

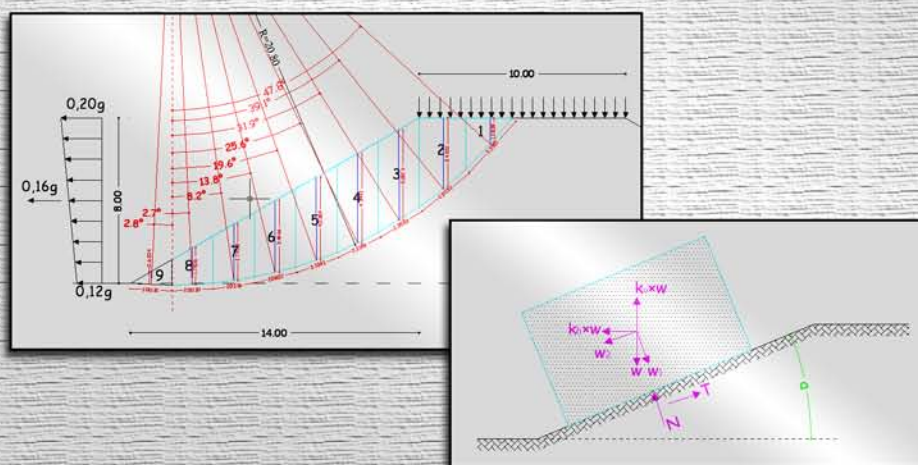
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»

A.S.T.E.V

**Αντισεισμικός Σχεδιασμός Θεμελιώσεων,
Αντιστηρίξεων και Γεωκατασκευών**

Υπεύθυνος:
Θ. Τίκα

Θέμα:
Συμπεριφορά Πρανών σε Σεισμό



Όνομα φοιτητών:
Μουρελάτος Ηλίας
Οικονόμου Θεμιστοκλής

Δευτέρα, 9 Ιουνίου 2003

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΡΑΝΩΝ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟ
ΘΕΜΑ

Το πρανές του σχήματος είναι τμήμα αναχώματος, το οποίο πρόκειται να κατασκευασθεί σε περιοχή που ανήκει σε ζώνη δεδομένης σεισμικής επικινδυνότητας.

1. Αν υποθεθεί ότι η πίεση του νερού των πόρων, u , δεν μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του σεισμικού κραδασμού, να αποδειχθεί ότι ο στατικός, F_s , και ο δυναμικός συντελεστής, F_d , ασφαλείας δίδονται από τις σχέσεις:

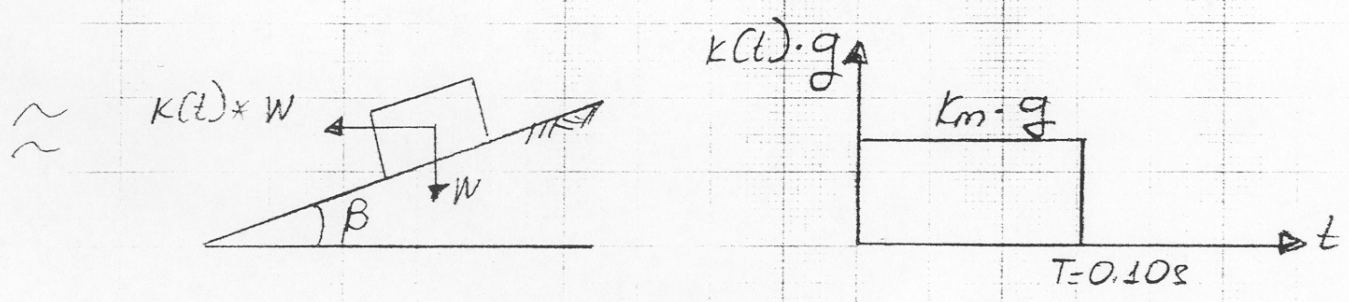
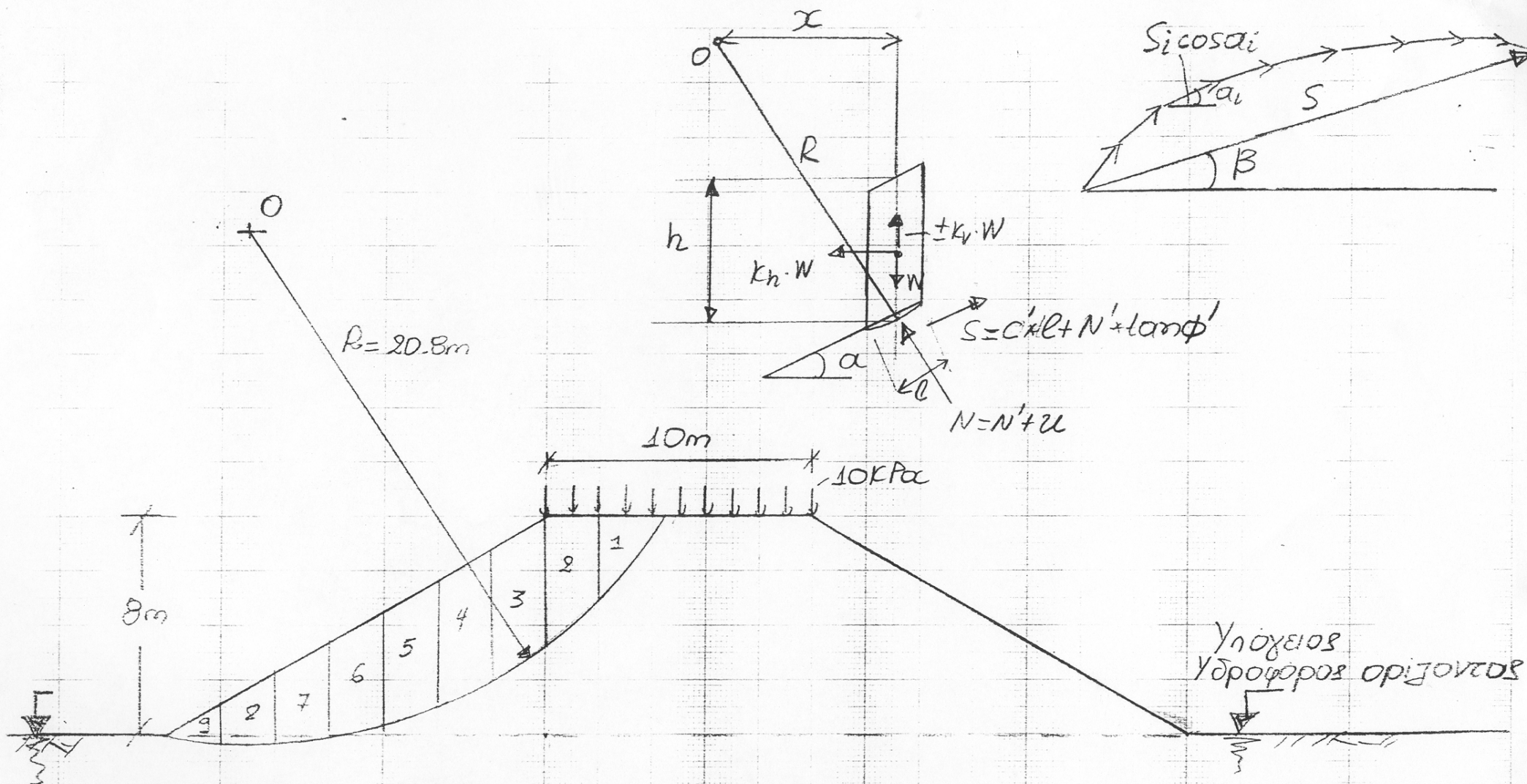
$$F_s = \frac{\sum c' * l + \sum (W * \cos \alpha - u * l) * \tan \phi'}{\sum (W * \sin \alpha)}$$

$$F_d = \frac{\sum c' * l + \sum [(1 \pm k_v) W * \cos \alpha - k_h * W * \sin \alpha - u * l] * \tan \phi'}{(1 \pm k_v) \sum W * \sin \alpha + k_h * \sum W * (\cos \alpha - h/2R)}$$

2. Εάν ο κύκλος ολίσθησης του σχήματος είναι ο πλέον κρίσιμος, να προσδιορισθεί ο στατικός και δυναμικός συντελεστής ασφαλείας του αναχώματος σύμφωνα με τον ΕΑΚ (2000)
3. Θέλουμε να υπολογίσουμε τη μετακίνηση του αναχώματος με τη μέθοδο του ολισθαίνοντος στερεού σώματος. Ποιά είναι η ισοδύναμη κλίση β του κεκλιμένου επιπέδου και η κρίσιμη επιτάχυνση του αναχώματος
4. Αν ο σεισμικός κραδασμός προσομοιωθεί με ορθογωνική ώση μεγέθους, $k_m g$, όπου $k_m g$ είναι η σεισμική επιτάχυνση εδάφους και διάρκειας 0.10s, ποιά θα είναι η μέγιστη επιτάχυνση, μέγιστη ταχύτητα και μέγιστη μετακίνηση του αναχώματος
5. Πόση θα είναι η διάρκεια της κίνησης του αναχώματος

Δεδομένα:

Όνοματεπώνυμο:	Οικονόμου Θεμελιώσεων
Έδαφος κατηγορίας B:	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
	$c' = 40 \text{ kN/m}^2$
	$\phi' = 30^\circ$
	$u_s = 250 \text{ m/s}$
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας:	I



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών
«Αντισεισμικός Σχεδιασμός Τεχνικών Έργων»

**Μάθημα: «Αντισεισμικός Σχεδιασμός Θεμελιώσεων,
Αντιστηρίξεων και Γεωκατασκευών»
(Α.Σ.Τ.Ε. 5)**

ΘΕΜΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

«Συμπεριφορά πρανών σε σεισμό»

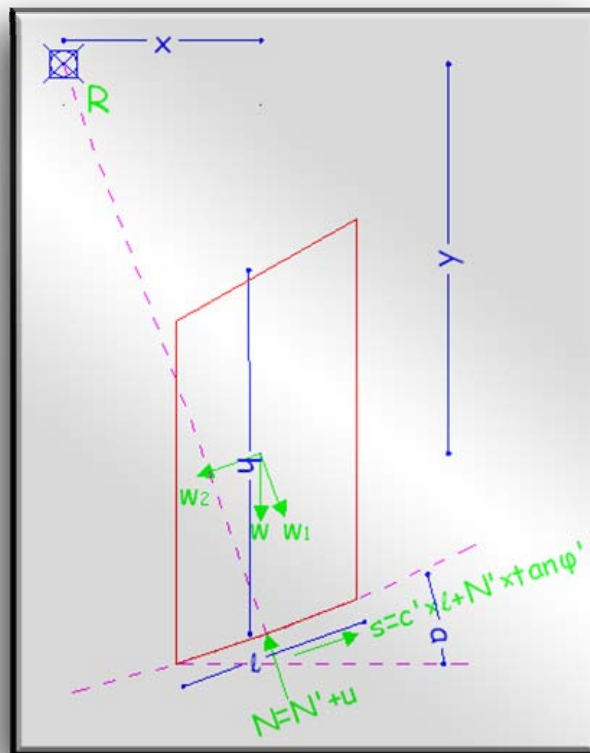
Υπεύθυνος Θέματος:
Τίκα Θεοδώρα

Μεταπτυχιακοί Φοιτητές:
Μουρελάτος Ηλίας
Οικονόμου Θεμιστοκλής

1 ΑΠΟΔΕΙΞΕΙΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.

1.1 Προσδιορισμός στατικού συντελεστή ασφαλείας.

Η ολισθαίνουσα μάζα του πρανούς θεωρείται ότι κινείται σαν στερεό σώμα υπό την επίδραση του ίδιου βάρους της. Για τον προσδιορισμό του στατικού συντελεστή ασφαλείας έναντι ολίσθησης του πρανούς εφαρμόζεται η μέθοδος *Fellenius* η οποία χρησιμοποιεί την τεχνική διακριτοποίησης του πρανούς σε κατακόρυφες φέτες. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η ενδεχόμενη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς αποτελεί τόξο κύκλου και οι δυνάμεις που ασκούνται στις κατακόρυφες επιφάνειες κάθε φέτας, θεωρούνται μηδενικές.



Σχήμα 1.1α – Τυπική ενδιάμεση φέτα και ασκούμενες δυνάμεις.

Οι δυνάμεις που ασκούνται σε μια τυπική ενδιάμεση φέτα είναι οι εξής:
το βάρος της φέτας (**W**) με σημείο εφαρμογής το κέντρο βάρους της φέτας,
η ολική ορθή αντίσταση του εδάφους (**N**) κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης.

Το βάρος **W** αναλύεται σε δυο συνιστώσες:
κατά τη διεύθυνση της επιφάνειας ολίσθησης (κάθετα στην ακτίνα **R**)
 $W_1 = W \times \sin \alpha$
κάθετα στην επιφάνεια ολίσθησης (κατά τη διεύθυνση της ακτίνας **R**)
 $N = W_2 = W \times \cos \alpha$

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει την ισορροπία του πρανούς είναι και η ύπαρξη του νερού. Λόγω της πίεσης του νερού των πόρων αναπτύσσεται στη φέτα μια δύναμη $U = u \times l$ κατά τη διεύθυνση της ακτίνας R , που έχει σαν συνέπεια τη μείωση των δυνάμεων τριβής. Επομένως η συνισταμένη δύναμη κατά τη διεύθυνση της ακτίνας R είναι:

$$N' = N - U = W \times \cos \alpha - u \times l$$

Ως γνωστόν η τριβή που αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια ολίσθησης είναι:

$$T = c' \times l + N' \times \tan \varphi' = c' \times l + (W \times \cos \alpha - u \times l) \times \tan \varphi'$$

Όπου:

c' : η συνοχή του εδάφους βάσει των ενεργών τάσεων

φ' : η γωνία τριβής του εδάφους βάσει των ενεργών τάσεων

l : το μήκος της επιφάνειας ολίσθησης

Ο στατικός συντελεστής ασφάλειας ορίζεται από τη σχέση:

$$F_s = \frac{\text{ροπές ευστάθειας}}{\text{ροπές ανατροπής}}$$

Οι ροπές των δυνάμεων λαμβάνονται ως προς το κέντρο του κύκλου, ο οποίος καθορίζει την επιφάνεια ολίσθησης.

$$F_s = \frac{M_{\text{αντιστ.}}}{M_{\text{κιν.}}} = \frac{T \times R}{T \times R \times \sin \alpha} = \frac{c + (W \times \cos \alpha - u \times l) \times \tan \varphi'}{W \times \sin \alpha}$$

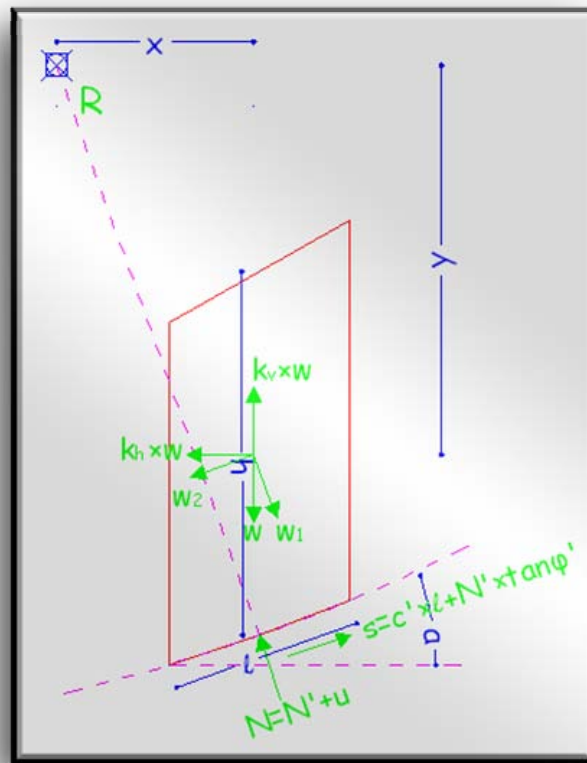
Για το σύνολο των φετών στις οποίες έχει διακριτοποιηθεί το πρανές η σχέση γίνεται:

$$F_s = \frac{\sum c \times l + \sum [(W \times \cos \alpha - u \times l) \times \tan \varphi']}{\sum (W \times \sin \alpha)}$$

1.2 Προσδιορισμός δυναμικού συντελεστή ασφαλείας.

Για τον έλεγχο της οριακής κατάστασης ισορροπίας σε δυναμική φόρτιση, η σεισμική διέγερση λαμβάνεται υπόψη μέσω δύο αδρανειακών δυνάμεων, μίας οριζόντιας και μίας κατακόρυφης οι οποίες δρουν στο κέντρο βάρους του ολισθαίνοντος σώματος του πρανούς με τιμές $F_h = k_h \times W$ και $F_v = k_v \times W$ αντίστοιχα, όπου k_h , k_v οι μέγιστες τιμές της οριζόντιας και κατακόρυφης σεισμικής επιτάχυνσης αντίστοιχα, ανηγμένες ως προς την επιτάχυνση της βαρύτητας και W το βάρος του ολισθαίνοντος σώματος του πρανούς. Η συνιστώσα F_h επιτείνει την ολίσθηση του πρανούς γι' αυτό και λαμβάνεται κατά τη φορά της ολίσθησης ενώ η F_v επηρεάζει ευμενώς ή δυσμενώς κατά περίπτωση την ευστάθεια του πρανούς ανάλογα με τη φορά της και για το λόγο αυτό αμελείται.

Κατά συνέπεια, οι δυνάμεις που ασκούνται υπό σεισμική φόρτιση σε μια τυπική ενδιάμεση φέτα και το αντίστοιχο δυναμοπολύγωνο, κατά τη μέθοδο Fellenius, δίνονται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 1.2α – Τυπική ενδιάμεση φέτα και ασκούμενες δυνάμεις.

Εκτός των άλλων γίνεται παραδοχή κατά την ψευδοστατική μέθοδο, ότι η πίεση του νερού των πόρων u , δεν μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του σεισμικού κραδασμού.

Ο συντελεστής ασφαλείας σε ολίσθηση ορίζεται ως ο λόγος των δράσεων που αντιστέκονται στην ολίσθηση προς τις δυνάμεις που την προκαλούν.

$$FOS_{dyn} = \frac{\sum M_R}{\sum M_S}$$

Η ισοροπία στο σχήμα 1.2α μας δίνει ότι:

$$w_1 = w \times \cos \alpha$$

$$w_2 = w \times \sin \alpha$$

$$x = R \times \sin \alpha$$

$$y = R \times \cos \alpha - \frac{h}{2}$$

$$N \times l = w \times \cos \alpha \pm k_v \times w \times \cos \alpha - k_h \times w \times \sin \alpha \Rightarrow (N' + u) \times l = w \times \cos \alpha \pm k_v \times w \times \cos \alpha - k_h \times w \times \sin \alpha \Rightarrow \\ \Rightarrow N' \times l = (1 \pm k_v) \times w \times \cos \alpha - k_h \times w \times \sin \alpha - u \times l$$

Έτσι, λοιπόν:

$$s = c' \times l + N' \times l \times \tan \varphi' \Rightarrow s = c' \times l + [(1 \pm k_v) \times w \times \cos \alpha - k_h \times w \times \sin \alpha - u \times l] \times \tan \varphi'$$

Οι δυνάμεις M_S προκαλούν ολίσθηση ως προς το κέντρο του κύκλου ολίσθησης:

$$M_S = w \times x \pm k_v \times w \times x + k_h \times w \times y = w \times R \times \sin \alpha \pm k_v \times w \times R \times \sin \alpha + k_h \times w \times \left(R \times \cos \alpha - \frac{h}{2} \right) = \\ R \times \left[(1 \pm k_v) \times w \times \sin \alpha + k_h \times w \times \left(\cos \alpha - \frac{h}{2 \times R} \right) \right]$$

Συνολικά, έχουμε

$$\Sigma M_S = \Sigma R \times \left[(1 \pm k_v) \times w \times \sin \alpha + k_h \times w \times \left(\cos \alpha - \frac{h}{2 \times R} \right) \right] = \\ R \times \Sigma \left[(1 \pm k_v) \times w \times \sin \alpha + k_h \times w \times \left(\cos \alpha - \frac{h}{2 \times R} \right) \right]$$

Οι δυνάμεις M_R αντιστέκονται στις δυνάμεις που προκαλούν ολίσθηση:

$$M_R = s \times R = [c' \times l + [(1 \pm k_v) \times w \times \cos \alpha - k_h \times w \times \sin \alpha - u \times l] \times \tan \varphi'] \times R$$

Συνολικά, δε, έχουμε:

$$\Sigma M_R = \Sigma [c' \times l + [(1 \pm k_v) \times w \times \cos \alpha - k_h \times w \times \sin \alpha - u \times l] \times \tan \varphi'] \times R = \\ R \times \Sigma [c' \times l + [(1 \pm k_v) \times w \times \cos \alpha - k_h \times w \times \sin \alpha - u \times l] \times \tan \varphi']$$

Τελικά δηλαδή, ο δυναμικός συντελεστής ασφαλείας είναι:

$$FOS_{dyn} = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_S} \Rightarrow FOS_{dyn} = \frac{\Sigma c' \times l + \Sigma [(1 \pm k_v) \times w \times \cos \alpha - k_h \times w \times \sin \alpha - u \times l] \times \tan \varphi'}{(1 \pm k_v) \times \Sigma w \times \sin \alpha + k_h \times \Sigma w \times \left(\cos \alpha - \frac{h}{2 \times R} \right)}$$

2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ.

2.1 Στατικός Συντελεστής ασφαλείας.

Για τον υπολογισμό του στατικού συντελεστή ασφαλείας γίνεται η διακριτοποίηση του πρανού σε φέτες. Αυτή η διακριτοποίηση παρουσιάζεται σε ξεχωριστό φύλλο στην παρούσα εργασία.

Επίσης, σε ξεχωριστό φύλλο, ακολουθούν πίνακες στους οποίους δίνονται υπολογισμένες βάσει των ανωτέρω τύπων οι τιμές των μεγεθών που υπεισέρχονται στον υπολογισμό του στατικού συντελεστή ασφαλείας.

Σύμφωνα με τις σχέσεις που αναπτύχθηκαν στο πρώτο ερώτημα ο στατικός συντελεστής ασφαλείας είναι:

$$F_s = \frac{\sum [(W \times \cos \alpha - u \times l) \times \tan \varphi']}{\sum (W \times \sin \alpha)} = \frac{1143,34}{444,93} = 2,57$$

Τμήμα	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
	A	L	α	h	γ	c'	φ'	q	u
	(m ²)	(m)	(ο)	(m)	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(ο)	(kN/m)	(kN/m ²)
	AutoCAD	AutoCAD	AutoCAD	AutoCAD	Δεδομένα	Δεδομένα	Δεδ.	p×l _{op}	z×γ _w
1	2,9373	3,3501	47,8	1,2839	20,0	15,0	40,0	25,0	0,00
2	7,7316	2,9033	39,1	3,4320	20,0	15,0	40,0	20,0	0,00
3	8,7706	2,3569	31,9	4,3875	20,0	15,0	40,0	0	0,00
4	8,6787	2,2186	25,6	4,3442	20,0	15,0	40,0	0	0,00
5	8,0582	2,1241	19,6	4,0354	20,0	15,0	40,0	0	0,00
6	6,9747	2,0607	13,8	3,4946	20,0	15,0	40,0	0	0,00
7	5,4691	2,0216	8,2	2,7423	20,0	15,0	40,0	0	0,00
8	3,5652	2,0030	2,7	1,7906	20,0	15,0	40,0	0	0,76
9	1,2691	2,0032	-2,8	0,6204	20,0	15,0	40,0	0	0,70
Σ =	53,4545	21,0415							

Τμήμα	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]
	W	w*cosα	w*sinα	c'*L	u*L	(w*cosα-u*L)*tanφ'
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)
	[1]×[5]+[8]	[10]×cos[3]	[10]×sin[3]	[6]×[2]	[9]×[2]	(([11]-[14])×tan[7])
1	83,75	56,25	62,04	50,25	0,00	47,20
2	174,63	135,52	110,14	43,55	0,00	113,72
3	175,41	148,92	92,69	35,35	0,00	124,96
4	173,57	156,53	75,00	33,28	0,00	131,35
5	161,16	151,83	54,06	31,86	0,00	127,40
6	139,49	135,47	33,27	30,91	0,00	113,67
7	109,38	108,26	15,60	30,32	0,00	90,84
8	71,30	71,22	3,36	30,05	1,52	58,49
9	25,38	25,35	-1,24	30,05	1,40	20,10
Σ =	114,09	989,36	444,93	315,62	2,92	827,72

FOS _{st}
(αδιάστατο)
(([13]+[15])/[12])
2,57

Πίνακας 2.1α – Προσδιορισμός Στατικού Συντελεστή Ασφαλείας.

2.2 Δυναμικός συντελεστής ασφαλείας.

Σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 θεωρούνται πρόσθετες ενεργές εδαφικές επιταχύνσεις που δρουν στην εδαφική μάζα που μεταβάλλονται από

$$a_B = 0,50 \times \alpha \quad \text{στην βάση, μέχρι}$$

$$a_K = a_B \times \beta(T) \quad \text{στην κορυφή του αναχώματος}$$

όπου:

α : είναι η ανηγμένη σεισμική επιτάχυνση του εδάφους και

$\beta(T)$: είναι η φασματική μεγέθυνση που αντιστοιχεί στην θεμελιώδη ιδιοπερίοδο του έργου

Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$T = 2,5 \times \frac{H}{V_s} = 2,5 \times \frac{8,00}{300} \Rightarrow T = 0,067 \text{ sec}$$

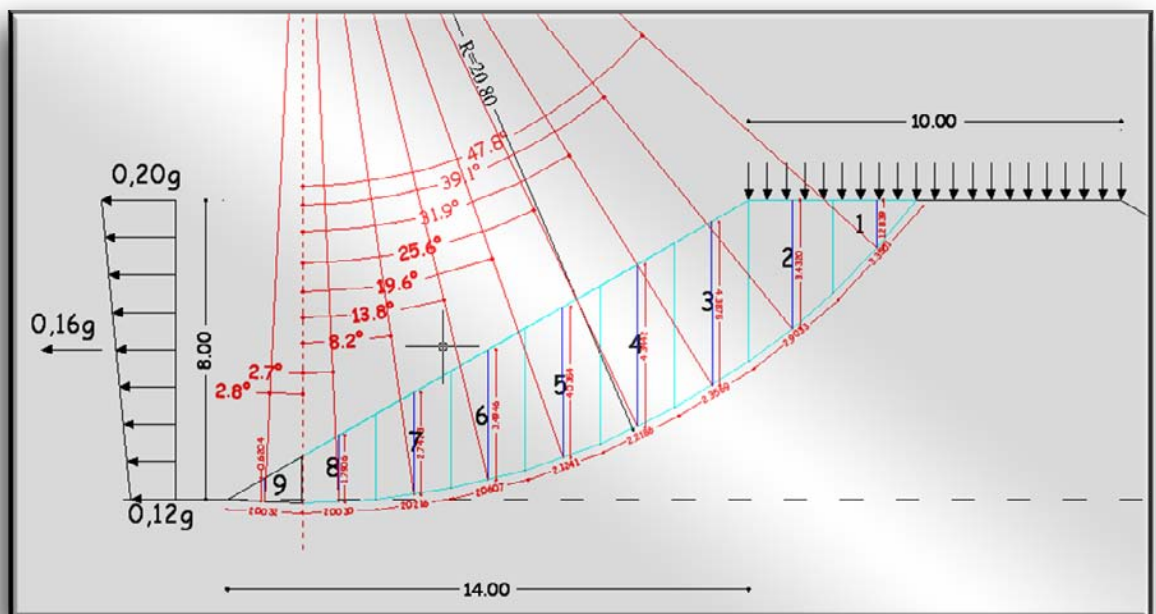
Από το φάσμα του κανονισμού για ζώνη III, έδαφος B, $q = 1,00$, $\gamma_1 = 1,0$ και $\zeta = 5\%$ έχουμε:

$$\beta(T) = 1,0 \times \left[1 + \frac{0,067}{0,15} \times \left(\frac{1,0 \times 1,0 \times 2,5}{1,00} - 1 \right) \right] \Rightarrow \beta(T) = 1,67.$$

$$\left. \begin{aligned} a_B &= 0,50 \times 0,24 \times g \Rightarrow a_B = 0,12 \times g \\ a_K &= 0,12 \times g \times 1,67 \Rightarrow a_K = 0,2 \times g \end{aligned} \right\} \Rightarrow a = (a_B + a_K) / 2 = 0,16g$$

Η κατακόρυφη συνιστώσα λαμβάνεται ίση με: $a_v = \pm 0,5 \times a_h = \pm 0,5 \times 0,16 \times g \Rightarrow a_v = 0,08 \times g$

Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται η μεταβολή των πρόσθετων ενεργών εδαφικών επιταχύνσεων που δρουν στην εδαφική μάζα:



Σχήμα 2.2α – Fellenius.

Σύμφωνα με τις σχέσεις που αναπτύχθηκαν στο πρώτο ερώτημα έχουμε τον ακόλουθο πίνακα:

Σημείωση: Τα λοιπά δεδομένα που απαιτούνται είναι κοινά με αυτά που υπολογίστηκαν για τον στατικό συντελεστή ασφαλείας.

Τμήμα	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
	A	L	α	h	γ	c'	φ'	q	u
	(m ²)	(m)	(ο)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(ο)	(kN/m)	(kN/m ²)
	AutoCAD	AutoCAD	AutoCAD	AutoCAD	Δεδομένα	Δεδομένα	Δεδ.	p × l _{op}	z × γ _w
1	2,9373	3,3501	47,8	1,2839	20,0	15,0	40,0	25,0	0,00
2	7,7316	2,9033	39,1	3,4320	20,0	15,0	40,0	20,0	0,00
3	8,7706	2,3569	31,9	4,3875	20,0	15,0	40,0	0	0,00
4	8,6787	2,2186	25,6	4,3442	20,0	15,0	40,0	0	0,00
5	8,0582	2,1241	19,6	4,0354	20,0	15,0	40,0	0	0,00
6	6,9747	2,0607	13,8	3,4946	20,0	15,0	40,0	0	0,00
7	5,4691	2,0216	8,2	2,7423	20,0	15,0	40,0	0	0,00
8	3,5652	2,0030	2,7	1,7906	20,0	15,0	40,0	0	0,76
9	1,2691	2,0032	-2,8	0,6204	20,0	15,0	40,0	0	0,70
Σ =	53,4545	21,0415							

R =	20,8
k _h =	0,16
k _v =	0,08

Τμήμα	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]
	(1+k _v) × w × × cosα	(1-k _v) × w × × cosα	k _h × w × × sinα	w × × (cosα - h/2R)	[(1+k _v) × w × cosα - k _h × × w × sinα - u × L] × tanφ'	[(1-k _v) × w × cosα - k _h × × w × sinα - u × L] × tanφ'
	(1+k _v) × [11]	(1-k _v) × [11]	k _h × [12]	[10] × cos[3] - [4] / 2R	[(16) - (18) - (14)] × tan[7]	[(17) - (18) - (14)] × tan[7]
1	60,75	51,75	9,93	53,67	42,65	35,10
2	146,36	124,68	17,62	121,12	108,03	89,83
3	160,83	137,01	14,83	130,42	122,51	102,52
4	169,06	144,01	12,00	138,41	131,79	110,77
5	163,97	139,68	8,65	136,19	130,33	109,95
6	146,30	124,63	5,32	123,75	118,30	100,11
7	116,92	99,60	2,50	101,05	96,02	81,48
8	76,92	65,53	0,54	68,16	62,82	53,26
9	27,38	23,32	-0,20	24,97	21,96	18,56
Σ =	1068,51	910,22	71,19	897,74	834,40	701,57

[22]	[23]	[24]
s ^{+kv}	s ^{+kv} × sinα	s ^{+kv} × cosα
(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)
[13] + [20]	[22] × sin[3]	[22] × cos[3]
92,90	68,82	62,40
151,58	95,60	117,63
157,86	83,42	134,02
165,07	71,32	148,86
162,19	54,41	152,79
149,21	35,59	144,90
126,34	18,02	125,05
92,86	4,37	92,76
52,01	-2,54	51,95
1150,02	429,01	1030,37

[25]	[26]	[27]
s ^{-kv}	s ^{-kv} × sinα	s ^{-kv} × cosα
(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)
[13] + [21]	[25] × sin[3]	[25] × cos[3]
85,35	63,23	57,33
133,38	84,12	103,51
137,87	72,86	117,05
144,05	62,24	129,91
141,81	47,57	133,59
131,02	31,25	127,24
111,81	15,95	110,66
83,30	3,92	83,21
48,61	-2,37	48,55
1017,20	378,76	911,05

FOS^{+kv}_{,dyn}
(αδιάστατο)
[(13)+(20)]/
1,8425

FOS^{-kv}_{,dyn}
(αδιάστατο)
[(13)+(21)]/
1,8395

s^{+kv}
(αδιάστατο)
tan ⁻¹ ([23]/[24])
22,61

s^{-kv}
(αδιάστατο)
tan ⁻¹ ([26]/[27])
22,57

Πίνακας 2.2α – Προσδιορισμός Δυναμικού Συντελεστή Ασφαλείας.

Επομένως, η τιμή του δυναμικού συντελεστή ασφαλείας έναντι ολίσθησης του πρανούς προκύπτει ανάλογα με την φορά της κατακόρυφης συνιστώσας:

$$FOS_{dyn} = \frac{\sum c' \times l + \sum [(1 \pm k_v) \times w \times \cos \alpha - k_h \times w \times \sin \alpha - u \times l] \times \tan \varphi'}{(1 \pm k_v) \times \sum w \times \sin \alpha + k_h \times \sum w \times \left(\cos \alpha - \frac{h}{2 \times R} \right)} =$$

$$\text{Για } +k_v \Rightarrow FOS_{dyn} = \frac{315,62 + 834,40}{(1 + 0,08) \times 444,93 + 0,16 \times 897,74} \Rightarrow FOS_{dyn} = 1,8425$$

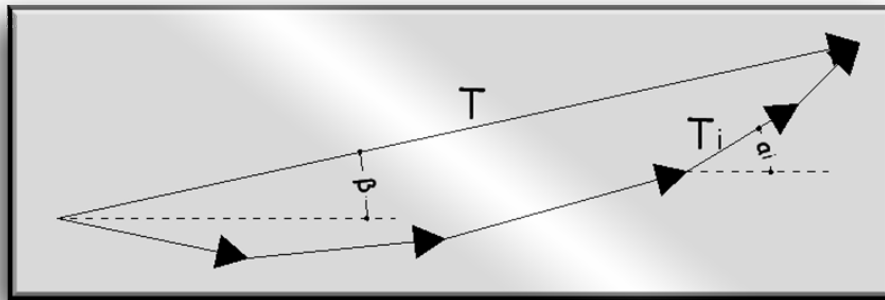
$$\text{Για } -k_v \Rightarrow FOS_{dyn} = \frac{315,62 + 701,57}{(1 - 0,08) \times 444,93 + 0,16 \times 897,74} \Rightarrow FOS_{dyn} = 1,8395$$

Παρατηρούμε την αμελητέα επιρροή της φοράς της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού και την σημαντικά μικρότερη τιμή του δυναμικού συντελεστή ασφαλείας σε σχέση με τον αντίστοιχο στατικό.

3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΚΛΙΣΗΣ “β” ΤΟΥ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΟΛΙΣΘΑΙΝΟΝΤΟΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΑΧΩΜΑΤΟΣ.

3.1 Υπολογισμός ισοδύναμης κλίσης “β” κεκλιμένου επιπέδου.

Για τον υπολογισμό της αναμενόμενης μετακίνησης του πρανούς σε σεισμό μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο του Newmark σύμφωνα με το οποίο η μάζα του πρανούς ολισθαίνει ως στερεό σώμα επί μιας επίπεδης επιφάνειας κεκλιμένης υπό γωνία β . Η κλίση αυτή ονομάζεται ισοδύναμη καθώς καθορίζει το επίπεδο εκείνο επί του οποίου το διάνυσμα της συνολικής δύναμης τριβής που αναπτύσσεται κατά την ολίσθηση του στερεού σώματος του πρανούς είναι ίση με το διάνυσμα της συνισταμένης των δυνάμεων τριβής που αναπτύσσονται επί της κυκλικής επιφάνειας ολίσθησης του πρανούς. Με βάση τη διακριτοποίηση του πρανούς που έγινε στο σχ. 2.2^α, θα πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα της εκφώνησης:



Σχήμα 3.1α – Ισοδύναμη κλίση “β” κεκλιμένου επιπέδου.

$$\tan \beta = \frac{\sum T_i \times \sin \alpha_i}{\sum T_i \times \cos \alpha_i}$$

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο §1.2, ισχύει ότι:

$$s = c' \times \ell + (N - u \times \ell) \times \tan \varphi' = c' \times \ell + [(1 \pm k_v) \times W \times \cos \alpha - k_h \times W \sin \alpha - u \times \ell] \times \tan \varphi'$$

Οι παραπάνω υπολογισμοί συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες (έχουν ήδη παρουσιαστεί ως μέρος του μεγάλου πίνακα του §2.2):

[22]	[23]	[24]	[25]	[26]	[27]
s^{+kv}	$s^{+kv} \times \sin \alpha$	$s^{+kv} \times \cos \alpha$	s^{-kv}	$s^{-kv} \times \sin \alpha$	$s^{-kv} \times \cos \alpha$
(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)
[13]+[20]	[22]×sin[3]	[22]×cos[3]	[13]+[21]	[25]×sin[3]	[25]×cos[3]
92,90	68,82	62,40	85,35	63,23	57,33
151,58	95,60	117,63	133,38	84,12	103,51
157,86	83,42	134,02	137,87	72,86	117,05
165,07	71,32	148,86	144,05	62,24	129,91
162,19	54,41	152,79	141,81	47,57	133,59
149,21	35,59	144,90	131,02	31,25	127,24
126,34	18,02	125,05	111,81	15,95	110,66
92,86	4,37	92,76	83,30	3,92	83,21
52,01	-2,54	51,95	48,61	-2,37	48,55
1150,02	429,01	1030,37	1017,20	378,76	911,05

s^{+kv}	s^{-kv}
(αδιάστατο)	(αδιάστατο)
$\tan^{-1}([23]/[24])$	$\tan^{-1}([26]/[27])$
22,61	22,57

Πίνακας 3.1α – Ισοδύναμη κλίση “β” κεκλιμένου επιπέδου.

Από τους ανωτέρω πίνακες προκύπτει ότι:

$$+k_v \quad \tan \beta = \frac{\sum (s_i \times \sin \alpha_i)}{\sum (s_i \times \cos \alpha_i)} = \frac{429,01}{1030,37} \Rightarrow \beta = 22,61^\circ$$

$$-k_v \quad \tan \beta = \frac{\sum (s_i \times \sin \alpha_i)}{\sum (s_i \times \cos \alpha_i)} = \frac{378,76}{911,05} \Rightarrow \beta = 22,57^\circ$$

Παρατηρούμε ότι η φορά της κατακόρυφης σεισμική συνιστώσας δεν παίζει σημαντικό ρόλο στην ισοδύναμη γωνία κλίσης. Έτσι έχουμε:

$$\beta \approx 22,60^\circ$$

3.2 Υπολογισμός κρίσιμης επιτάχυνσης “ k_c ” του αναχώματος.

Για τον υπολογισμό της κρίσιμης επιτάχυνσης k_c (της επιτάχυνσης της οποίας αν εφαρμοστεί ψευδοστατικά, ο συντελεστής ασφαλείας θα είναι ίσος με τη μονάδα. Είναι η επιτάχυνση για την οποία ξεκινάει η ολίσθηση του πρανούς) σύμφωνα με τη μέθοδο Newmark, εξισώνουμε την αντιδρώσα δύναμη R με την κινούσα δύναμη D κατά μήκος του κεκλιμένου επιπέδου που προσδιορίζεται από τη γωνία β , δηλαδή:

Αν τον λόγο της κατακόρυφης προς την οριζόντια συνιστώσα του σεισμικού κραδασμού τον θέσουμε ίσο με γ έχουμε:

$$\gamma = \frac{k_v}{k_c} \Rightarrow k_c = 0,541 - 0,313 \times \gamma \times k_c \Rightarrow k_c = \frac{0,541}{1 + 0,313 \times \gamma}$$

Φορά k_v	k_v/k_h	k_c	k_v
Κάτω	-100%	0,788	0,788
	-75%	0,707	0,530
	-50%	0,641	0,321
	-25%	0,587	0,147
	0%	0,541	0,000
Άνω	25%	0,502	0,125
	50%	0,468	0,234
	75%	0,438	0,328
	100%	0,412	0,412
$k_h = 0,16$			

Πίνακας 3.2β – Επιρροή κατακόρυφης συνιστώσας στην κρίσιμη επιτάχυνση.

Παρατηρούμε ότι η επιρροή της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμικού κραδασμού παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην τιμή της κρίσιμης επιτάχυνσης. Για κατακόρυφη επιτάχυνση κατά ΕΑΚ ($k_v/k_h = \pm 0,5$) η διαφορές στις τιμές των κρίσιμων επιταχύνσεων που προκύπτουν είναι της τάξης του 27%.

Ως κρίσιμη επιτάχυνση επιλέγουμε την μικρότερη από τις τιμές που προκύπτουν για κατακόρυφη επιτάχυνση κατά ΕΑΚ, δηλαδή:

$$k_c = 0,468$$

4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ, ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΑΧΩΜΑΤΟΣ.

Επειδή, δεν δίνεται η τιμή του k_m στην εκφώνηση, θα υποτεθεί ότι αυτή είναι

$$k_m = 0,60$$

4.1 Μέγιστη επιτάχυνση

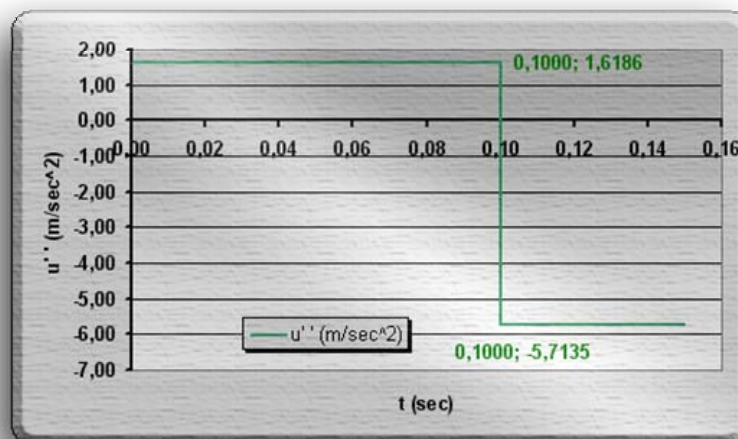
Η μέγιστη σχετική επιτάχυνση που αναμένεται να αναπτυχθεί στο πρανές δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\ddot{u}_{\max} = \frac{g \times \cos(\varphi' - \beta)}{\cos \varphi'} \times (k_m - k_c) = \frac{g \times \cos(40 - 22,6)}{\cos 40} \times (0,60 - 0,468) \Rightarrow \ddot{u}_{\max} = 0,165g$$

Για το χρονικό διάστημα $t > t_0 = 0,10 \text{ sec}$, οπότε η επιβαλλόμενη στο πρανές επιτάχυνση μηδενίζεται, το σώμα του πρανούς θα επιβραδύνεται. Η σχετική επιτάχυνση του πρανούς θα είναι:

$$\ddot{u}_{\max} = \frac{g \times \cos(\varphi' - \beta)}{\cos \varphi'} \times (k_m - k_c) = \frac{g \times \cos(40 - 22,6)}{\cos 40} \times (0 - 0,468) \Rightarrow \ddot{u}_{\max} = -0,582g$$

Θέτουμε $\alpha = 0,165$ και $\beta = -0,582$.

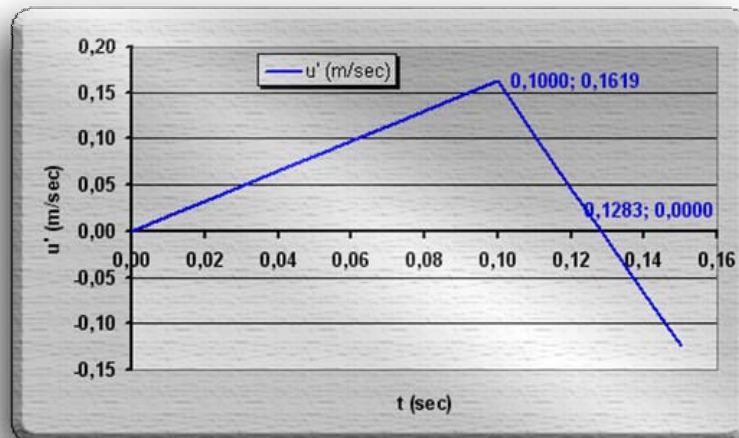


Διάγραμμα 4.1α – Μεταβολή επιταχύνσεων στο χρόνο.

4.2 Μέγιστη ταχύτητα

Ο υπολογισμός της σχετικής ταχύτητας γίνεται με ολοκλήρωση των επιταχύνσεων στο χρόνο:

$$\begin{cases} \dot{u} = \int_0^{t_0} \ddot{u} dt = \int_0^{t_0} 0,165g \times dt = 0,165g \times t, & 0 \leq t \leq t_0 \\ \dot{u} = \dot{u}(t_0) + \int_{0,10}^t \ddot{u} dt = \dot{u}(t_0) + \int_{0,10}^t -0,582g \times dt = 0,0165g - 0,582g \times (t - 0,10) = \\ = g \times (a/10 - b/10 + \beta \times t), & t_0 \leq t \end{cases}$$



Διάγραμμα 4.2α – Μεταβολή ταχυτήτων στο χρόνο.

Η μέγιστη ταχύτητα προφανώς θα εμφανιστεί την χρονική στιγμή που η επιτάχυνση αλλάζει πρόσημο, δηλαδή για $t = 0,10$ sec.

$$u'_{\max} = 0,165 \times 9,81 \times 0,10 \Rightarrow u'_{\max} = 0,1619 \text{ m/sec}$$

4.3 Μέγιστη μετακίνηση

Έχουμε ότι $a=0,165$ και $\beta=0,582$

Η μετατόπιση του πρανούς θα προκύψει από την ολοκλήρωση της ταχύτητας.

$$0 \leq t \leq 0,10$$

$$u = \int_0^t \dot{u} dt = \int_0^t 0,165g \times t \times dt = a \times g \times \frac{t^2}{2} = a/2 \times g \times t^2$$

$$0,10 \leq t$$

$$\begin{aligned} u &= u_0 + \int_{0,1}^t \dot{u} dt = a/2 \times g \times 0,10^2 + \int_{0,1}^t [0,1 \times a \times g - \beta \times g \times (t - 0,10)] \times dt = \\ &= a/2 \times g \times 0,10^2 + (0,1 \times a \times g \times t + 0,10 \times \beta \times g \times t - \beta \times g \times t^2 / 2) \Big|_{0,1}^t \\ &= a/2 \times g \times 0,10^2 + 0,1 \times a \times g \times t + 0,10 \times \beta \times g \times t - \beta \times g \times t^2 / 2 - (0,01 \times a \times g + 0,01 \times \beta \times g - 0,01 \times \beta \times g / 2) \end{aligned}$$

$$u = (-\beta/2) \times g \times t^2 + (a + \beta) \times 0,1 \times g \times t + (-a/2 - \beta/2) \times 0,01 \times g$$

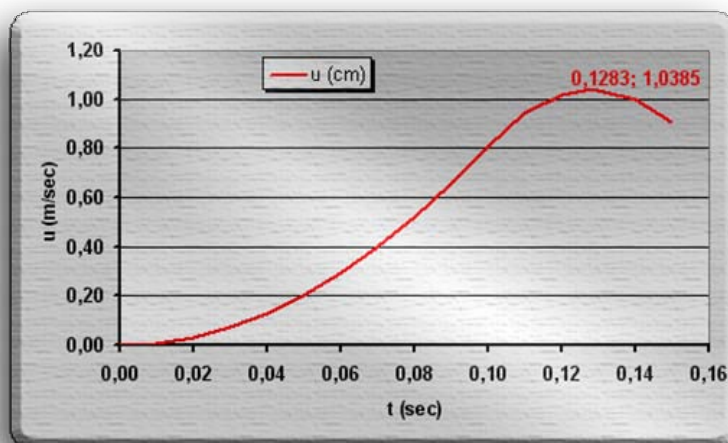
$$u = -2,857 \times t^2 + 0,7332 \times t - 0,037 \quad (\text{σε μέτρα})$$

$$u = -285,673 \times t^2 + 73,320 \times t - 3,666 \quad (\text{σε εκατοστά})$$

Προφανώς, την μέγιστη μετακίνηση θα την έχουμε την στιγμή που μηδενίζεται η ταχύτητα.

$$0,0165g - 0,582g \times (t_{\max} - 0,10) = 0 \Rightarrow t_{\max} = 0,1283 \text{ sec}$$

$$u_{\max} = -285,673 \times 0,1283^2 + 73,320 \times 0,1283 - 3,666 \Rightarrow u_{\max} = 1,0385 \text{ cm}$$



Διάγραμμα 4.3α – Μεταβολή μετακινήσεων στο χρόνο.

Τα ανωτέρω αποτελέσματα βρίσκονται πινακοποιημένα παρακάτω:

t (sec)	u'' (m/sec ²)	u' (m/sec)	u (cm)
0,0000	1,6186	0,0000	0,0000
0,0100	1,6186	0,0162	0,0081
0,0200	1,6186	0,0324	0,0324
0,0300	1,6186	0,0486	0,0728
0,0400	1,6186	0,0647	0,1295
0,0500	1,6186	0,0809	0,2023
0,0600	1,6186	0,0971	0,2913
0,0700	1,6186	0,1133	0,3965
0,0800	1,6186	0,1295	0,5179
0,0900	1,6186	0,1457	0,6555
0,1000	1,6186	0,1619	0,8093
0,1000	-5,7135	0,1619	0,8093
0,1100	-5,7135	0,1047	0,9426
0,1200	-5,7135	0,0476	1,0187
0,1283	-5,7135	0,0000	1,0385
0,1300	-5,7135	-0,0095	1,0377
0,1400	-5,7135	-0,0667	0,9996
0,1500	-5,7135	-0,1238	0,9044

Πίνακας 4.3α – Πίνακας επιταχύνσεων – ταχυτήτων – μετακινήσεων.

5 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΑΧΩΜΑΤΟΣ

Η διάρκεια κίνησης του αναχώματος έχει ήδη υπολογιστεί στην προηγούμενη παράγραφο και είναι:

$$t_{\text{κιν}} = 0,1283 \text{ sec}$$