



Δυναμική Κίνησης Οχημάτων

B. Ψαριανός

Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών

Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής

Οδοποιία Ι (Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών)

Ακαδ. Έτος: 2005 – 2006

este@survey.ntua.gr



Blaise Pascal:

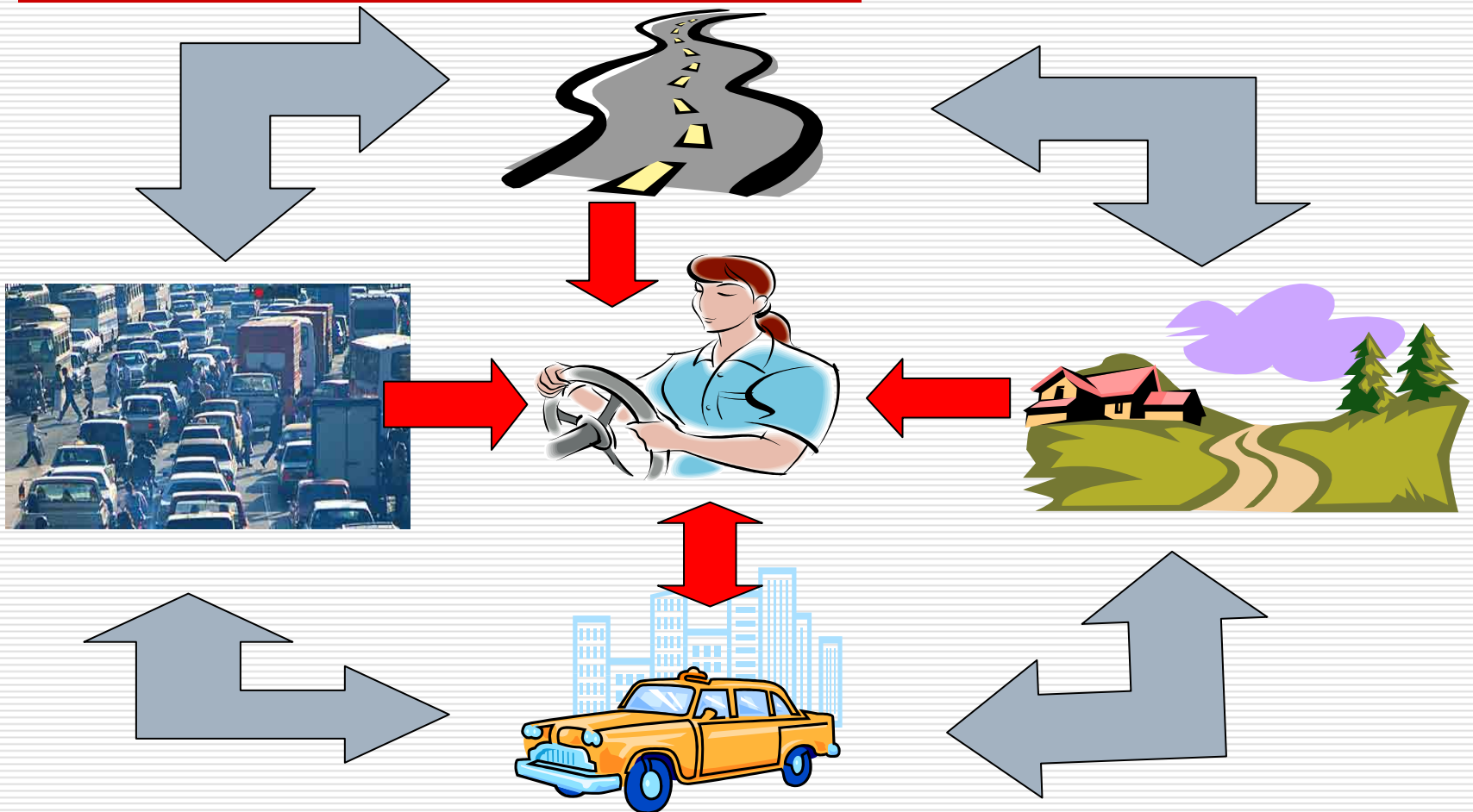


Η Κίνηση είναι ζωή.

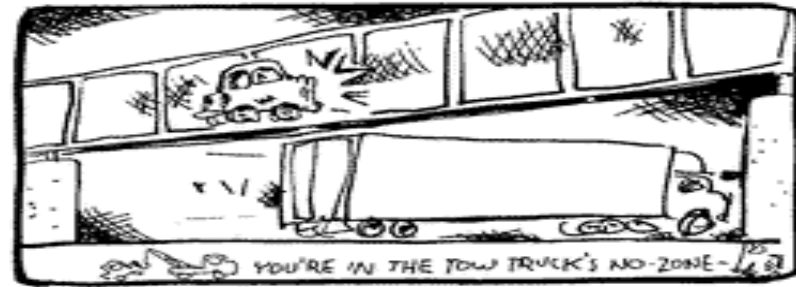
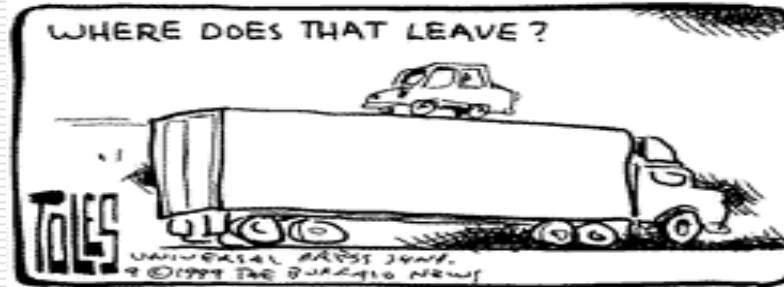
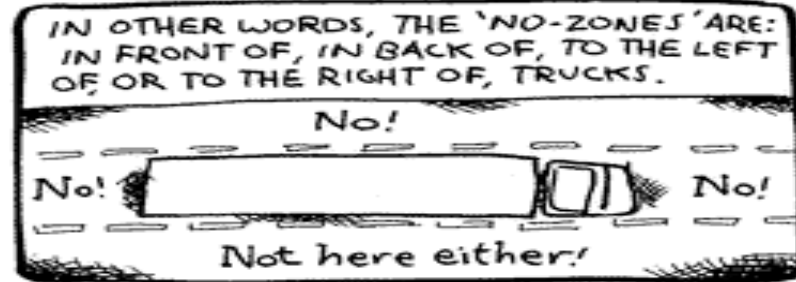
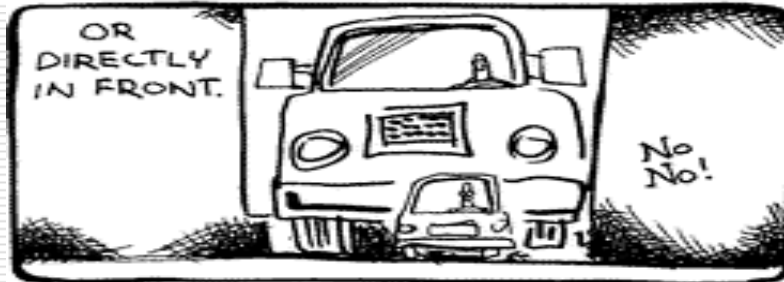
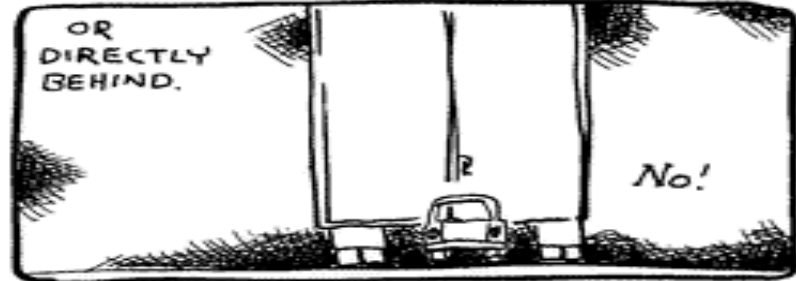
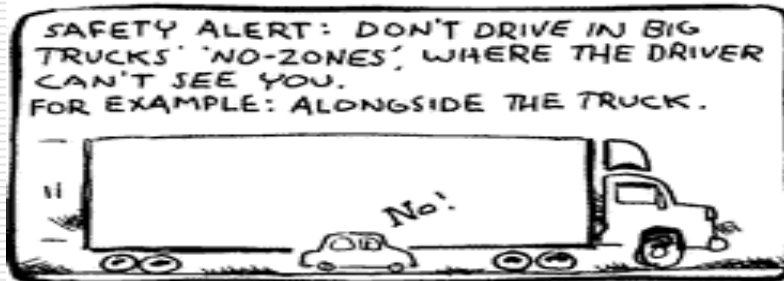
Θάνατος είναι η Ακινησία.



Κίνηση επί της Οδού



Απόλυτη Ασφάλεια;



9/10/99

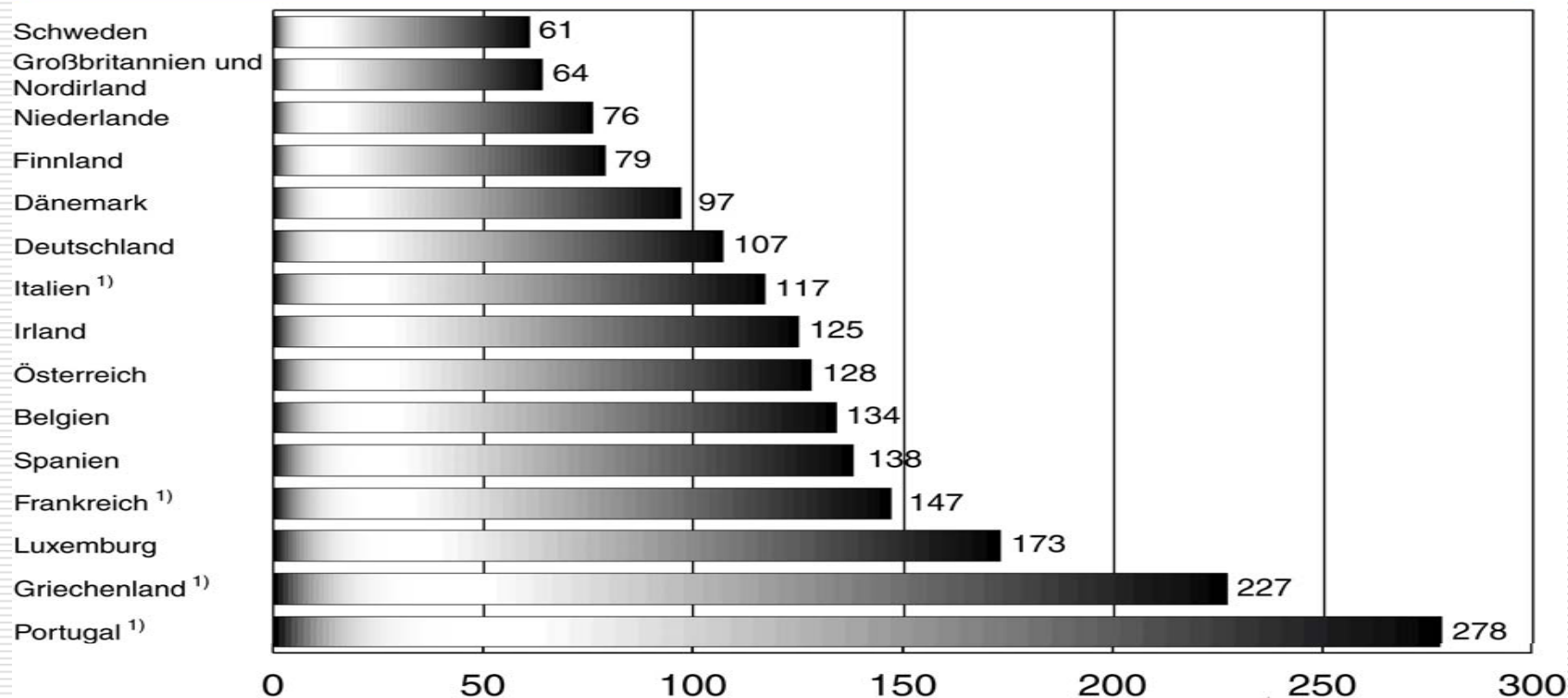


Νεκροί / 1.000.000 κάτοικοι (1996)



GETÖTETE JE 1 MIO. EINWOHNER

EU 1996



¹⁾ Hochgerechnet auf innerhalb von 30 Tagen Gestorbene
Quelle: Statistisches Bundesamt

AF13-03.jpg

GDV | ISK Institut für
Straßenverkehr Köln



Νεκροί σε Α/Δ και Αστικές Περιοχές

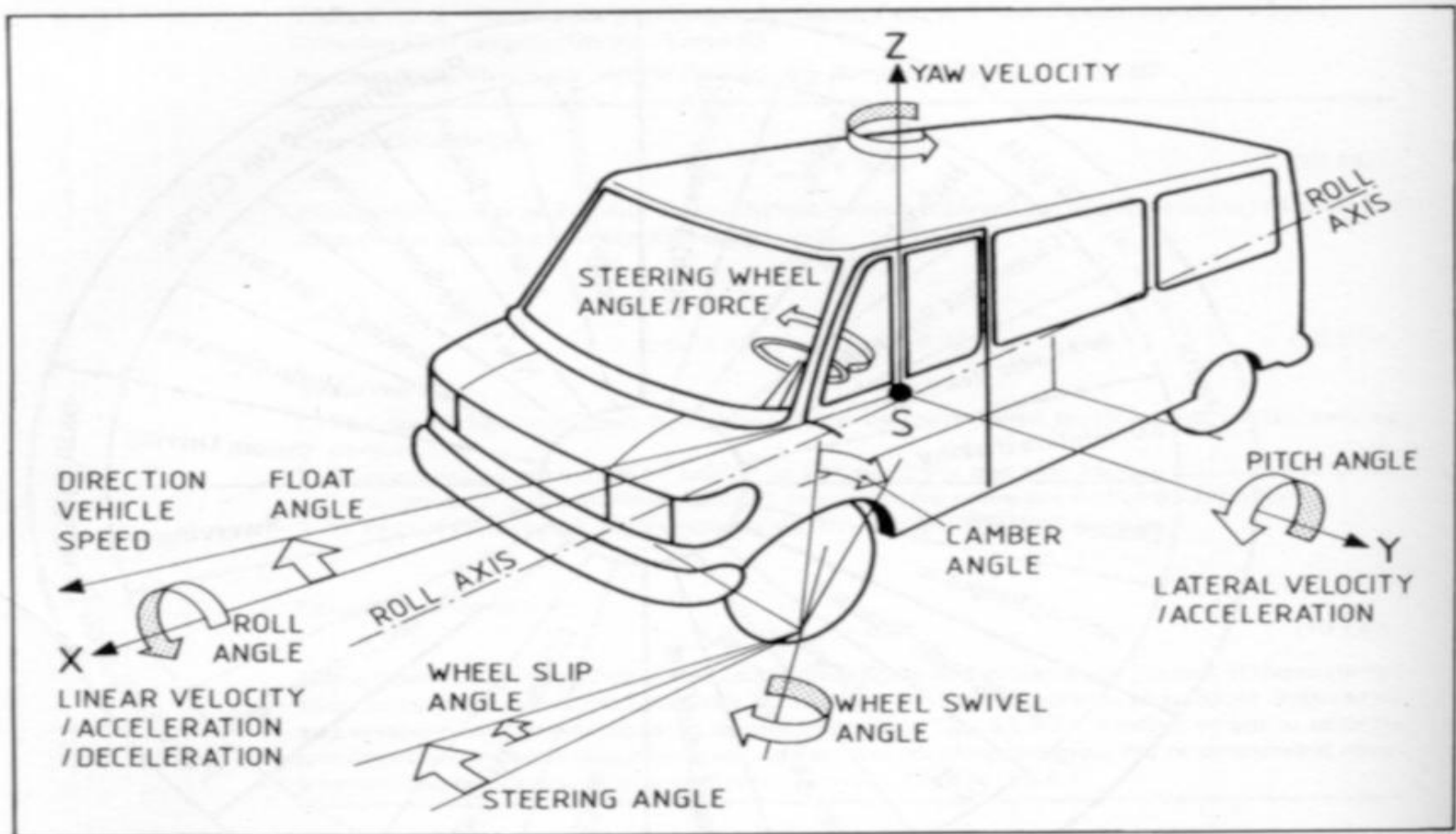


	Total Number			Outside Urban Areas			Motorways		
	1980	2001	2002	1980	2001	2002	1980	2001	2002
Australia	3 274	1 737	1 723	-	-	-	-	-	-
Austria	2 003	958	956	1 357	745	691	114	157	128
Belgium	2 396	1 486	-	1 368	1 036	-	172	193	-
Canada	5 481	2 779	2 930	-	1 708	1 784	-	415	445
Czech Republic	1 261	1 334	1 431	616	808	860	8	43	53
Denmark	690	431	463	384	306	337	11	40	51
Finland	551	433	415	332	320	310	-	19	19
France	13 672	8 160	7 655	8 317	5 884	5 599	534	534	579
Germany	15 050	6 977	6 842	8 919	5 251	5 158	943	770	857
Greece	1 446	-	-	703	-	-	-	-	-
Hungary	1 630	1 239	1 429	658	695	905	-	32	54
Iceland	25	24	29	12	15	27	0	-	0
Ireland	584	411	376	354	307	273	0	4	5
Italy	9 220	6 682	6 736	5 547	3 586	3 835	796	730	758
Japan	11 388	10 060	9 575	-	5 113	4 694	161	316	270
Luxembourg	98	70	62	50	-	-	-	-	-
Netherlands	1 996	993	987	1 212	658	639	108	92	95
New Zealand	597	455	404	335	342	298	11	-	11
Norway	382	275	312	259	237	269	-	-	-
Poland	6 002	5 534	5 827	-	3 006	3 066	-	57	41



Κίνηση επί της Οδού

Η ΑΛΗΘΕΙΑ



Κίνηση επί της Οδού Η Προσέγγιση

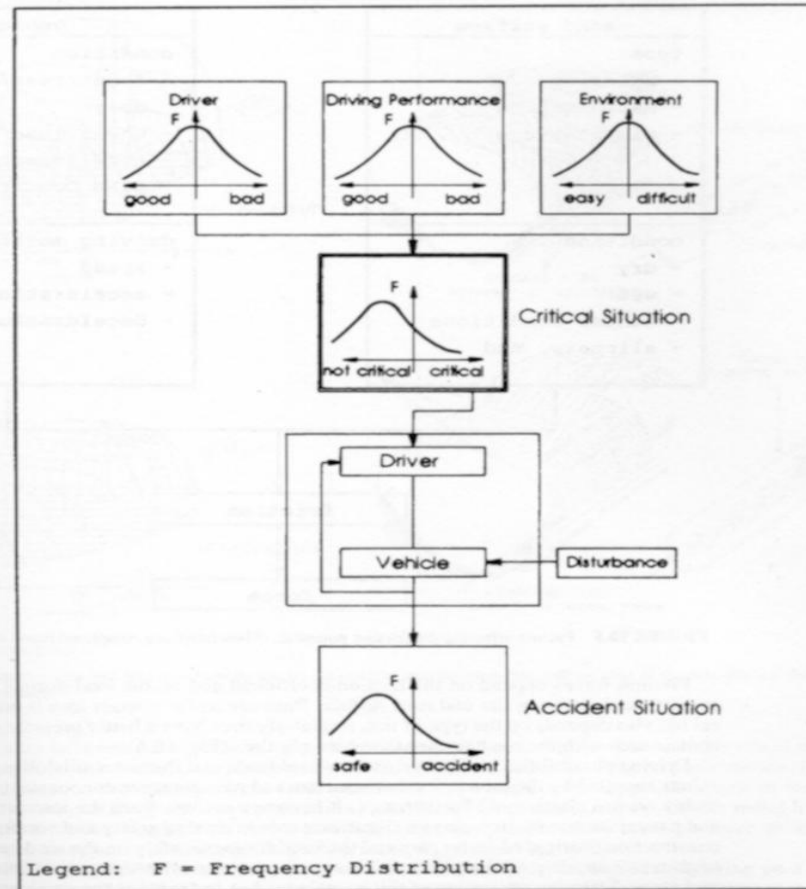


- ❑ Μάζα στο Κ.Β.
- ❑ Δυνάμεις στο Κ.Β.
- ❑ Κ.Β. πάνω στο οδόστρωμα
- ❑ Επιφάνεια στήριξης ελαστικού σημειακή
- ❑ **Σταθερή** Ταχύτητα κατά κανόνα
- ❑ 3-Δ κίνηση αναλύεται σε **3** επίπεδα



Κίνηση επί της Οδού

Η Σύγκρουση (Ατύχημα)





Βασικές Εξισώσεις:

- $v = dl/dt$
- $\gamma(t) = dv/dt$
- $C = d\gamma/dt$

$$l = l_0 + \int_{t_0}^t v(t) dt$$

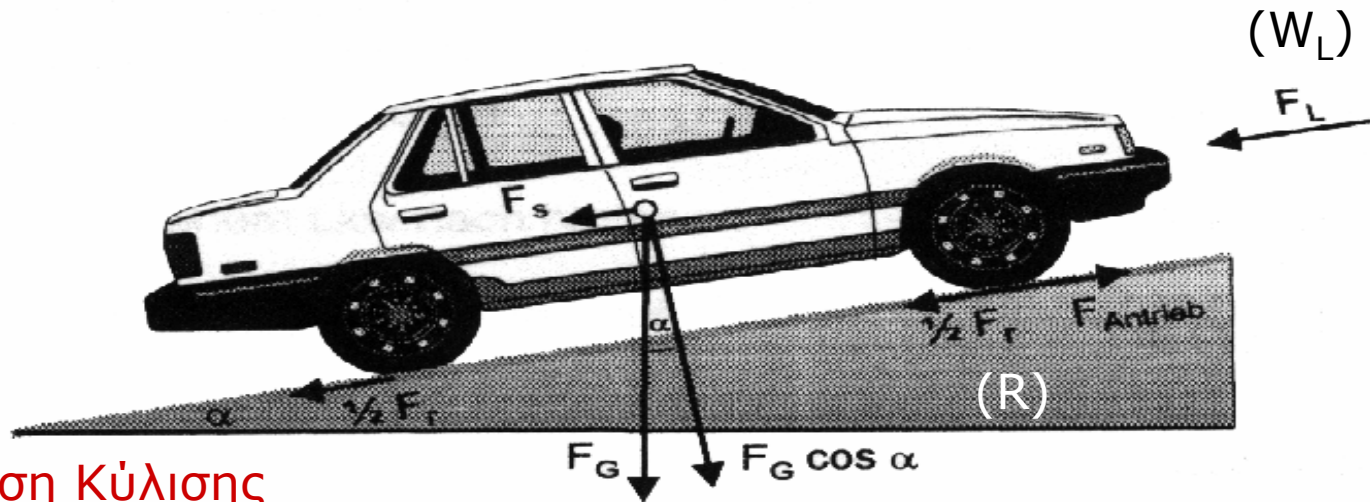
$$v = v_0 + \int_{t_0}^t \gamma(t) dt$$





Διαμήκης Κίνηση

$$\Sigma F_W = F_r + F_L + F_s$$



F_r = Αντίσταση Κύλισης

F_L = Αντίσταση Αέρα

(Q) F_s = Αντίσταση Ανωφέρειας

ΣF_W = Συνολική Αντίσταση

- F_r - Rollwiderstandskraft
- F_L - Luftwiderstandskraft

- F_s - Steigungswiderstandskraft
- ΣF_W - Gesamtfahwiderstandskraft



ΤΑΧΥΤΗΤΑ



$$V = \frac{2\pi \cdot r \cdot n_e}{\varepsilon_0} \cdot (1 - i)$$

n_e : Στροφές μηχανής

i : Λόγω Απωλειών Κιβωτίου Ταχυτήτων

Επιβατηγά : 0.02 – 0.05

ε_0 = Σχέση Μετάδοσης

Πρωθητική Δύναμη



$$F_e = \frac{M_e \cdot \varepsilon_0 \cdot n_f}{r}$$

M_e : Ροπή στρέψης μηχανής

ε_0 : Σχέση μετάδοσης

n_f : Απόδοση (απώλειες) 0.75 – 0.90

r : Ακτίνα τροχού



Αντίσταση Κύλισης

Οδόστρωμα	f_R
Σκυρόδεμα, Άσφαλτος, Πλάκες	0,01 – 0,02
Χωματόδρομος	0,04 – 0,08
Χαλαρή Άμμος	0,15 – 0,30
Τροχός σε Σιδηροτροχιά	0,001 – 0,002

Αεροδυναμική Αντίσταση:

$$F_R = (\rho/2)c_wAV^2$$



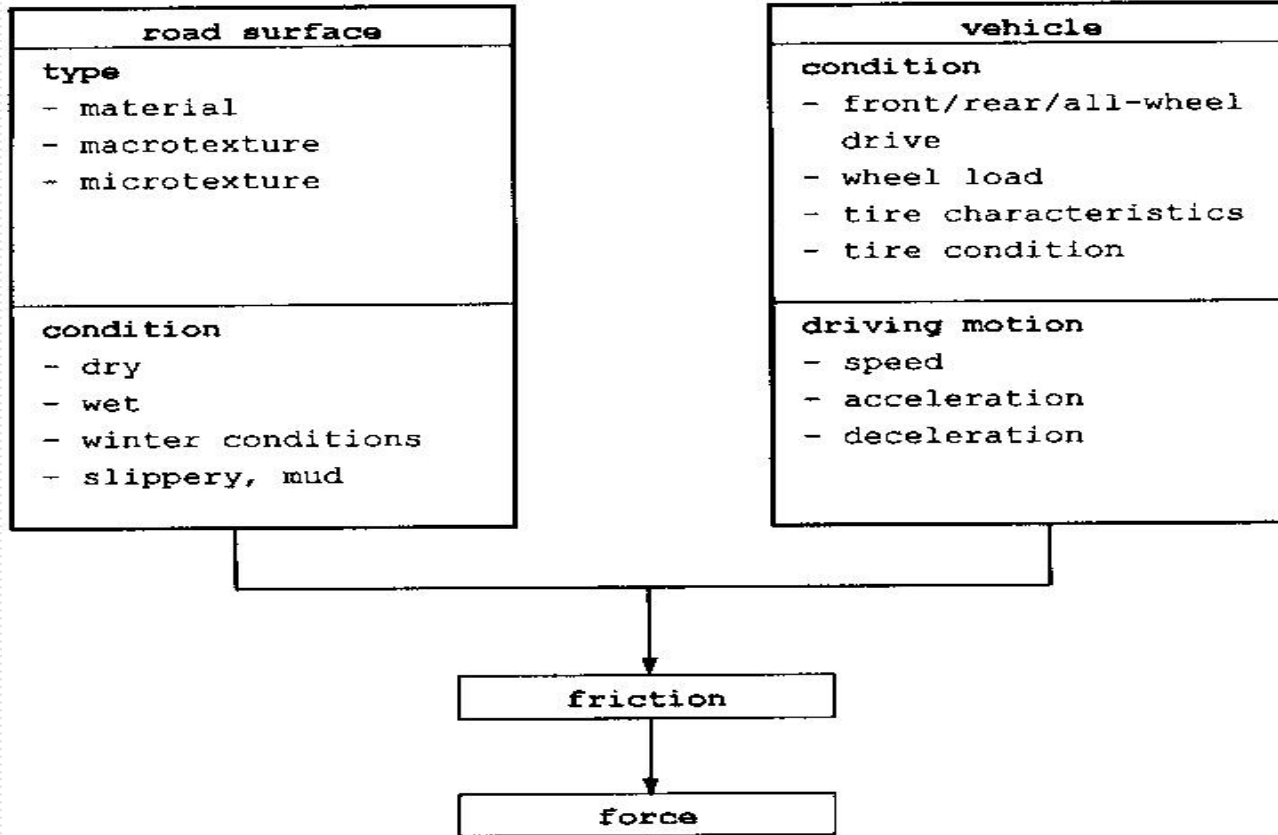
Όχημα	C_w
Επιβατηγό	0,3 - 0,4
Φορτηγό	0,7 - 1,0
Συρμός	0,8 - 1,3

Συντελεστής Τριβής



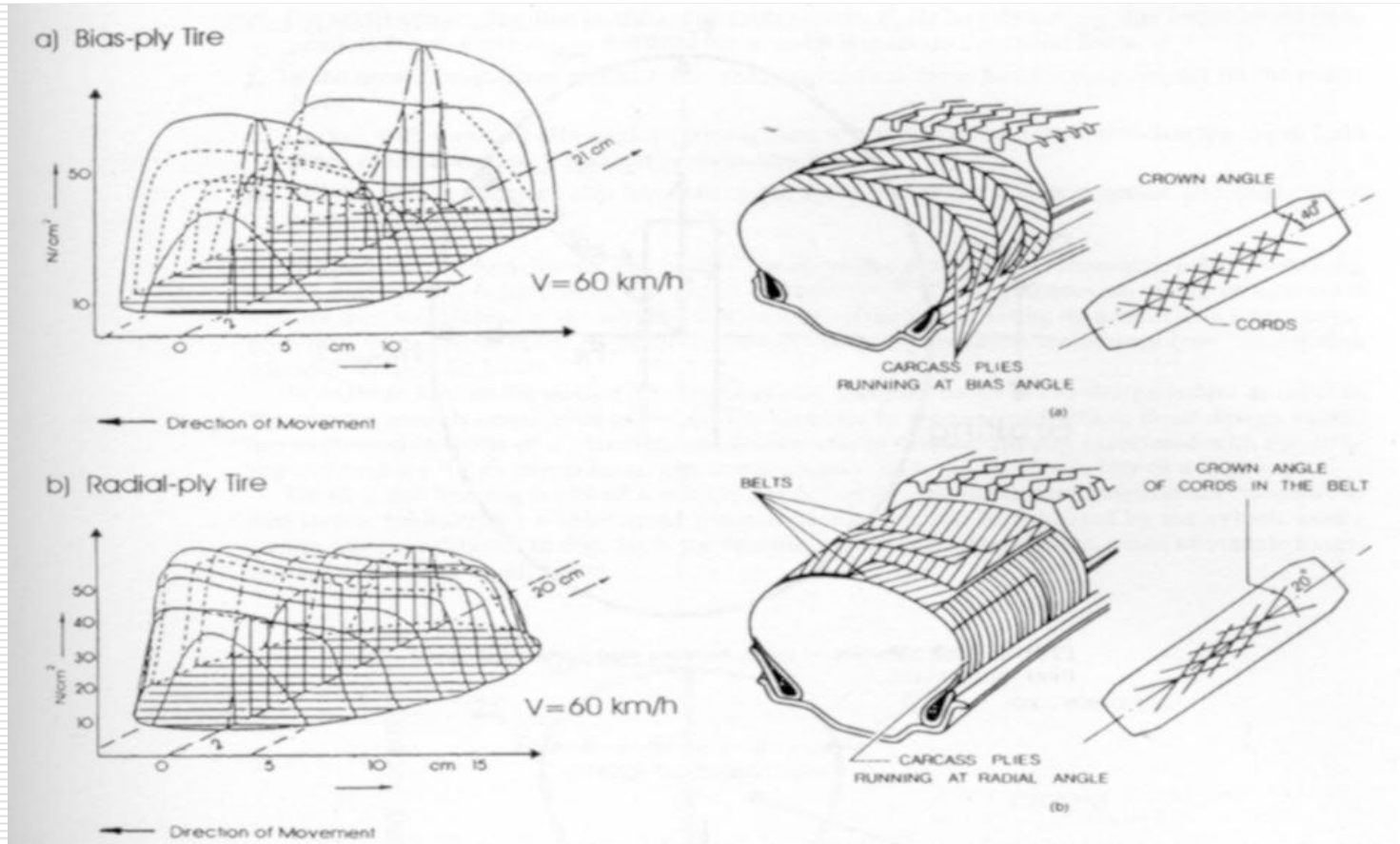
- **Μικροεπιφανειακές Αντιδράσεις**
- **Κύλιση**
- **Πρόσφυση**
 - **Κύλιση (περιστροφή τροχού)**
 - **Ολίσθηση (τροχός ακινητοποιημένος)**

Εμφάνιση Τριβής - Δύναμης



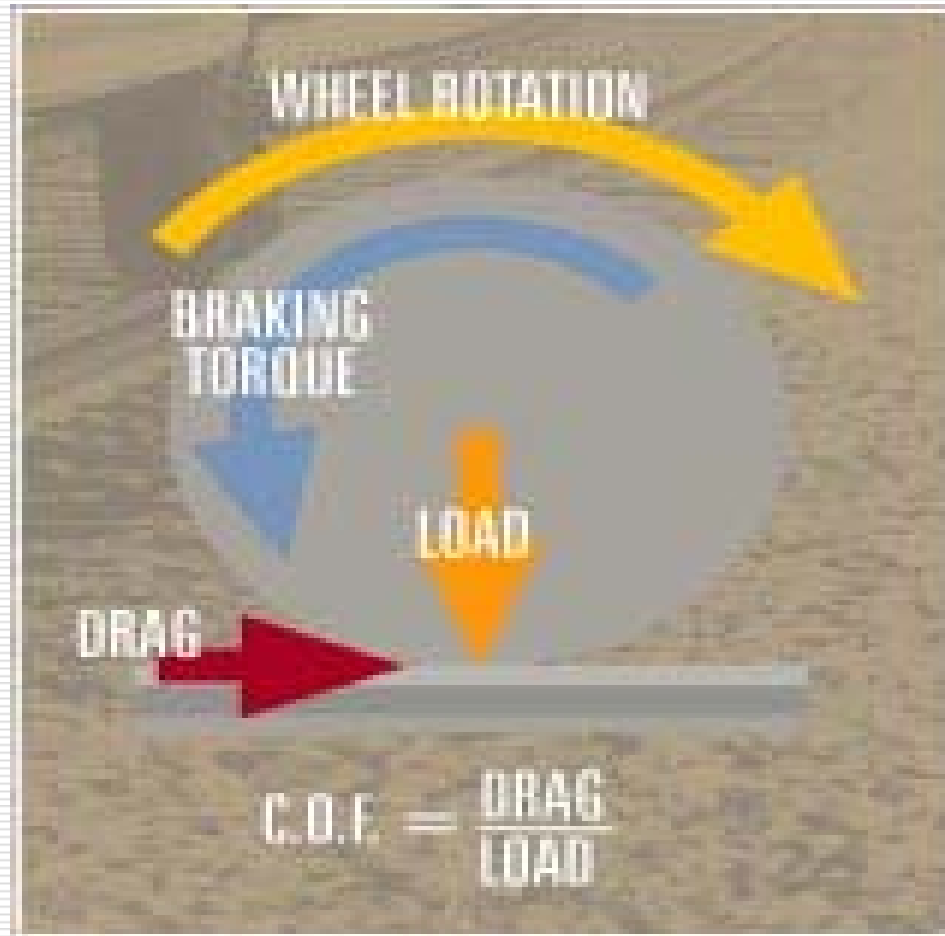


Ο Τροχός



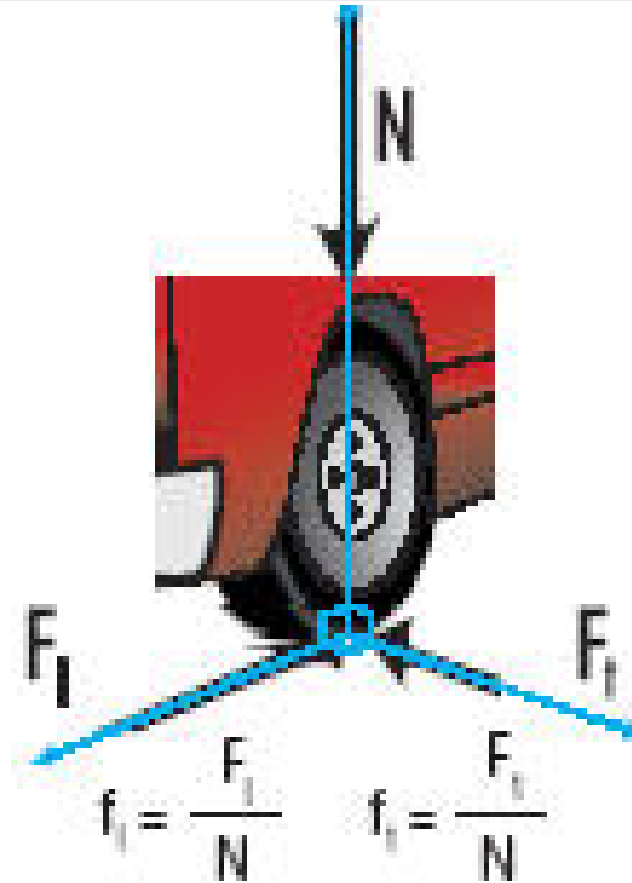


Δυνάμεις σε τροχό

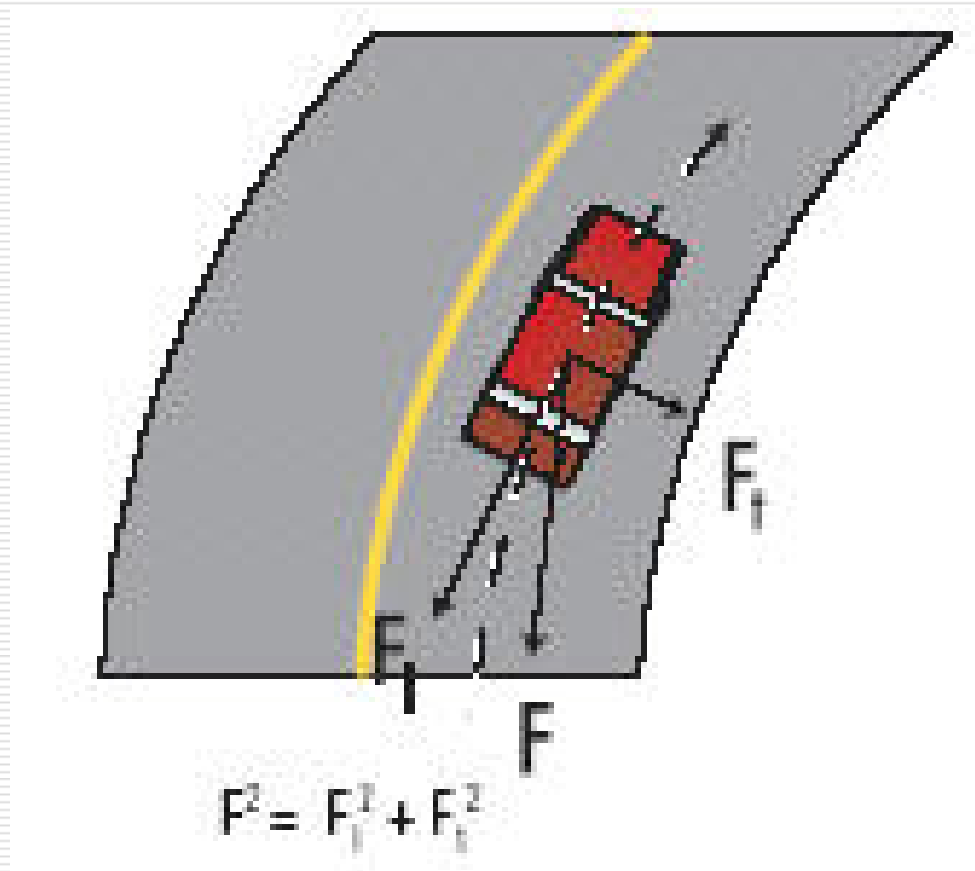


Δυνάμεις σε τροχό

Συνιστώσες τριβής



Καμπύλη Κίνηση





Δύναμη Τριβής στον Τροχό

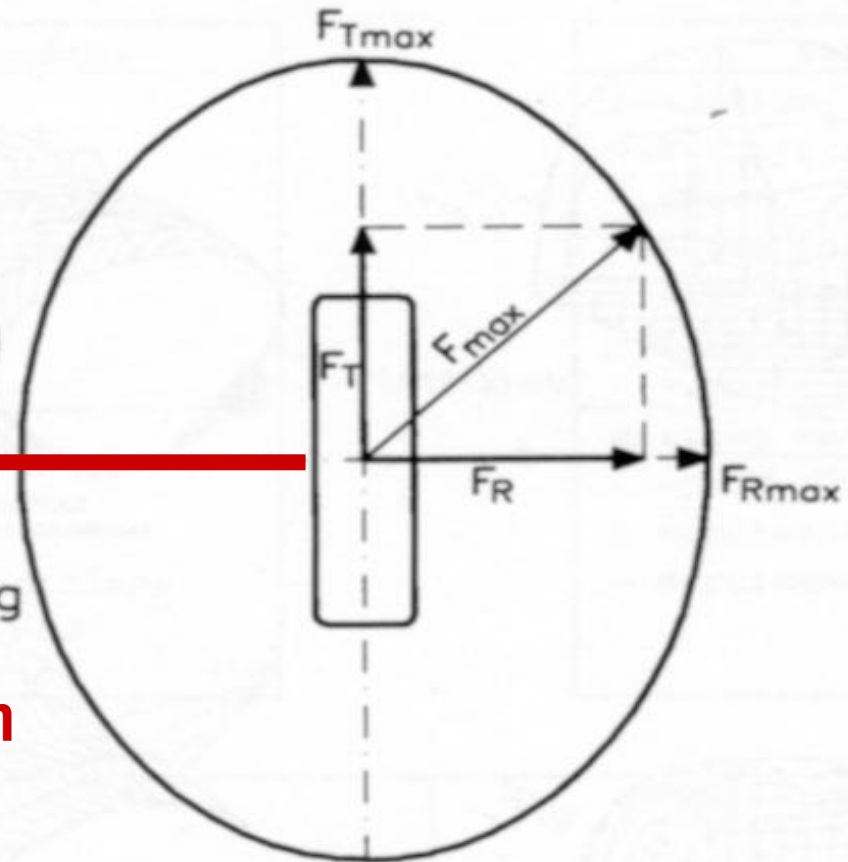


Έλξη

Driving

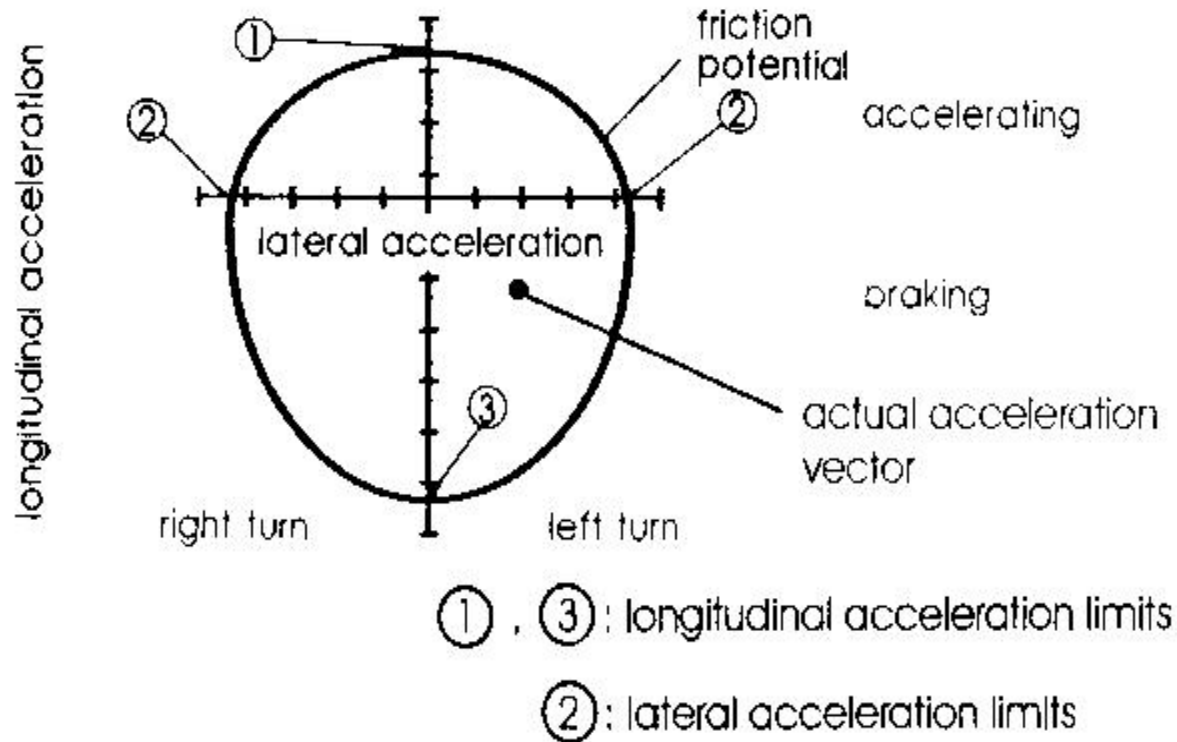
Braking

Πέδηση





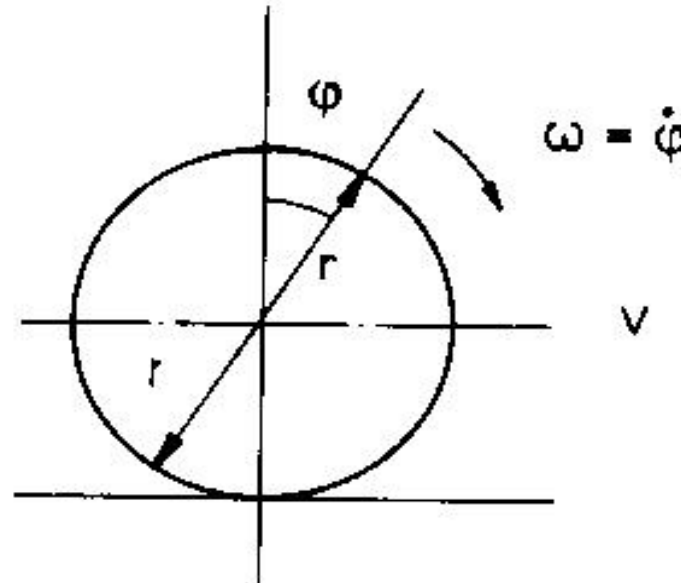
Διαθεσιμότητα Τριβής





Εξαρτημένη Μεταβλητή

Διολίσθηση Κινητήριου Τροχού



$$\text{slip} = \zeta_A = r \cdot \omega - v / r, r \cdot \omega > v \quad \text{accelerating condition} \quad (10.19)$$

$$\text{slip} = \zeta_B = v - r \cdot \omega / v, v > r \cdot \omega \quad \text{braking (decelerating) condition} \quad (10.20)$$

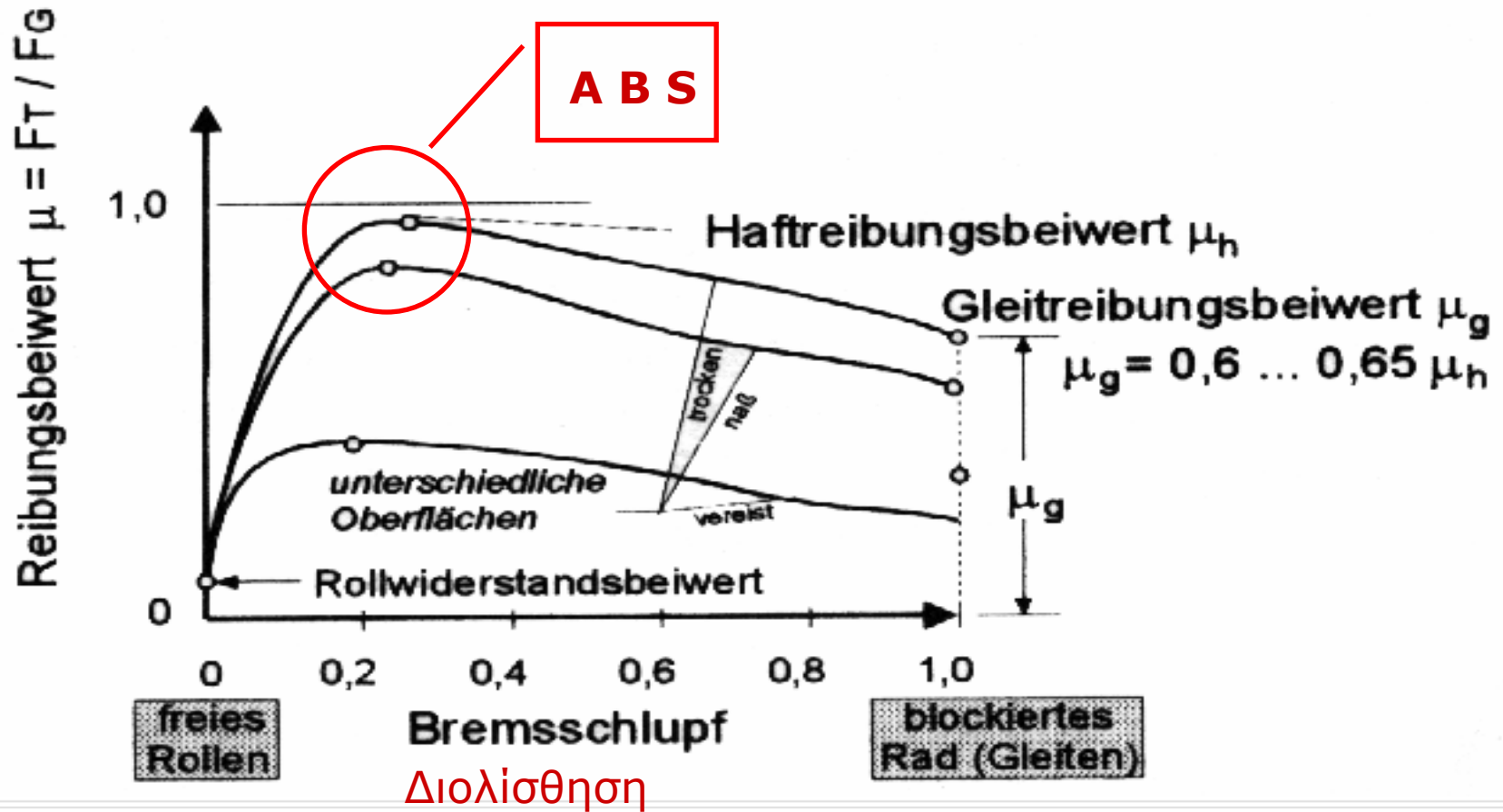
where ω = tire angular speed, rad/s
 v = vehicle translatory speed, m/s
 ϑ = rotational angle, rad
 r = rolling radius, m





Διάγραμμα Τριβής

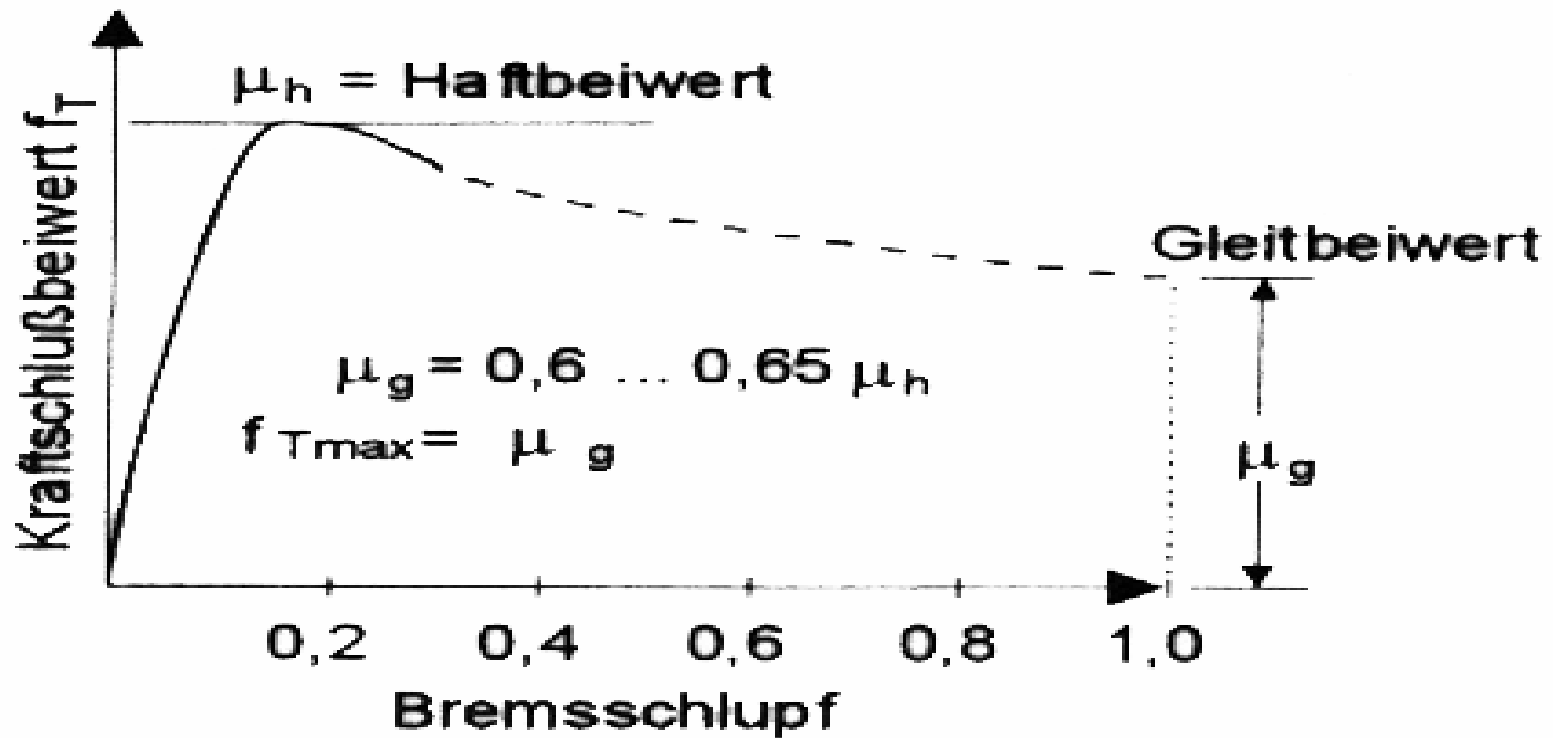
Συντελεστής Τριβής





ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

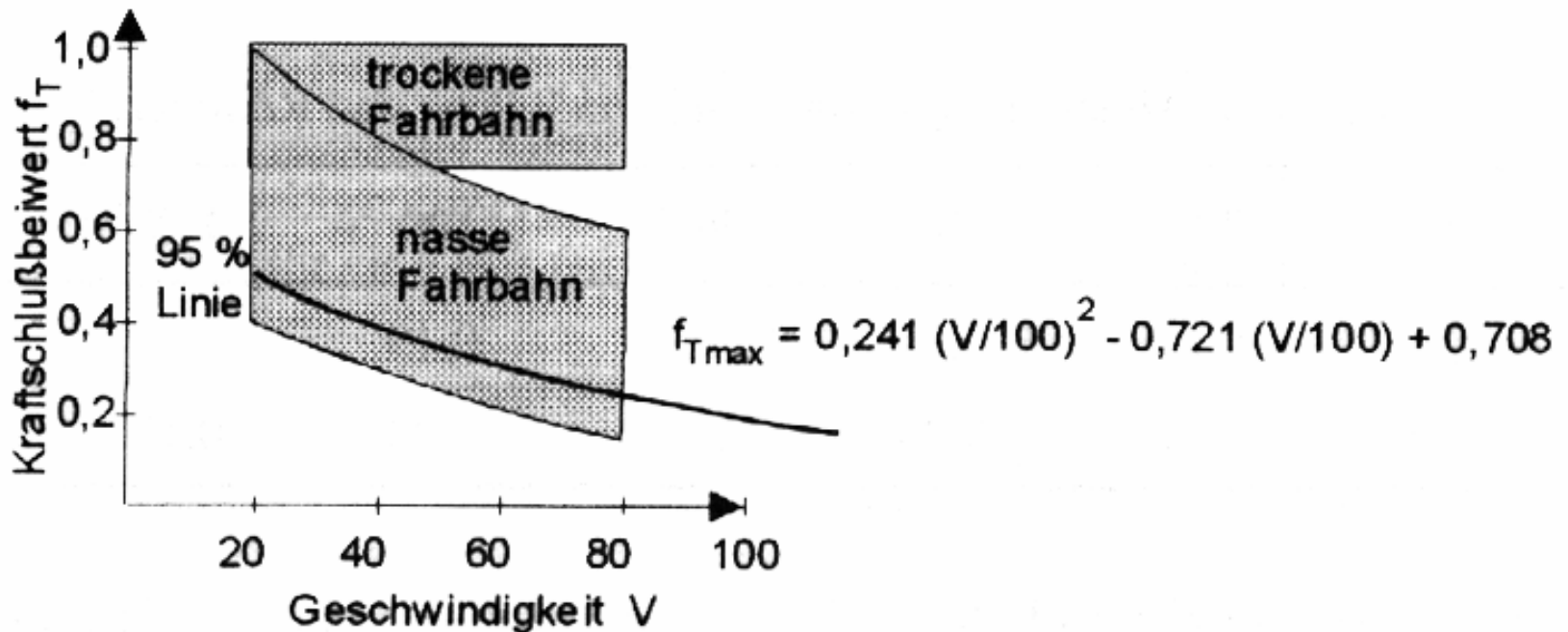
1. Kraftschlußbeiwert = Gleitbeiwert



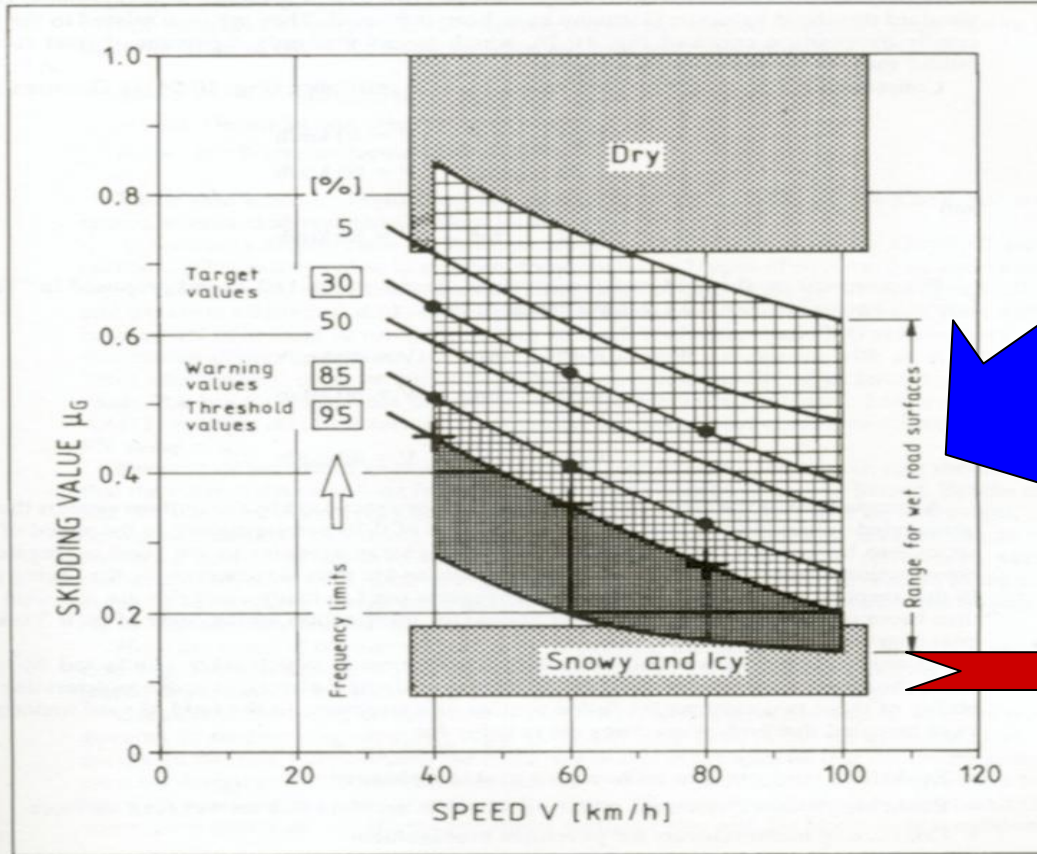
Τιμές μ_g



2. 95 % - Überschreitungswahrscheinlichkeit



Τιμή Σχεδιασμού



Βαρέα Οχήματα ?



$$f_{B.O.} < f_{Επιβ.}$$

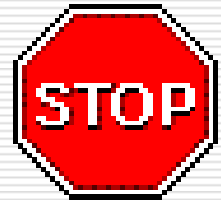
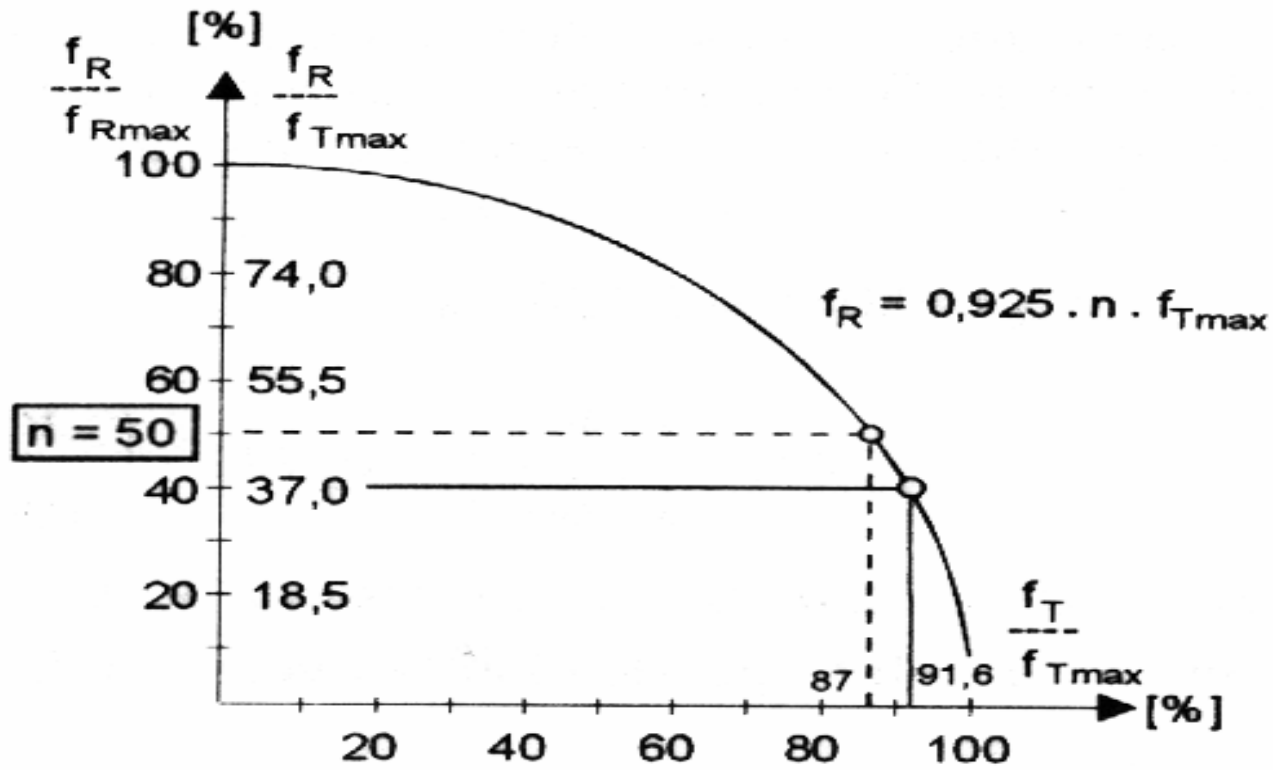
$$f_{B.O.} \sim 0,70 f_{Επιβ.}$$



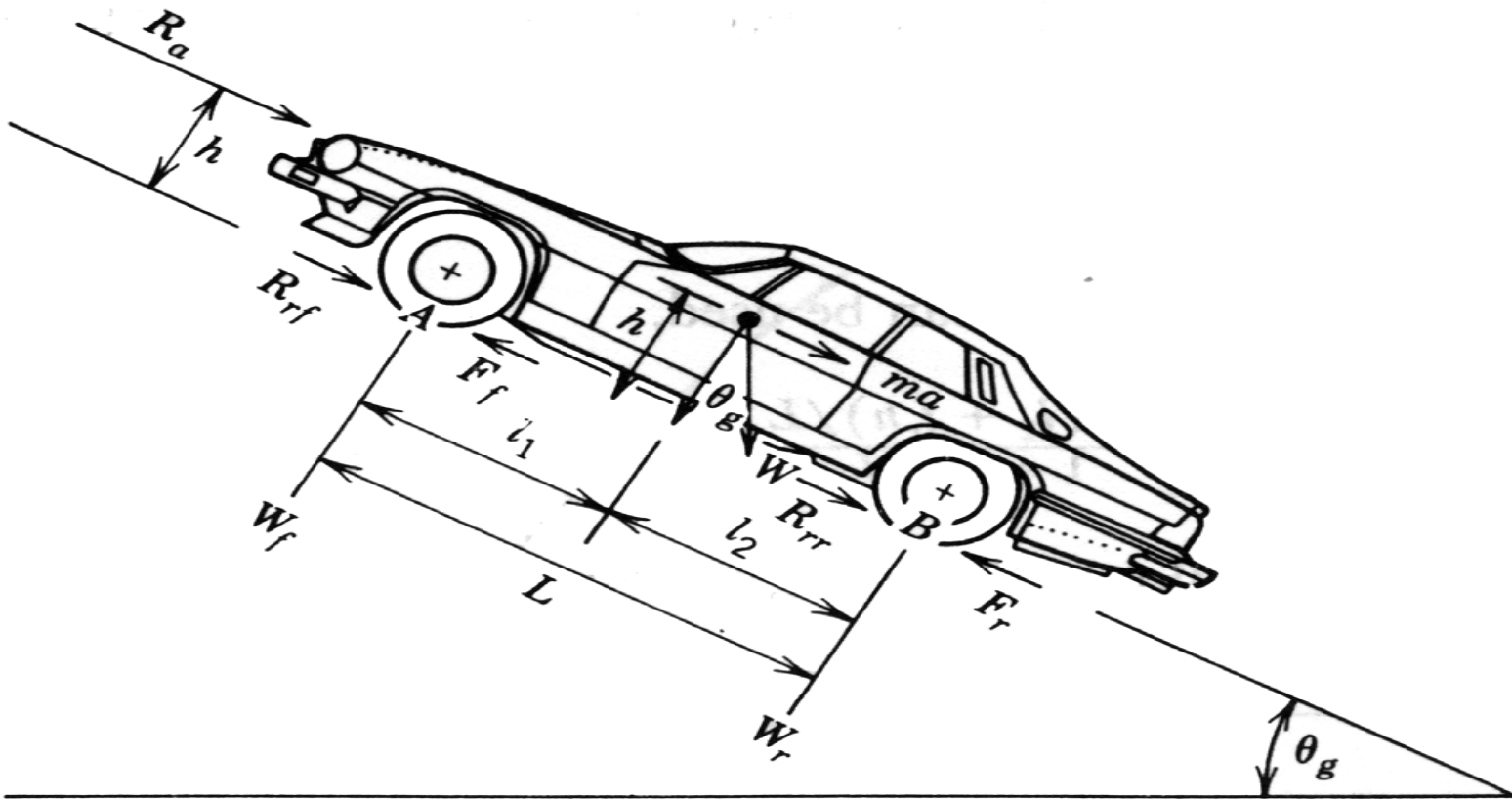
Κατανομή Συντελεστή Τριβής



3. Anteil des maximalen radialen Kraftschlusses



Εξισώσεις Κίνησης



ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΡΟΠΕΣ

Vehicle forces and moment generating distances.





ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

$$F_f + F_r = m \cdot b + W_L + R_{rf} + R_{rr} + Q \cdot \sin \vartheta_g$$
$$\left[Q \cdot \frac{s}{100} \right]$$

$$W_L = \frac{\rho}{2} \cdot c_D \cdot A_f \cdot V^2$$

$$R_r = f_r \cdot Q \cdot \cos \vartheta_g$$

$$f_r = 0.01 \cdot \left(1 + \frac{V}{160} \right), V : [\text{km/h}]$$

Υπόμνημα:

$$Q = F_G$$

$$R_r = F_r$$

$$W_L = F_L$$

ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΡΟΩΘΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ



$$Q_r = \frac{W_L \cdot h + Q \cdot l_1 \cdot \cos \vartheta_g + m \cdot b \cdot h \pm Q \cdot h \cdot \sin \vartheta_g}{L}$$

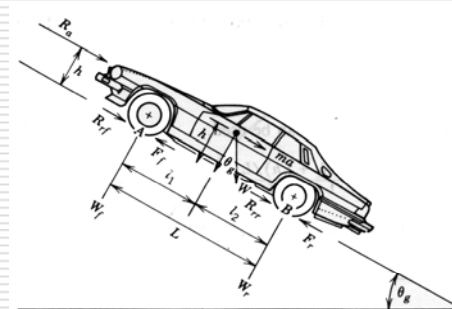


$$Q_r = \frac{l_1}{L} \cdot Q + \frac{h}{L} \cdot \left(\sum F - \sum R_r \right)$$

L = Απόσταση Μεταξονίου

l_1 = Απόσταση Κ.Β. από Εμπρόσθιο Άξονα

h = Απόσταση Κ.Β. από Οδόστρωμα



ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΡΟΠΕΣ
Vehicle forces and moment generating distances.

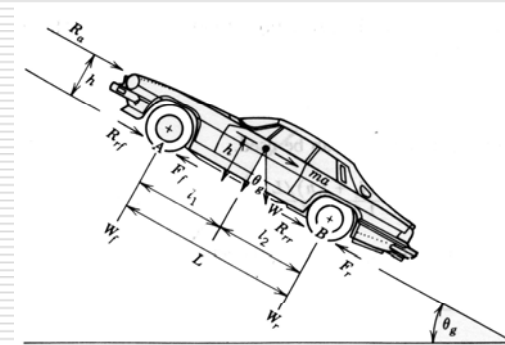




ΕΜΠΡΟΣΘΟΚΙΝΗΣΗ

$$F_{f, \max} = \frac{\mu_g \cdot Q \cdot (l_2 + f_r \cdot h)}{1 + \frac{\mu_g \cdot h}{L}}$$

l_2 = Απόσταση Κ.Β. από Οπίσθιο Άξονα



ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΡΟΠΕΣ
Vehicle forces and moment generating distances.





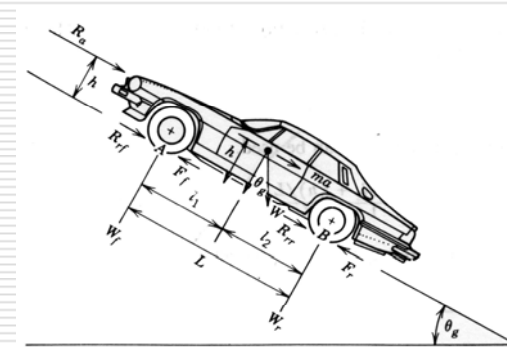
ΟΠΙΣΘΟΚΙΝΗΣΗ

$$F_{r, \max} = \mu_g \cdot Q_r$$

$$F_{r, \max} = \mu_g \cdot \left[\frac{l_1}{L} \cdot Q + \frac{h}{L} \cdot (F_{\max} - R) \right]$$

$$F_{\max} = \frac{\mu_g \cdot Q \cdot (l_1 - f_r \cdot h)}{1 - \mu_g \cdot \frac{h}{L}}$$

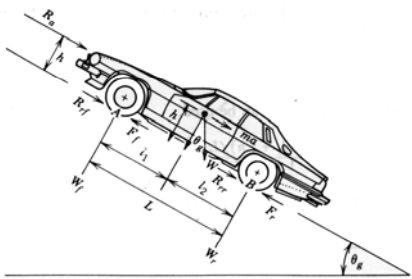
$F > F_{\max} \Rightarrow$ Wheel spinning



ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΡΟΠΕΣ

Vehicle forces and moment generating distances.





ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΠΟΛΕΡΕΣ
Vehicle forces and moment generating distances.

ΠΕΔΗΣΗ (Κάθετες Δυνάμεις)



$$Q_f = \frac{1}{L} \cdot (Q \cdot l_2 + h \cdot (m \cdot b - W_L \pm Q \cdot \sin \theta_g))$$

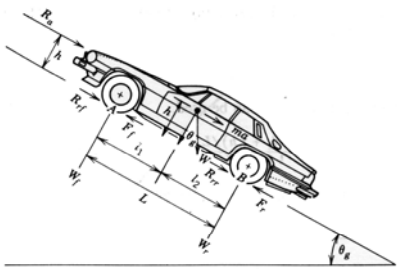
$$Q_r = \frac{1}{L} \cdot (Q \cdot l_1 - h \cdot (m \cdot b - W_L \pm Q \cdot \sin \theta_g))$$

⇓

$$Q_f = \frac{1}{L} \cdot (Q \cdot l_2 + h \cdot (F_b + f_r \cdot Q))$$

$$Q_r = \frac{1}{L} \cdot (Q \cdot l_1 - h \cdot (F_b + f_r \cdot Q))$$





ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΡΟΠΕΣ
Vehicle forces and moment generating distances.

Δυνάμεις Πέδησης στους Τροχούς



$$F_{b,f,\max} = \mu_g \cdot Q_f = \frac{\mu_g \cdot Q \cdot (l_2 + h \cdot (\mu_g + f_r))}{L}$$

&

$$F_{b,r,\max} = \mu_g \cdot Q_r = \frac{\mu_g \cdot Q \cdot (l_1 - h \cdot (\mu_g + f_r))}{L}$$

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΕΔΗΣΗΣ



$$F_b^* = K_b \cdot F_{b,\max}$$

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΠΕΔΗΣΗΣ

$$\frac{K_{b,f}}{K_{b,r}} = \frac{F_{b,f,\max}}{F_{b,r,\max}} = \frac{l_2 + h \cdot (\mu_g + f_r)}{l_1 - h \cdot (\mu_g + f_r)}$$



ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ



$$b \cdot ds = \frac{\sum F_b + \sum R}{\varepsilon_b \cdot m} \cdot ds$$

$$= V \cdot dV, \quad \varepsilon_b = 1.04$$

$$S = \int_{V_1}^{V_2} \varepsilon_b \cdot m \cdot \frac{V}{\sum F_b + \sum R} \cdot dV$$

$$S = \varepsilon_b \cdot m \cdot \int_{V_1}^{V_2} \frac{V}{\sum F_b + f_r \cdot Q \pm Q \cdot \sin \vartheta_g + W_L} \cdot dV$$



Απλοποιήσεις ...



$$K_a = \frac{\rho}{2} \cdot c_D \cdot A_f \rightarrow W_L = K_a \cdot V^2$$

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} \rightarrow f_r = \text{const.}$$

$$m = \frac{Q}{g}$$

$$\sum F_b = \mu_{(g)} \cdot Q$$



Μήκος Επιβράδυνσης με Αεροδυναμική Αντίσταση



$$S = \frac{\varepsilon_b \cdot Q}{2 \cdot g \cdot K_a} \cdot \ln \frac{\mu \cdot Q + f_r \cdot Q \pm Q \cdot \sin \vartheta_g + K_a \cdot V_1^2}{\mu \cdot Q + f_r \cdot Q \pm Q \cdot \sin \vartheta_g + K_a \cdot V_2^2}$$

$$n_b = \frac{g_{\max}}{\mu} \rightarrow \sum F_b = n_b \cdot \mu \cdot Q$$

$$V_2 = 0: S = \frac{\varepsilon_b \cdot Q}{2 \cdot g \cdot K_a} \cdot \ln \left(1 + \frac{K_a \cdot V_1^2}{n_b \cdot \mu \cdot Q + f_r \cdot Q \pm Q \cdot \sin \vartheta_g} \right)$$

ΧΩΡΙΣ

ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ



$$S_h = \frac{\varepsilon_b \cdot (V_1^2 - V_2^2)}{2 \cdot g \cdot (n_b \cdot \mu + f_r \pm \sin \vartheta_g)}$$
$$\approx \frac{V_1^2 - V_2^2}{2 \cdot g \cdot (\mu \pm s)}$$

$$f = n_b \cdot \mu + f_r$$

η f εξαρτάται από όχημα!

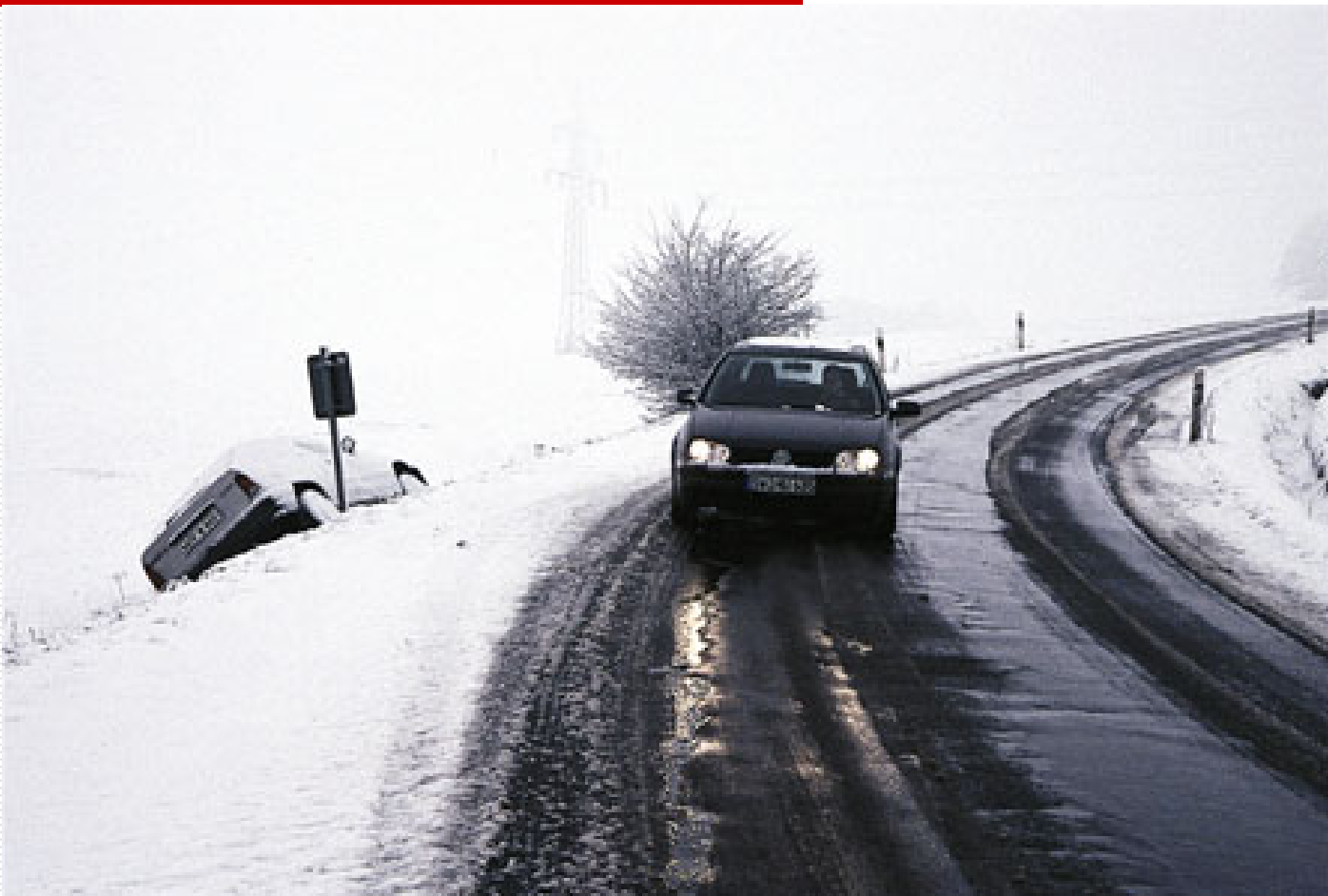


**Driver in a hurry.
Child in a coma.**



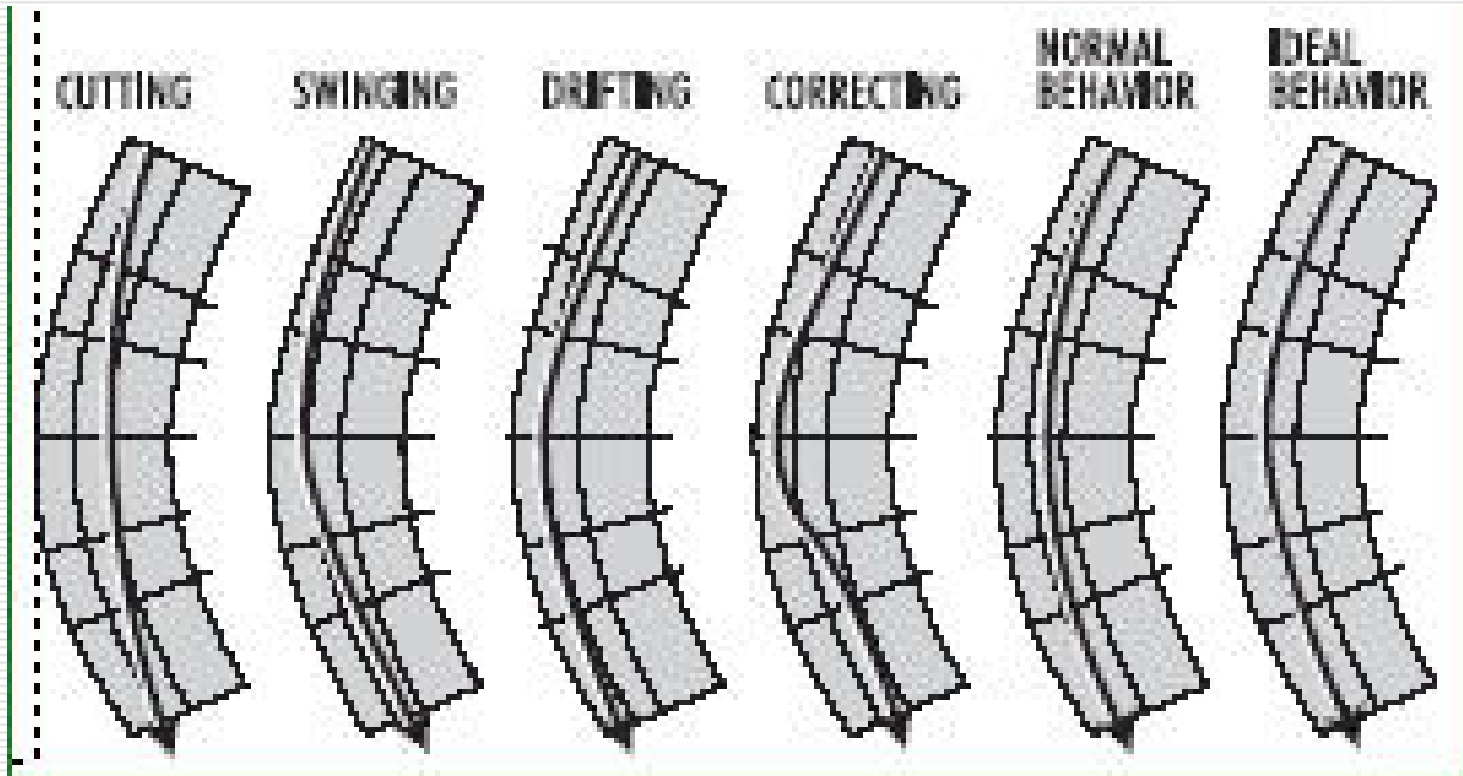
At 5mph over the 30mph limit, you need another 21ft to stop.
Slow down.

Εγκάρσια Ευστάθεια

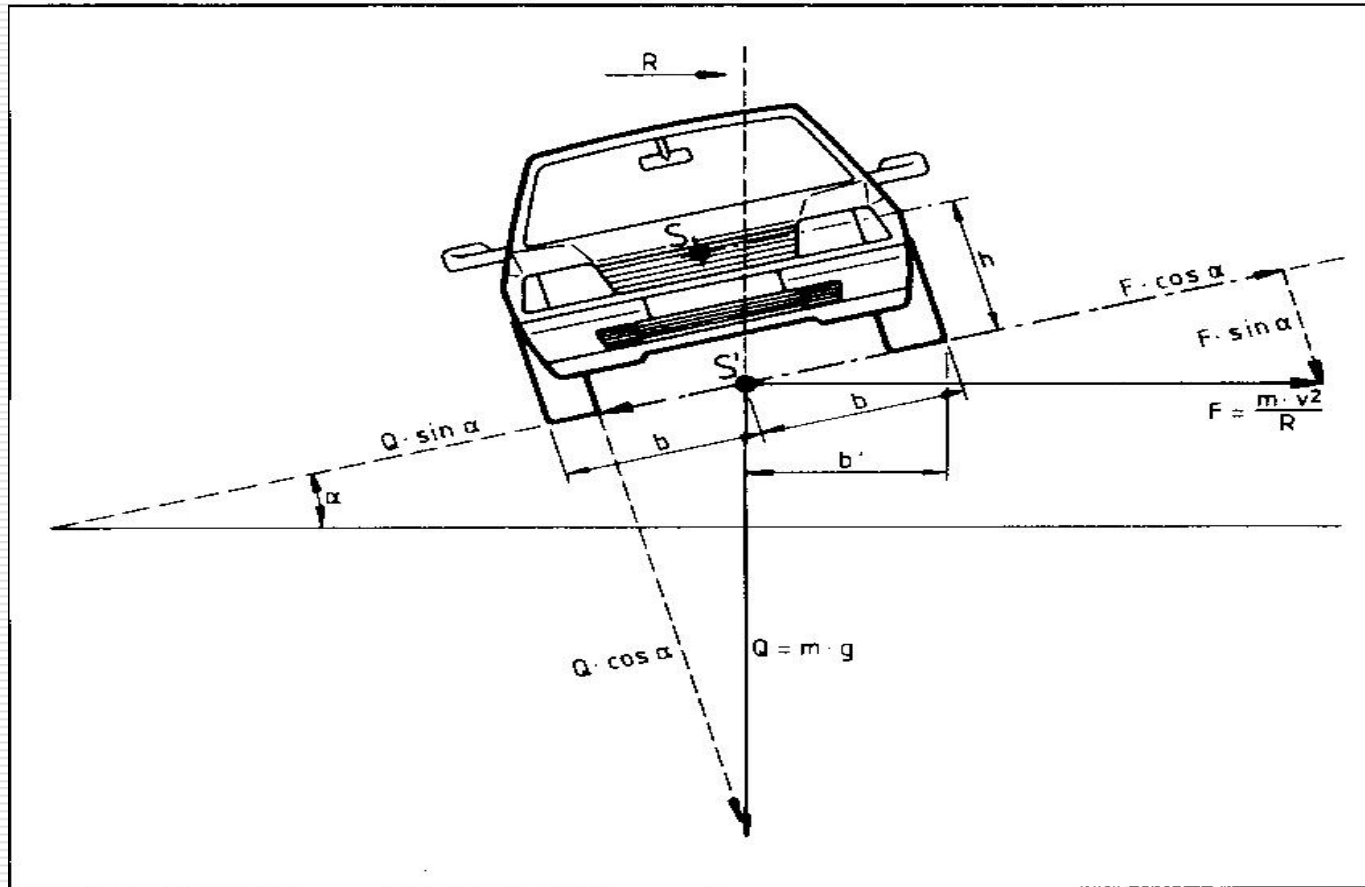




Καμπύλη Κίνηση



Εγκάρσια Ευστάθεια: Μοντέλο



Εξίσωση Ισορροπίας:



$$\frac{v^2}{g \cdot R} \leq \frac{f_R(v) + e}{1 - f_R(v) \cdot e} \approx f_R(v) + e$$

$$f_R = n \cdot 0,925 f_{Tmax}$$

$$n = 0,40 / 0,45 / 0,60 / 0,70$$

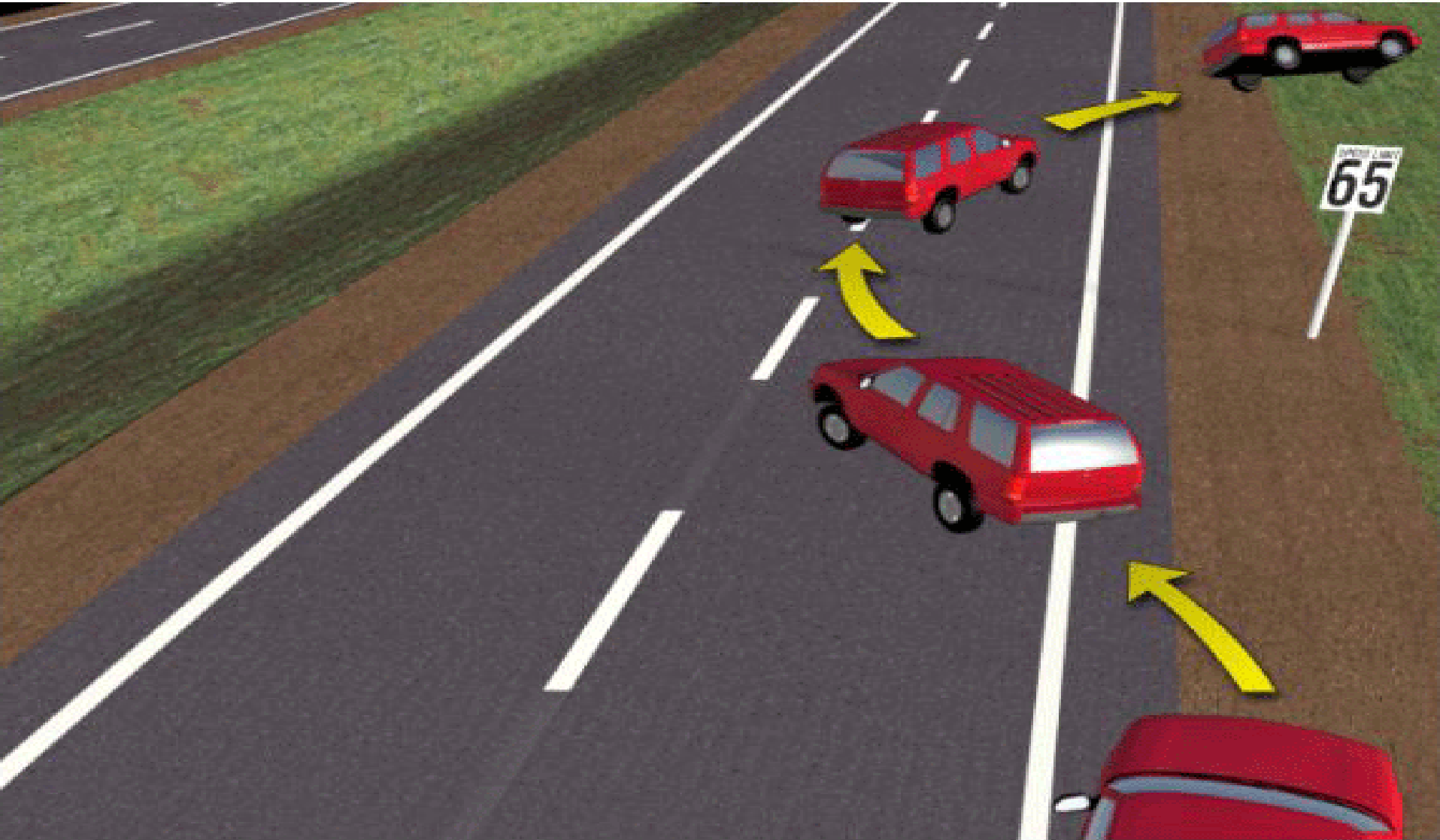


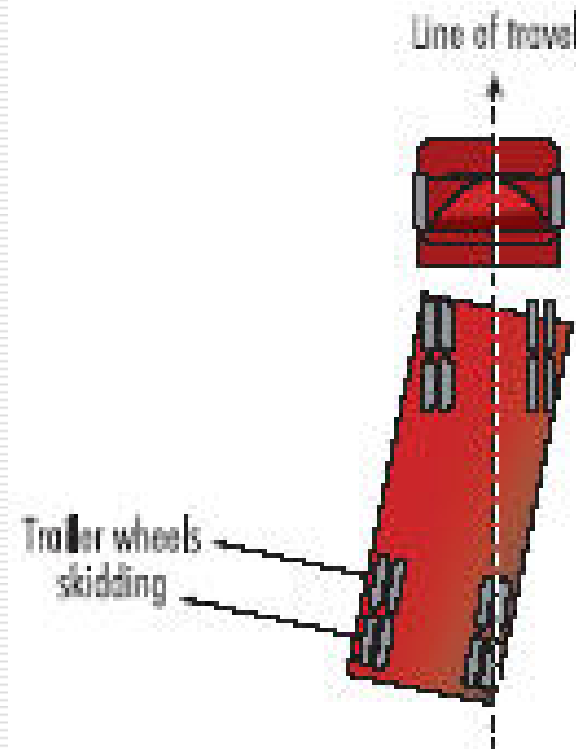
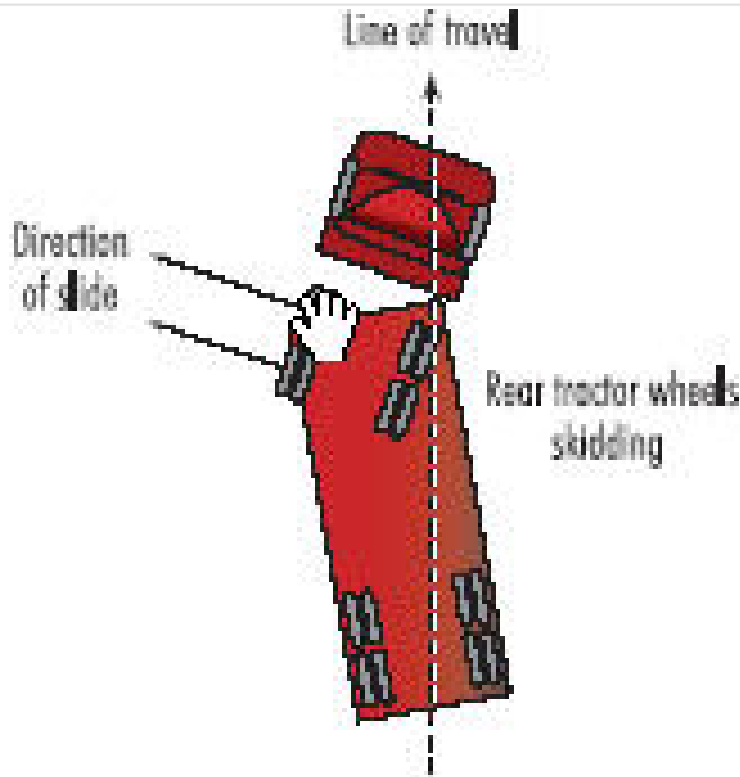
Figure 8. Out of Control Vehicle

"Figure obtained from Docket No. NHTSA 2000-6859. Reprinted with the permission of American Suzuki Motor Corporation"

© 2000 American Suzuki Motor Corporation



«Δίπλωμα» Φορτηγού με Ρυμουλκούμενο



$n=0,45$



$n=0,40$



$n=0,60$



$n=0,70$





Ανατροπή

$$v \leq \sqrt{g \cdot R \cdot \frac{b + h \cdot e}{h - b \cdot e}}$$

$$R \geq \frac{v^2}{g} \cdot \frac{h - b \cdot e}{b + h \cdot e}$$



Ανατροπή



$$t/2h$$

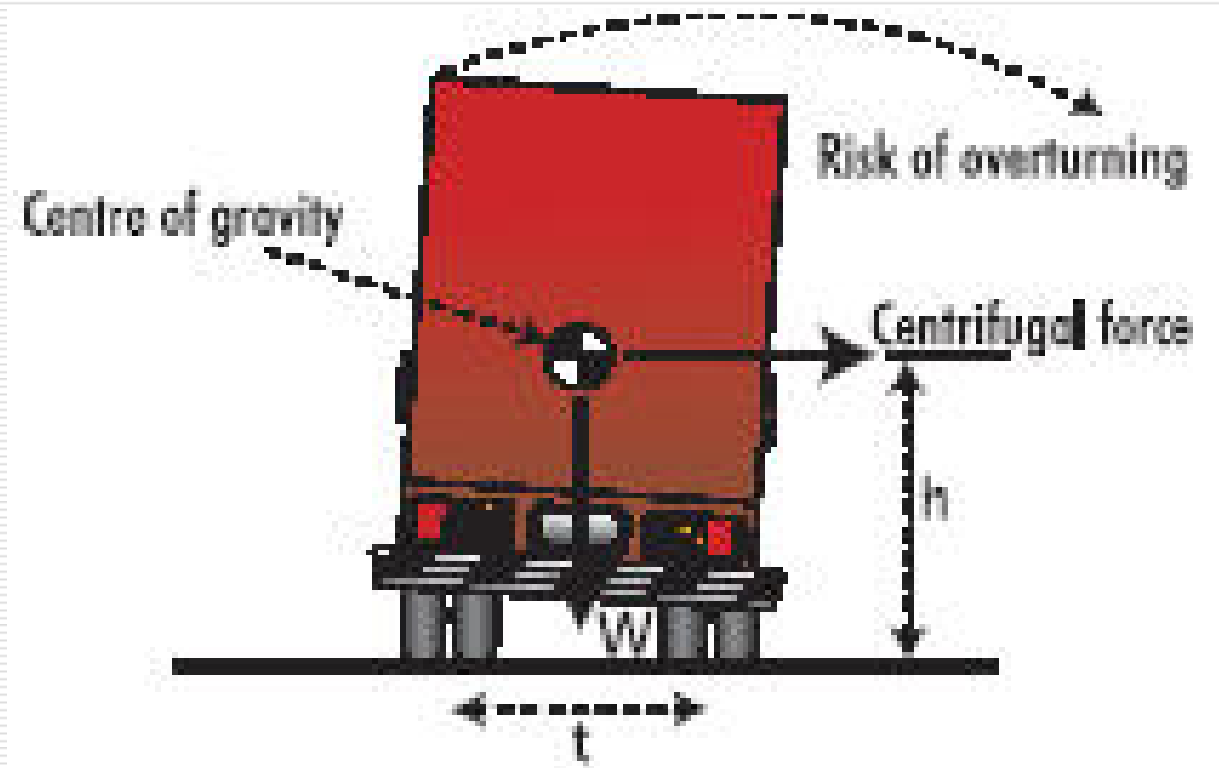




Figure 6 Rural Road Rollover

"Figure obtained from Docket No. NHTSA 2000-6859. Reprinted with the permission of American Suzuki Motor Corporation"

© 2000 American Suzuki Motor Corporation





ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ

1. Ταχύτητα Ισορροπίας

$$V_{ισ} = \sqrt{127 \cdot q \cdot R}$$

2. Ταχύτητα Ανατροπής

$$V_{ανα} = \sqrt{\frac{b + h \cdot q}{h - b \cdot q} \cdot g \cdot R}$$



3. Οριακή Ταχύτητα Απότομου Ελιγμού

$$t = \frac{1}{\upsilon} \cdot \left(\frac{f_R \cdot g \cdot L}{\upsilon \cdot \omega} - l_2 \right)$$

«Εκ των υστέρων είναι δύσκολα...»

