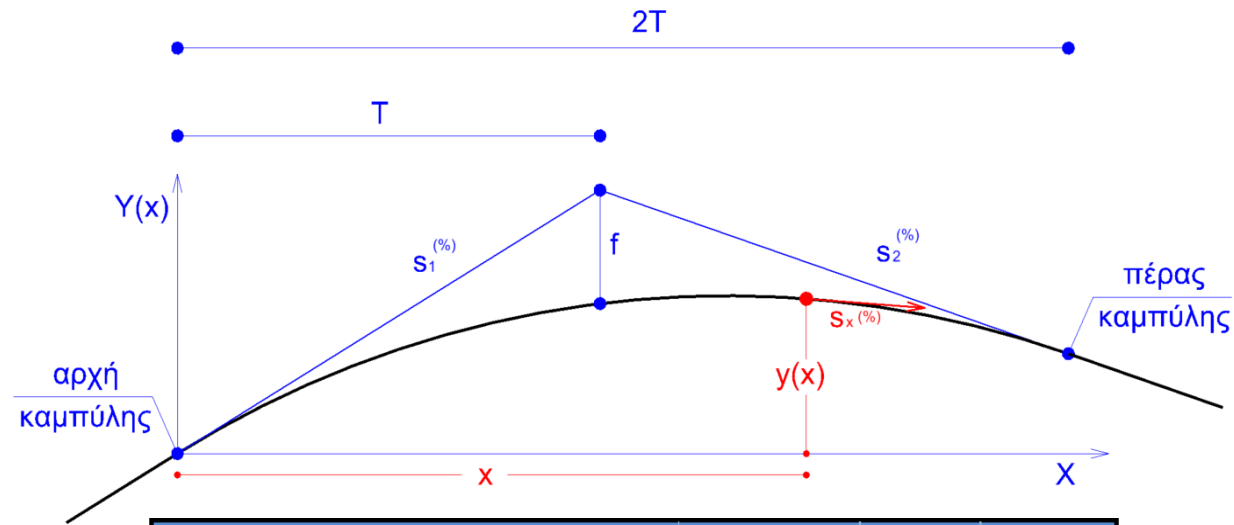
- Τμήματα μεταβαλλόμενης κλίσης

$$T = \frac{H}{2} \frac{s_2 - s_1}{100}$$

$$y(x) = \frac{s_1}{100} x + \frac{x^2}{2H}$$

$$s_x = s_1 + \frac{x}{H} 100$$

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



Περιγραφή	Συμβολισμός	Μονάδα	Πρόσημο
Κλίση ανωφέρειας	s ↗	(%)	(+)
Κλίση κατωφέρειας	s ↘	(%)	(-)
Παράμετρος κυρτής κατακόρυφης καμπύλης	H_k ⤵	(m)	(-)
Παράμετρος κοίλης κατακόρυφης καμπύλης	H_w ⤴	(m)	(+)

Κανόνες Προσήμων

H: παράμετρος της τετραγωνικής παραβολής (m)

T: μήκος εφαπτόμενης (m)

s_1, s_2 : κατά μήκος κλίσεις (%)

$y(x)$: τεταγμένη καμπύλης σε τυχαία απόσταση "x" από την αρχή της (m)

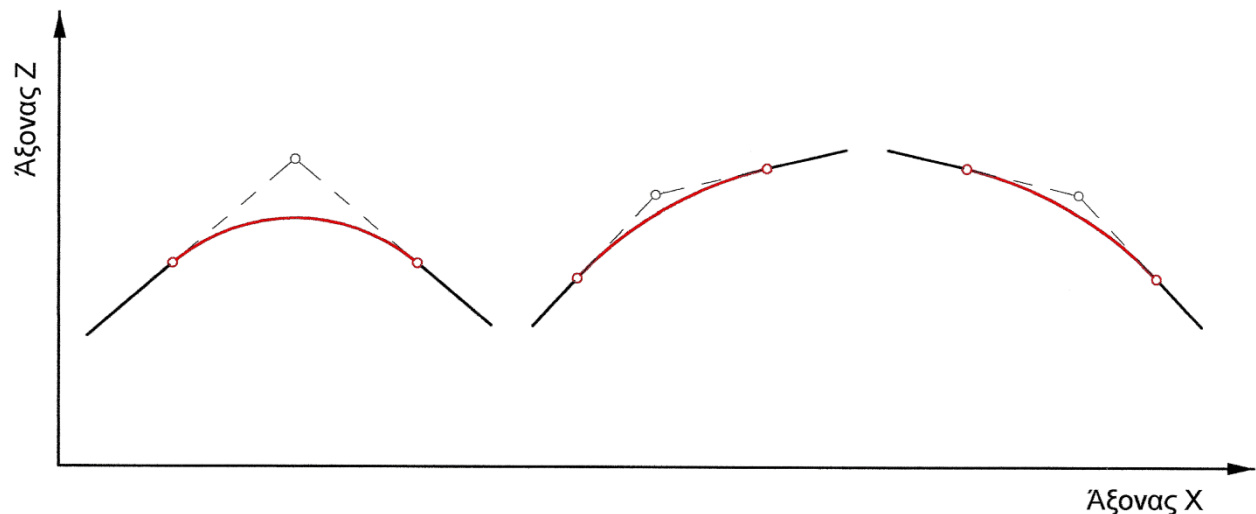
s_x : κατά μήκος κλίση σε τυχαία απόσταση "x" από την αρχή της καμπύλης (%)

f: βέλος καμπύλης (m)

Ελάχιστη ακτίνα κυρτής κατακόρυφης συναρμογής

Κυρτή κατακόρυφη καμπύλη είναι το τόξο που εγγράφεται στις δύο πλευρές της πολυγωνικής και στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω.

Οι απλούστερες μαθηματικές καμπύλες είναι αυτές του 2^{ου} βαθμού. Αυτές που προσεγγίζουν καλλίτερα στο να χρησιμοποιηθούν σαν επιφάνεια κύλισης οδού είναι δύο: το κυκλικό τόξο και η τετραγωνική παραβολή. Στην Οδοποιΐα λοιπόν η στρογγύλευση της μηκοτομής γίνεται συνήθως με την χρησιμοποίηση **τετραγωνικής παραβολής** σαν προσέγγιση του εγγύτατου κύκλου της καμπύλης (του οποίου η ακτίνα ισούται με την ακτίνα καμπυλότητας H στην κορυφή της παραβολής).



Ελάχιστη ακτίνα κυρτής κατακόρυφης συναρμογής

Η παραπάνω σχέση είναι η βασική σχέση που συνδέει την ελάχιστη ακτίνα κυρτής καμπύλης ($\min H_k$) με το μήκος ορατότητας για στάση (S_h) με παραμέτρους το ύψος οφθαλμού (h_1) και το ύψος αντικειμένου (h_2). Επειδή το μήκος ορατότητας ορίζεται από τη λειτουργική ταχύτητα (v_{85}) συνεπάγεται ότι και η ελάχιστη ακτίνα ($\min H_k$) ορίζεται και αυτή από την v_{85} .

Στον διπλανό πίνακα παρουσιάζονται για σύγκριση οι ελάχιστες τιμές ακτίνων των κυρτών κατακόρυφων συναρμογών σύμφωνα με τους διάφορους Κανονισμούς.

V_e	103/1E (1960-62)	ΟΜΟΕ-Χ (2001)		RAS-L-1		RAA 2008
		Ενιαίο	Διαχωρισμένο	1984	1995	
30	500	-	-	-	-	
40	1000	-	-	-	-	
50	1500	800	-	-	1400	
60		2000	3000	2750	2400	
65	2500					
70		3000	4500	3500	3150	
80	5000	4500	6200	5000	4400	3000
90		6200	8500	7000	5700	
100	9000	8500	11000	10000	8300	5000
110		-	15000	-	-	
120	16000	-	15000	20000	16000	10000
130			15000	-	-	13000

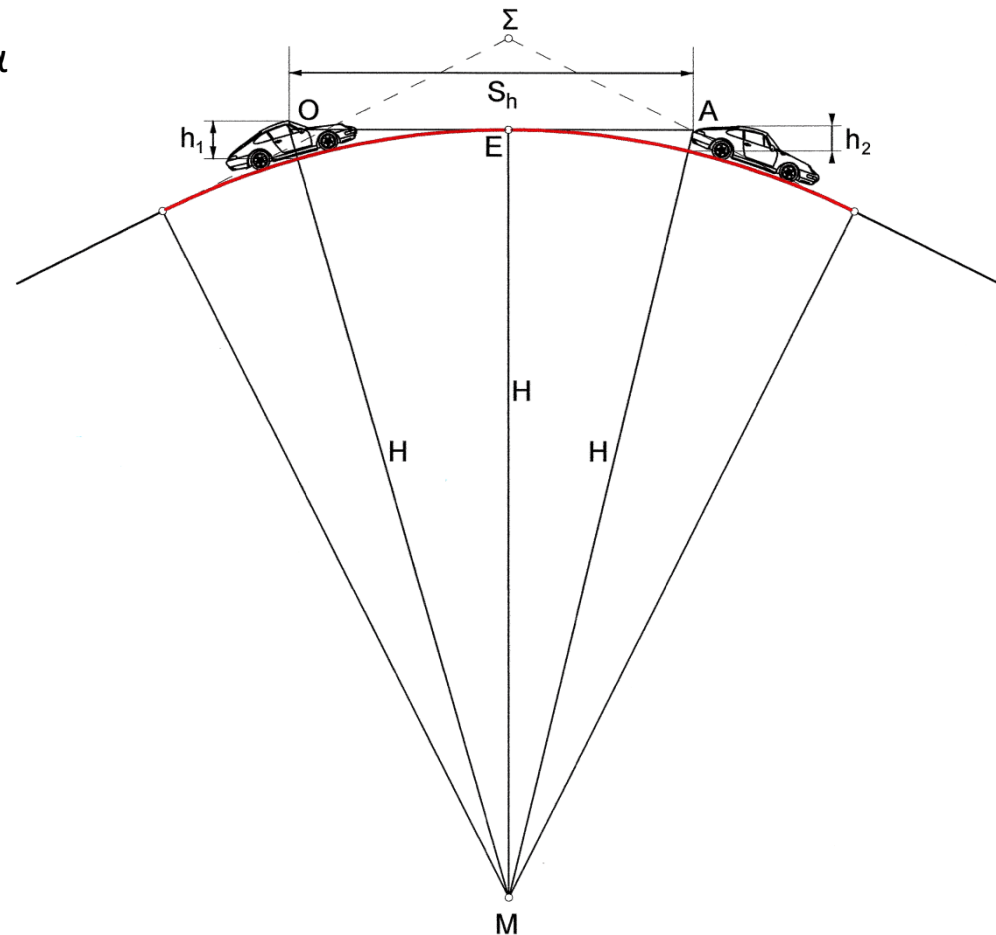
Ελάχιστη ακτίνα κυρτής κατακόρυφης συναρμογής

Όπως είπαμε στο εισαγωγικό κεφάλαιο, για να είναι ένας δρόμος ασφαλής θα πρέπει να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ορατότητα για στάση (S_h) στο σύνολο του μήκους του. Η συνθήκη αυτή πρέπει να ισχύει και όταν το όχημα διαγράφει μια κατακόρυφη κυρτή καμπύλη. Αν ορίσουμε με:

- S_h [μ] = την απόσταση ορατότητας για στάση
- H [μ] = την ακτίνα της κυρτής κατακόρυφης καμπύλης
- h_1 [μ] = το ύψος οφθαλμού του οδηγού
- h_2 [μ] = το ύψος του αντικειμένου

Τότε:

$$\min H_k = \frac{(\min S_h)^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

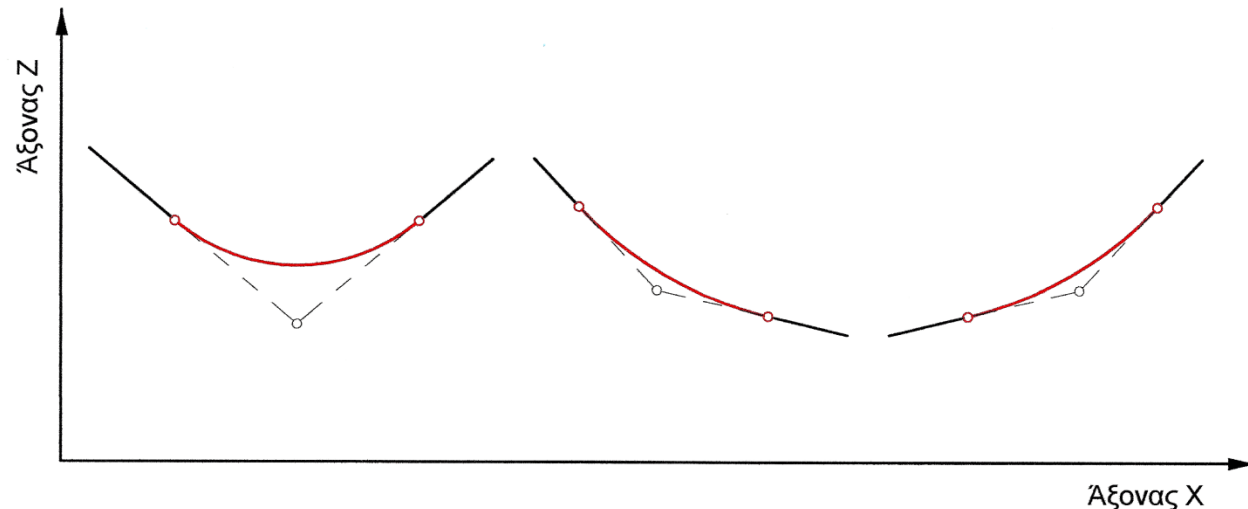


Ελάχιστη ακτίνα κοίλης κατακόρυφης συναρμογής

Κοίλη κατακόρυφη καμπύλη είναι το τόξο που εγγράφεται στις δύο πλευρές της πολυγωνικής και στρέφει τα κοίλα προς τα πάνω. Όσον αφορά την μορφή του τόξου ισχύουν τα όσα αναφέρθηκαν για την κυρτή κατακόρυφη καμπύλη.

Για να δούμε τι ισχύει όσον αφορά την ελάχιστη ακτίνα της κοίλης καμπύλης ($\min H_w$). Όπως σε όλες τις περιπτώσεις θα πρέπει να εξασφαλίζεται η ορατότητα για στάση. Στην περίπτωση της κοίλης καμπύλης, αυτή είναι πλήρως ορατή εκτός από δυο περιπτώσεις:

- (α) Κατά την διάρκεια της νύκτας
- (β) Σε περίπτωση διάβασης κάτω από γέφυρα.



Ελάχιστη ακτίνα κοίλης κατακόρυφης συναρμογής

(α) Ορατότητα κατά την διάρκεια της νύκτας

Κατά τη νύκτα η ορατότητα επιτυγχάνεται από τη δέσμη φωτός που ρίχνουν οι προβολείς στο δρόμο. Αν ορίσουμε με:

S_h [μ] = την απόσταση ορατότητας για στάση

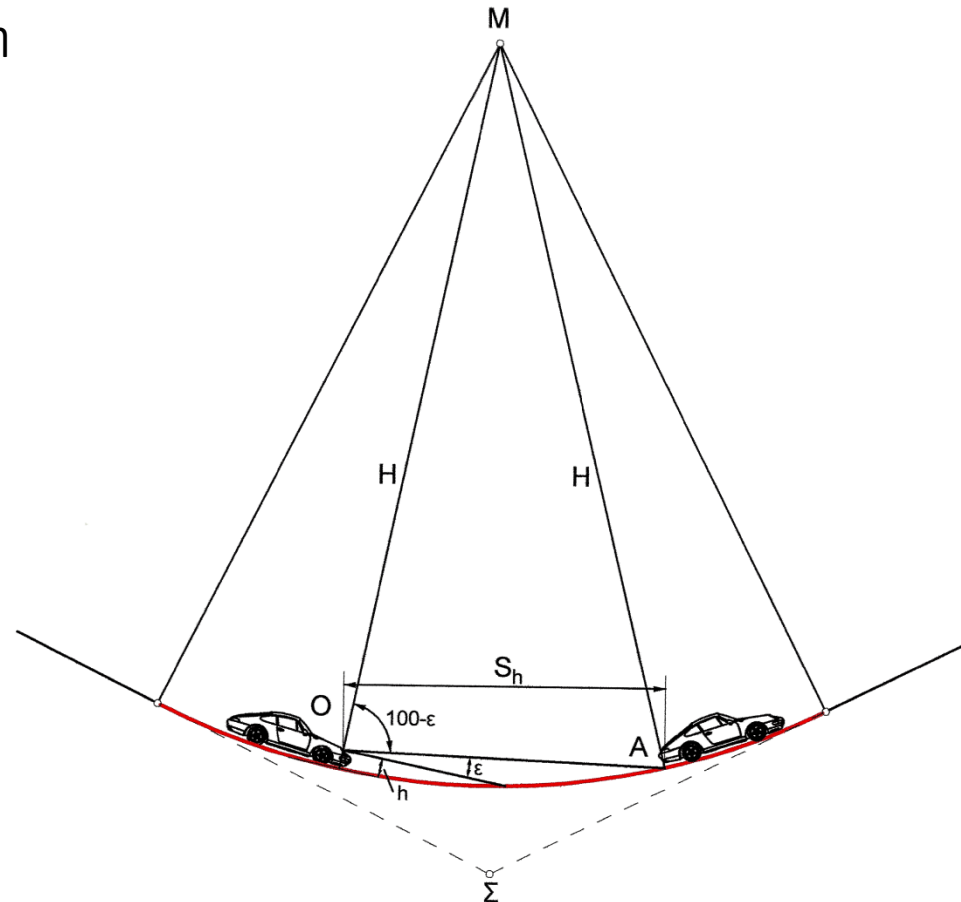
H [μ] = την ακτίνα της κοίλης κατακόρυφης καμπύλης

h [μ] = το ύψος του προβολέα του οχήματος

ϵ [°] = τη γωνία που σχηματίζει η δέσμη φωτός με τον οριζόντιο άξονα του οχήματος (δηλ. παράλληλα προς το οδόστρωμα)

Τότε:

$$\min H_w \cong \frac{S_h^2}{2(h + S_h * \eta \mu \epsilon)}$$



Ελάχιστη ακτίνα κοίλης κατακόρυφης συναρμογής

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται για σύγκριση οι ελάχιστες τιμές ακτίνων των κοίλων κατακόρυφων συναρμογών σύμφωνα με τους διάφορους Κανονισμούς.

V_e	103/1E (1960-62)	ΟΜΟΕ-Χ (2001)	RAS-L-1		RAA 2008
			1984	1995	
30	700	-	-	-	
40	1200	-	-	-	
50	2000	1350	-	500	
60		1900	1500	750	
65	2500				
70		2500	2000	1000	
80	4000	3300	2500	1300	2600
90		4200	3500	2400	
100	5000	5200	5000	3800	4000
110		6300	-	-	
120	8000	7500	10000	8800	5700
130		10000	-	-	8800

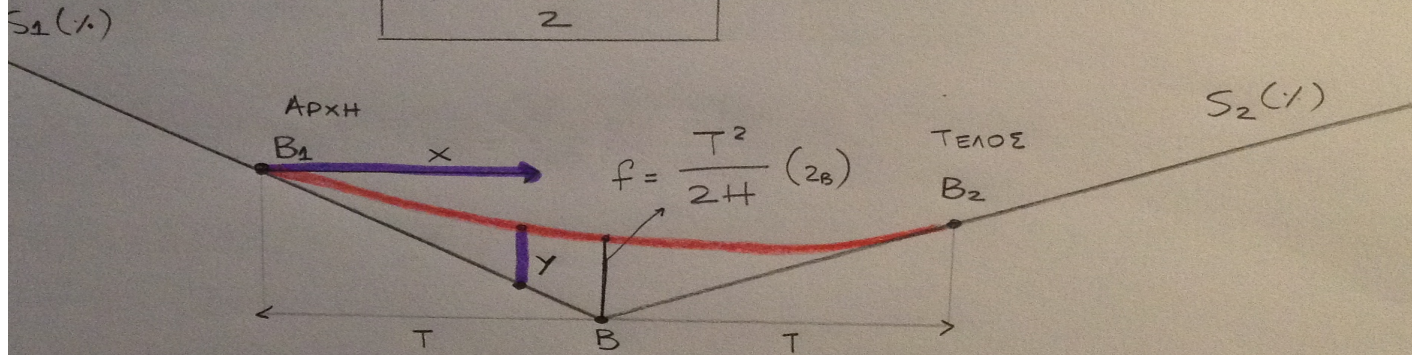
Υπολογισμοί κυρτής και κοίλης καμπύλης

Παραδείγματα

Τύποι

Ομόρροπες - Αφαιρώ κατά απόλυτη τιμή
Αντιρροπές - Πρόσθετω κατά απόλυτη τιμή

$$T = \frac{S_1 \pm S_2}{2} \cdot H \quad (1)$$

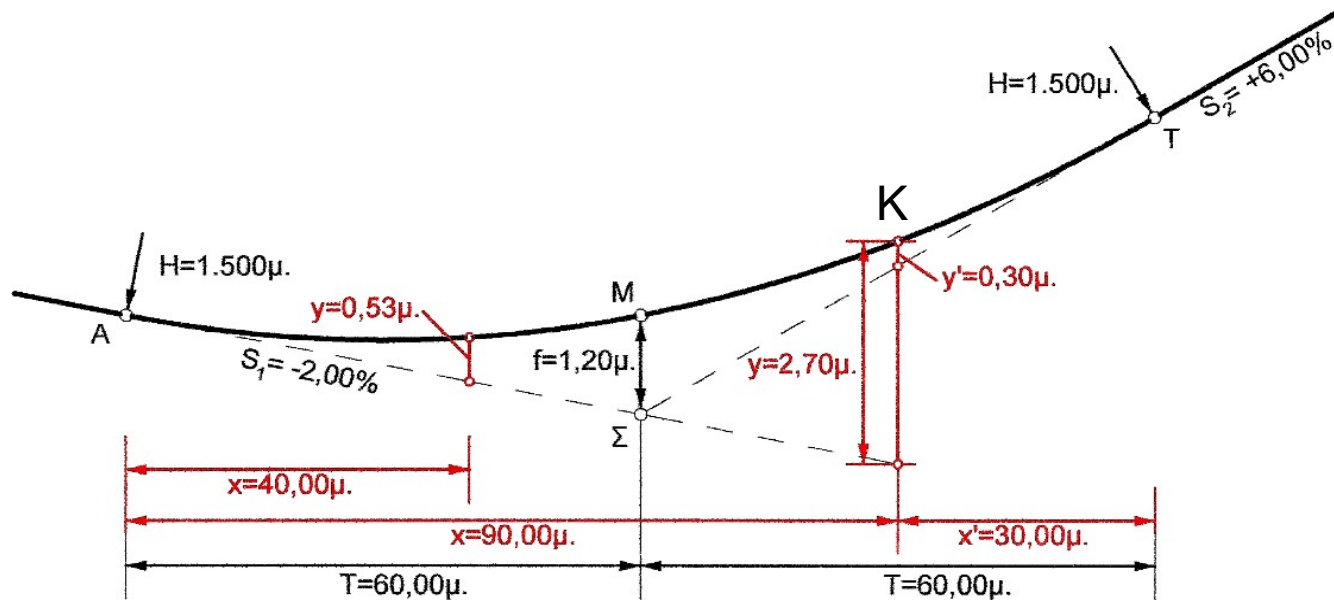


$$y = \frac{x^2}{2H} \quad (2A)$$

$$S_x = S_1 \pm \frac{x}{H} \cdot 100 \quad (3)$$

+ ΚΟΙΛΗ
- ΚΥΡΓΗ

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΥΡΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ



Δίδονται :

$$S_1 = -2\%$$

$$S_2 = +6\%$$

$$H = 1500 \mu.$$

Να υπολογισθούν τα στοιχεία της κοίλης καμπύλης καθώς και το βέλος y σε απόσταση 40 μ. και 90 μ. από την αρχή της καμπύλης.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΙΛΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ

- Έχουμε $\Delta S = |-0,02| + |0,06| = 0,02 + 0,06 = 0,08$
- $T = H * \Delta S / 2 = 1500 * 0,08 / 2 = 60,00m$
- $f = T^2 / 2 * H = (60)^2 / 2 * 1500 = 1,20m$

- Στη θέση $x = 40,00 \mu$.
- $y = x^2 / 2H = (40)^2 / 2 * 1500 = 0,53m$

- Στη θέση $x = 90,00 \mu$.
- $y = x^2 / 2H = (90)^2 / 2 * 1500 = 2,70m$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΙΛΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ

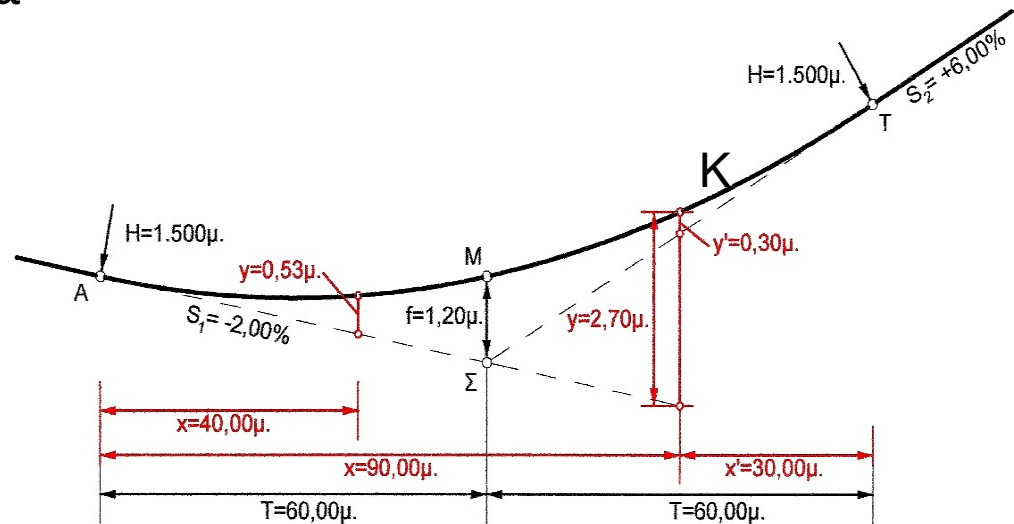
- Αφού το x το μετρήσαμε από το σημείο A το y το μετράμε από την εφαπτομένη AS . Εάν θέλουμε να το μετρήσουμε από την εφαπτομένη TS τότε το x θα είναι η απόσταση από το σημείο T , δηλαδή:
- $x' = 2 * T - x = 2 * 60 - 90 = 30,00 \mu.$
- $Y' = (x')^2 / 2H = (30)^2 / 2 * 1500 = 0,30m$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΙΛΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ

- Αν $H_A=100 \mu$
- Πόσο είναι το υψόμετρο στο σημείο K που απέχει $x=90$ από την αρχή της καμπύλης

Α τρόπος

- Στο σημείο όπου $x=90\mu$
- $H_K (ΑΣ ΕΥΘ)=100-90*2/100=98,2\mu$
- $H_K=98,2+2,7=100,90\mu$

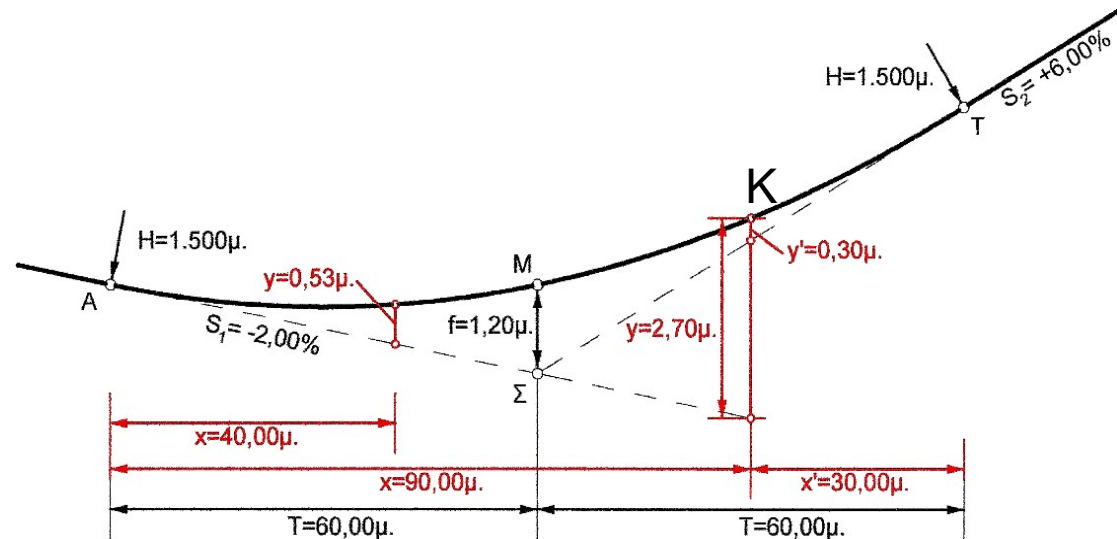


ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΙΛΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ

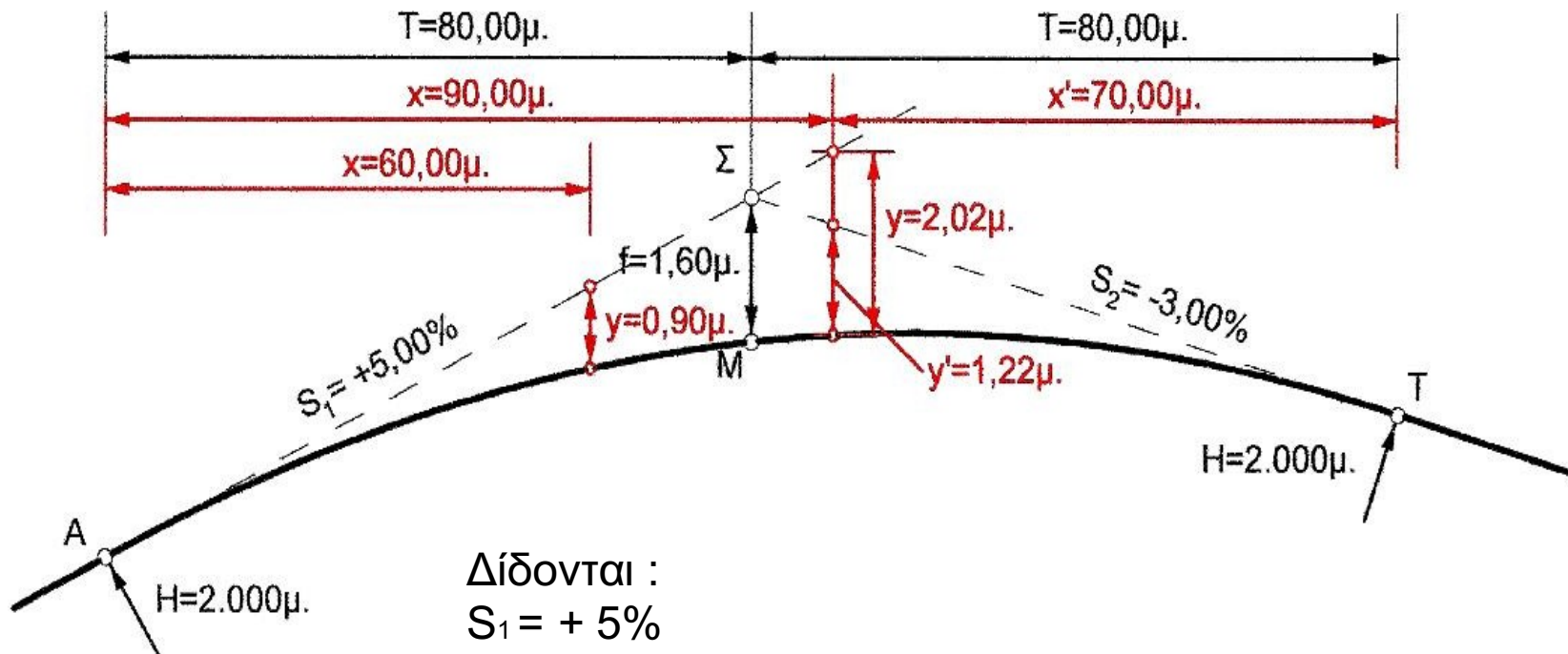
- Αν $H_T=102,4 \mu$
- Πόσο είναι το υψόμετρο στο σημείο K που απέχει $\chi=90$ από την αρχή της καμπύλης

Β τρόπος

- Στο σημείο όπου $\chi=90\mu$
- $H_K (ΤΣ ΕΥΘ) = 102,4 - 30 * 6 / 100 = 100,6\mu$
- $H_K = 100,6 + 0,3 = 100,90\mu$



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΥΡΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ



Δίδονται :
 $S_1 = + 5\%$
 $S_2 = - 3\%$
 $H = 2000\mu.$

Να υπολογισθούν τα στοιχεία της κυρτής καμπύλης καθώς και το βέλος y σε απόσταση $60 \mu.$ και $90 \mu.$ από την αρχή της καμπύλης.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΥΡΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ

- Έχουμε $\Delta S = 0,05 - (-0,03) = 0,05 + 0,03 = 0,08$
- $T = H * \Delta S / 2 = 2000 * 0,08 / 2 = 80,00m$
- $f = T^2 / 2 * H = (80)^2 / 2 * 2000 = 1,60m$

- Στη θέση $x = 60,00 \mu$.
- $y = x^2 / 2H = (60)^2 / 2 * 2000 = 0,90m$

- Στη θέση $x = 90,00 \mu$.
- $y = x^2 / 2H = (90)^2 / 2 * 2000 = 2,02m$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΥΡΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ

- Αφού το x το μετρήσαμε από το σημείο A το y το μετράμε από την εφαπτομένη AS . Εάν θέλουμε να το μετρήσουμε από την εφαπτομένη TS τότε το x θα είναι η απόσταση από το σημείο T , δηλαδή:
- $x' = 2 * T - x = 2 * 80 - 90 = 70,00 \mu.$
- $Y' = (x')^2 / 2H = (70)^2 / 2 * 2000 = 1,22m$