ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΤΡΟΠΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ- ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

ΚΑΤΩΠΟΔΗΣ Δ. ΣΠΥΡΙΔΩΝ
Α.Μ:1024875

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΘΩΜΑΣ Γ. ΧΟΝΔΡΟΣ

ΣΚΟΠΟΣ-ΟΡΙΣΜΟΣ-ΑΙΤΙΑ

-Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να ορίσει την ανατροπής (Rollover) τετράτροχου επιβατικού οχήματος και να προτείνει αλγόριθμο καθορισμού της ταχύτητας πριν την ανατροπή. Πραγματοποιείται ανάλυση τεσσάρων ατυχημάτων ανατροπής με τη χρήση δυναμικών και κινηματικών εξισώσεων. Ανατροπή, ενός οχήματος ορίζεται ως η βίαιη και απότομη περιστροφή τού οχήματος περί του διαμήκη άξονα "x" (longitudinal) και η απώλεια επαφής όλων των ελαστικών με το οδόστρωμα. Συνεχώς αναθεωρούμενα πρότυπα ασφαλείας από τους δημόσιους ελεγκτικούς φορείς, οδηγούν τους κατασκευαστές στην μελέτης ανατροπών με σκοπό την συμμόρφωση και την αύξηση των πιθανοτήτων επιβίωσης των επιβατών σε περίπτωση ατυχήματος ανατροπής.

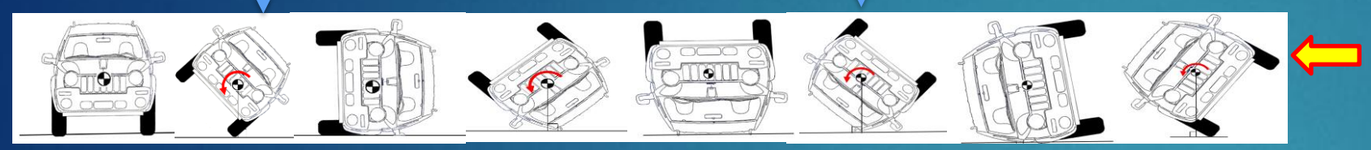
-Σύμφωνα με την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας η Κινητική Ενέργεια μετατρέπεται σε Έργο ανύψωσης του κέντρου Βάρους. Η ποσότητα της Ενέργειας που μετατρέπεται δύναται να περιστρέψει το κέντρο βάρους σε τέσσερις στάθμες (θέσεις) τοπικής μέγιστης ανύψωσης.

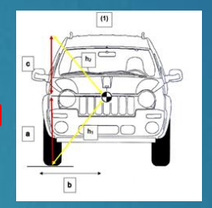
ΘΕΣΗ 4

$$E_{dyn} = mg(\sqrt{b^2+c^2} - 2b + 2\sqrt{a^2+b^2} - a + \sqrt{b^2+c^2} - c)$$

ΘΕΣΗ 2

$$E_{dyn} = mg(\sqrt{b^2+c^2} - b + \sqrt{a^2+b^2} - a)$$





Συμβολισμοί διαστάσεων.

ΘΕΣΗ 3

$$E_{dyn} = mg\left(\sqrt{b^2+c^2} - b + \sqrt{a^2+b^2} - a + \sqrt{b^2+c^2} - c\right)$$

ΘΕΣΗ 1

$$E_{dyn} = mg(\sqrt{a^2+b^2} - a)$$

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

1. Οπτική παρατήρηση, καταγραφή στοιχείων & Σκαρίφημα.
2. Τμηματοποίηση , καθορισμός Φάσεων & μέτρηση αποστάσεων.
3. Ορισμός παραμέτρων φάσης (π.χ συντελεστής τριβής, απόσταση).
4. Δυναμική Ανάλυση.
5. Έλεγχος, εάν είναι δυνατός (π.χ Βλέπε Ατύχημα 2, η ταχύτητα εκτροπής στροφής πρέπει να ταυτίζεται με την ταχύτητα ανατροπής).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

-Υψηλής σημασίας είναι η ικανότητα να αναγνωρίζονται με ακρίβεια τα ίχνη πεδήσεως, τα ίχνη πλαγιολισθήσεως και τα ίχνη τριβής, ώστε να οριστούν οι σωστοί συντελεστές τριβής ανά φάση. Απαραίτητη είναι η γνώση αντοχής των υλικών ώστε να οριστούν κατά χρονική σειρά οι πολλαπλές κρούσεις. Η σωστή αναγνώριση των διαφορετικών ιχνών οδηγεί στην σωστή μέτρηση των αποστάσεων όπου διαγράφηκαν σε κάθε φάση.

-Κοινή συνέπεια των ατυχημάτων ανατροπής είναι η ολοσχερής καταστροφή των οχημάτων. Παρατηρούμε σημαντικές πλαστικές παραμορφώσεις στις δοκούς της φέρουσας κατασκευής (αμαξώματος) τύπου "Α". Οι πλαστικές παραμορφώσεις είναι η κύρια αιτία της αχρήστευσης του οχήματος.

-Οι εμπειρικές μέθοδοι είναι καλλιλλες όταν τα εξεταζόμενα οχήματα είναι παρεμφερή με τα οχήματα των πειραματικών δεδομένων (πινάκων).

-Οι ενεργειακές μέθοδοι πλεονεκτούν διότι δεν εμπλέκουν το μέγεθος του χρόνου και δεν απαιτούν δύσκολους γεωμετρικούς υπολογισμούς, είναι ένα ευκολόχρηστο και ακριβές εργαλείο για την ανάλυση δυναμικών συστημάτων.

-Η οριακή ταχύτητα ανατροπής μειώνεται καθώς η τριβή αυξάνεται, σαν συνέπεια η ανατροπή συμβαίνει, ως επί των πλείστων, σε στεγνούς δρόμους κατά την διάρκεια ελιγμών και πλευρικών συγκρούσεων μετρίων και υψηλών ταχυτήτων.

-ΑΤΥΧΗΜΑ ΠΡΩΤΟ: ΟΧΗΜΑ OPEL ASTRA ΣΥΓΚΡΟΥΕΤΑΙ ΜΕ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΟ ΤΟΙΧΕΙΟ (h= 1m) ΜΕΤΩΠΙΚΑ ΕΚΤΕΛΕΙ ΒΟΛΗ, ΑΝΑΤΡΕΠΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ΟΡΟΦΗΣ ΚΑΙ ΚΥΛΙΕΤΑΙ ΩΣ ΤΗΝ ΗΡΕΜΙΑ.

3η ΦΑΣΗ-ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΚΥΛΙΣΗ:

Υπολογισμός της ταχύτητας έναρξης της πλευρικής κύλισης:

Με χρήση της Εξίσωσης (2.3.4.6)

$f =$	0.40		ελάχιστος συντελεστής τριβής οχήματος-εδάφους
$f =$	0.50		μέγιστος συντελεστής τριβής οχήματος-εδάφους
$g =$	9.81	m/s^2	η επιτάχυνση της βαρύτητας
$\alpha = -f\,g$	-3.92	m/s^2	η επιβράδυνση του οχήματος
$d =$	14.50	m	η συναλλή απόσταση πλευρικής κύλισης

$$v_0 = \sqrt{2fgd} \quad (2.3.4.6)$$

Ταχύτητα έναρξης πλευρικής κύλισης-ολίσθησης για ακραίες τιμές του f :

$v_0=$	10.67	m/s	38.40	km/h	για	$f=$	0.4
$v_0=$	11.93	m/s	42.94	km/h	για	$f=$	0.5

2η ΦΑΣΗ- ΒΟΛΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ:

Υπολογισμός της ταχύτητας έναρξης της βολής:

Επιτάχυνση της βαρύτητας: $g=$ 9.81 m/s^2

Απόσταση βολής x: $x=$ 12 m

Ύψος βολής: $z=$ -1 m

Με χρήση της Εξίσωσης (3.4.4.2.3) & για μεταβλητή γωνία βολής.

$$v_B = \sqrt{\frac{gx^2}{2(\cos\theta)^2(x\tan\theta + z)}} \quad (3.4.4.2.3)$$

Ταχύτητα έναρξης βολής v_B (m/s):

θ	RAD	cos θ	tan θ					
20°	0.349	0.939715	0.363896	$v_B=$	15.41343	m/s	55.48834	km/h
30°	0.524	0.865825	0.577885	$v_B=$	12.6001	m/s	45.36038	km/h
45°	0.785	0.707388	0.999204	$v_B=$	11.33275	m/s	40.79789	km/h
50°	0.873	0.642531	1.192566	$v_B=$	11.33718	m/s	40.81385	km/h

1η ΦΑΣΗ-ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ:

Υπολογισμός της ταχύτητας αναρρίχησης σε νησίδα v_A :

Με χρήση της Εξίσωσης (2.3.2.2) & για ύψος φράγματος h =1 μέτρο.

$$\frac{1}{2}mv_A^2 = mgh \qquad v_A= \quad 4.429446918 \quad m/s \quad 15.94601 \quad km/h$$

ΑΡΧΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΣΥΓΚΡΟΥΣΗΣ ΕΠΙ ΝΗΣΙΔΑΣ v_H:

Υπολογισμός της ταχύτητας σύγκρουσης v_H:

Ταχύτητα σύγκρουσης για ακραίες τιμές του f με χρήση της Εξίσωσης (2.3.6.6):

$$v_H = \sqrt{V_A^2 + V_o^2 + V_B^2}$$

	θ	f	0.4		0.4		0.5		0.5	
	20°	$v_H=$	19.26109418	m/s	69.33994	km/h	19.98596	m/s	71.94947	km/h
	30°	$v_H=$	17.09323371	m/s	61.53564	km/h	17.90608	m/s	64.46188	km/h
	45°	$v_H=$	16.18169213	m/s	58.25409	km/h	17.03808	m/s	61.33709	km/h
	50°	$v_H=$	16.18479651	m/s	58.26527	km/h	17.04103	m/s	61.3477	km/h
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΥΓΚΡΟΥΣΗΣ, v_{Σ}:			17.18020413	m/s	61.84873	km/h	17.99279	m/s	64.77403	km/h

-ΑΤΥΧΗΜΑ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΟΧΗΜΑ JEEP CHEROKEE ΣΥΓΚΡΟΥΕΤΑΙ ΜΕ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΟ ΤΟΙΧΕΙΟ (h= 0.4m) ΠΛΑΓΙΟΜΕΤΩΠΙΚΑ (30°) & ΑΝΑΤΡΕΠΕΤΑΙ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΙ ΒΟΛΗ ΜΕ ΤΕΛΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΗΝ ΟΡΟΦΗ.

1η ΦΑΣΗ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ v_A :

Με χρήση της Εξίσωσης (2.3.2.2) υπολογίζουμε:

Ανύψωση κέντρου βάρους:

$h=H-F=$	0.19146	m
$g=$	9.81	m/s^2

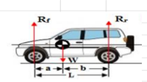
$$\frac{1}{2}m\,V_A^2 = m\,g\,h$$

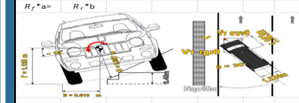
$v_A=$ 1.938155 m/s 6.977 km/h

2η ΦΑΣΗ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ v_T :

Υπολογισμός Κέντρου Βάρους οχήματος (Κατανομή Βάρους W 60%-40%)

$Rf=$	0.4W	Με επίλυση:		
$Rf=$	0.6W	a=	1059.6	mm
$R_f+R_r=$	W	b=	1589.4	mm
a+b=	2649	mm		
$R_f*a=$	R_r*b			





Υπολογισμός της απόστασης ρ, ελαστικού & προβολής κέντρου βάρους:

$$\rho = \sqrt{a^2 + \left(\frac{T}{2}\right)^2}$$

			cos15 =	0.966	
			$g=$	9.81	m/s^2
$\rho=$	1.305142	m	T(μετατρόχιο)=	1.524	m
Προβολή ρ:			$H_{CGO}=$	1.818	m
$\rho cos15=$	1.260767	m	H=0.53 $H_{CGO}=$	0.96354	m
			$z=F=$	1.155	m
			Καμπυλότητα:		
			$R_{min}=$	16.5	m
			$R_{max}=$	18.3	m

Υπολογισμός της ταχύτητας ανατροπής σε θεση ανύψωσης στη νησίδα με χρήση της Εξίσωσης (2.3.1.1.7) v_T:

$$v_T = \sqrt{\frac{g\sqrt{a^2+\left(\frac{T}{2}\right)^2}\,(\cos 15)FR}{\sqrt{a^2+\left(\frac{T}{2}\right)^2}\,(\cos 15)^2 + I^2}}$$

$v_T=$	8.979	m/s	32.3244758	km/h	για R_{min}
$v_T=$	9.456	m/s	34.04199969	km/h	για R_{max}

Υπολογισμός της κρίσιμης ταχύτητας εκτροπής σε στροφή v_{crit} (2.2.1.3):

$$V_{crit}^2 = rgf$$

$v_{crit}=$	8.996249	m/s	32.39	km/h	
$v_{crit}=$	9.474255	m/s	34.11	km/h	
			Καμπυλότητα:		
			$R_{min}=$	16.5	m
			$R_{max}=$	18.3	m
			Συντελεστής Τριβής f:		
			$f=$	0.5	
			$g=$	9.81	m/s^2

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ CHEROKEE

3η ΦΑΣΗ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΑΡΚΤΗΡΙΑΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΛΜΑΤΟΣ v_0 :

Με χρήση της Εξίσωσης (2.3.4.1) υπολογίζουμε:

			m/s	km/h
			1	3.6
D=	7	m	απόσταση βολής	
y=	0	m	υψομετρική διαφορά θέσεων	

$$v_B = \frac{11.27D}{\sqrt{D-y}} \quad = \quad 29.81762 \quad km/hr \quad = \quad 8.283 \quad m/s$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ v_0 :

Με χρήση της Εξίσωσης (2.3.6.6) υπολογίζεται:

$$V_P = \sqrt{V_P^2 + V_B^2 + V_A^2}$$

$v_{\Sigma}=$	12.36859	m/s	44.53	km/h
$v_{\Sigma}=$	12.71916	m/s	45.79	km/h
			Καμπυλότητα:	
			$R_{min}=$	16.5 m
			$R_{max}=$	18.3 m

-ΑΤΥΧΗΜΑ ΤΡΙΤΟ: ΟΧΗΜΑ SUZUKI VITARA ΠΛΑΓΙΟΛΙΣΘΕΝΕΙ (10m), ΥΠΟΒΑΘΜΙΖΕΤΑΙ, ΑΝΑΤΡΕΠΕΤΑΙ (3 ΠΛΗΡΕΙΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΕΣ) ΣΕ ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΠΛΕΥΡΙΚΟ ΔΡΟΜΟ ΟΠΟΥ ΟΛΙΣΘΕΝΕΙ ΚΥΛΩΝΤΑΣ (30m) & ΗΡΕΜΕΙ ΣΤΟΥΣ ΤΡΟΧΟΥΣ.

Α' Μέθοδος: Υπόθεση όμοιου οχήματος από την βιβλιογραφία με τ=0.5 sec, f= 1.23

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ VITARA

3η ΦΑΣΗ- ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΚΥΛΙΣΗ (30 μέτρα):

					m/s	km/h
$v_T=$	0	m/s	ταχύτητα τελικής θέσης (ηρεμία)		1	3.6
$\mu=$	0.4		ελάχιστος συντελεστής τριβής			
$f=$	0.5		μέγιστος συντελεστής τριβής			
$g=$	9.81	m/s^2	επιτάχυνση βαρύτητας			
$\alpha=-fg=$	-3.924	m/s^2	επιβράδυνση του οχήματος			
$d=$	30	m	απόσταση πλευρικής κύλισης			

Υπολογισμός της ταχύτητας στο πέρας της ανατροπής v_{end}:

Με χρήση της Εξίσωσης (2.3.4.6) & για τις ακραίες τιμές του f:

$$v_{end} = \sqrt{2fgd} \quad (2.3.4.6)$$

			m/s	km/h
$f=0.4$	$v_{end}=$	15.34405	55.24	
$f=0.5$	$v_{end}=$	17.15517	61.76	

2η ΦΑΣΗ- ΑΝΑΤΡΟΠΗ

Υπολογισμός της εναρκτήριας ταχύτητας της ανατροπής v_{start}:

Με χρήση της Εξίσωσης (2.3.8) & για τιμή του f από τον Πίνακα Ι (χώμα): $f=$ 1.23

και διάρκεια τ=0.5 δευτερόλεπτα: $\tau=$ 0.5

$$v_{start} = v_{end} + fg\tau \quad (2.3.8)$$

	m/s		m/s		km/h
$v_{end}=$	15.34405	$v_{start}=$	21.3772		76.96
$v_{end}=$	17.15517	$v_{start}=$	23.18832		83.48

3η ΦΑΣΗ-ΠΛΑΓΙΟΛΙΣΘΗΣΗ (11 μέτρα):

Υπολογισμός της εναρκτήριας ταχύτητας του ατυχήματος v_0 :

Με χρήση της Εξίσωσης (2.3.4.5) & για τιμή του f=0.8 (ελαστικά- οδόστρωμα):

$$v_{start}^2 = v_0^2 - 2aS \quad (2.3.4.5)$$

$f=\mu'=$	0.8		ονομαστικός συντελεστής τριβής οδοστρώματος-ελαστικού
$\alpha=$	90	°	μέση γωνία εκτροπής σε μοίρες
$\alpha=$	1.57	rad	μέση γωνία εκτροπής σε ακτίνια
$f=$	$f*\sin\alpha$		υπολογισμός συντελεστή τριβής πλαγιολίσθησης υπο γωνία 90°
$f=$	0.8		
$\alpha=fg$	7.847998	m/s^2	επιβράδυνση
$S=$	11	m	απόσταση πλαγιολίσθησης

	m/s		m/s	km/h
$v_{start}=$	21.3772	$v_0=$	25.09264	90.33
$v_{start}=$	23.18832	$v_0=$	26.65247	95.95

Β' Μέθοδος: Ενεργειακή θεώρηση ανύψωσης κέντρου βάρους οχήματος.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ VITARA

3η ΦΑΣΗ- ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΚΥΛΙΣΗ (30 μέτρα):

$v_T=$	0	m/s	ταχύτητα τελικής θέσης (ηρεμία)		Διαστάσεις οχήματος σε mm & m		
$\mu=$	0.4		ελάχιστος συντελεστής τριβής		Μεταξόνιο	2200	2.2
$\mu=$	0.5		μέγιστος συντελεστής τριβής		Μπροστινό	1501	1.501
$g=$	9.81	m/s^2	επιτάχυνση βαρύτητας		Πίσω	1656	1.656
$\alpha=-fg=$	-3.924	m/s^2	επιβράδυνση του οχήματος		Μήκος	3650	3.65
$d=$	30	m	απόσταση πλευρικής κύλισης		Ύψος	1666	1.666

	Βάρος		
	$m=$	1005	kgr
		m/s	km/h
	1	3.6	

Υπολογισμός έργου Τριβής πλευρικής κύλισεως ($W_{friction II}$):

Με χρήση της Εξίσωσης (2.3.4.3) & για τις ακραίες τιμές του μ:

$$W_{friction\ II} = mg\mu d \quad (2.3.4.3)$$

$\mu=$	0.4	$\mu d=$	117.72	m^2/s^2
$\mu=$	0.5	$\mu d=$	147.15	m^2/s^2
$\mu=$	0.4	$W_{friction}=$	$mg\mu d=$	118309 watts
$\mu=$	0.5	$W_{friction}=$	$mg\mu d=$	147886 watts

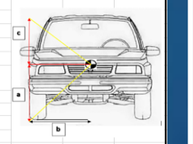
2η ΦΑΣΗ- ΑΝΑΤΡΟΠΗ(3 κύκλοι περιστροφής):

Υπολογισμός της μεταβολής της ταχύτητας ΔV_T που αντιστοιχεί σε τρεις πλήρεις κύκλους ανυψώσεως του κ.β, Εξίσωση (2.3.3.1.8):

$N=$ 3 περιστροφές

$$\Delta V_T = \sqrt{2Ng(\sqrt{b^2+c^2} - 2b + 2\sqrt{a^2+b^2} - a + \sqrt{b^2+c^2} - c)}$$

$\Delta V_T=$ 8.889645 m/s



a =	0.65807	m
b =	0.7505	m
c =	1.00793	m

1η ΦΑΣΗ- ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗ (11 μέτρα):

Υπολογισμός έργου Τριβής πλαγιολίσθησης (Wfriction):

Με χρήση της Εξίσωσης (2.3.4.3) & για τις ακραίες τιμές του μ:

$$W_{friction\ I} = mg\mu' S \quad (2.3.4.3)$$

$\mu'S=$	86.328	m^2/s^2			
$W_{friction I}=$	$mg\mu'S=$	86759.64	watts		
$\mu'=$	0.8				
$\alpha=$	90	°	μέση γωνία εκτροπής σε μοίρες		
$\alpha=$	1.57	rad	μέση γωνία εκτροπής σε ακτίνια		
$\mu'=$	$\mu'*\sin\alpha$		υπολογισμός συντελεστή τριβής πλαγιολίσθησης υπο γωνία 90°		
$\mu'=$	0.8				
$\alpha=$	7.847998	m/s^2			
$S=$	11	m	απόσταση πλαγιολίσθησης	Βάρος $m=$	1005 kgr

Ταχύτητα έναρξης της ανατροπής v_T :

Με χρήση της εξίσωσης 2.3.7.6 υπολογίζουμε την v_T:

$$V_T = \sqrt{\Delta V_T^2 + 2gd\mu} \quad (2.3.7.6)$$

$\mu=$	0.4	$v_{T=}$	17.73318	m/s	63.83946	km/h
$\mu=$	0.5	$v_{T=}$	19.32164	m/s	69.55791	km/h

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ v_0 :

Με χρήση της Εξίσωσης (2.3.7.3):

$$V_0 = \sqrt{\Delta V_T^2 + 2gS\mu' + 2gd\mu} \quad (2.3.7.3)$$

		m/s	km/h
$\mu=0.4$	$v_0=$	22.07084	79.45501
$\mu=0.5$	$v_0=$	23.36625	84.11851