



# Οδοποιία Ι

Ενότητα 4: Δυναμική της κίνησης του οχήματος

Γεώργιος Μίντσης  
Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΧΤΑ  
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΑ  
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



# Δυναμική της κίνησης του οχήματος



# Περιεχόμενα ενότητας (1/1)

---

1. Δυναμική κίνηση οχημάτων
2. Συντελεστής Τριβής
3. Συντελεστής Εφαπτομενικής Τριβής
4. Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής
5. Διεθνής Εμπειρία
6. Εφαρμογή των τιμών της Επίκλισης και των Συντελεστών Τριβής σε συναρμογές με ακτίνες άνω των ελαχίστων αποδεκτών



# Σκοπός ενότητας

---

- Σκοπός της Θεματικής Ενότητας είναι να εισάγει τον/την φοιτητή/τρια σε θέματα που σχετίζονται με τη δυναμική συμπεριφορά του οχήματος στην οδό και τη σημασία της στη διατύπωση των κανονισμών χάραξης των οδών.



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Δυναμική της κίνησης του οχήματος

# Δυναμική κίνηση οχημάτων (1/1)

---

- Για τη διατύπωση των αρχών και των κανόνων, που διέπουν τη μελέτη χάραξης μίας οδού είναι αναγκαίο να διερευνηθεί η σχέση που υπάρχει μεταξύ του ελαστικού του τροχού και του οδοστρώματος σε συνάρτηση με την ταχύτητα του οχήματος.
- Η διερεύνηση του φαινομένου της τριβής μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος, γίνεται στο Τεύχος Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Χαράξεις, αναγκαστικά σύμφωνα με ορισμένες παραδοχές.



# Ορισμός επιτρεπόμενων Συντελεστών Τριβής (1/4)

---

- Μία από τις βασικές παραμέτρους της ασφάλειας κατά την κυκλοφορία των οχημάτων αποτελεί η ολισθηρότητα της υγρής επιφάνειας της οδού (πρόσφυση του οδοστρώματος).
- Ως πρόσφυση του οδοστρώματος χαρακτηρίζεται η φυσική κατάσταση που εμφανίζεται στην κοινή επιφάνεια ελαστικού και οδοστρώματος και η οποία οφείλεται στη συνάφεια, στη στατική τριβή και στην αντίσταση λόγω τραχύτητας.
- Κατά την θεώρηση αυτή οι δύο επιφάνειες του ελαστικού και του οδοστρώματος θεωρούνται ως ισοδύναμες.

# Ορισμός επιτρεπόμενων Συντελεστών Τριβής (2/4)

---

- Η πρόσφυση του οδοστρώματος στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης και των ΗΠΑ εκφράζεται με τον συντελεστή τριβής ολίσθησης κάτω από ορισμένες συνθήκες μέτρησης.
- Ο συντελεστής τριβής ολίσθησης  $\mu_G$  αναπτύσσεται μεταξύ του ελαστικού και οδοστρώματος όταν οι τροχοί είναι ακινητοποιημένοι, δηλαδή όταν η διολίσθηση των τροχών είναι 100% (σχετική ταχύτητα μεταξύ τροχών και αμαξώματος).

# Ορισμός επιτρεπόμενων Συντελεστών Τριβής (3/4)

- Η τιμή του συντελεστή τριβής που εκφράζει την πρόσφυση του οδοστρώματος, παρουσιάζει διακυμάνσεις λόγω των πολλών παραγόντων που την επηρεάζουν, όπως η πίεση, η σύνθεση, η μορφή και το βάθος των ραβδώσεων των ελαστικών, ο τύπος και η κατάσταση του οδοστρώματος, η ύπαρξη υγρασίας, λάσπης, χιονιού, πάγου, κ.λπ.
- Οι τιμές που υπολογίζονται χρησιμοποιούνται επίσης και στον υπολογισμό της κατανομής της αντίστασης σε ολίσθηση στις συνιστώμενες δυνάμεις με σκοπό τον προσδιορισμό των τιμών της διαμήκους (εφαπτομενικής) και πλευρικής τριβής.
- Συνήθως απαιτείται το 80 με 95% της αντίστασης σε ολίσθηση να καλύπτεται από την επιτρεπόμενη διαμήκη τριβή έτσι ώστε να επιτυγχάνεται υψηλό επίπεδο οδηγικής δυναμικής ασφάλειας.

# Ορισμός επιτρεπόμενων Συντελεστών Τριβής (4/4)

---

- Με βάση τις μετρήσεις του συντελεστή ολίσθησης σε αντιπροσωπευτικά υγρά οδοστρώματα που έγιναν σε πολλές χώρες, προέκυψε η επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή εφαιπτομενικής και εγκάρσιας τριβής.
- Κατά κανόνα η επιλογή της τιμής του επιτρεπόμενου συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτεται το 80% έως το 95% των οδοστρωμάτων της χώρας.
- Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται με τη μελέτη της οδού, υψηλός συντελεστής ασφαλείας κατά την κίνηση των οχημάτων στις καμπύλες.

# Δυναμική κίνηση του οχήματος στο οδόστρωμα (1/12)

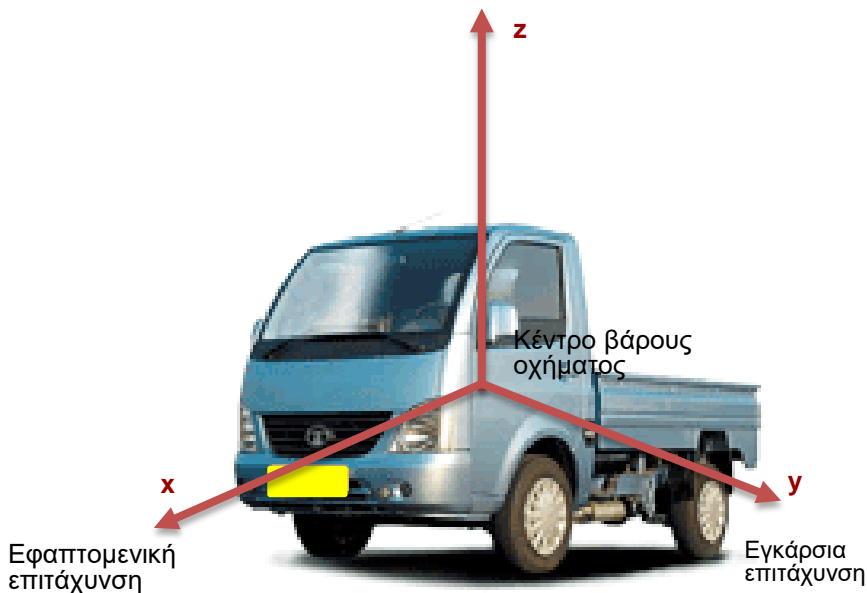
- Για τη μελέτη των δυνάμεων που επενεργούν σε ένα όχημα, όταν αυτό κινείται στην οδό, και σχετίζονται με την επιλογή της παραμέτρου σχεδιασμού μιας οδού, γίνονται οι εξής παραδοχές:
  - i. Το όχημα συμπεριφέρεται ως συμπαγές αντικείμενο.
  - ii. Οι δυνάμεις που επενεργούν στο όχημα έχουν ως σημείο αναφοράς τους το κέντρο βάρους του οχήματος.
- Με βάση τις παραπάνω παραδοχές το όχημα μελετάται ως ένα αντικείμενο με σημειακή μάζα, αγνοώντας την κατανομή των επενεργούμενων δυνάμεων στα τμήματα του οχήματος, π.χ. στους τροχούς, καθότι η μάζα του είναι «συγκεντρωμένη» σε ένα σημείο.

# Δυναμική κίνηση του οχήματος στο οδόστρωμα (2/12)

---

- Η τιμή του συντελεστή τριβής που εκφράζει την πρόσφυση του ελαστικού στο οδόστρωμα, παρουσιάζει διακυμάνσεις λόγω των πολλών παραγόντων που την επηρεάζουν.
- Από την πρόσφυση του ελαστικού στο οδόστρωμα εξαρτάται η μέγιστη τιμή των δυνάμεων της προώθησης και της πέδησης καθώς και των εγκάρσιων δυνάμεων, που ασκούνται στα ελαστικά των τροχών των αυτοκινήτων και οι οποίες επενεργούν στο οδόστρωμα ως δυνάμεις αντίδρασης.

# Δυναμική κίνηση του οχήματος στο οδόστρωμα (3/12)



Σχήμα 1: Δυναμική κίνηση οχήματος

Η κίνηση του οχήματος θα πρέπει να αναλύεται σε 3 άξονες. Η τρισδιάστατη ανάλυση του οχήματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 1:

- Η μάζα του οχήματος είναι συγκεντρωμένη στο σημείο που αντιστοιχεί με το κέντρο βάρους του.
- Όλες οι δυνάμεις έχουν ως σημείο αναφοράς το κέντρο βάρους του οχήματος.
- Το υποθετικό κέντρο βάρους του οχήματος βρίσκεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος.
- Η μορφή της επιφάνειας επαφής μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος έχει απλοποιηθεί.
- Η τρισδιάστατη ανάλυση της κίνησης του οχήματος είναι δυνατόν να αναλυθεί σε 3 διδιάστατα επίπεδα ώστε να εξετάζεται ξεχωριστά.

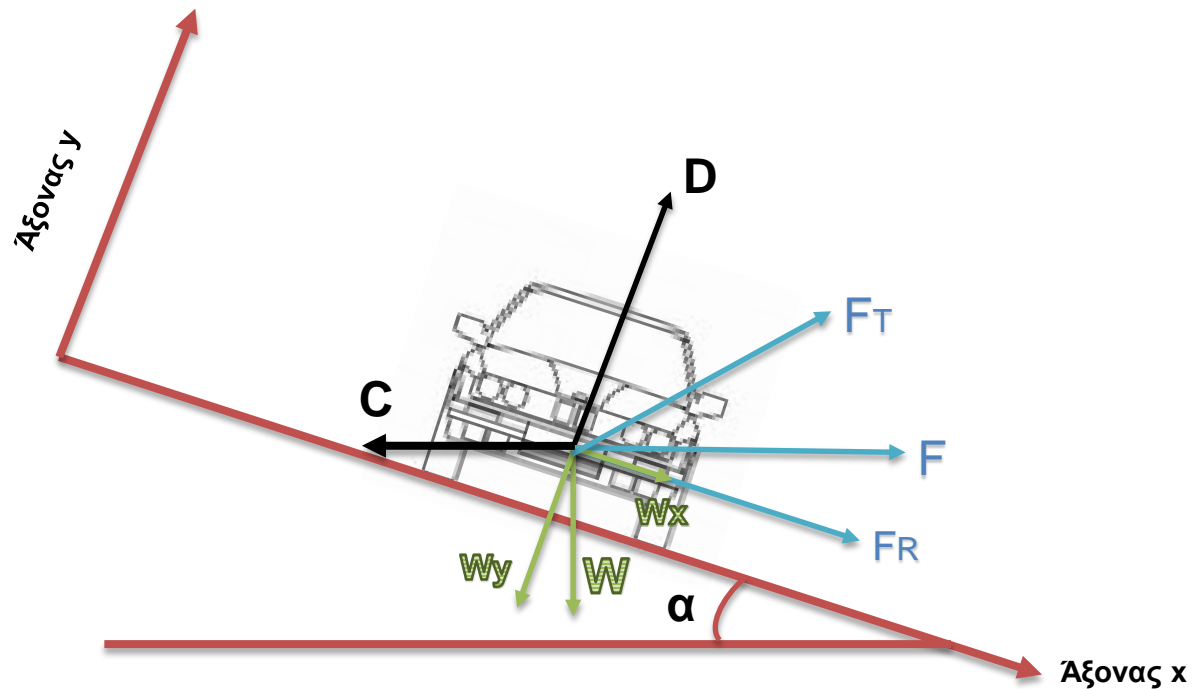
# Δυναμική κίνηση του οχήματος στο οδόστρωμα (4/12)

---

- Στο Σχήμα 2 παρίστανται οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα όχημα στη διάρκεια της κίνησής του σε ένα κεκλιμένο επίπεδο – όπως μια οριζόντια καμπύλη της οδού. Οι δυνάμεις που ασκούνται στο όχημα είναι:
  - i. Το βάρος του οχήματος  $W$ .
  - ii. Η φυγόκεντρη δύναμη  $C$  – κεντρομόλος δύναμη  $F$ .



# Δυναμική κίνηση του οχήματος στο οδόστρωμα (5/12)



Σχήμα 2: Δυνάμεις που επιδρούν σε ένα όχημα κατά την κίνησή του σε κεκλιμένο επίπεδο

# Δυναμική κίνηση του οχήματος στο οδόστρωμα (6/12)

- Σε κατάσταση ισορροπίας του οχήματος οι δυνάμεις αυτές πρέπει να εξισορροπούνται από την αντίσταση των τροχών  $D$  και από τη δύναμη της τριβής  $F$  που αναπτύσσεται μεταξύ του οδοστρώματος και των τροχών του οχήματος και αναλύεται σε δύο συνιστώσες:
  - i.  $F_T$  εφαπτομενική ή διαμήκης τριβή
  - ii.  $F_R$  εγκάρσια ή ακτινωτή τριβή

# Δυναμική κίνηση του οχήματος στο οδόστρωμα (7/12)

- Η δύναμη  $F$  της τριβής προσδιορίζεται από τη σχέση

$$F = f \cdot D \quad (1)$$

- Όπου  $f$  είναι ο συντελεστής της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ των ελαστικών του οχήματος και του οδοστρώματος.
- Ο συντελεστής τριβής  $f$  διακρίνεται σε:
  - i. Εφαπτομενικό ή διαμήκη συντελεστή τριβής  $f_T$
  - ii. Εγκάρσιο ή ακτινωτό συντελεστή τριβής  $f_R$

# Δυναμική κίνηση του οχήματος στο οδόστρωμα (8/12)

- Όταν το όχημα βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας σε κεκλιμένο επίπεδο ισχύουν τα εξής:

i. Όπου

$$W_X + F_R = C_X \quad (2)$$

$$W_X = W \cdot \sin a$$

$$F_R = f_R \cdot D$$

$$C_X = C \cdot \cos a = \frac{V^2}{R} \cdot \frac{W}{g} \cdot \cos a \quad (3)$$

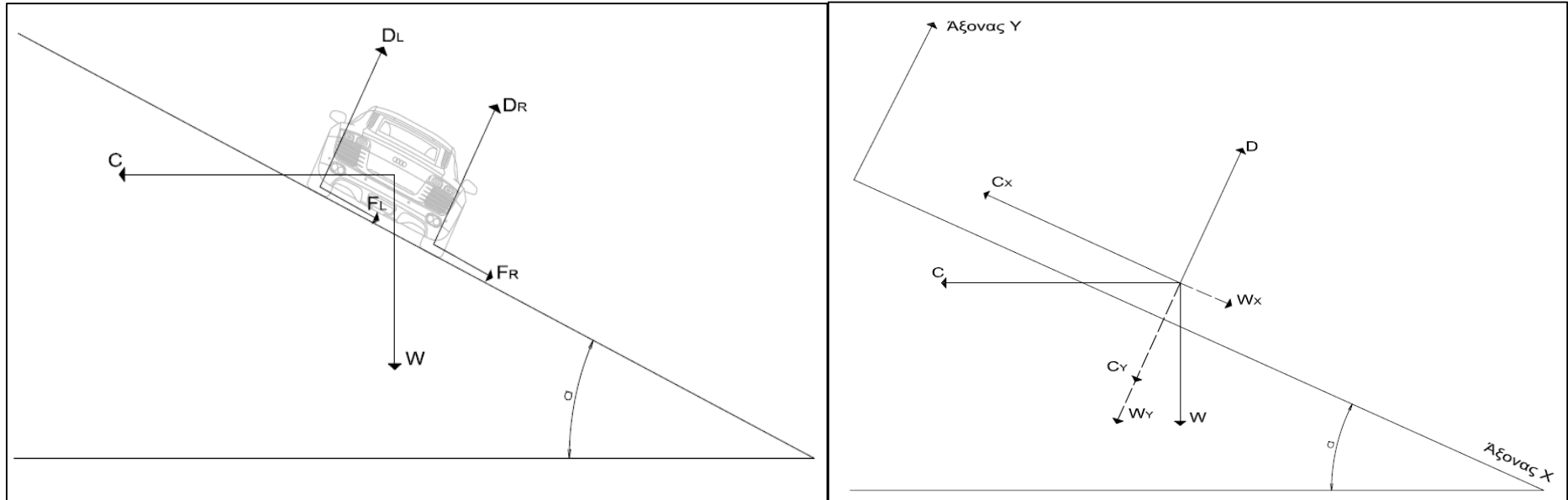
$g$  = επιτάχυνση της βαρύτητας (m/sec<sup>2</sup>)

$V$  = ταχύτητα οχήματος (km/h)

$R$  = ακτίνα καμπύλης (m)

Άρα  $W \cdot \sin a + f_R \cdot D = \frac{V^2}{R} \cdot \frac{W}{g} \cdot \cos a \quad (4)$

# Δυναμική κίνηση του οχήματος στο οδόστρωμα (9/12)



Σχήμα 3: Ανάλυση δυνάμεων επί οχήματος που κινείται σε κεκλιμένο επίπεδο

# Δυναμική κίνηση του οχήματος στο οδόστρωμα (10/12)

$$D - W_Y = C_Y \quad (5)$$

όπου

$$W_Y = W \cdot \cos a$$

$$C_Y = C \cdot \sin a = \frac{V^2}{R} \cdot \frac{W}{g} \cdot \sin a$$

$$\text{Άρα } D - W \cdot \cos a = \frac{V^2}{R} \cdot \frac{W}{g} \cdot \sin a \quad (6)$$

- Η σχέση (5) με αντικατάσταση της τιμής D από τη σχέση (3) και κατάλληλες μετατροπές και παραδοχές γίνεται:

$$f_R + q = \frac{V^2}{g \cdot R} \quad (7)$$

όπου

$q = \tan a$  : επίκλιση του οδοστρώματος

# Δυναμική κίνηση του οχήματος στο οδόστρωμα (11/12)

- Η σχέση (7) για  $g=9,81\text{m/sec}^2$  και  $V$  σε  $\text{km/h}$  ( $1\text{km/h}\approx 0,278\text{m/sec}$ ) γίνεται: 
$$R = \frac{V^2}{127 \cdot (f_R + q)} \quad (8)$$
- Όπου:
  - $R$  = ακτίνα της καμπύλης (m)
  - $V$  = ταχύτητα οχήματος (km/h)
  - $f_R$  = συντελεστής εγκάρσιας τριβής
  - $q$  = επίκλιση οδοστρώματος

# Δυναμική κίνηση του οχήματος στο οδόστρωμα (12/12)

---

- Η σχέση (8) αποτελεί τη θεμελιώδη έκφραση της ισορροπίας του οχήματος σε κεκλιμένο επίπεδο και χρησιμοποιείται στην οδοποιία για την επιλογή των ελάχιστων επιτρεπόμενων τιμών της οριζόντιας καμπύλης όταν  $q = q_{\max}$  (μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της επίκλισης).



# Συντελεστής Τριβής (1/5)

---

- Ο συντελεστής τριβής εκφράζεται ως καθαρός αριθμός και λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1.
- Ουσιαστικά εκφράζει ποσοστό του βάρους του οχήματος το οποίο ισούται με τη δύναμη της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ του ελαστικού και του οδοστρώματος.

## Συντελεστής Τριβής (2/5)

- Όπως έχει ήδη τονισθεί η τιμή του συντελεστή της τριβής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και ως εκ τούτου δεν μπορεί να προσδιορισθεί απολύτως.
- Η επιστημονική έρευνα έχει δείξει ότι για πραγματικές συνθήκες η τιμή αυτή ποικίλλει μεταξύ 0,40 και 0,50 φθίνοντας όταν υπάρχουν επιβαρυντικές συνθήκες όπως φθαρμένα ελαστικά, πάγος ή λάδια στο οδόστρωμα, λεία οδοστρώματα, κ.λπ.

# Συντελεστής Τριβής (3/5)

- Ο συνολικός συντελεστής τριβής ( $f$ ) αναλύεται σε εφαπτομενικό ( $f_T$ ) και εγκάρσιο ( $f_R$ ) συντελεστή τριβής.
- Η τριβή είναι διανυσματικό μέγεθος και ισχύει ότι:

$$f^2 = f_T^2 + f_R^2 \quad (9)$$

- Ως εκ τούτου η σχέση (9) μετασχηματίζεται σε:

$$P_{f_T}^2 + P_{f_R}^2 = 1 \quad \text{ή} \quad P_{f_T} = \sqrt{1 - P_{f_R}^2} \quad (10)$$

$P_{f_T}$  = ποσοστό που αναλαμβάνεται από την εφαπτομενική τριβή

$P_{f_R}$  = ποσοστό που αναλαμβάνεται από την εγκάρσια τριβή

# Συντελεστής Τριβής (4/5)

- Έτσι διασφαλίζεται επαρκές ποσοστό του συνόλου της τριβής που αντιστοιχεί σε 92% και 87% για την επαπτομενική συνιστώσα η οποία ορίζει και τις οριακές τιμές για τα μήκη πέδησης των οχημάτων.
- Παραδειγματικά αναφέρεται:

$$P_{f_T} = \sqrt{1 - 0,50^2} = 0,87 \text{ ή } P_{f_T} = 87\%$$

# Συντελεστής Τριβής (5/5)

- Αναφορά στον τρόπο υπολογισμού των τιμών του επαπτομενικού και του εγκάρσιου συντελεστή τριβής γίνεται στη συνέχεια όπου αναφέρεται και το Κριτήριο Ασφαλείας III που ελέγχει την επάρκεια του σχεδιασμού για την εξασφάλιση της δυναμικής της κίνησης των οχημάτων σε καμπύλα τμήματα της οδού.

# Συντελεστής Εφαπτομενικής Τριβής (1/4)

- Οι επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής πρέπει να ανταποκρίνονται στα σύγχρονα δεδομένα της τεχνολογίας στον τομέα της δυναμικής της κίνησης των οχημάτων.
- Στις ΟΜΟΕ – Χ λήφθηκαν υπόψη τα δεδομένα των κανονισμών συγκεκριμένων χωρών (Γαλλίας, Γερμανίας, Ελβετίας, ΗΠΑ και Σουηδίας), στα οποία βασίσθηκε η σχετική ανάλυση παλινδρόμησης για τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ του επιτρεπόμενου συντελεστή εφαπτομενικής τριβής οδοστρώματος και της ταχύτητας.
- Έτσι, στις ΟΜΟΕ οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή εφαπτομενικής ( $f_T$ ) και πλευρικής τριβής ( $f_R$ ) ορίζονται στον Πίνακα 1.

# Συντελεστής Εφαπτομενικής Τριβής (2/4)

$V^*$ [km/h]	$\max f_{\text{επιτρ}}$ [-]	$\max f_{\text{επιτρ}} [-]$ και $R_{\min}$ [m] για οδούς της ομάδας									
		Α						Β			
		πεδινά εδάφη		ημιορεινά και ορεινά εδάφη		όλες οι κατηγορίες εδαφών		όλες οι κατηγορίες εδαφών			
		$q_{\max}=8$ (9)%		$q_{\max}=7\%$		$q_{\min}=2,5\%$		$q_{\max}=6\%$		$q_{\min}=2,5\%$	
		$n=45\%$		$n=40\%$		$n=10\%$		$n=60\%$		$n=30\%$	
		$\max f_{\text{επιτρ}}$	$R_{\min}$	$\max f_{\text{επιτρ}}$	$R_{\min}$	$\max f_{\text{επιτρ}}$	$R_{\min}$	$\max f_{\text{επιτρ}}$	$R_{\min}$	$\max f_{\text{επιτρ}}$	$R_{\min}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
50	0,385	0,160	82 (79)	0,143	93	0,036	325	0,214	72	0,107	149
60	0,353	0,147	125 (120)	0,131	141	0,033	491	0,196	111	0,098	230
70	0,324	0,135	179 (171)	0,120	203	0,030	701	0,180	161	0,090	335
80	0,299	0,124	247 (235)	0,110	279	0,028	958	0,166	223	0,083	467
90	0,276	0,115	327 (311)	0,102	371	0,026	1.263	0,153	299	0,077	628
100	0,256	0,107	422 (401)	0,095	478	0,024	1.618	0,142	390	0,071	820
110	0,239	0,100	531 (503)	0,089	601	0,022	2.022	0,133	494	0,066	1.043
120	0,225	0,094	652 (617)	0,083	739	0,021	2.473	-	-	-	-
130	0,215	0,089	786 (742)	0,079	890	0,020	2.966	-	-	-	-
140	0,207	0,086	929 (876)	0,077	1053	0,019	3.496	-	-	-	-

\*) η  $V$  αντιπροσωπεύει τη  $V_e$  ή  $V_{85}$  για τον προσδιορισμό αντίστοιχα της  $R_{\min}$  ή των συντελεστών τριβής  
Οι τιμές σε ( ) εφαρμόζονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις

**Πίνακας 1:** Επιτρεπόμενες τιμές του μέγιστου συντελεστή εφαπτομενικής ( $f_r$ ) και πλευρικής τριβής ( $f_R$ ) και των ελάχιστων ακτινών καμπυλών σε συνάρτηση με την ταχύτητα ( $V^*$ ) την κατηγορία της οδού, το ανάγλυφο του εδάφους και τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές επίκλισης (Πίνακας 5-1, ΟΜΟΕ -X)

## Συντελεστής Εφαπτομενικής Τριβής (3/4)

Η σχέση που προέκυψε από την ανάλυση κατά την οποία λήφθηκαν υπόψη η ασφάλεια, η οικονομικότητα και τα περιβαλλοντικά δεδομένα, είναι το πολυώνυμο 2<sup>ου</sup> βαθμού:

$$\max f_{T_{\text{επιτρ}}} = 0,59 - 4,85 \cdot 10^{-3} \cdot V + 1,51 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 \quad (11)$$

Όπου:

1.  $f_{T_{\text{επιτρ}}}$  = ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής εφαπτομενικής τριβής
2.  $V$  = ταχύτητα σχεδιασμού σε km/h



# Συντελεστής Εφαπτομενικής Τριβής (4/4)

- Οι μετρήσεις και οι δοκιμές για τον προσδιορισμό του συντελεστή αντίστασης σε ολίσθηση πραγματοποιούνται για ταχύτητες 40km/h, 60km/h και 80 km/h.
- Οι απαιτούμενες μέγιστες τιμές του συντελεστή επαπτομενικής τριβής για τις ταχύτητες αυτές είναι:
  1.  $\max f_{\text{Τεπιτρ}} = 0,42$  για  $V = 40$  km/h
  2.  $\max f_{\text{Τεπιτρ}} = 0,35$  για  $V = 60$  km/h
  3.  $\max f_{\text{Τεπιτρ}} = 0,30$  για  $V = 80$  km/h
- Οι τιμές αυτές προτείνονται ως τυπικές τιμές ολισθηρότητας των ελληνικών οδοστρωμάτων.

# Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (1/15)

- Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή εγκάρσιας τριβής  $f_{R_{επιτρ}}$  υπολογίζεται από τη σχέση (12):

$$\max f_{R_{επιτρ}} = n \cdot 0,925 \cdot \max f_{T_{επιτρ}} \quad (12)$$

όπου :

$\max f_{R_{επιτρ}} [-]$  = μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής

$\max f_{T_{επιτρ}} [-]$  = μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής εφαπτομενικής τριβής

$n[-]$  = συντελεστής εκμετάλλευσης της τιμής του συντελεστή εγκάρσιας τριβής

- Ο συντελεστής μείωσης 0,925 έχει σχέση με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των ελαστικών.
- Σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία, αυτή η τιμή του συντελεστή ( $n$ ) κυμαίνεται κατά κανόνα μεταξύ  $n=40\%$  και  $n=50\%$  για οδούς της ομάδας Α.

## Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (2/15)

- Λόγω των ειδικών τοπογραφικών συνθηκών στην Ελλάδα (εναλλαγή πεδινών, λοφωδών και ορεινών εδαφών) θεωρείται σκόπιμος, ο ορισμός διαφορετικών τιμών του συντελεστή εκμετάλλευσης.
- Σε **πεδινά εδάφη** (συνήθως χωρίς χιονοπτώσεις) ορίζεται για τις μέγιστες τιμές της επίκλισης, συντελεστής εκμετάλλευσης ίσος με:
  - $n = 45\%$  για  $q_{\max} = 8\%$  (9% - τιμή κατ' εξαίρεση)

## Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (3/15)

- Κατά συνέπεια η μέγιστη τιμή του επιτρεπόμενου εγκάρσιου συντελεστή τριβής για τον υπολογισμό των ελάχιστων τιμών των ακτινών των καμπύλων προσδιορίζεται, έπειτα από τις κατάλληλες αντικαταστάσεις από τη σχέση:

$$\max f_{R_{\text{επιτρ}}} = 0,45 \cdot 0,925 \cdot \max f_{T_{\text{επιτρ}}} = 0,416 \cdot \max f_{T_{\text{επιτρ}}} = 0,245 - 2,018 \cdot 10^{-3} \cdot V + 0,628 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 \quad (13)$$

όπου

$\max f_{R_{\text{επιτρ}}}$  [-] = επιτρεπόμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής

$V$  [km/h] = ταχύτητα

## Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (4/15)

- Στα **λοφώδη και ορεινά εδάφη** ορίζεται για τις μέγιστες τιμές της επίκλισης, η τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης ίση με:

- $n = 40\%$  για  $q_{\max} = 7\%$

προκειμένου η απαιτούμενη μείωση της μέγιστης τιμής της επίκλισης να αντισταθμίζεται με ελαφρά μείωση του συντελεστή  $n$  και έτσι τα επίπεδα ασφαλείας της οδού να μη μειώνονται.

## Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (5/15)

- Κατά συνέπεια η μέγιστη τιμή του επιτρεπόμενου συντελεστή εγκάρσιας τριβής ανέρχεται σε:

$$\max f_{R_{\text{επιτρ}}} = 0,218 - 1,795 \cdot 10^{-3} \cdot V + 0,559 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 \quad (14)$$

*όπου*

$\max f_{R_{\text{επιτρ}}}$  [-] = επιτρεπόμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής

$V$  [km/h] = ταχύτητα

## Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (6/15)

---

- Εκτός από τον ορισμό του συντελεστή εκμετάλλευσης για τον υπολογισμό του επιτρεπόμενου συντελεστή εγκάρσιας τριβής για τη μέγιστη επίκλιση απαιτείται και ο ορισμός του αντίστοιχου συντελεστή εκμετάλλευσης για την ελάχιστη επίκλιση.

## Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (7/15)

- Η ελάχιστη τιμή της επίκλισης στην ευθυγραμμία και στο κυκλικό τόξο για λόγους καλής απορροής των ομβρίων είναι:  $q_{\min} = 2,5\%$
- Στην περίπτωση αυτή η τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης ορίζεται ίση με:  $n = 10\%$



## Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (8/15)

- Οι οδοί της ομάδας **B**, περιλαμβάνουν περιφερειακές οδούς ακόμη και εντός κατοικημένων περιοχών αλλά χωρίς παρόδια δόμηση (ημιαστικές οδοί).
- Για τις οδούς αυτές αναμένεται, ότι τα επίπεδα των τιμών των αναπτυσσόμενων ταχυτήτων θα είναι κατά κανόνα χαμηλότερα από αυτά των οδών της ομάδας **A**.
- Για το λόγο αυτό από την άποψη της ασφαλείας της κυκλοφορίας θεωρείται δικαιολογημένος ο ορισμός μεγαλύτερων τιμών του συντελεστή εκμετάλλευσης για το συντελεστή εγκάρσιας τριβής, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

## Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (9/15)

- Στις οδούς ομάδας **B** η τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης  $n$  για τις μέγιστες τιμές της επίκλισης, λαμβάνεται:  $n = 60\%$  για  $q_{\max} = 6\%$
- Κατά συνέπεια η σχέση που συνδέει τη μέγιστη τιμή του επιτρεπόμενου συντελεστή εγκάρσιας τριβής με την ταχύτητα, είναι:

$$\max f_{R_{\text{επιτρ}}} = 0,327 - 2,692 \cdot 10^{-3} \cdot V + 0,838 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 \quad (15)$$

# Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (10/15)

- Στην περίπτωση της ελάχιστης τιμής της επίκλισης, λόγω των αναμενόμενων χαμηλότερου επιπέδου τιμών ταχυτήτων στις οδούς της ομάδας **B** σε σχέση με τις οδούς της ομάδας **A**, κρίνεται σκόπιμο η τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης  $n$  να ορισθεί μεγαλύτερη από αυτή των οδών της ομάδας **A**. Η τιμή αυτή είναι:  $n = 30\%$  για  $q_{\max} = 2,5\%$
- Κατά συνέπεια η σχέση που συνδέει τη μέγιστη τιμή του επιτρεπόμενου συντελεστή εγκάρσιας τριβής με την ταχύτητα για την ελάχιστη επίκλιση, είναι:

$$\max f_{R_{\text{επιτρ}}} = 0,3164 - 1,348 \cdot 10^{-3} \cdot V + 0,42 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 \quad (16)$$

# Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (11/15)

- Η παράμετρος  $V$ , που περιέχεται στις σχέσεις αναφέρεται είτε στην ταχύτητα μελέτης  $V_e$  είτε στη  $V_{85}$  (εφόσον ο υπολογισμός αφορά στον προσδιορισμό των επικλίσεων ή του ελάχιστου μήκους ορατότητας).
- Οι τιμές του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή εφαπτομενικής τριβής και του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή εγκάρσιας τριβής σε συνάρτηση με την ταχύτητα, την κατηγορία της οδού και το ανάγλυφο του εδάφους περιλαμβάνονται στον Πίνακα 1.

## Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (12/15)

---

- Για το σχεδιασμό των οδικών αξόνων είναι σημαντικό να λαμβάνονται όσο το δυνατόν μεγαλύτερες τιμές των ακτινών των οριζόντιων συναρμογών.
- Οι ακτίνες των κυκλικών διαδοχικών οριζόντιων συναρμογών καθώς και οι ακτίνες των κλωθοειδών θα πρέπει να είναι ορθώς υπολογισμένες ώστε να επιτυγχάνουν ομαλή μετάβαση από τις ευθυγραμμίες στην οριζόντια συναρμογή με συνέπεια την ασφαλή κίνηση του οχήματος.

## Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (13/15)

- Αποτελέσματα μελετών κατέδειξαν πως σε αυτοκινητοδρόμους και για ταχύτητες έως 100km/h, οι υπολογισθείσες ελάχιστες τιμές των οριζοντίων συναρμογών χρησιμοποιώντας την εξίσωση

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127 + (R + q_{\max})} \quad (17)$$

είναι μικρότερες από εκείνες που προσδιορίζουν οι οδηγίες μελετών οδών (για όλα τα οχήματα) στις Η.Π.Α., στη Γερμανία και στην Ελλάδα.

## Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (14/15)

---

- Ένα ακόμη εύρημα της έρευνας είναι πως τα επιβατικά οχήματα με κίνηση στους εμπρόσθιους τροχούς και μεγάλο φορτίο, απαιτούν μεγαλύτερες τιμές τριβής προκειμένου να διέλθουν από μία οριζόντια συναρμογή σε σύγκριση με οχήματα με κίνηση στους εμπρόσθιους τροχούς και φορτίο μόνο τον οδηγό. Αυτό συμβαίνει καθότι το κέντρο βάρους των οχημάτων μετακινείται προς τους οπίσθιους τροχούς.

## Συντελεστής Εγκάρσιας Τριβής (15/15)

- Για τα εμπορικά οχήματα η έρευνα κατέδειξε επίσης πως οι συνθήκες ασφαλούς διέλευσης από μια οριζόντια συναρμογή είναι δυσκολότερο να επιτευχθούν καθότι η τιμή της εγκάρσιας τριβής είναι δυνατόν να προσεγγίσει ή να ξεπεράσει την τιμή της συνολικά διατιθέμενης μέγιστης επιτρεπόμενης εγκάρσιας τριβής με αποτέλεσμα να πάψει να υφίσταται πλευρική τριβή.
- Συνεπώς τα εμπορικά οχήματα μειώνουν την ταχύτητα διέλευσης περί την καμπύλη για να μειώσουν την απαίτησή τους για υψηλή τιμή του συντελεστή εγκάρσιας τριβής.



# Διεθνής Εμπειρία (1/8)

- Στα πλαίσια των ερευνητικών προσπαθειών αναφορικά με τη συσχέτιση των τιμών των συντελεστών της πλευρικής τριβής που θεωρούνται στους κανονισμούς χάραξης σε συνάρτηση με τις τιμές των συντελεστών που προκύπτουν εμπειρικά από τους οδηγούς, ως ιδίαν αντίληψη του επιπέδου οδικής ασφάλειας, προκύπτει πως ακόμη και για τις ελάχιστες τιμές των ακτινών στις οριζόντιες συναρμογές, οι πραγματικές ταχύτητες κίνησης των οχημάτων έχουν υποεκτιμηθεί από τους μελετητές για ταχύτητες σχεδιασμού ( $V_e$ ) κάτω από 90 km/h.

# Διεθνής Εμπειρία (2/8)

- Τα μεγέθη που “εμπλέκονται” στη δυναμική κίνηση του οχήματος σε οριζόντια καμπύλη και για τα οποία εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο διασυνδέονται και αλληλεπιδρούν είναι τα εξής:
  - Μέγιστες τιμές επίκλισης.
  - Οι τιμές των συντελεστών τριβής ως συνάρτηση της ταχύτητας σχεδιασμού.
  - Επιλογή των τιμών της επίκλισης ( $q$ ) και των συντελεστών τριβής ( $f$ ) σε οριζόντιες συναρμογές με τιμές ακτινών άνω των ελάχιστων τιμών.

# Διεθνής Εμπειρία (3/8)

---

## Μέγιστη επίκλιση σε οριζόντια συναρμογή

- **Η.Π.Α.:** Σύμφωνα με τις οδηγίες σχεδιασμού οδών της AASHTO η μέγιστη επίκλιση μπορεί να κυμανθεί σε ένα μεγάλο εύρος, με τις πλέον συνήθεις τιμές για το υπεραστικό οδικό δίκτυο να είναι 0,06, 0,08 και 0,10.

# Διεθνής Εμπειρία (4/8)

---

## Μέγιστη επίκλιση σε οριζόντια συναρμογή

- **Γερμανία:** Η μέγιστη τιμή των επικλίσεων βάσει των κανονισμών RAS-L-1 εξαρτάται από την κατηγορία της οδού. Για οδούς κατηγορίας A (υπεραστικό δίκτυο) η μέγιστη τιμή της επίκλισης ισούται συνήθως με 0,07.

# Διεθνής Εμπειρία (5/8)

---

## Μέγιστη επίκλιση σε οριζόντια συναρμογή

- **Ηνωμένο Βασίλειο:** Βάσει των οδηγιών British Highway Link Design η μέγιστη τιμή της επίκλισης ισούται με 0,07.

# Διεθνής Εμπειρία (6/8)

## Συσχέτιση των τιμών των συντελεστών τριβής και της ταχύτητας σχεδιασμού

- **Η.Π.Α.:** Η τιμή των συντελεστών τριβής καθορίζεται από πειραματικές δοκιμές με σκοπό να καθορισθεί το εύρος των τιμών για το οποίο οι οδηγοί νιώθουν ασφαλείς κατά την οδήγηση σε οριζόντιες καμπύλες. Οι τιμές των συντελεστών τριβής αποτελούν παράγοντας μείωσης της ταχύτητας σχεδιασμού. Η μεταβολή είναι γραμμική από 0,16 για ταχύτητα σχεδιασμού 48km/h σε 0,14 για ταχύτητα σχεδιασμού 80km/h και στη συνέχεια επίσης γραμμικά με διαφορετική ωστόσο κλίση σε 0,10 για ταχύτητα σχεδιασμού 112km/h.

# Διεθνής Εμπειρία (7/8)

## Συσχέτιση των τιμών των συντελεστών τριβής και της ταχύτητας σχεδιασμού

- **Γερμανία:** Η επιλογή της τιμής των συντελεστών πλευρικής τριβής καθορίζεται ως κλάσμα της μέγιστης τιμής του συντελεστή πλευρικής τριβής. Για οδούς κατηγορίας A το κλάσμα ισούται με 0,5 με την προϋπόθεση πως εφαρμόζονται οι ελάχιστες αποδεκτές τιμές για τις ακτίνες των συναρμογών. Η μέγιστη τιμή του συντελεστή πλευρικής τριβής ισούται με το 0,925 της μέγιστης τιμής του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής.

# Διεθνής Εμπειρία (8/8)

Συσχέτιση των τιμών των συντελεστών τριβής και της ταχύτητας σχεδιασμού

- **Ηνωμένο Βασίλειο:** Ανεξάρτητα από την τιμή της ταχύτητας σχεδιασμού, η τιμή του συντελεστή πλευρικής τριβής ισούται με 0,09. Βάσει του γεγονότος πως η μέγιστη τιμή της επίκλισης είναι 0,07, η συνολική πλευρική επιτάχυνση που ασκείται στα οχήματα σε συναρμογές με τις ελάχιστες αποδεκτές τιμές ακτινών ισούται με **0,16 x g** (όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας).



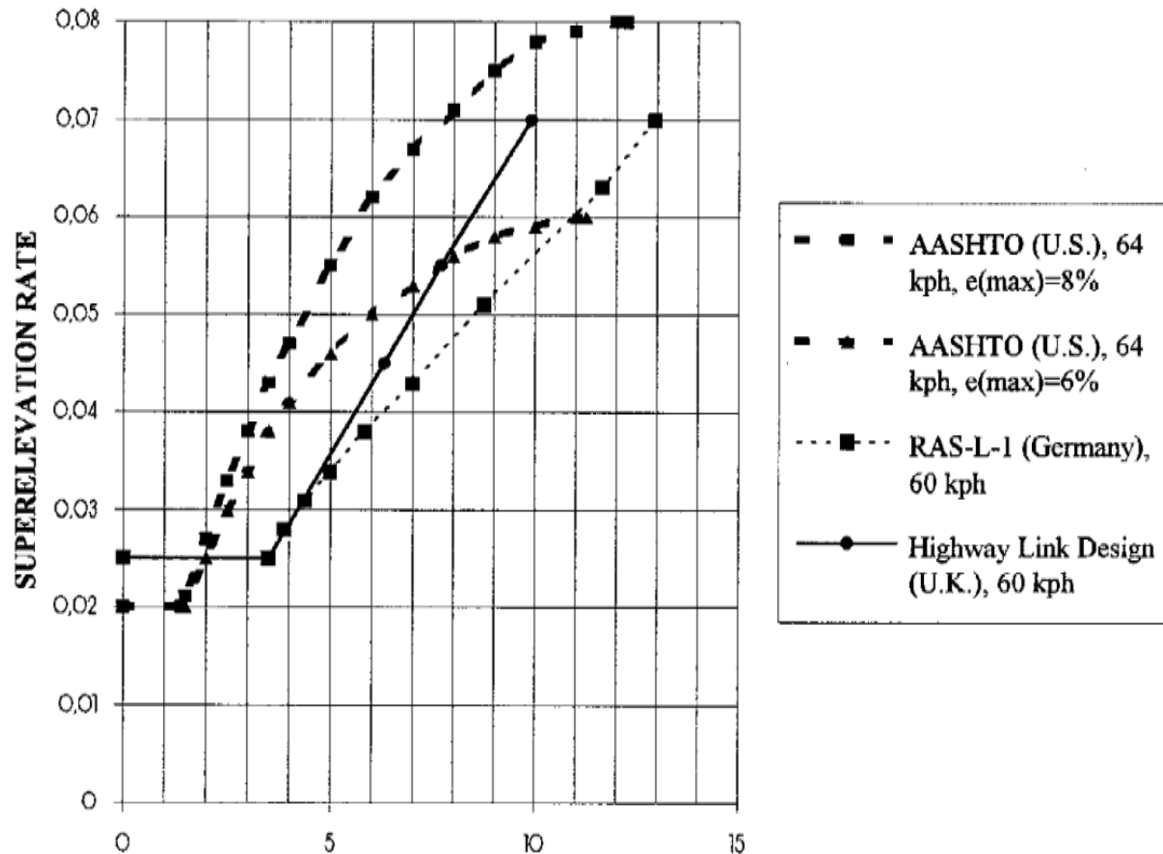
## Εφαρμογή των τιμών της Επίκλισης και των Συντελεστών Τριβής σε συναρμογές με ακτίνες άνω των ελαχίστων αποδεκτών (1/2)

Στο Σχήμα 4 αποτυπώνεται η σύγκριση μεταξύ των εφαρμοζόμενων κανονισμών για τις Η.Π.Α., τη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο.

Συγκεκριμένα το γράφημα αναπαριστά:

- Για τις Η.Π.Α. και για ταχύτητα σχεδιασμού  $V_d=64\text{km/h}$  και για τιμές μέγιστης επίκλισης ίσες με 0,08 και 0,06.
- Για τη Γερμανία (RAS-L-1) με ταχύτητα σχεδιασμού 60km/h και τιμή μέγιστης επίκλισης 0,07.
- Για το Ηνωμένο Βασίλειο με ταχύτητα σχεδιασμού 60km/h και τιμή μέγιστης επίκλισης 0,07.

# Εφαρμογή των τιμών της Επίκλισης και των Συντελεστών Τριβής σε συναρμογές με ακτίνες άνω των ελαχίστων αποδεκτών (2/2)



Σχήμα 4: Συγκριτικό γράφημα εφαρμοζόμενων κανονισμών σε Η.Π.Α., Γερμανία και Ηνωμένο Βασίλειο – Lamm, H., Psarianos, B. & Mailaender, T.

# Βιβλιογραφία

1. Γ. Μίντσης, «Πανεπιστημιακές Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία Ι», Τομέας Συγκοινωνιακών & Υδραυλικών Έργων, Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
2. Lamm, H., Psarianos, B. & Mailaender, T., “Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook”, McGraw – Hill Handbooks, pp. 10.1-10.29, 1999
3. Ψαριανός, Β., «Δυναμική Κίνησης Οχημάτων», Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
4. Ψαριανός, Β. & Μαυρομάτης, Σ., «Διερεύνηση Ασφάλειας και Λειτουργικότητας Οδού Διαμέσου Δυναμικής και Κινηματικής Ανάλυσης Διαξονικού Οχήματος», Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής, Τομέας Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης, Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2002
5. (<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec003/ch20.pdf>)

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

---

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
  - Σχήμα 4: “Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook”, CopyRight ©, Lamm, H., Psarianos, B. & Mailaender, T., McGraw – Hill Handbooks, pp. 10.1-10.29, 1999
-

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
- Πίνακας 1: Οδηγίες Μελετών Έργων Οδοποιίας, Τεύχος Χαράξεις, Πίνακας 5-1, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων,  
[https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ggde.gr%2Findex.php%3Foption%3Dcom\\_docman%26task%3Ddoc\\_download%26gid%3D116&ei=2Wr9VLXaBsbqyQOE2YCgDw&usg=AFQjCNG8Skn-ZVPudmpBI9T4CcDSnVuRnw&sig2=hqQ5qwonQtSrdZV4OpXPYg](https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ggde.gr%2Findex.php%3Foption%3Dcom_docman%26task%3Ddoc_download%26gid%3D116&ei=2Wr9VLXaBsbqyQOE2YCgDw&usg=AFQjCNG8Skn-ZVPudmpBI9T4CcDSnVuRnw&sig2=hqQ5qwonQtSrdZV4OpXPYg)
- Πίνακας 2: Οδηγίες Μελετών Έργων Οδοποιίας, Τεύχος Χαράξεις, Πίνακας 5-2, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων,  
[https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ggde.gr%2Findex.php%3Foption%3Dcom\\_docman%26task%3Ddoc\\_download%26gid%3D116&ei=2Wr9VLXaBsbqyQOE2YCgDw&usg=AFQjCNG8Skn-ZVPudmpBI9T4CcDSnVuRnw&sig2=hqQ5qwonQtSrdZV4OpXPYg](https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ggde.gr%2Findex.php%3Foption%3Dcom_docman%26task%3Ddoc_download%26gid%3D116&ei=2Wr9VLXaBsbqyQOE2YCgDw&usg=AFQjCNG8Skn-ZVPudmpBI9T4CcDSnVuRnw&sig2=hqQ5qwonQtSrdZV4OpXPYg)

# Σημείωμα Αναφοράς

---

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεώργιος Μίντσης.  
«Οδοποιία Ι - Δυναμική της κίνησης του οχήματος». Έκδοση: 1.0.  
Θεσσαλονίκη 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

[http://opencourses.auth.gr/eclass\\_courses](http://opencourses.auth.gr/eclass_courses).

---

# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λπ., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



# Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Ευστάθιος Μπουχουράς,  
Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2014



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ







ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

---

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.00.

---

# Διατήρηση Σημειωμάτων

---

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

---